

**POTENCIAL PARA LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO DE  
PLANTACIONES DE GUADUA (*Guadua angustifolia* Kunth) EN LA REGIÓN DEL  
EJE CAFETERO DE COLOMBIA.**

**LINA MARÍA GIRALDO QUINTERO.**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA.**

**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES.**

**PROGRAMA DE ADMINISTRACIÓN AMBIENTAL.**

**PEREIRA, 2021.**

**POTENCIAL PARA LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO DE  
PLANTACIONES DE GUADUA (*Guadua angustifolia* Kunth) EN LA REGIÓN DEL  
EJE CAFETERO DE COLOMBIA.**

**LINA MARÍA GIRALDO QUINTERO.**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE ADMINISTRADOR  
AMBIENTAL.**

**DIRECTOR: JUAN CARLOS CAMARGO GARCIA**

**PhD**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA.**

**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES.**

**PROGRAMA DE ADMINISTRACIÓN AMBIENTAL.**

**PEREIRA, 2021**

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

## **DEDICATORIA**

*Quiero dedicar este trabajo a Dios, por darme la fortaleza y fe para poder culminar satisfactoriamente este periodo de mi vida.*

*A mis padres, José Antonio y Maria Eugenia que con su amor, apoyo y esfuerzo me han ayudado a cumplir mis sueños y me han acompañado en este camino para convertirme en una Administradora Ambiental.*

*A Carlos Mario, que estuvo día tras día apoyándome, subiéndome el ánimo y acompañándome en cada momento de este camino, por su cariño, paciencia y por no dejarme rendir.*

*A mis amigas, Carolina, Erika, Geraldine y Karen, que me acompañaron en todo este proceso y que me han visto crecer como persona, por todo su apoyo y cariño que me permitieron seguir adelante en cada paso para alcanzar esta meta.*

## **AGRADECIMIENTOS.**

Quiero expresar un enorme agradecimiento al profesor Juan Carlos Camargo García, por su acompañamiento, disposición, paciencia y todo el conocimiento compartido que permitieron desarrollar de manera exitosa este trabajo de grado concluyendo así con mi carrera universitaria.

Al grupo de Investigación en Gestión de Agroecosistemas Tropicales Andinos (GATA) por posibilitar la ejecución de este trabajo de grado, especialmente a Angela María Arango quien estuvo siempre en disposición de ayudar.

A la Universidad Tecnológica de Pereira, por permitirme cumplir este gran sueño de convertirme en Administradora Ambiental.

A cada uno de los profesores que se destacaron no solo por su conocimiento si no por su valor como persona en el ejercicio de la enseñanza, por su acompañamiento y el gran aprendizaje que dejaron en mí.

Este trabajo se realizó en el marco del proyecto de investigación “Consideraciones sobre la estimación de Biomasa y Carbono de Bambú en el Eje Cafetero de Colombia: Aportes a la definición de su potencial para la mitigación del cambio climático”, código 2-20-6 financiado por la Universidad Tecnológica de Pereira.

## RESUMEN.

El objetivo de esta investigación fue estimar el potencial de mitigación del cambio climático de plantaciones de la especie de bambú leñosa *Guadua angustifolia* (guadua), establecidas experimentalmente hace 19 años en la región del Eje cafetero de Colombia.

Para tal fin, fueron realizados muestreos destructivos dentro de parcelas en las plantaciones localizadas en la Finca Nápoles y Finca Bambusal, ubicadas en el municipio de Montenegro, Quindío. De esta manera la biomasa aérea, subterránea, de raíces finas, hojarasca y el carbono en el suelo fueron estimadas. Posteriormente, los valores estimados fueron extrapolados a áreas cuya aptitud para plantaciones de guadua había sido previamente definida. Por consiguiente, los valores de absorción de CO<sub>2</sub> se estimaron a partir del incremento anual en la biomasa. Las plantaciones evaluadas después de 19 años han almacenado en la biomasa 328.4 (±99.7) t CO<sub>2</sub> / ha, a una tasa promedio de 17.3 tCO<sub>2</sub>/ha año. Así mismo, el ecosistema incluyendo raíces finas, hojarasca y suelo alcanzó en promedio 537 (±118) tCO<sub>2</sub> / ha, Los valores extrapolados de CO<sub>2</sub> en la biomasa de guadua, si se realizarán plantaciones potencialmente representarían en áreas de aptitud alta para plantaciones comerciales (98,007 ha) y de conservación (265,258 ha) en los departamentos de Risaralda, Quindío y Valle del Cauca, luego de 19 años podrían haber almacenado 119,298 kt CO<sub>2</sub> o 6,278 kt CO<sub>2</sub> anuales. Estos valores, representarían de acuerdo con el inventario de emisiones para CO<sub>2</sub> disponible para el año 2012, la posibilidad de mitigar el 88% de las emisiones totales anuales de Risaralda, 100% del Quindío y 34% del Valle del Cauca. Estos resultados muestran la importancia de la promoción de plantaciones de guadua como una alternativa para la mitigación del cambio climático. Este logro se alcanzaría en todos los casos con menos del 10% del área total departamental dedicado a plantaciones de guadua.

**Palabras clave:** Bambú, almacenamiento de carbono, emisiones, absorciones, zonificación.

## ABSTRACT.

The aim of this work was to estimate the potential for climate change mitigation of the woody bamboo species *Guadua angustifolia* (guadua) plantations, established experimentally 19 years ago in the Colombian Coffee region.

For this purpose, a destructive sampling was carried out within plots in the plantations located in Finca Napoles and Finca Bambusal in the municipality of Montenegro, Quindío, Colombia. Data collected permitted to estimate the aboveground, belowground, fine root, and litter biomass. Besides soils carbon was also measured at 15 cm depth. Subsequently, the estimated values were extrapolated to areas previously defined as suitable for guadua plantations. CO<sub>2</sub> absorption was estimated from the calculated annual biomass increment. The plantations assessed after 19 years accumulated in biomass 328.4 (±99.7) tCO<sub>2</sub> /ha, at a rate of 17.3 tCO<sub>2</sub>/ha/year. Likewise, other pools such as fine roots, litter and soil reached an average of 537 (±118) tCO<sub>2</sub> / ha. To establish guadua plantations in those areas defined for commercial (98,007 ha) and conservation (265,258 ha) purposes, might represent after 19

year of their establishment, 119,298 kt CO<sub>2</sub> stored or 6,278 kt CO<sub>2</sub> per year. According to the CO<sub>2</sub> emissions inventory available for the year 2012, it would represent to mitigate 88% of the total annual emissions from Risaralda, 100% from Quindío and 34% from Valle del Cauca. These results show the importance of promoting guadua plantations as an alternative for climate change mitigation. This goal would be achieved for all cases with less than 10% of the total state area dedicated with guadua plantations.

**Key words:** Bamboo, biomass, carbon storing, absorption, emission, zoning.

## CONTENIDO.

1. INTRODUCCIÓN. ....	10
2. OBJETIVOS.....	12
3. MARCO TEÓRICO.....	13
3.1. Mitigación del cambio climático. ....	13
3.2. Rol de los bosques en la mitigación del cambio climático. ....	14
3.3. Bambú para la mitigación del cambio climático.....	14
4. METODOLOGÍA. ....	15
4.1. Estimación del contenido de biomasa en plantaciones de guadua.....	15
4.1.1. Área de estudio.....	15
4.1.2. Muestreo (Fase de Campo). ....	16
4.1.3. Análisis de laboratorio. ....	17
4.2. Estimación del contenido de biomasa y carbono total.....	17
4.2.1 Calculo de la biomasa. ....	17
4.2.2. Determinación del carbono en la hojarasca.....	18
4.2.3. Estimación de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) en raíces finas.....	19
4.3. Estimación del incremento anual de captura de CO <sub>2</sub> .....	19
4.4. Estimación del potencial de captura de carbono en zonas de aptitud alta para plantaciones de guadua. ....	19
4.5. Potencial de mitigación del cambio climático de plantaciones de guadua en el Eje Cafetero.....	20
5. RESULTADOS.....	20
5.1. Características dendrométricas y de masa de las plantaciones. ....	20
5.2. Estimación de la biomasa total. ....	21
5.2.1 Estimación de la Biomasa aérea y subterránea. ....	21
5.3 Estimación del contenido de carbono en la biomasa total de la guadua. ....	23
5.4. Estimación del contenido de carbono del ecosistema.....	23
5.5. Definición del área de establecimiento de plantaciones de guadua y del potencial para mitigación del cambio.....	24
5.6. Potencial de mitigación del cambio climático de plantaciones de guadua en el Eje Cafetero. Risaralda, Quindío y Valle del Cauca.....	25

6. DISCUSIÓN.....	25
7. CONCLUSIONES. ....	27
8. RECOMENDACIONES. ....	27
9. BIBLIOGRAFÍA.....	28

### **INDICE DE TABLAS.**

Tabla 1. Diámetro, longitud y densidad de culmos por ha en plantaciones de guadua.. ....	20
Tabla 2. Estimación del contenido de biomasa.....	23
Tabla 3. Zonas de alta aptitud para plantaciones de guadua para fines comerciales y de conservación . ....	24
Tabla 4. Estimación del potencial de CO <sub>2</sub> almacenado anualmente por plantaciones .....	25
Tabla 5. Balance entre emisiones y absorciones de CO <sub>2</sub> , de acuerdo con el inventario de GEI del año 2012.....	25

### **INDICE DE FIGURAS.**

Figura 1. Ubicación de la zona de estudio, Finca Nápoles y Bambusal.....	16
Figura 2. Contenido promedio de biomasa aérea por compartimientos .....	21
Figura 3. Biomasa total promedio aérea (hojas, ramas, culmo) y biomasa subterránea (rizoma) .....	22
Figura 4. Biomasa total obtenida.....	22

## 1. INTRODUCCIÓN.

La crisis ambiental es producto de una confrontación desequilibrada de la acción humana hacia los recursos naturales (Domínguez et al., 2019). Una de las principales consecuencias de esta crisis se ha manifestado en aumento de las temperaturas en la tierra debido a la acumulación progresiva de gases efecto invernadero, de acuerdo con el IPCC (2020) “el calentamiento global ha provocado una mayor intensidad, frecuencia y duración de diferentes fenómenos asociados al calor, además ha afectado de manera directa a los ecosistemas terrestres, la biodiversidad y las sociedades, quienes son vulnerables a dichos fenómenos meteorológicos, se estima que a finales de este siglo se llegaría a un incremento de 4.4 grados, lo que multiplicaría también la intensidad y frecuencia de los fenómenos extremos.

Una de las alternativas planteadas por el IPCC (2020) es la gestión sostenible de la tierra, mediante el secuestro de carbono en la vegetación o en el suelo, así como la forestación y la reforestación.

En este orden de ideas, las instituciones, organizaciones, comunidades y entes gubernamentales de todo el mundo se han sumado a la búsqueda de respuestas o alternativas para mitigar y reducir el impacto que producen estos gases de efecto invernadero, entre estas, se encuentra el proceso que llevan a cabo los bosques para la captura y almacenamiento de carbono. Los bosques del mundo contienen alrededor de 606 Gt de biomasa viva (por encima y por debajo del suelo) y 59 Gt de madera muerta (50% aproximadamente es carbono), la mayor parte del carbono del bosque se encuentra en la biomasa viva (44%) y el COS (Carbono orgánico del suelo) el cual representa (45%). Desde el año 1990 a 2020 la reserva total de carbono en los bosques disminuyó de 668 Gt a 662 Gt y la densidad aumentó 159 toneladas /ha a 163 toneladas / ha. (FAO, 2021). Se estima que los bosques almacenan el 31% de CO<sub>2</sub> del planeta es decir 12.5 Gt CO<sub>2</sub> / año desde la era industrial (Friedlingstein et al 2020).

De acuerdo con el Ministerio de Ambiente en Colombia los bosques cubren más de 59 millones de hectáreas lo cual representa más de la mitad del territorio continental del país. Según Duque *et. al* (2021) el ecosistema natural de bosques de la cordillera de los Andes tiene una capacidad igual (o incluso mayor por unidad de área) de capturar carbono (0.67 t/ha año) y por tanto mitigar el cambio climático, que la reportada en los bosques Amazónicos (0.41 t/ha año). Estos valores de captura hacen referencia a bosques maduros.

Los bosques de bambú se han convertido en una excelente alternativa para la mitigación del cambio climático incluyendo actividades como la forestación, la reforestación, la deforestación evitada y el manejo forestal (Lobovikov et al. 2012). Por ello, las especies de bambú tienen un gran potencial en los proyectos de adaptación al cambio climático (Gonzales & Rojas, 2016), y además provee servicios ecosistémicos, como el almacenamiento de carbono y la conservación del agua y el suelo debido a su estrategia de crecimiento y la

posibilidad de implementar un sistema de aprovechamiento selectivo. (Lobovikov citado en Song 2011).

Debido a estos procesos de regeneración brotes desde los rizomas y su rápido crecimiento, los bosques de bambú poseen un alto potencial de almacenamiento de carbono, especialmente cuando los culmos se transforman en productos de larga duración garantizado que el carbono secuestrado no regrese a la atmosfera de manera inmediata, prolongando su almacenamiento. (Song et al, 2011).

El bambú ha sido considerado como una planta ideal para el almacenamiento de carbono, en vista de que ha jugado un papel importante en los últimos años en cuanto a procesos de mitigación del cambio climático, además del enorme potencial de aumentar dicha capacidad hacia un futuro (Song et al., 2011).

Singnar *et al*, (2021) menciona que el potencial para la mitigación del cambio climático está relacionado con la cobertura de los mismos, la cual abarca aproximadamente el 1% de la superficie mundial total, por otra parte, considera que el cuantificar la contribución de estos bosques supone un reto debido a su sistema complejo de rizomas y raíces.

En Colombia, la especie con mayor abundancia y más utilizada es la *Guadua angustifolia* Kunth (guadua) y promisoría por su importancia en aspectos sociales, económicos y culturales. Cabe resaltar, que las investigaciones sobre esta especie y los ecosistemas donde se presenta se han enfocado en genética molecular, biotecnología, biomasa, captura de CO<sub>2</sub>, aprovechamiento, conservación, entre otros. (Londoño, 2011). Los productos hechos de bambú también son potenciales sumideros de carbono, lo que puede contribuir a fomentar la expansión y la gestión de los bosques. (Camargo et al. 2018).

En la región del eje cafetero se estimaron 28,000 ha son coberturas dominadas por la especie de bambú guadua, distribuida de forma natural desde los 900 a 2200 msnm (Klein, C., and D. Morales, 2006). Razón por la cual, en la región andina y en la zona cafetera este recurso tiene mayor significancia,

En estudios realizados por Riaño *et al*. (2002) en el departamento del Valle del Cauca, se estimó que el potencial de fijación de carbono en seis años (2190 días) es de es 54.3 toneladas de carbono, donde 10,8 toneladas (19,9%) de CO<sub>2</sub> de la fijación corresponden al rizoma y 43.5 toneladas (80,1%) a la parte aérea.

Por otro lado, Camargo *et al*. (2010) estimaron que para plantaciones de siete u ocho años con una densidad promedio de 7700 culmos /ha, el carbono total almacenado fue de 24.6±5t/ha, donde la biomasa aérea alberga el 86% y el 14% restante corresponde a la biomasa subterránea, evidenciando el potencial de esta especie en la región del Eje Cafetero para la mitigación del cambio climático.

Asimismo, en la investigación realizada por Quiroga *et al.* (2013) en el Parque Nacional Carrasco (Bolivia) estimó que para un bosque de guadua con densidad de 4500 culmos/ha, el almacenamiento de carbono es de 100 t/ha..

La gestión adecuada contribuye a un mayor almacenamiento de carbono, de acuerdo con el estudio realizado por Yiping *et al.* (2010) donde se compararon bosques de bambú *Moso (edulis)* no gestionado, con bosques de Abetos chinos. El carbono del suelo fue 3,2 veces mayor que en la especie de bambú *Moso*, lo que demuestra la necesidad de desarrollar proyectos de gestión del bambú para la gestión de las existencias de carbono, según con lo mencionado, los bosques de bambú no gestionados sufren un deterioro biológico en el sistema de rizoma y culmos.

De acuerdo con Camargo & Long (2020) los bosques de guadua hacen parte de los principales ecosistemas naturales de la región del Eje cafetero, demostrando su importancia los cuales están cumpliendo un papel fundamental en cuanto a provisión de servicios ecosistémicos en la región cafetera de Colombia, evidenciando el potencial para proporcionar servicios de regulación y hábitat de aprovisionamiento.

## **2. OBJETIVOS.**

- **Objetivo General.**

-Evaluar el potencial para la mitigación del cambio climático de plantaciones de *Guadua angustifolia* Kunth en la región del Eje Cafetero de Colombia.

- **Objetivos Específicos.**

-Estimar el contenido de carbono total (aéreo y subterráneo) fijado por plantaciones de guadua establecidas experimentalmente en el año 2002.

-Establecer el potencial de captura de carbono de plantaciones de guadua, para las zonas de alta aptitud según la zonificación de guaduales en el Eje Cafetero de Colombia.

-Definir la contribución potencial a la mitigación del cambio climático de plantaciones de guadua, respecto a la emisiones anuales de tres departamentos piloto en el Eje Cafetero de Colombia.

### **3. MARCO TEÓRICO.**

#### **3.1. Mitigación del cambio climático.**

La mitigación es una de las medidas que junto con la adaptación se han usado para enfrentar el cambio climático. De acuerdo con IPCC (2020), la mitigación del cambio climático considera la intervención humana direccionada a reducir las fuentes o potenciar los sumidero de carbono, sin esta mediación de acciones las emisiones continuarán en crecimiento y se experimentarán aumentos en la temperatura media global. De acuerdo con Friedlingstein *et al.* (2021) se estima una valor de 36.4 Gt CO<sub>2</sub> para el 2021.

Algunas de las respuestas contempladas por el IPCC (2016) para la mitigación al cambio climático incluyen, entre otros ámbitos, la producción sostenible de alimentos, una gestión forestal mejorada y sostenible, la gestión del carbono orgánico en el suelo, la conservación de los ecosistemas, la restauración de la tierra, la reducción de la deforestación y la degradación de los suelos.

Bajo la misma lógica la ONU (2019), reafirma que la mitigación del cambio climático incluye esfuerzos para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero mediante el uso de nuevas tecnologías y energías renovables, al aumento en la eficiencia energética de equipos antiguos o el cambio en las prácticas de gestión o el comportamiento de los consumidores. El informe sobre la brecha de emisiones 2020 revela que las emisiones de gases de efecto invernadero han aumentado 1.5% anual durante la última década.

Para América Latina las emisiones totales representaron cerca del 9,9% (4.561 MtCO<sub>2</sub>e) en el año 2012, lo que evidencia el aumento de las emisiones la probabilidad de que sigan incrementándose en el futuro de mantenerse una trayectoria inercial, principalmente por la evolución de las emisiones de GEI provenientes de la energía (CEPAL, 2015). El reporte del Global Carbon Atlas (2020) muestra un total de emisiones mundiales de 34,807 MtCO<sub>2</sub> y para Colombia un total de emisiones de 89 MtCO<sub>2</sub>.

Colombia a través del Proyecto Nacional de Adaptación al Cambio Climático adopta medidas para la mitigación del cambio climático, como la producción de información sobre cambio climático, diseño e implementación de un programa de adaptación en el Macizo de Chingaza y respuestas a las enfermedades tropicales transmitidas por vectores (dengue y malaria) inducidas por el cambio climático (Proyecto Nacional Piloto De Adaptación, 2011). Adicional a esto, existen los Planes de Acción Sectorial de Mitigación para el Cambio Climático los cuales son un conjunto de acciones, programas y políticas, que permiten reducir las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) (Ministerio de Ambiente, 2020).

### **3.2. Rol de los bosques en la mitigación del cambio climático.**

Se estima que aproximadamente un tercio de las emisiones de origen humano de CO<sub>2</sub> son absorbidas por los ecosistemas terrestres, principalmente por los bosques. (Rubio, 2021). Por tanto, una de las maneras para encarar el cambio climático es la gestión adecuada de bosques, debido a que son los mayores depósitos de carbono del mundo (WWF, 2015).

Según el IPCC (2020) entre las opciones basadas en la tierra que facilitan el secuestro de carbono en el suelo o la vegetación, se encuentra: la forestación, la reforestación, la agrosilvicultura, la gestión del carbono en suelos minerales o el almacenamiento de carbono en productos de madera recolectada. Por otro lado, Friedlingstein *et al.* (2021) estima que la cantidad de carbono a nivel global presente en la biomasa viva de la vegetación representa un 11.2 Gt de CO<sub>2</sub> por año.

Adicional a esto, en el Artículo 5 del Acuerdo de París (2015), se resalta la importancia de adoptar medidas para conservar y aumentar los sumideros y depósitos de gases de efecto invernadero, donde se encuentran incluidos los bosques. Donde se reafirma la importancia de incentivar procesos que beneficien la gestión sostenible de los mismos.

Una de las estrategias más importantes para la mitigación del cambio climático a través de la gestión sostenible de bosques, es la REDD+ (Reducción de las Emisiones debidas a la Deforestación y la Degradación de los bosques) la cual constituye un mecanismo para reducir las emisiones de dióxido de carbono en los diferentes países, allí juega un papel fundamental la eliminación de CO<sub>2</sub> de la atmósfera mediante su almacenamiento en la biomasa y los suelos de los bosques, además de contribuir con el desarrollo de las comunidades.

### **3.3. Bambú para la mitigación del cambio climático.**

Como se mencionó previamente, las especies de bambú son consideradas plantas idóneas para la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero en el planeta y por lo tanto del cambio climático. Debido a las rápidas tasas de crecimiento los bambúes leñosos gigantes se consideran como especies eficaces en la absorción de CO<sub>2</sub>, no solo en la parte aérea sino también en carbono subterráneo como raíces, rizoma y en menor medida, en el carbono orgánico del suelo (INBAR, 2018).

En complemento, Giri *et al* (2015) menciona que la biomasa de bambú, la hojarasca de bambú y el suelo bajo bambú, actúan como sumideros de carbono en un ecosistema forestal, basados en la evidencia de captura y secuestro de cantidades significativas de carbono atmosférico, por lo tanto, ayudar a mitigar el cambio climático, de manera similar a como lo hacen los bosques con árboles.

Con una gestión adecuada, el bambú puede almacenar más carbono, esto es de 200 t C/ha a casi 400 tC/ha, el potencial combinado de secuestro de carbono y reducción de emisiones de

carbono de la reforestación de pastizales degradados con bambú podría alcanzar 175.7 t C/ha - 322 t C / ha de tierra reforestada, o alrededor de 645 - 1182 t CO<sub>2</sub> / ha (INBAR, 2018).

En la región del eje cafetero se evidencia la predominancia de ecosistemas boscosos dominados por la especie guadua, siendo la cobertura boscosa de mayor importancia entre los 900 m y los 2000 msnm (Camargo et al., 2011). Dichos ecosistemas, poseen la capacidad de almacenar considerables cantidades de biomasa, por ende, a través de la fijación y almacenamiento de carbono estos bosques disponen de gran potencial para la mitigación del cambio climático (Arango, 2011).

De acuerdo con Arango (2011), la cantidad de carbono almacenado por una hectárea de guadua en bosques naturales es de 126 toneladas, mientras que para bosques plantados de guadua con ocho años de establecimiento es de 24.6 t/ha de carbono. Por otro lado, Muñoz (2021), estima que los bosques de guadua presentan un promedio de almacenamiento de carbono de 672.3 t C /ha de CO<sub>2</sub> donde el 22% corresponde a la biomasa aérea y el 78 % se encuentra en el suelo.

Por otro lado, Camargo *et al* (2007) establece que, para el departamento de Risaralda, se evidenció un contenido promedio de dióxido de carbono edáfico de 626.8 t/ha a 50 cm de profundidad y 414 t/ha de CO<sub>2</sub> en la parte aérea de la guadua, para un contenido total en los bosques de guadua que puede llegar a 1040 t/ha de CO<sub>2</sub>.

## **4. METODOLOGÍA.**

### **4.1. Estimación del contenido de biomasa en plantaciones de guadua.**

#### ***4.1.1. Área de estudio.***

El estudio fue realizado en dos plantaciones de guadua, establecidas en el año 2002, ubicadas en dos fincas, Nápoles y El Bambusal. Las fincas, Nápoles y El Bambusal, están ubicadas en el municipio de Montenegro, al noroeste del departamento de Quindío. El sitio de la finca Nápoles, estuvo bajo pastos durante más de 30 años antes de la plantación. Mientras que en el Bambusal, había sido una plantación de café durante 20 años. Las elevaciones de ambos sitios fueron de 1200 msnm con precipitación de 2000 mm por año en promedio y una temperatura promedio de 24 ° C (Camargo et al, 2018). En la figura 1, se puede ver la localización de los sitios de estudio.

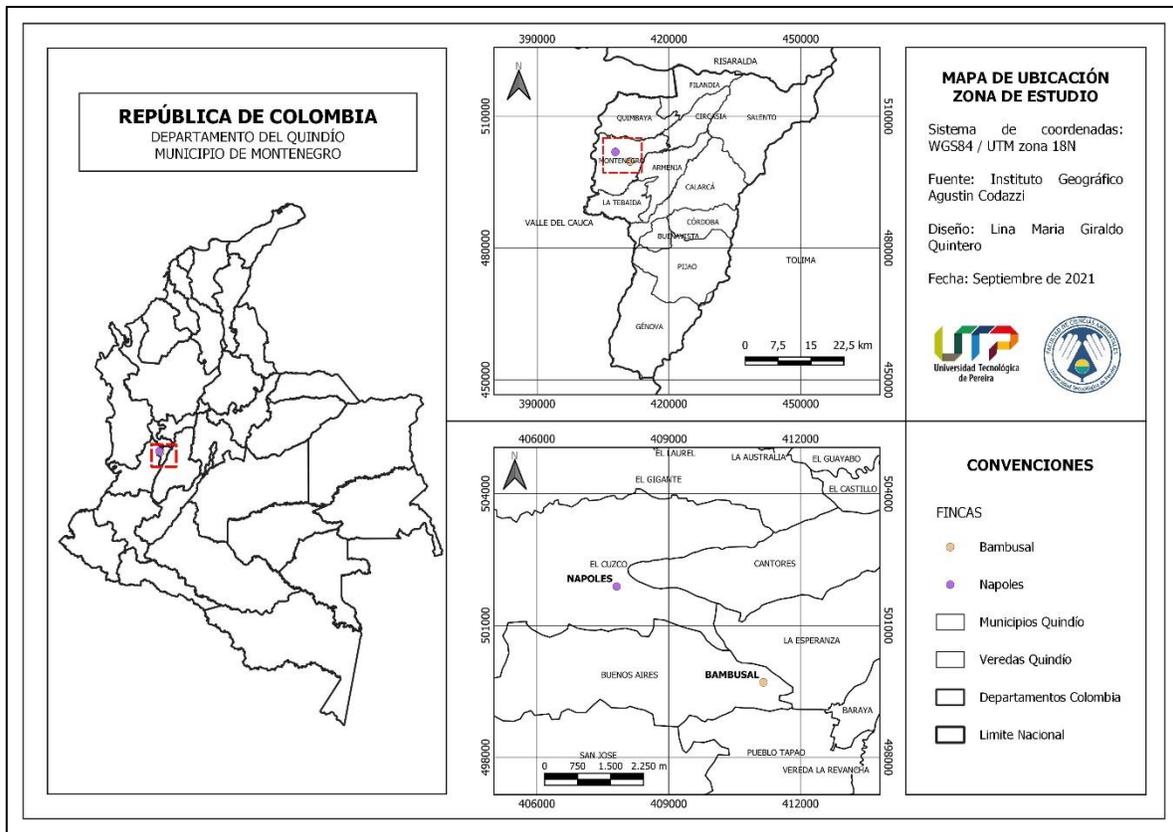


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio, Finca Nápoles y Bambusal. Elaboración propia

#### 4.1.2. Muestreo (Fase de Campo).

En cada plantación, fueron establecidas de forma aleatoria 4 parcelas temporales de forma circular y un área de 50.3 m<sup>2</sup>. Dentro de cada parcela se contabilizaron todos los culmos, se registró el estado de madurez de los mismos y se midió el diámetro en el internudo a la altura del pecho (1.3 m aproximadamente) de 10 de ellos.

Posteriormente, tres culmos completos (con hojas, ramas y culmos), dentro de cada parcela fueron seleccionados para muestreo destructivo. Cada uno de estos fue cortado desde la base y sus partes separadas (hojas, ramas y culmo). El culmo fue dividido en tres partes o secciones, para facilitar su medición y manejo. Cada una de las secciones fue medida (longitud total y diámetro en la mitad de esta) y su peso húmedo (PH) se obtuvo con una báscula. De la misma manera, fueron pesadas las hojas y las ramas.

En cada caso, de las partes (hojas, ramas, piezas de los culmos) se obtuvieron tres muestras de aproximadamente 300 g, las cuales fueron llevadas al laboratorio para el cálculo del contenido de humedad. En cada finca, adicionalmente de uno de los culmos también se extrajo el rizoma, que se pesó completo en húmedo y de este se tomaron tres muestras para el cálculo de contenido de humedad.

Dentro de cada parcela, un marco de PVC de 0.5 m x 0.5 m, fue lanzado aleatoriamente y se recolectó la hojarasca que quedó en su interior, a la cual se le registró el peso húmedo total y se extrajo una muestra para el cálculo de contenido de humedad.

También, en cada parcela se muestrearon raíces finas con un barreno para este fin, con el cual se extrae una muestra a 15 cm de profundidad. El suelo contenido en el cilindro con las raíces, se extrajo y se pesó, para ser enviado al laboratorio. Así mismo, para estimar la densidad aparente del suelo, se usaron cilindros de volumen conocido, con los cuales se tomaron muestras a tres profundidades: 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm. Adicional a esto se tomaron muestras disturbadas de suelo a una profundidad de 0 a 25 cm para evaluar el contenido de carbono orgánico en el laboratorio.

#### ***4.1.3. Análisis de laboratorio.***

Para el cálculo de la biomasa, las muestras de hojarasca, ramas y hojas fueron envueltas en aluminio, con el fin de introducir las en los hornos los cuales tuvieron una temperatura constante de 70°C por 48 horas aproximadamente hasta obtener un peso constante.

Se realizó nuevamente el procedimiento de pesado en este caso del aluminio incluyendo el peso de las muestras.

Para el caso de las raíces finas, la separación se realizó dejando el suelo en remojo durante 24 horas, posteriormente se lavó del suelo con ayuda de tamices. Las raíces, dentro de los tamices son secadas a una temperatura de 70°C por 48 horas. El suelo de los cilindros de volumen conocido también es secado y de la relación de la masa seca respecto al volumen, se obtuvo la densidad aparente.

## **4.2. Estimación del contenido de biomasa y carbono total.**

### ***4.2.1 Cálculo de la biomasa.***

La determinación de la biomasa de las diferentes muestras recolectadas en este caso: hojas, ramas, culmo, rizoma, fue realizada directamente mediante el peso húmedo y seco. Para el cálculo del contenido de humedad en cada una de las muestras se tuvieron en cuenta las siguientes variables:

*Peso fresco (PH):* Peso húmedo encontrado en campo en gramos (g).

*Peso inicial (Pi):* Peso de la muestra o submuestra antes del proceso de secado (g).

*Peso seco (PS):* Peso hallado después del proceso de secado (g).

*Contenido de humedad (CH):*

$$CH = \frac{(Pi - Ps)}{Pi}$$

El contenido de biomasa (B), carbono (C) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) se obtiene a través de los siguientes cálculos:

$$B = PH - (PH \times CH)$$

$$C = B \times 0.47$$

$$CO_2 = C \times \frac{44}{12}$$

La biomasa subterránea se calcula con base en los valores de biomasa de los rizomas y las raíces finas. Luego con el valor de la biomasa total y la biomasa aérea, se calcula un factor de expansión de biomasa para el cálculo de biomasa total (biomasa total / biomasa área).

#### **4.2.2. Determinación del carbono en la hojarasca.**

Para la determinación del carbono presente en la hojarasca se realizaron cálculos a partir del área muestreada con el marco de 0.25 m<sup>2</sup>; en este caso se divide el dióxido de carbono (obtenido con el marco) con el área total en esta caso de 1 hectárea, de acuerdo con esto se establecieron los siguientes factores:

*Am*: Área muestreada con el marco (0.25 m<sup>2</sup>)

*CO<sub>2</sub>t*: Dióxido de carbono total contenido en 1 hectárea (10,000 m<sup>2</sup>)

*CO<sub>2</sub>m*: Dióxido de carbono en la muestra obtenida en el marco de volumen conocido.

*At*: Área total para estimar el valor de CO<sub>2</sub> (1 hectárea) (10,000 m<sup>2</sup>)

$$CO_2t = \frac{At \times CO_2m}{Am}$$

Los valores expresados finales se expresarán en toneladas por hectárea (t/ha) 1 t = 1000 kg.

#### **4.2.3. Estimación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en raíces finas.**

Con relación a la estimación de CO<sub>2</sub> en las raíces finas se tuvo en cuenta la masa total del suelo por hectárea ya que de allí se obtuvieron las raíces finas mediante el proceso de colación del suelo mediante tapices como se mencionó anteriormente, en este sentido se tuvo en cuenta la masa total del suelo de una 1 hectárea de la finca, la densidad aparente del suelo y el volumen del suelo estimado para una hectárea a profundidad de 0.15 como se muestra en la siguiente formula:

*MtS*: Masa total del suelo para una hectárea de la finca (t).

*DA*: Densidad aparente del suelo en g/m<sup>3</sup>

*VS*: Volumen del suelo estimado para una hectárea (100m x 100m) a una profundidad de 0.15 m.

$$MtS = DA \times VS$$

#### **4.3. Estimación del incremento anual de captura de CO<sub>2</sub>**

Para esta estimación se tuvo en cuenta que las mediciones corresponden a plantaciones de guadua establecidas experimentalmente en el año 2002 de la finca Nápoles y Bambusal.

A partir del valor total promedio de CO<sub>2</sub>/ha, calculado para cada sitio y en total considerando el tiempo de establecimiento en este caso 19 años, se hace una estimación de la tasa anual de incremento (CO<sub>2</sub> / ha/ año).

#### **4.4. Estimación del potencial de captura de carbono en zonas de aptitud alta para plantaciones de guadua.**

A partir del estudio “Zonificación detallada del recurso Guadua en el Eje Cafetero, Tolima y Valle del Cauca” (Camargo et al 2007) que fue consolidado en colaboración con la Universidad Tecnológica de Pereira y las corporaciones autónomas regionales del Eje Cafetero, Caldas, Quindío, Tolima y Valle del Cauca y teniendo en cuenta que en el mismo se consideraron factores biofísicos y socioeconómicos, se seleccionaron las áreas de alta aptitud para plantaciones comerciales y para conservación en los departamentos de Risaralda, Quindío y Valle del Cauca.

Luego, los valores de CO<sub>2</sub> estimados en las plantaciones, específicamente el incremento medio anual promedio calculado por hectárea fue extrapolado al área definida de alta aptitud comercial y de conservación.

#### 4.5. Potencial de mitigación del cambio climático de plantaciones de guadua en el Eje Cafetero.

Para la determinación del potencial de mitigación del cambio climático en el Eje cafetero se tuvo en consideración las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) generadas en el año 2012 consignadas en el Inventario Nacional y Departamental de Gases de Efecto Invernadero (IDEAM, 2012) del cual se extrajo información de emisiones de los departamentos de Risaralda, Quindío y Valle del Cauca.

Posteriormente, los valores de captura estimados en las áreas de aptitud comercial alta y conservación para plantaciones de guadua fueron contrastados con los valores de emisión reportados en el documento de inventario en los departamentos de Risaralda, Quindío y Valle del Cauca. Estos valores se obtienen a partir del porcentaje de CO<sub>2</sub> respecto al total de emisiones.

Para ello fue indispensable llevar los valores las mismas unidades en cuanto a captura de CO<sub>2</sub>. En este sentido, los valores fijados por las plantaciones de guadua se presentan en unidades correspondientes a kilotoneladas (kt) de CO<sub>2</sub>. Posteriormente, se representa el potencial de captura de CO<sub>2</sub> por año teniendo en cuenta las emisiones de este GEI en el año 2012 y son contrastados los valores estimados de captura anual de las plantaciones de guadua (absorciones).

### 5. RESULTADOS.

#### 5.1. Características dendrométricas y de masa de las plantaciones.

Las variables medidas durante el muestreo permitieron describir las características de las plantaciones evaluadas. En la tabla 1, se presentan los resultados promedio obtenidos de variables dendrométricas como diámetro y longitud de los culmos y de la masa con la densidad de culmos por hectárea para los dos sitios de estudio. Esa información permite observar la variabilidad entre y dentro de las plantaciones y su posible relación con los valores de biomasa.

Tabla 1. *Diámetro, longitud y densidad de culmos por ha en plantaciones de guadua de 19 años en las fincas Nápoles y Bambusal.*

Sitio de estudio	Culmos / ha	Diámetro (cm)		Longitud (m)
		DAB	DAP	
Finca Nápoles	5173 ±904	9 ±1.2	9.3 ±1.2	16 ±2.6
Finca Bambusal	6416±1141	8.1 ±1.7	8.5 ±1.5	19 ±2.5

Fuente propia. DAB = diámetro basal, medido en la mitad del del primer entrenudo del culmo; DAP = Diámetro medido en la mitad del entrenudo a la altura del pecho (1.3 m), valores después de ± son desviación estándar

## 5.2. Estimación de la biomasa total.

### 5.2.1 Estimación de la Biomasa aérea y subterránea.

La biomasa aérea total para un culmo con hojas y ramas para la finca Nápoles fue de  $20.8 \pm 0.6$  kg y para la finca Bambusal, fue de  $24.3 \pm 9.6$  kg. En ambos casos la mayor cantidad de biomasa se encontró en el culmo. De acuerdo con Anten y Hirose (1998) y King (2003), los cambios en la distribución de la masa, mencionando que esto depende de la disponibilidad de luz y edad de las especies, por otro lado, la distribución de la biomasa puede variar dependiendo el grado de perturbación de los guaduales y densidad de los culmos.

El promedio de biomasa aérea total de los culmos para ambos sitios es de  $22.6 \pm 0.6$  kg.

En la figura 2 se presenta la proporción del contenido promedio de biomasa aérea obtenida de cada uno de los compartimientos en los dos sitios de estudio.

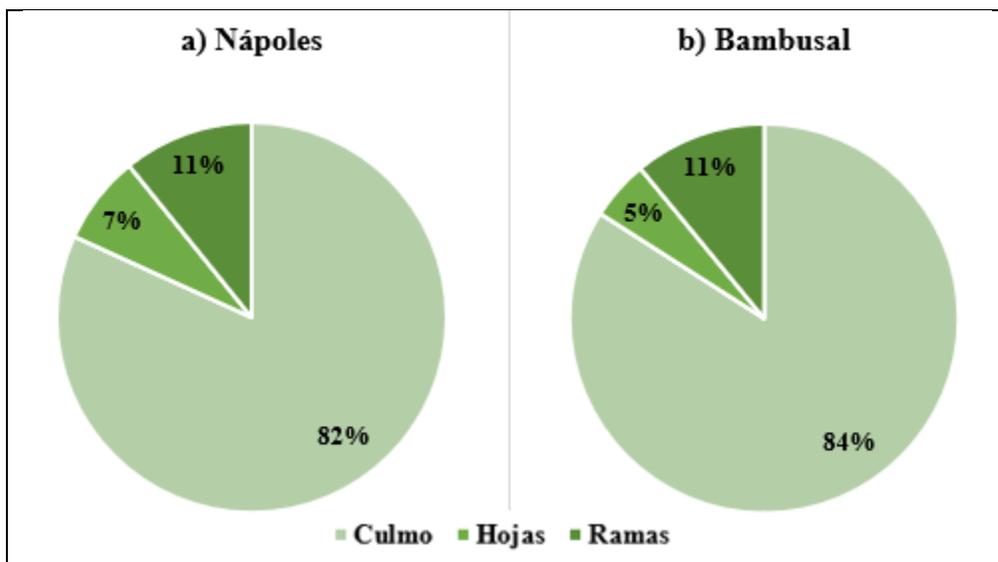


Figura 2. Contenido promedio de biomasa aérea (%) por compartimientos en los sitios de estudio: a) Finca Nápoles y b) Finca Bambusal. Elaboración propia.

Los resultados obtenidos muestran que para la finca Nápoles el total de la biomasa del rizoma fue de  $9,0 \pm 3.3$  kg y para Bambusal de  $10.7 \pm 4.2$  kg. Asimismo, el total en promedio de la biomasa aérea (hojas, ramas, culmo) fue de  $20.8 \pm 0.6$  kg para Nápoles y  $24.3 \pm 9.6$  kg para Bambusal. En la figura 3 se refleja el total de la biomasa subterránea y aérea kg para ambos sitios de estudio:

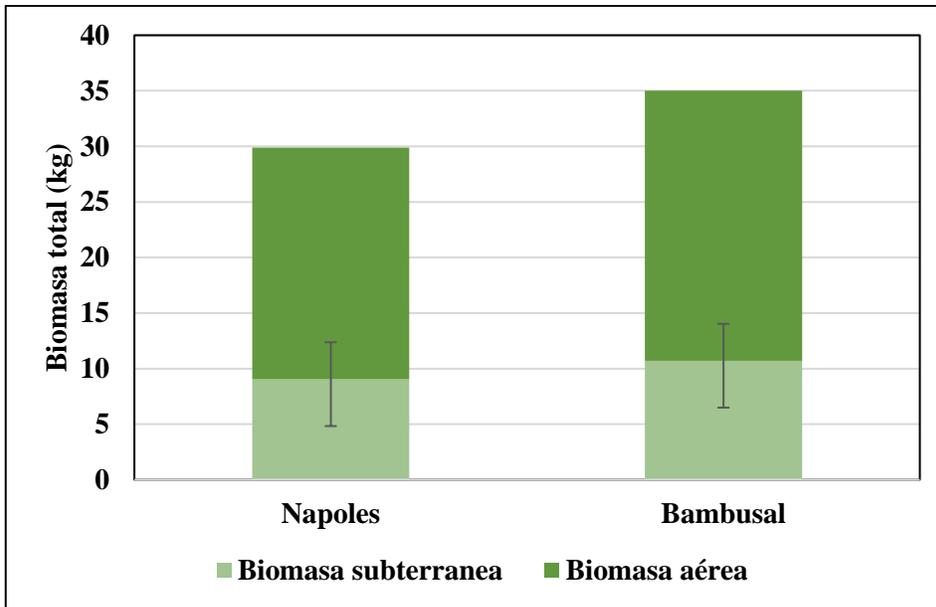


Figura 3. Biomasa total promedio aérea (hojas, ramas, culmo) y biomasa subterránea (rizoma) en kg de plantaciones de Guadua establecidas hace 19 años en la finca Nápoles y Bambusal. Líneas verticales son desviación estándar. Elaboración propia.

Teniendo en cuenta los resultados anteriores, asociados con la biomasa aérea y biomasa subterránea, para la Finca Nápoles se obtuvo un total de biomasa de  $29 \pm 11$  kg y para la Finca Bambusal de  $35 \pm 13.8$  kg, como se muestra en la figura 4.

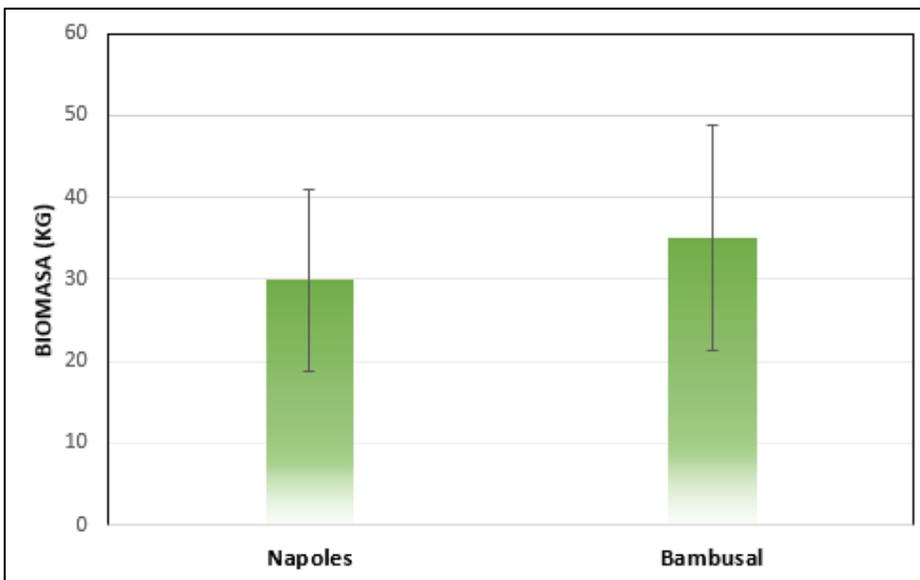


Figura 4. Biomasa total obtenida (kg) con base en la biomasa aérea y subterránea de plantaciones de guadua establecidas hace 19 años en las fincas Nápoles y Bambusal. Elaboración propia.

### 5.3 Estimación del contenido de carbono en la biomasa total de la guadua.

Teniendo en cuenta los valores de biomasa estimados se calculó el promedio de carbono de cada culmo en  $14.2 \pm 5.2$  kg en Nápoles y de  $16.5 \pm 6.5$ . Luego, considerando el valor promedio de culmos por ha en cada plantación, se calculó el equivalente en carbono en t/ha, Así los resultados fueron de  $74.2 \pm 25.4$  en Nápoles y  $104.9 \pm 21.2$  para Bambusal, para un valor promedio de  $89.6 \pm 27.2$  t/ha C. Luego, este valor expresado como CO<sub>2</sub> (dióxido de Carbono equivalente) correspondió a un total promedio de  $328.4 \pm 99.7$  tCO<sub>2</sub>/ha.

A partir de los valores de C / ha por ha, se calculó el CO<sub>2</sub> equivalente fijado en los 19 años para cada plantación, El valor calculado para la plantación en la finca Nápoles fue de  $272.1 \pm 14.3$  y para El Bambusal  $384.7 \pm 77.6$ . El promedio de las dos plantaciones fue de  $328.4 \pm 99.7$  y partir de este valor se estimó una tasa de almacenamiento anual de CO<sub>2</sub> de  $17.3 \pm 5.2$  t CO<sub>2</sub> / año

### 5.4. Estimación del contenido de carbono del ecosistema.

Además del carbono en la biomasa de las plantas de guadua, su contenido estimado para raíces finas, hojarasca y suelo de  $3.6 \pm 2.1$  t C / ha,  $3.0 \pm 1.1$  t C / ha y  $50.2 \pm 6.2$  t C / ha, respectivamente, muestra un aporte importante como sumidero a nivel de ecosistema, que considerando el valor total de C en la biomasa de las plantas de guadua ( $89.6 \pm 27.2$  t C / ha) estos compartimentos almacenan  $57 \pm 7.6$  t C /ha que son el  $40 \pm 7\%$  del carbono total del ecosistema.

En la tabla 2 se presentan los resultados promedio correspondientes de biomasa y carbono almacenado en las raíces finas, la hojarasca y el suelo para ambas plantaciones se calculó el valor total de CO<sub>2</sub> equivalente almacenado en el ecosistema.

Tabla 2. Estimación del contenido de biomasa y carbono de raíces, finas, hojarasca y suelo de plantaciones de Guadua establecidas hace 19 años en las fincas Nápoles y Bambusal.

Plantación	Carbono t / ha					CO <sub>2</sub> t / ha Ecosistema
	Raíces finas	Hojarasca	Suelo	Guadua	Ecosistema	
Finca Nápoles	$3.1 \pm 1.1$	$2.7 \pm 1.0$	$45.5 \pm 1.5$	$74.2 \pm 25.4$	$125.6 \pm 28.4$	537 ± 118
Finca Bambusal	$4.2 \pm 2.9$	$3.4 \pm 1.2$	$54.9 \pm 5.3$	$104.9 \pm 21.2$	$167.4 \pm 21$	

Fuente propia.

## 5.5. Definición del área de establecimiento de plantaciones de guadua y del potencial para mitigación del cambio.

Con base en el estudio de Zonificación detallada del recurso Guadua en el Eje Cafetero, Tolima y Valle del Cauca” (2007), se tuvieron en cuenta aquellos departamentos donde se presentó información más detallada y también donde las características biofísicas y socioeconómicas tenían mayor similitud con el área donde se establecieron las plantaciones de forma experimental. De esta manera, aunque la extrapolación es solamente una aproximación al potencial, los resultados pueden tener mayor consistencia y posibilidades para que los procesos en este sentido se puedan materializar.

Por lo anterior, los departamentos de Risaralda, Quindío y Valle del Cauca y dentro de ellos, aquellas áreas definidas como de alta aptitud para establecimiento de guaduales comerciales y de conservación, fueron consideradas para la extrapolación.

En la tabla 3 se presentan las áreas seleccionadas que corresponden a los departamentos de Risaralda, Quindío y Valle del Cauca y definidas dentro de la aptitud alta para plantaciones comerciales y conservación. El área total susceptible de ser incluida para el establecimiento de plantaciones de guadua con fines de conservación sería de 363,265.

Tabla 3. Zonas de alta aptitud para plantaciones de guadua para fines comerciales y de conservación propuesta para el establecimiento con fines de mitigación del cambio climático.

Departamento	Zonas de aptitud alta para plantaciones comerciales (ha)	Proporción respecto al área total departamental (%)	Zonas de aptitud alta para guaduales de conservación (ha)	Proporción respecto al área total departamental (%)
<i>Risaralda</i>	30,886	8.6	31,264	8.7
<i>Quindío</i>	47,032	24.4	7,829	4.1
<i>Valle del Cauca</i>	20,089	0.97	226,165	1.1
<b>Total</b>	98,007		265,258	

Fuente: Camargo et al. (2007)

Teniendo en cuenta las áreas potenciales definidas para el establecimiento de plantaciones de guadua y el valor medio de incremento anual en CO<sub>2</sub> fijado, se estableció para cada departamento el potencial de captura anual de dióxido de carbono (Tabla 4). Este valor es expresado en kilo toneladas (kt), unidad que se emplea en el inventario de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Es importante también destacar que el total en 19 años que podrían almacenar estas áreas si estuvieran bajo plantaciones de guadua sería de 119,298.8 kt CO<sub>2</sub>.

Tabla 4. Estimación del potencial de CO<sub>2</sub> almacenado anualmente por plantaciones de guadua, en departamentos de la zona cafetera de Colombia para zonas de aptitud alta para plantaciones comerciales y conservación.

Departamento	CO <sub>2</sub> kt / año		
	Zonas de aptitud alta para plantaciones comerciales	Zonas de aptitud alta para guaduales de conservación	Total
Risaralda	533.9	540.4	1,074.2
Quindío	812.9	135.3	948.2
Valle del Cauca	347.2	3,909.2	4.256.4
<b>Total</b>	<b>1,694</b>	<b>4,584.9</b>	<b>6,257.9</b>

Fuente: Propia.

## 5.6. Potencial de mitigación del cambio climático de plantaciones de guadua en el Eje Cafetero. Risaralda, Quindío y Valle del Cauca

Para definir el potencial de mitigación del cambio climático de las plantaciones de guadua en los departamentos de Risaralda, Quindío y Valle del Cauca, los valores de emisiones de GEI reportados por el IDEAM *et al* (2012) se contrastaron con los valores de captura anual de las plantaciones de guadua, que para este propósito se consideraron absorciones de CO<sub>2</sub>.

El departamento del Valle del Cauca es el que presenta mayores emisiones de CO<sub>2</sub> y por el área que podría ser usada por plantaciones de guadua, también los valores más altos de absorción, sin embargo, solamente el 34% de las emisiones podrían ser mitigadas con las plantaciones guadua. Para los departamentos de Risaralda y Quindío, las absorciones podrían mitigar el 88% y 100%, respectivamente de las emisiones anuales de CO<sub>2</sub> (Tabla 5).

Tabla 5. Balance entre emisiones y absorciones de CO<sub>2</sub>, de acuerdo con el inventario de GEI del año 2012 y la fijación anual estimada de plantaciones de guadua en Risaralda, Quindío y Valle del Cauca..

Departamento	kt CO <sub>2</sub> año			Proporción Mitigada (%)
	Emisiones	Absorciones	Balance	
Risaralda	1,216.7	1,074.2	-142,4	88.3
Quindío	941.3	948.2	6,9	100.7
Valle del Cauca	12,393.7	4.256.4	-8.137,3	34.3
<b>Total</b>	<b>14,551.7</b>	<b>6,257.9</b>	<b>-8.272,8</b>	<b>43.1</b>

Fuente: Propia.

## 6. DISCUSIÓN.

Los valores de densidad de culmos por hectárea, se encuentran dentro del rango de valores reportados en la literatura (pe. Camargo 2006) para bosques de guadua naturales. Las variables que describen crecimiento como el diámetro y la longitud de los culmos, para en ambas plantaciones, aún están por debajo de valores antes registrados para bosques naturales

(pe. Camargo 2006, Kleinn y Morales, 2006. Esto implica, por lo tanto, que las plantaciones no han alcanzado su crecimiento máximo, lo que tendría implicaciones en el aumento en la biomasa y carbono. Por otro lado, las diferencias en el contenido de biomasa y carbono entre las plantaciones están relacionadas también en las variables que describen el crecimiento, las cuales se ven afectadas por las condiciones del sitio al momento de establecimiento de las plantaciones. Como lo indica por ejemplo Camargo *et al* 2018.

El equivalente de carbono fijado en 19 años para Nápoles es de  $272.1 \pm 14.3$  tCO<sub>2</sub> y para Bambusal de  $384.7 \pm 77.6$  t CO<sub>2</sub>, estos valores resultan superiores en comparación con lo reportado por Arango (2011) en plantaciones de 7 a 8 años de establecimiento, evidenciando el incremento de absorción de CO<sub>2</sub> en plantaciones con mayor edad, seguramente asociados con su crecimiento.

Como ecosistema los valores de carbono almacenado son similares a los reportados por Arias *et al.* (2009) para sistemas silvopastoriles y mayores que en sistemas agroforestales con café como los registrados por Cerda *et al* (2017).

En cuanto a la posibilidad de mitigación de cambio climático que tienen las plantaciones se logra demostrar que la guadua tiene un potencial de captura de CO<sub>2</sub> mayor en los departamentos de Risaralda y Quindío con una capacidad de absorción del 88% y 100% de las emisiones respectivamente, contrario al caso del Valle del Cauca, donde las plantaciones de guadua podrían absorber el 34% lo que resulta menos significativo para un departamento con mayor extensión. Pero esencial para departamentos pequeños como Quindío y Risaralda.

Por otro lado, considerando el porcentaje de absorción de los departamentos del Risaralda y Quindío se puede afirmar que las zonas de alta aptitud destinadas para plantaciones comerciales están contribuyendo significativamente al almacenamiento de carbono en la región, puesto que la comercialización de productos derivados de la guadua garantiza que el carbono permanezca almacenado por largos periodos de tiempo disminuyendo la presencia de CO<sub>2</sub> generando un impacto ambiental positivo (Arango, 2011).

La posibilidad de mitigación que tienen las plantaciones de acuerdo con los valores extrapolados, muestran que aquellas áreas definidas para plantaciones de conservación pueden tener un mayor aporte debido a su extensión. Y la contribución en general resulta importante, con menos impacto en un departamento grande con el Valle del Cauca y donde las emisiones son mayores, pero donde la proporción de área destinada a este propósito sería menor al 1% del área total departamental. Los resultados de este trabajo muestran una posibilidad interesante como opción para materializar estrategias de mitigación del cambio climático, plasmados en la agenda nacional y global para este propósito.

## **7. CONCLUSIONES.**

- De acuerdo con los valores estimados de almacenamiento de carbono en la biomasa de 328.4 ( $\pm 99.7$ ) tCO<sub>2</sub>, las plantaciones representan una opción real para la mitigación que podría ser promovida dado la predominancia de esta especie en la región y del conocimiento que se tiene de la misma. Así mismo, los valores encontrados para el ecosistema de 537 ( $\pm 118$ ) tCO<sub>2</sub>/ha, resultan relevantes y muestran que otros sumideros asociados potencian esta función de mitigación. Se resalta, que el hecho de que el diámetro y la longitud, aún muestran valores por debajo del promedio de bosques de guadua maduros, implicaría la posibilidad de alcanzar mayores valores de almacenamiento en los próximos años.
- Cuando los valores de CO<sub>2</sub> fueron extrapolados a las áreas con mejores posibilidades para establecer plantaciones, estos valores, representarían la posibilidad de mitigar el 88% de las emisiones totales anuales de Risaralda, 100% del Quindío y 34% del Valle del Cauca. Estos resultados muestran la importancia de la promoción de plantaciones de guadua como una alternativa para la mitigación del cambio climático, logro que se alcanzaría en todos los casos con menos del 10% del área total departamental dedicado plantaciones de guadua.

## **8. RECOMENDACIONES.**

- La región del Eje cafetero es idónea para establecer una gestión en torno al recurso guadua, que no solo brinde posibilidades de desarrollo económico para las comunidades, sino también que genere un impacto ambiental positivo reduciendo y mitigando las consecuencias del cambio climático a través del almacenamiento y fijación de carbono en la biomasa de dichas plantaciones de Guadua.
- El CO<sub>2</sub> es el GEI que aporta la mayoría de las emisiones a la atmosfera en toda la región, por tanto, es importante que con el reconocimiento de esta función ecológica de los guaduales se pueda generar establecimiento de nuevas plantaciones asimismo una gestión y manejo adecuado de las plantaciones, con la finalidad de aumentar la capacidad de absorción de CO<sub>2</sub> de estos ecosistemas en el Eje Cafetero.
- La información existente sobre las zonas de alta aptitud de la tierra para el establecimiento de plantaciones, genera un punto de partida para análisis y evaluaciones futuras hacia la promoción de proyectos en la región que fomenten la comercialización y conservación de este recurso como estrategia de contribución a la mitigación del cambio climático.

## 9. BIBLIOGRAFÍA.

Naciones Unidas. Acuerdo de Paris. 2015. Recuperado de: <https://unfccc.int/es/process-and-meetings/the-paris-agreement/el-acuerdo-de-paris>

Arango, M. A. 2011. Posibilidades de la Guadua para la Mitigación del Cambio Climático. Universidad Tecnológica de Pereira.

Arias, L.M., J.C. Camargo, M.A. Dossman, M.A. Echeverry, and J.A. Rodriguez. 2009. Estimación de biomasa aérea y desarrollo de modelos alométricos para *Leucaena leucocephala* en sistemas silvopastoriles de alta densidad en el valle del Cauca, Colombia. *Recur. Nat. y Ambient.* (58): 32–39

Anten, NP; Hirose, T. 1998. Biomass allocation and light partitioning among dominant and subordinate individuals in *Xanthium canadense* stands. *Annals of Botany* 82: 665-673.

Global Carbon Atlas. 2020. Recuperado de: <http://www.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions>.

Camargo, J.C. et al. 2007. Zonificación del recurso Guadua en el Eje Cafetero, Tolima y Valle del Cauca.

Camargo, J.C., J.A. Rodríguez, and A.M. Arango. 2010. Crecimiento y fijación de carbono en una plantación de guadua en la zona cafetera de Colombia. *Recur. Nat. y Ambient.* (61): 86–94.

Camargo, J.C. et al. 2018. Bamboo for land restoration. Drawing recommendations and best practices from case studies where bamboo has been used for land restoration: China, Colombia, Ghana, India, Nepal, South Africa, Tanzania and Thailand.

Camargo, J.C. Long, T. 2020. Assessment of Ecosystem Services from Bamboo-dominated Natural Forests in the Coffee Region, Colombia

Camargo JC. Growth and productivity of the bamboo species *Guadua angustifolia* Kunth in the coffee region on Colombia. Tesis Doctoral. Universidad de Göttingen, Alemania.

Castañeda, A., Vargas, J., Gómez, A., Valdez, J., & Vaquera, H. (2005). Acumulación de carbono en la biomasa aérea en una plantación de *Bambusa oldhamii*. *Agrociencia*, 30(1), 107-113.

Cerda, R., C. Allinne, C. Gary, P. Tixier, C.A. Harvey, et al. 2017. Effects of shade, altitude and management on multiple ecosystem services in coffee agroecosystems. *Eur. J. Agron.* 82: 308–319. doi: 10.1016/j.eja.2016.09.019.

Chen, XG, Zhang, XQ, Zhang, YP, Booth, T. y He, XH 2009. Cambios en las existencias de carbono en los rodales de bambú en China durante 100 años. *Para. Ecol. Gestionar.*258 (7): 1489–1496. doi: 10.1016

Domínguez, R y otros, Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad: 70 años de pensamiento de la CEPAL, Libros de la CEPAL, N° 158 (LC/PUB.2019/18-P), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2019.

Duque, A., Peña, M.A., Cuesta, F. et al. 2021. Mature Andean forests as globally important carbon sinks and future carbon refuges. *Nat Commun* 12, 2138

FAO. 2021. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020 - Informe principal. Roma. <https://doi.org/10.4060/ca9825es>

Friedlingstein, P. Matthew, J. Sullivan, M. et al. 2020. Global Carbon Budget 2020.

Fonseca, W., and M. Rojas. 2016. Acumulación y predicción de biomasa y carbono en plantaciones de bambú en Costa Rica. *Ambient. y Desarro.* 20(38): 85–98

Giri, Krishna. Mishra Gaurav. Kumar Rajesh. Pandey Shailesh. 2015. Role of Bamboo Forests in Carbon Sequestration and Climate Change Mitigation. India.

IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERIA. 2016. Inventario nacional y departamental de Gases Efecto Invernadero – Colombia. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERIA, FMAM. Bogotá D.C. Colombia.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2016. Informe especial de inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Sexto ciclo de evaluación.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2020. Informe especial del IPCC sobre el cambio climático, la desertificación, la degradación de las tierras, la gestión sostenible de las tierras, la seguridad alimentaria y los flujos de gases de efecto invernadero en los ecosistemas terrestres.

International Bamboo and Rattan Organization, 2018. Carbon sequestration and carbon emissions reduction through bamboo forests and products. Beijing.

King, DA. 2003. Allocation of above-ground growth is related to light in temperate deciduous saplings. *Functional Ecology* 17: 482-488.

Kleinn, C. & Morales, D. (2006). An inventory of *Guadua (Guadua angustifolia)* bamboo in the Coffee Region of Colombia. *European Journal of Forest Research* 125 (4): 361-368p.

Lobovikov M, Schoene D, Lou YP (2012) Bamboo in climate change and rural livelihoods. *Mitigat Adapt Strateg Global Change* 17(3):261–276.

Londoño, X. (2011). El bambú en Colombia. *Biotecnología Vegetal*, 11(3). Recuperado de: <https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/485/882>.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2011. Proyecto Nacional Piloto de Adaptación (INAP).

Ministerio de ambiente. 2020. Mitigación de Gases de Efecto Invernadero - GEI. Colombia.

Muñoz-López J, Camargo-García JC, Romero-Ladino C. 2021. Valuation of ecosystem services of guadua bamboo (*Guadua angustifolia*) forest in the southwestern of Pereira, Colombia. *Caldasia* 43(1):186–196.

ONU. (2019). El mundo debe reducir las emisiones anuales. Recuperado de: [https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/el-mundo-debe-reducir-las-emisiones-76-anual-en-la?\\_ga=2.34744993.1869245933.1633822330-885521305.1618439311](https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/el-mundo-debe-reducir-las-emisiones-76-anual-en-la?_ga=2.34744993.1869245933.1633822330-885521305.1618439311).

Quiroga Rojas, R., L. Tracey, G. Lora, and L.E. Andersen. 2013. Measurement of the Carbon Sequestration Potential of *Guadua angustifolia* in the Carrasco National Park, Bolivia A Measurement of the Carbon Sequestration Potential of G. La Paz

Riaño, N., X. Londoño, Y. López, and J.H. Gómez. 2002. Plant growth and biomass distribution on *Guadua angustifolia* Kunth in relation to ageing in the Valle del Cauca – Colombia. *J. Am. Bamboo Soc.* 1(16): 43–51.

Rubio, A. 2021. El papel de los bosques como sumideros de carbono. Recuperado de: [https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/papel-bosques-como-sumideros-carbono-2\\_16715](https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/papel-bosques-como-sumideros-carbono-2_16715).

Singnar, P., G.W. Sileshi, A. Nath, A.J. Nath, and A.K. Das. 2021. Modelling the scaling of belowground biomass with aboveground biomass in tropical bamboos

World Wildlife Fund (WWF). 2015. ¿ Que es la REDD + y a donde se dirige?. Recuperado de: [https://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/wwf\\_redd\\_report\\_esp.pdf](https://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/wwf_redd_report_esp.pdf).

Xinzhang Song, Guomo Zhou, Hong Jiang. 2011. Carbon sequestration by Chinese bamboo forests and their ecological benefits: assessment of potential, problems, and future challenges. *Reinar. Rev.* Vol. 19 de 2011.

Yen, T. M., & Lee, J. S. (2011). Comparing aboveground carbon sequestration between moso bamboo (*Phyllostachys heterocycla*) and China fir (*Cunninghamia lanceolata*) forests based on the allometric model. *Forest Ecology and Management*, 261, 995- 1002. DOI: 10.1016/j.foreco.2010.12.015

Yiping, L., L. Yanxia, K. Buckingham, G. Henley, and Z. Guomo. 2010. Bamboo and climate change mitigation. Beijing.

