

CARBON STORAGE VARIABILITY IN *Guadua angustifolia* Kunth FORESTS IN THE COLOMBIAN COFFEE REGION

VARIABILIDAD DEL CONTENIDO DE CARBONO EN BOSQUES DE *Guadua angustifolia* Kunth DEL EJE CAFETERO COLOMBIANO

AGUIRRE, H. D. ¹; CRIOLLO, C. M.²; CAMARGO, J. C. ³

¹Diego Alejandro Aguirre Hernández, Administrador Ambiental, Universidad Tecnológica de Pereira, alejandro.44.da@utp.edu.co, <https://orcid.org/0000-0003-4800-0280>

²Manuel Criollo Correa, Administrador Ambiental, Universidad Tecnológica de Pereira, manuel.criollo@utp.edu.co, <https://orcid.org/0000-0002-2398-8694>

³Ph. D. Juan Carlos Camargo García, Profesor Titular, Programa de Administración Ambiental, Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. jupipe@utp.edu.co, <https://orcid.org/0000-0002-3325-0810>

Entidad

Universidad Tecnológica de Pereira, Risaralda, Colombia.

Tel: + 57 (606) 3137343, Fax: +57 (606) 3137343

E-mail: alejandro.44.da@utp.edu.co

Recibido: 25/01/2023 / Aceptado: 28/05/2023

Resumen

Este estudio busca contribuir a la solución de interrogantes ambientales, a través de la estimación del contenido de carbono que almacenan los bosques de *Guadua angustifolia* Kunth (guadua) en la región cafetera colombiana. Para esto se utilizó información colectada en 33 bosques de guadua, a la cual se le evaluó el contenido de carbono en la biomasa, considerando condiciones de sitio y características asociadas con el manejo. El contenido de carbono en la biomasa tendió a incrementar significativamente ($p < 0.05$) cuando aumentó la densidad de culmos por ha, pendiente, temperatura y precipitación. Estos cambios se expresaron en un rango de variación del contenido de carbono en la biomasa entre 18 t.ha⁻¹ a 260 t.ha⁻¹ y 108 t.ha (±63t) en promedio. Aquí se evidenció que estos bosques son importantes sumideros de carbono, comparables con otros ecosistemas boscosos tropicales y tienen potencial para implementar estrategias de mitigación ante el cambio climático.

Palabras claves: Biomasa; Condiciones de sitio; Efecto invernadero; Manejo; Cambio Climático.

Abstract

This study seeks to contribute to the solution of environmental questions, through the estimation of the carbon content stored in the forests of *Guadua angustifolia* Kunth (guadua) in the Colombian coffee region. For this, information collected in 33 guadua forests was used, to which the carbon content in the biomass was evaluated, considering site conditions and characteristics associated with management. The carbon content in the biomass tended to increase significantly ($p < 0.05$) when the density of culms per ha, slope, temperature and precipitation increased. These

changes were expressed in a range of variation of carbon content in biomass between 18 t.ha⁻¹ to 260 t.ha⁻¹ and 108 t.ha (±63t) on average. Here it was evidenced that these forests are important carbon sinks, comparable with other tropical forest ecosystems and have the potential to implement mitigation strategies in the face of climate change.

Keywords: Biomass; Site conditions; Greenhouse effect; Management; Climate change.

1. INTRODUCCIÓN

Para la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura -FAO- (2016), los bosques brindan diversos servicios ecosistémicos, entre ellos su capacidad de actuar como sumideros de carbono, condición que se soporta en la última evaluación mundial de recursos forestales, en la cual se registra que el carbono almacenado en la biomasa aérea y subterránea de los bosques es de 296 Gt CO₂ año⁻¹. Entre 2011 y 2015 los bosques del mundo lograron una reducción neta promedio de 2.1 Gt CO₂ año⁻¹. Sin embargo, en el mismo periodo la conversión de áreas boscosas hacia otros usos representó 2.9 Gt CO₂ año⁻¹ (Federici *et al.*, 2015; Camargo *et al.*, 2022) resultando en un balance negativo. Esta pérdida y degradación de bosques se ha concentrado en los últimos años en países tropicales (FAO, 2016).

La capacidad de almacenamiento y fijación de carbono de los ecosistemas boscosos cambia de acuerdo con las condiciones ecológicas donde se presentan y los valores a nivel regional decrecen en relación con la pérdida de cobertura boscosa o con el aumento de la misma (Köhl *et al.*, 2015).

En Colombia la deforestación ha avanzado de manera acelerada en los últimos años; de acuerdo con el Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales - IDEAM- (2019). La deforestación en el país para los periodos 1990 a 2000, 2005

a 2010, 2014 a 2015 y 2017 a 2018 fue de 265 446 ha año⁻¹, 281 974 ha. año⁻¹, 124 035 ha. año⁻¹ y de 197 159 ha. año⁻¹, respectivamente. Estos cambios representan emisiones de CO₂ a la atmósfera asociados a la pérdida de cobertura boscosa o como se denomina en el contexto de cambio climático cambio de uso de la tierra (Le Quéré *et al.*, 2018).

Las especies de bambú, que pertenecen a la familia de las poáceas o gramíneas, son productos no maderables del bosque que han sido clasificados como productos forestales e incluidos en la normatividad de la misma manera (Buckingham *et al.*, 2014; Bonilla *et al.*, 2022).

La región del eje cafetero de Colombia está ubicada en la región andina en el centro occidente del país y en el gradiente altitudinal entre 900 y 2000 metros sobre el nivel medio del mar (msnm), los ecosistemas boscosos predominantes tienen una alta presencia de la especie *Guadua angustifolia* Kunth (guadua) (Arango y Camargo, 2012) y de acuerdo al último inventario realizado se estimó una cobertura en esta región de aproximadamente 28 000 ha (Kleinn y Morales, 2006). Estos bosques son nativos, principalmente, y han sido usados para la obtención de materia prima para diferentes aplicaciones (Arango y Camargo, 2012; Perpiñán *et al.*, 2022).

Algunos estudios que han evaluado los bosques de guadua con enfoque en ecología de paisaje han definido que están

altamente fragmentados (Camargo y Cardona, 2005). De hecho, esta condición se refleja en el de tamaño de los fragmentos encontrado por Kleinn y Morales (2006) entre 0.3 y 43.7 ha. Actualmente, se evidencia una disminución en las áreas de estos bosques debido a la expansión de la agricultura y zonas urbanas (Aguirre, 2017; Araujo & Rivera, 2020).

A pesar de estar fragmentados y amenazados por la deforestación, estos bosques cumplen un papel muy importante en la provisión de servicios ecosistémicos (Muñoz *et al*, 2017) y, por lo tanto, su conservación resulta estratégica.

Las especies de bambú pueden almacenar cantidades importantes de carbono en su biomasa, pero su capacidad depende de factores como el clima, el suelo y de características propias de cada especie y asociadas con características intrínsecas de cada rodal (Yuen *et al*, 2017). En el caso de la guadua, también han sido evidenciados el efecto de factores tales como la edad de los culmos (Aguirre *et al*, 2018; Villamizar *et al.*, 2019; Ortiz *et al.*, 2022).

Teniendo en cuenta que los bosques de guadua representan ecosistemas boscosos importantes para la región del eje cafetero de Colombia, este estudio tuvo como propósito conocer su capacidad de almacenamiento de carbono y los factores que la pueden afectar, teniendo en cuenta condiciones de sitio y de manejo.

2. METODOLOGIA

2.1 Efecto de la edad sobre el contenido de carbono de los culmos

Para la evaluación del efecto de la edad de los culmos sobre el contenido de carbono, la información fue recolectada en dos sitios ubicados en el municipio de Pereira. El primero, fue el Jardín Botánico de la Universidad Tecnológica de Pereira que presenta 7 ha de bosques de guadua. Este sitio, se encuentra a 1450 msnm, con condiciones climáticas de precipitación acumulada anual de 2210 mm, temperatura de 20 °C promedio anual y suelos andisoles (Maya *et al*, 2017).

El segundo sitio, fue la finca Yarima, con 24.8 ha de bosques de guadua, ubicada a 1150 msnm, con precipitación acumulada anual y temperatura promedio anual de 2262 mm y 24°C respectivamente, con suelos que corresponden principalmente al orden de los inceptisoles (Maya *et al*, 2017; Olivares *et al.*, 2019).

En las zonas de estudio, se colectó información de parcelas permanentes de 100 m², en las cuales previamente se había llevado un proceso de marcado de culmos de diferentes edades. Se colectaron 24 culmos en el jardín botánico, con 4 réplicas por edad desde 1 a 6 años. En la finca Yarima se colectaron 18 culmos con 3 réplicas por edad de 1 a 6 años.

A partir de esta toma de muestras se procedió a estimar la biomasa, el volumen neto de los culmos y la densidad media de la madera de guadua la cual se calculó siguiendo la norma ISO-TR (2004) (International Organization for Standardization, 2004; Gutiérrez *et al.*, 2022). A partir del volumen neto y la densidad media se calculó la masa de

cada culmo y con el factor 0.5 que representa la fracción aproximada de carbono en la biomasa (International Panel on Climate Change, 2006) se estimó el carbono almacenado en el culmo. Luego el valor de biomasa total se calculó usando un factor de expansión de 1.2 con base en el trabajo de Arango (2011).

La extrapolación a valores por hectárea fue realizada teniendo en cuenta la densidad total de culmos.ha⁻¹ en cada sitio. Con los datos de los 33 sitios se realizó el mismo cálculo con la respectiva información de volumen, densidad y número total de culmos.ha⁻¹. Teniendo en cuenta que no hubo aleatorización para elegir los culmos muestreados, los valores de carbono, de acuerdo con la edad, fueron comparados mediante la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis.

2.2 Cambios en el carbono de acuerdo al sitio y el manejo

Para evaluar el efecto de los factores de sitio y de manejo, se tuvo acceso a una base de datos que contenía inventarios de bosques de guadua en 33 sitios ubicados entre los 912 msnm y 2142 msnm en el Eje Cafetero colombiano (Camargo, 2006). En este sentido, se obtuvo información de bosques de guadua presentes en los municipios de: Cartago, Viterbo, Anserma, Calarcá, Pereira, Belalcázar, Quimbaya, Palestina, Quebrada Negra, Santa Rosa, Salento, Marsella, Sevilla y Villa María., incluyendo también el Jardín Botánico y la finca Yarima.

Posteriormente, mediante análisis de correlación, se buscaron relaciones entre variables de sitio y el contenido de carbono. Las variables incluidas en este análisis fueron la temperatura, la

pendiente, el brillo solar, la precipitación, la elevación y la posición en el relieve. Este análisis se llevó a cabo, también, considerando la densidad total de culmos y la intensidad de cosecha, como variables de los bosques de guadua que se asocian al manejo. De otro lado, el carbono entre bosques en diferentes posiciones topográficas se comparó mediante la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis. Para todos los análisis se utilizó el software Infostat (Rienzo *et al*, 2011).

Finalmente, con el propósito de evidenciar la variabilidad espacial del contenido de carbono, se generó un mapa de calor con los valores registrados en los 33 sitios analizados incluidos en el Eje Cafetero Colombiano. Este procedimiento se realizó con las herramientas de Google Maps y Google Fusión (Google, 2005).

3. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 Efecto de la edad sobre el contenido de carbono de los culmos

En los sitios donde se evaluó el efecto de la edad sobre el contenido de carbono, el valor medio fue de 4.1 kg ± 1.1, siendo ligeramente mayor en los culmos del Jardín Botánico (4.2 ± 0.59 vs 3.9 kg ± 1.6). En ambos sitios, la edad de los culmos no mostró incidir significativamente ($p > 0.05$) en el contenido de carbono; no obstante, se observó una tendencia al incremento con la edad y una alta variabilidad (Figura 1).

3.2 Cambios en el carbono de acuerdo al sitio y el manejo

Los análisis de correlación mostraron relaciones significativas ($p < 0.05$) del contenido de carbono con el brillo solar

($R= 0.78$), la pendiente ($R= 0.6$) y la temperatura ($R= 0.63$). En todos los casos, a medida que aumentaron los valores de las variables, se observó una tendencia al incremento. Para la posición topográfica, no se encontraron diferencias significativas ($p>0.05$) aunque el promedio fue mayor en las laderas (Figura 2).

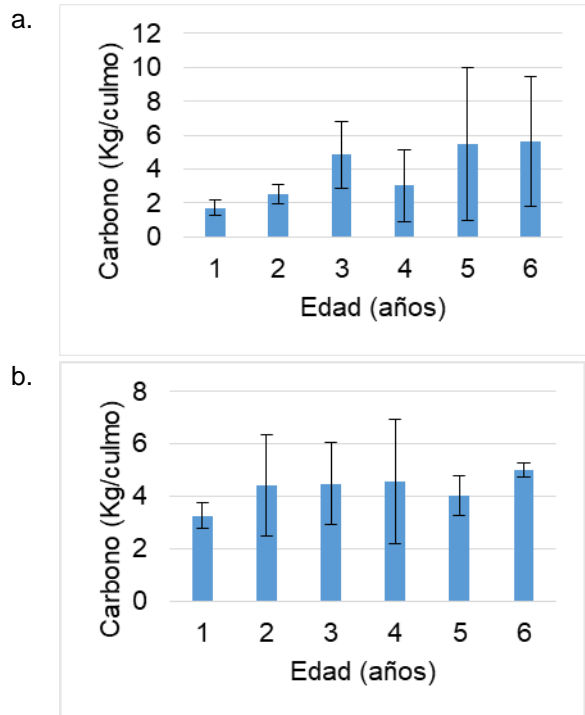


Figura 1. Contenido medio de carbono en culmos de *Guadua angustifolia* de diferentes edades. a) Jardín Botánico, Universidad Tecnológica de Pereira y b) Finca Yarima. Líneas verticales sobre las barras hacen referencia a la desviación estándar. **Fuente:** Autores.

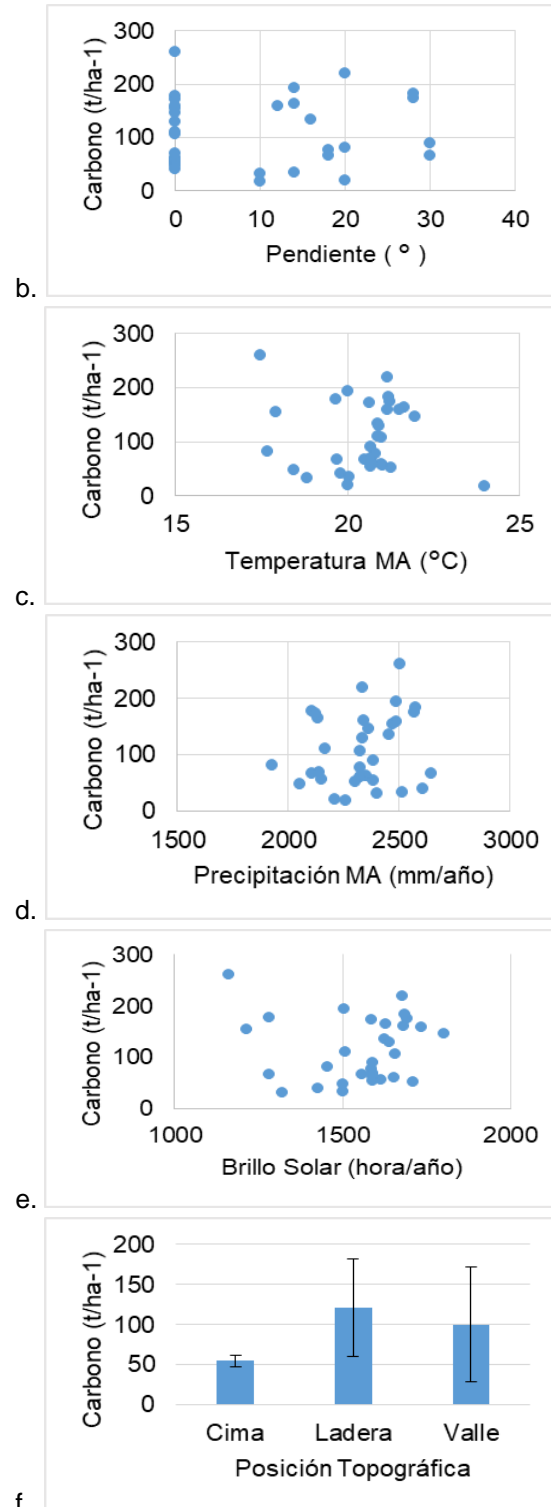
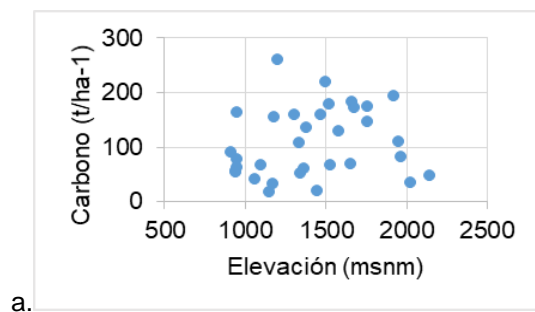


Figura 2. Contenido de carbono total en toneladas por hectárea (t. ha-1) de bosques de guadua del eje cafetero de Colombia de acuerdo a: a) La elevación en metros sobre el nivel del mar (msnm), b) La pendiente en grados ($^{\circ}$), c) Temperatura media anual en

grados Celsius (°C), d) Precipitación media anual en milímetros al año (mm. año-1), e) Brillo solar en horas al año (hora. año-1) y f) Posición topográfica. **Fuente:** Autores.

Así mismo, cuando se evaluó la biomasa y las variables relacionadas con el manejo (número de culmos por hectárea e intensidad de aprovechamiento), se encontraron correlaciones significativas ($p < 0.05$) entre el contenido de carbono con la densidad de culmos y la intensidad de cosecha. En este caso, la densidad de culmos. ha-1 incrementa el carbono almacenado ($R = 0.65$), mientras que, a mayor intensidad de cosecha, el carbono tendió a disminuir ($R = 0.21$; Figura 3).

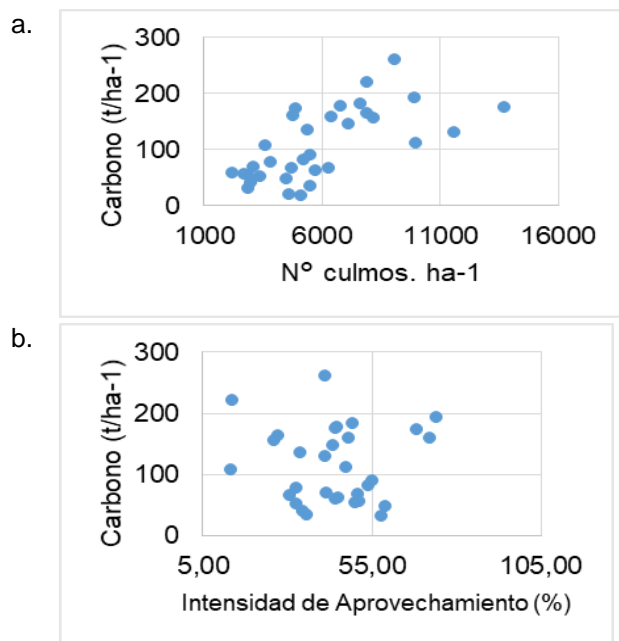
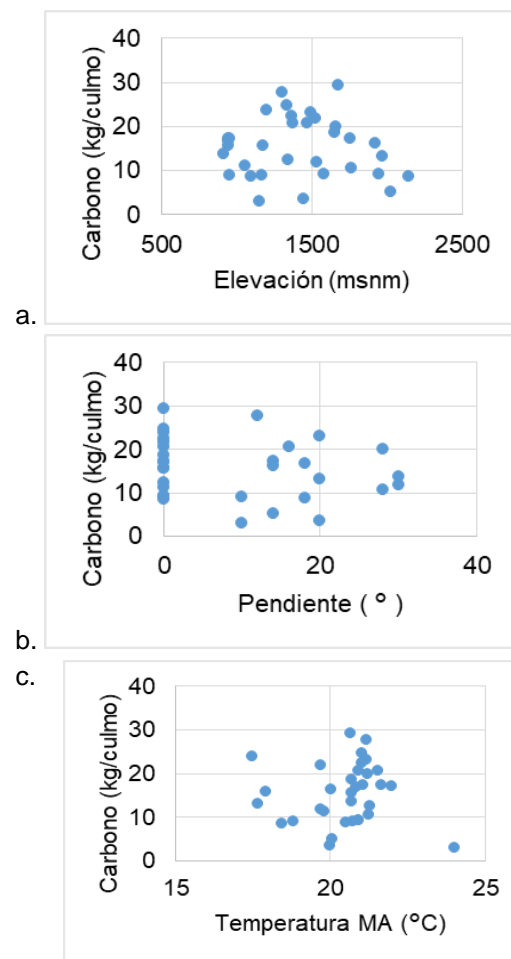


Figura 3. Contenido de carbono total en toneladas por hectárea (t. ha-1) de bosques de guadua en el eje cafetero de Colombia de acuerdo a: a) El número total de culmos por hectárea (N° culmos. ha-1) y b) Intensidad de aprovechamiento en porcentaje (%). **Fuente:** Autores.

Dado que la densidad total de culmos. ha-1, tuvo un efecto significativo ($p < 0.05$) en el contenido de carbono, se usó el valor de carbono por culmo para relacionarlo

con los factores de sitio. Así, se encontró que la precipitación ($R = 0.85$), la temperatura ($R = 0.99$) y la elevación ($R = 0.68$) contribuyen significativamente ($p < 0.5$) a la cantidad de carbono almacenado, corroborando la relación encontrada previamente. Para el caso de la posición topográfica, el mayor valor fue para la ladera, sin embargo, no tuvo significancia ($p > 0.05$) estadística. En la Figura 4, se observan las relaciones mencionadas.



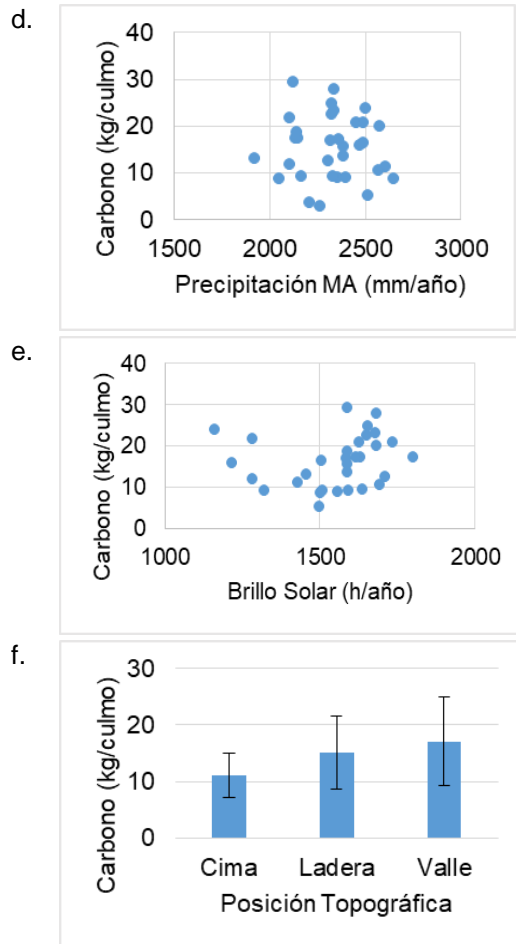


Figura 4. Contenido de carbono promedio en kilogramo por culmo (Kg. culmo⁻¹) en el eje cafetero de Colombia de acuerdo a: a) Elevación en metros sobre el nivel del mar (msnm), b) Pendiente en grados (°), c) Temperatura Media Anual en grados Celsius (°C), d) Precipitación Media Anual en milímetros al año (mm. año⁻¹/año), e) Brillo Solar en horas al año (horas. año⁻¹), f) Posición topográfica. **Fuente:** Autores.

Con la ubicación de los 33 sitios y el contenido de carbono, el mapa de calor permitió evidenciar la variabilidad espacial que se presenta en un radio de 50 km (Figura 5), correspondiente al área donde están localizados los sitios de muestreo.

3.3 Discusión de resultados

La biomasa de los culmos, de la cual aproximadamente el 50% es carbono, se calculó a partir de su densidad. En este

sentido, un estudio donde se evaluó la densidad y su relación con la edad de los culmos (Maya *et al*, 2017), fue consistente con los resultados encontrados aquí, mostrando un patrón muy similar para la densidad. De otro lado, teniendo en cuenta que la elongación completa del culmo se alcanza en los primeros meses (Clark *et al*, 2015), el volumen que es otra de las variables usada en el cálculo de biomasa se define desde los primeros meses y por lo tanto no incidiría en los cambios en la biomasa.

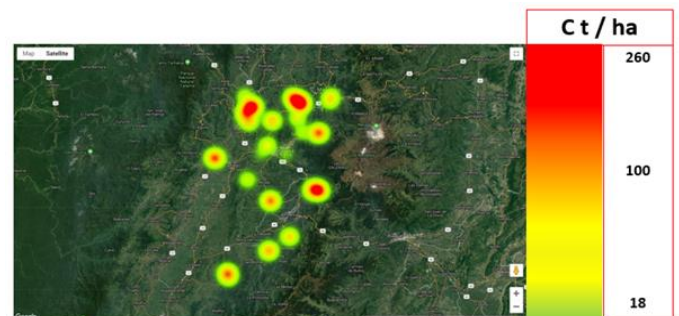


Figura 5. Variación de la Cantidad de carbono según el sitio específico del Eje Cafetero en toneladas por hectárea. **Fuente:** Autores.

En otros estudios la edad se ha considerado una posible fuente de variación en los valores de carbono (Yuen *et al*, 2017), aunque usualmente las estimaciones se hacen sobre un grupo de culmos sin tenerla en cuenta. Así mismo, Camargo *et al*, (2010), mencionan que el hecho de no considerar la edad de los culmos podría llevar a generar sobreestimaciones en el carbono. En este estudio, no se observó un patrón relacionado ni significativo ($p > 0.05$) con la edad, razón por la cual no hay suficientes evidencias para afirmar sobre su efecto.

La densidad total de culmos ha⁻¹, tiene una relación inversa con la intensidad de cosecha, de esta manera bosques cosechados de manera más intensa,

tendrían menor densidad de culmos.ha-1 y por lo tanto menor contenido de carbono. Estudios muestran que la reducción temporal por cosecha (Lobovikov *et al*, 2009) o eventos específicos como la floración de los bambúes gregarios (Seethalakshmi *et al*, 2009) o tormentas (Zhou *et al*, 2011) que representan reducción de culmos y por su potencial de acumulación de carbono. Así mismo, en otro estudio encontraron que las variables que más afectan el contenido de carbono en bambú es la densidad total de culmos.ha-1 (Xu *et al*, 2018).

Los valores encontrados de carbono variaron en un rango entre 18.3 t C.ha-1 a 260.61 t C.ha-1, estando por encima de valores de carbono reportados para bambúes leñosos a nivel global (Nath *et al*, 2015) entre 30 t.ha-1 y 121 t.ha-1 y similares para valores de carbono aéreo reportados por Yuen *et al*, (2017), entre 41.3 t C.ha-1 y 155.5 t Cha-1 en 8 sitios distribuidos en Colombia, Ecuador y Bolivia. Así mismo, con los valores presentados por Camargo *et al*, (2007) de carbono almacenado en bosques de guadua para los departamentos de Risaralda, Quindío, Valle del Cauca y Caldas con valores de 235.31 t C.ha-1, 204.34 t C.ha-1, 144.76 t C.ha-1 y 6.12 t C.ha-1, respectivamente. Por otra parte, también se encuentra un consistencia con lo desarrollado por Muñoz *et al* (2021) y Camargo & Long (2020), quien obtuvieron valores de almacenamiento de carbono de 148,8 t C.ha-1 y 193,8 t C.ha-1.

Para bosques tropicales primarios y secundarios, se han reportado valores de almacenamiento entre 60 y 230 t C.ha-1 y entre 25 y 190 t C.ha-1, respectivamente (Brown *et al*, 1997), también Gibbs *et al*,

(2007), reportan valores para bosques tropicales de 72 t C.ha-1 a 172 t C.ha-1. Lo anterior indica que los bosques de guadua del Eje Cafetero Colombiano presentan una capacidad de almacenamiento de carbono, similar a la que puede presentar otros ecosistemas boscosos en el trópico.

No obstante, los bosques de guadua distribuidos en los 33 sitios en la región cafetera presentaron una gran variabilidad en cuanto al almacenamiento de carbono, asociado a factores de sitio como brillo solar, pendiente, temperatura y posición (ladera).

De acuerdo con Yuen *et al*, (2017), la mayoría de las especies tienen mayor contenido de carbono aéreo cuando la precipitación está por encima de 1500 mm. En este estudio, el valor más alto se presentó en un sitio con más de 2500 mm-año -1 (128 Mg C ha-1).

Mayor contenido de carbono en temperaturas más altas se asocia a mayor cantidad de biomasa en estas condiciones. De hecho, los bambúes tropicales tienen mayores dimensiones en zonas cálidas y húmedas Clark *et al*, (2015). También, Yuen *et al*, (2017) registraron que, en temperaturas mayores de 15°C, las especies muestran mayor contenido de carbono aéreo, similar a lo encontrado para este estudio donde los valores más altos se presentan en temperaturas superiores a 20°C. En este sentido, Banik (2015), menciona que las temperaturas altas aceleran el crecimiento del bambú, mientras que las bajas lo inhiben; además, indica que las especies de mayor elongación se ubican en lugares con temperaturas por encima de los 20°C.

La radiación solar, que se relacionó positivamente con el carbono, puede estar asociado con mayor capacidad fotosintética. El bambú tiene incluso valores de producción primaria neta entre 12 a 36 t.ha⁻¹.año⁻¹ (Nath *et al*, 2015). De acuerdo con Banik (2015), el bambú prefiere sitios abiertos debido a la mayor radiación que podría percibir. Así mismo, Scurlock *et al*, (2000), encontraron que las especies de bambú tienen la capacidad de absorber en su sistema foliar hasta el 95% del brillo solar, debido principalmente a los altos valores de área foliar.

Los valores de carbono promedio almacenado por culmo encontrados, son consistentes con valores estimados de Camargo *et al*, (2007), entre 0.019 t.culmo⁻¹ y 0.035 t.culmo⁻¹. Los valores más bajos encontrados, serían comparables los valores de Riaño *et al*, (2002) para una plantación de guadua de seis años con 8640 culmos.ha⁻¹, donde el total fue 54 t C ha⁻¹, equivalentes a 0.00625 t C.culmo⁻¹/c.

El mapa de calor permitió observar, la variabilidad de los valores de carbono en un radio de 50 km y la asociación de mayores valores de carbono con área de menor altura, cálidas y mayor brillo solar. Esto es consistente con lo referido por Clark *et al*, (2015) y Banik, (2015), en cuanto a que las altas temperaturas se constituyen en un catalizador del crecimiento de las especies de bambú, indicando que las más grandes se asocian a ambientes más cálidos y húmedos.

Mayor contenido de carbono en las posiciones de ladera, donde predominan en esta región suelos andosoles, caracterizados por buenas propiedades

físicas (Malagon *et al*, 1995), podría estar relacionado con un mejor desarrollo de la guadua en estos sitios. De hecho, Camargo (2006) encontró en modelos de calidad de sitio, un efecto positivo de valores bajos de densidad aparente del suelo (característica de los andosoles).

La incidencia de los factores de sitio y el manejo sobre el contenido de carbono se puede asociar con características específicas que inciden el crecimiento de la planta, en este caso como gramínea. En relieves montañosos como los que predominan en la región andina, donde los suelos y las condiciones climáticas en el gradiente altitudinal donde se distribuye la especie cambian de manera importante. No obstante, el mayor efecto se presentó asociado a la densidad de culmos.ha⁻¹, igual que lo han reportado autores como Xu *et al*, (2018), para *Phyllostachys pubescens* en China. Los factores de sitio no son manejables, debido a que representan una condición natural asociada a características biofísicas. Por el contrario, la intensidad de cosecha y la fragmentación que pueden afectar la densidad de culmos.ha⁻¹, son factores de manejo que podrían ser controlados y establecer por ejemplo regímenes de cosecha de baja intensidad en aquellos rodales con densidad de culmos baja

4. CONCLUSIONES

La estimación del potencial de almacenamiento de carbono por parte de los bosques de guadua en el eje cafetero de Colombia mostró valores en un rango entre 18.3 t/ha y 260 t/ha, lo anterior evidencia la importancia de la conservación de estos bosques dada su

significancia para la mitigación del cambio climático.

La edad de los culmos no es una variable estadísticamente significativa para determinar la capacidad de almacenamiento de carbono de los bosques de guadua en el presente estudio, sin embargo, es una variable que podría presentar variaciones en estudios posteriores por lo que se sugiere tenerla en cuenta.

Las variables de temperatura y radiación solar mostraron influencia positiva sobre el almacenamiento de carbono de los culmos, lo anterior debido al mayor desarrollo de hojas y ramas y por ende mayor posibilidad de almacenar carbono en estos compartimentos.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó en el marco del proyecto: Aportes a los sistemas de clasificación de materia prima de bambú: Caso *Guadua angustifolia* en el eje cafetero de Colombia, código 2-18-4, financiado por la Universidad Tecnológica de Pereira.

De igual manera, agradecemos al Grupo de Investigación en Gestión de Agroecosistemas Tropicales Andinos y sus integrantes que contribuyeron al desarrollo del mismo, especialmente a Juan Martín Maya Echeverry.

También a Juliana Muñoz López y Ángela María Arango Arango, por sus consejos y aportes en el desarrollo de la investigación. También a Lucía Mejía Marulanda, propietaria de la Finca Yarima *Guadua* y al personal del Jardín Botánico

de la Universidad Tecnológica de Pereira en cabeza de su director Jorge Hugo García Sierra, por el apoyo durante la investigación y facilitarnos el trabajo en ambos sitios.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, D. (2017). Causas y agentes de la deforestación en la zona suroccidental del municipio de Pereira, Risaralda. (Tesis de Pregrado, Administración Ambiental). Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia. 37 p.
- Aguirre-Cadena, J. F., Ramírez-Valverde, B., Cadena-Iñiguez, J., Juárez-Sánchez, J. P., Casobarrera, L., & Martínez-Carrera, D. (2018). Biomasa y carbono en *Guadua angustifolia* y *Bambusa oldhamii* en dos comunidades de la sierra Nororiental de Puebla, México. *Revista de Biología Tropical*, 66(4), 1701-1708.
- Arango, A. M. (2011). Posibilidades de la *Guadua* para la Mitigación del Cambio Climático. Caso: Eje Cafetero Colombiano. (Tesis de Pregrado, Administración Ambiental). Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia. 125 p.
- Arango, A. M., y Camargo García, J. C. (2012). Determinación de la huella de carbono de una empresa forestal productora de *Guadua* El caso de la empresa Yarima *Guadua*, Eje Cafetero de Colombia. *Recursos Naturales y Ambiente*, 65(66), 56–61.
- Araujo, T. C. y Rivera, M. E. (2020). Índices de sequía para la cuenca del Río Cesar – Colombia. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 11(2). DOI:

- <https://doi.org/10.24054/19009178.v2.n2.2020.4671>
- Banik, R. L. (2015). Morphology and growth. In W. Lieser & M. Köhl (Eds.), *Bamboo the plant and its uses* (pp. 43–90). Berlin: Springer.
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-14133-6>
- Bonilla, C. A., Cely Calixto, N. J. y Bonilla, S. A. (2022). Diagnóstico y recomendaciones de mitigación de patologías en las estructuras hidráulicas de los acueductos en Norte de Santander. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 13(1).
<https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/aaas/article/view/2717/3790>
- Brown, P., B. Cabarle & R. Livernash. (1997). *Carbon Counts: Estimating Climate Change Mitigation in Forestry Projects*. Washington D.C.: World Resources Institute. p 30.
- Buckingham, K. C., Wu, L., & Lou, Y. (2014). Can't See the (Bamboo) Forest for the Trees: Examining Bamboo's Fit Within International Forestry Institutions. *Ambio*, 43(6), 770–778.
<https://doi.org/10.1007/s13280-013-0466-7>
- Camargo, J. C. y Cardona, G. (2005). Análisis de fragmentos de bosque y guaduales: enfoques silvopastoriles integrados para el manejo de ecosistemas. CIPAV; CATIE; BANCO MUNDIAL; GEF; LEAD, Pereira, Colombia.
- Camargo, J. C. (2006). Growth and productivity of the bamboo species *Guadua angustifolia* Kunth in the coffee region of Colombia. (Doctoral Thesis, Forest Sciences Ph.D). Göttingen Universität, Göttingen, Germany. 206 p.
- Camargo, J. C., Dossman, M. A., Cardona, G., García, J. H., y Arias, L. M, Universidad Tecnológica de Pereira, CRQ, CVC, CARDER (2007). Zonificación detallada del recurso guadua en el Eje Cafetero, Tolima y Valle del Cauca. Pereira: La Universidad. 133 p.
- Camargo, J. C., Rodríguez, J. A. y Arango, A. M. (2010). Crecimiento y fijación de carbono en una plantación de guadua en la zona cafetera de Colombia. *Recursos Naturales y Ambiente*, 61, 86–94.
- Camargo, J. C., Thang, Long, T. (2020). Assessment of Ecosystem Services from Bamboo-dominated Naatural Forests in the Cofee Region, Colombia. Research Program On Forest, Trees and Agroforestry. INBAR Working Paper No. 85
- Camargo, L., Medina, B. y Gómez, J. (2022). Prototipo electrónico IoT para el seguimiento de variables ambientales. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 13(2).
<https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/aaas/article/view/2723/3796>
- Clark, L. G., Londoño, X. & Ruiz, E. (2015). Bamboo Taxonomy and Habitat. In W. Lieser & M. Köhl (Eds.), *Bamboo the plant and its uses* (pp. 1–30). Berlin: Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-14133-6_1
- Federici, S., Tubiello, F. N., Salvatore, M., Jacobs, H., & Schmidhuber, J. (2015). New estimates of CO₂ forest emissions and removals: 1990–2015. *Forest Ecology and Management*, 352, 89–98.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.04.022>

- Gibbs, H. K., Brown, S., Niles, J. O., & Foley, J. A. (2007). Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: Making REDD a reality. *Environmental Research Letters*, 2(4), 1-13. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/2/4/045023>
- Google. (2005). Google Maps. Mountain View: Alphabet Inc. Retrieved from <https://www.google.com/maps>
- Gutiérrez de Piñeres, J. A., Orozco, J. E., Mejía, W. A. y Briceño, A. F. (2022). Análisis de la eficacia de tapas plásticas como lecho filtrante en humedales para aguas residuales. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 13(1). <https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/aaas/article/view/2720/3793>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2019). Reporte de superficie cubierta por bosque natural. In Sistema de monitoreo de bosques y carbono. Retrieved from <http://smbyc.ideam.gov.co/MonitoreoBWEB/pub/consultarReporteGeoproceso.jsp?tipoReporte=1>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2020). Atlas Interactivo - Climatológico - IDEAM. Retrieved March 18, 2020, from <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>
- International Organization for Standardization (ISO 22157-2). (2004). Bamboo-Determination of physical and mechanical properties-Part 2: Laboratory manual. Genova: International Organization for Standardization. 19 p.
- International Panel on Climate Change (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., and Tanabe K. (eds). Institute for Global Environmental Strategies, Japón.
- Kleinn, C., & Morales-Hidalgo, D. (2006). An inventory of *Guadua* (*Guadua angustifolia*) bamboo in the Coffee Region of Colombia. *European Journal of Forest Research*, 125(4), 361–368. <https://doi.org/10.1007/s10342-006-0129-3>
- Köhl, M., Lasco, R., Cifuentes, M., Jonsson, Ö., Korhonen, K. T., Mundhenk, P., Navar, J. D. J., & Stinson, G. (2015). Changes in forest production, biomass and carbon: Results from the 2015 UN FAO Global Forest Resource Assessment. *Forest Ecology and Management*, 352, 21–34. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.05.036>
- Le Queer'e, C., Andrew, R. M., Friedlingstein, P., Sitch, S., Hauck, J., Pongratz, J., Pickers, P. A., Korsbakken, J. I., Peters, G. P., Canadell, J. G., Arneeth, A., Arora, V. K., Barbero, L., Bastos, A., Bopp, L., Chevallier, F., Chini, L. P., Ciais, P., Doney, S. C., Gkritzalis, T., Goll, D. S., Harris, I., Haverd, V., Hoffman, F. M., Hoppema, M., Houghton, R. A., Hurtt, G., Ilyina, T., Jain, A. K., Johannessen, T., Jones, C. D., Kato, E., Keeling, R. F., Goldewijk, K. K., Landsch"utzer, P., Lef`evre, N., Lienert, S., Liu, Z., Lombardozzi, D., Metzl, N., Munro, D. R., Nabel, J. E. M. S., Nakaoka, S., Neill, C., Olsen, A., Ono, T., Patra, P., Peregón, A., Peters, W., Peylin, P., Pfiel, B., Pierrot, D., Poulter, B., Rehder, G., Resplandy, L., Robertson,

- E., Rocher, M., Rodenbeck, C., Schuster, U., Schwinger, J., Sferian, R., Skjelvan, I., Steinhoff, T., Sutton, A., Tans, P. P., Tian, H., Tilbrook, B., Tubiello, F. N., Van Der Laan-Luijckx, I. T., Van Der Werf, G. R., Viovy, N., Walker, A. P., Wiltshire, A. J., Wright, R., Zaehle, S., Zheng, B. (2018). Global carbon budget 2018. *Earth System Science Data* (September 2019), 10 (4), 2141–2194.
- Liese, W., Köhl, M. (2015). *Bamboo The Plant and its Uses*. Berlin: Springer. p 362. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-14133-6>
- Lobovikov, M., Lou, Y., Schoene, D., & Widenoja, R. (2009). Non-Wood Forest Products Working 8. The poor man's carbon sink bamboo in climate change and poverty alleviation. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. 72 p.
- Malagon, Dimas, Chamorro, C., Fernandez, J., Llinas, R., & Pulido, C. (1995). *Suelos de Colombia, Origen, Evolución, Clasificación, Distribución y Uso*. Bogotá, Colombia, Bogotá IGAC 1995, 632 p.
- Maya Echeverry, J. M., Camargo García, J. C., & Marino Mosquera, O. (2017). Características de los culmos de *Guadua* de acuerdo al sitio y su estado de madurez. *Colombia Forestal*, 20(2), 171–180. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2017.2.a06>
- Muñoz D.A (2017). Procesamiento de imágenes satelitales Landsat TM, ETM+ y OLI en la caracterización, clasificación y cuantificación de bosques de "*Guadua angustifolia* Kunth" entre 1989 y 2016 en el eje Cafetero de Colombia, caso de estudio: cuencas bajas de los Ríos Otún y Consota". (Tesis Maestría, Maestría en Teledetección). Católica de Manizales, Manizales, Colombia. En Preparación. 89p.
- Muñoz López, J., Camargo García, J. C., & Romero Ladino, C. (2017). Beneficios de los bosques de guadua como una aproximación a la valoración de servicios ecosistémicos desde la "Jerarquización y Calificación." *Gestión y Ambiente*, 20(2), 222–231. <https://doi.org/10.15446/ga.v20n2.66603>
- Muñoz, Lopez, Juliana; Camargo-Garcia, Juan Carlos and Romero-Ladino, Catalina. Valuation of ecosystem services of guadua bamboo (*Guadua angustifolia*) forest in the southwestern of Pereira, Colombia. *Caldasia* [online]. 2021, vol.43, n.1 [cited 2022-10-20], pp.186-196. Available from: <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-52322021000100186&lng=en&nrm=iso>. Epub Mar 24, 2021. ISSN 0366-5232. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v43n1.63297>.
- Nath, A. J., Lal, R., & Das, A. K. (2015). Managing woody bamboos for carbon farming and carbon trading. *Global Ecology and Conservation*, 3, 654–663. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2015.03.002>
- Olivares, M. A., López, A., Aldana, R., Alvarez, E. J., Aldana, F., Rivera, Y. y Leyva, J. G. (2019). Mantenimiento automotriz basado en un diagnóstico tribológico. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 10(1). DOI: <https://doi.org/10.24054/aaas.v10i1.394>

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2016). GLOBAL FOREST RESOURCES ASSESSMENT 2015. How are the world's forests changing? (Second edition). Rome, 2016, 44 p.
- Ortiz, D. M., Castro, S.A., Niño, C.V., Guevara, D. y Medina, B. (2022). Identificación de residuos sólidos en zonas urbanas con procesamiento de imágenes e inteligencia artificial. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 13(1). <https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/aaas/article/view/2719/3803>
- Perpiñán, L. M. Serrano, D. A. y Bastidas, M. J. (2022). Simulación del sistema POWER TO gas ubicado en la Universidad de La Guajira mediante el software HOMER PRO. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 13(2). <https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/aaas/article/view/2728/3800>
- Riaño, N., Londoño, X., López, Y., Gómez, J., & Camayo, G. C. (2002). Planth growth and biomass distribution on *Guadua angustifolia* Kunth in relation to ageing in the Valle del Cauca - Colombia. *Bamboo Science and Culture*, 16(1), 43–51.
- Rienzo, J. Di, Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. (2011). *InfoStat*. Cordoba, Argentina: Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba.
- Scurlock, J. M. O., Dayton, D. C., & Hames, B. (2000). Bamboo: An overlooked biomass resource? *Biomass and Bioenergy*, 19(4), 229–244. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(00\)00038-6](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(00)00038-6)
- Seethalakshmi.K.K., Jijeesh, C., & Balagopalan, M. (2009). Bamboo plantations: An approach to Carbon sequestration. *Proceedings of National Workshop on Global Warming and Its Implications for Kerala*. Kerala Forest Research Institute. 127–134
- Villamizar, J., Rivera, M. E. y Delgado, J. R. (2019). Mapa de amenaza por crecientes súbitas en la microcuenca La Viuda, Chitagá, Colombia. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 10(2). DOI: <https://doi.org/10.24054/aaas.v10i2.3888>
- Xu, L., Shi, Y., Zhou, G., Xu, X., Liu, E., Zhou, Y., Zhang, F., Li, C., Fang, H., & Chen, L. (2018). Structural development and carbon dynamics of Moso bamboo forests in Zhejiang Province, China. *Forest Ecology and Management*, 409, 479–488. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.11.057>
- Yuen, J. Q., Fung, T., & Ziegler, A. D. (2017). Carbon stocks in bamboo ecosystems worldwide: Estimates and uncertainties. *Forest Ecology and Management*, 393, 113–138. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.01.017>
- Zhou, B., Li, Z., Wang, X., Cao, Y., An, Y., Deng, Z., Letu, G., Wang, G., & Gu, L. (2011). Impact of the 2008 ice storm on moso bamboo plantations in southeast China. *Journal of Geophysical Research*, 116(1), 1-10. G00H06. <https://doi.org/10.1029/2009JG001234>