



7th INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION Academic

“CLEANER PRODUCTION FOR ACHIEVING SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS”

Huella de Carbono del Ciclo de Vida de Plantaciones Forestales Comerciales (*Eucalyptus grandis*, *Pinus patula*) y Forestal Protectora (*Guadua angustifolia kunth*) en Colombia

MARTÍNEZ, L.A. ^{a*}, CUÉLLAR, Y. ^a, PÁEZ, N.J. ^a, PEDRAZA, J.I. ^a, BELÁLCAZAR-CERÓN, L.C. ^a

a. Departamento de Ingeniería Química y Ambiental. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

*Corresponding author, lamartinezv@unal.edu.co

Resumen

En este trabajo se utilizó la metodología de análisis de Ciclo de Vida para determinar la huella de carbono para 2 plantaciones forestales comerciales (*Eucalyptus grandis*, *Pinus patula*) y una forestal protectora (*Guadua angustifolia kunth*) en Colombia. Las operaciones forestales se dividieron en tres procesos: Producción de plántulas, siembra y preparación del suelo, y mantenimiento y control; sin considerar el proceso de tala en el análisis. La densidad plantada por unidad de área (ha) se establece dependiendo de cada especie. Se utilizó el software OpenLCA® de uso libre para evaluar las emisiones para la categoría de impacto Calentamiento Global (huella de carbono), y la base de datos Ecoinvent v3.2 como insumo de datos de inventario de ciclo de vida para diferentes procesos; mientras que las cantidades que alimentan los procesos se obtuvieron de los planes de gestión y explotación forestal comercial de las especies evaluadas. Los resultados de este trabajo indican que las variaciones dependen de las especies arbóreas plantadas y su manejo que comprende diferentes niveles de fertilización, así como la intensidad de las operaciones forestales. Se observa que la fase mantenimiento y control es la etapa del proceso con mayor contribución a las emisiones totales CO₂, siendo un valor que contrarresta el CO₂ capturado por las plantaciones.

Palabras llave: Huella de carbono, Análisis de ciclo de vida (ACV), OpenLCA®

1. Introducción

El panel intergubernamental de cambio climático (IPCC) plantea que el CO₂ sigue siendo el principal gas de efecto invernadero (GEI) de origen antrópico y representa el 76% (38±3,8 Gt CO₂-Eq/año) del total de GEI antropogénico emitido en 2010 (IPCC, 2014). Gestionar la transición hacia una economía baja en carbono, ha sido uno de los pilares para contrarrestar los efectos negativos del cambio climático, y es, hoy en día uno de los fundamentos del acuerdo aprobado en la Conferencia de las Partes (COP 21), de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC). Dicho acuerdo, aprobado en consenso por los 195 países reunidos en París (ONU, 2015), estableció

“CLEANER PRODUCTION FOR ACHIEVING SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS”

Barranquilla - Colombia - June 21st and 22nd - 2018

como metas, para el 2050, reducciones del orden del 40% al 70% con base en las emisiones del año 2010, y para el año 2100, una reducción de emisiones del 100% con respecto al año 2010.

En dicho contexto, Colombia se ha comprometido a reducir el 20% de sus emisiones de GEI para el año 2030 bajo la CMNUCC. Por tal motivo, las estrategias para combatir los gases de efecto invernadero, tendrán que ser contundentes, eficaces, innovadoras y con una visión postmoderna del asunto. Una técnica que se ha utilizado ampliamente es el desarrollo de plantaciones forestales (comerciales y/o protectoras), que incluyen el proceso de siembra (o regeneración) y el establecimiento de una comunidad forestal deseada en un sitio determinado, aprovechando así la capacidad de la vegetación de asimilar el carbono e incorporarlo a su estructura. Es por esta razón que los bosques son importantes sumideros de carbono (Ordóñez & Masera, 2001).

Una parte significativa de la reforestación es la selección de una especie de árbol o comunidad forestal apropiada para su manejo. Así, los mecanismos de reforestación y establecimiento de plantaciones, en general, deben ser regidos por criterios sólidos de selección que garanticen una heterogeneidad genética con la búsqueda de las mejores fuentes de la descendencia de las especies y poblaciones, para obtener rápidos crecimientos y volúmenes superiores que en su desarrollo (producto de la actividad fotosintética) capturen y retengan la mayor cantidad de CO₂, comparado con la media de retención de toda una descendencia de alguna población de una especie (Ordóñez & Masera, 2001).

En el país el sector forestal contribuye a fijar aproximadamente 73,2 Mt de CO₂ equivalente (IDEAM, 2015). Dichas tasas de absorción o fijación de CO₂ para este método no han sido estimadas mediante un enfoque de ciclo de vida (ACV). Un Análisis de Ciclo de Vida permite evaluar los impactos ambientales potenciales asociados a un producto o proceso, abarcando desde las etapas de extracción de los recursos hasta su uso previsto, disposición, reciclaje o reúso (ISO, 2007). Para proporcionar una referencia, se define una unidad funcional a la cual los datos de entrada y de salida deben normalizarse. La fundamentación de la metodología ACV se incorpora en un número de normas internacionales publicadas por la *Internacional Standard Organization* (ISO), donde se establecen cuatro fases principales: definición del objetivo y del alcance del estudio, análisis del Inventario del Ciclo de Vida (ICV), Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV), e Interpretación del Ciclo de Vida (Guinée *et al.*, 2011; Hauschild & Huijbregts, 2015; ISO, 2007; ISO, 2006).

Existen tipos especiales de evaluación del ciclo de vida dependiendo de la naturaleza y el alcance de cada uno, que fueron impulsados principalmente por cuestiones metodológicas, destacándose como una mejor alternativa o un sustituto de un ACV atribucional basado en procesos¹ (Finkbeiner, 2016). Dentro de estos se pueden destacar: Huella de carbono, Huella hídrica, Evaluación de la eficiencia ecológica, Evaluación de la eficiencia de recursos, ACV Entrada-salida (IO-LCA) e híbrido, Análisis de flujo de materiales (MFA), ACV organizacional (OLCA), (etc.) (Finkbeiner, 2016; Guinée *et al.*, 2011).

El objetivo de este estudio es determinar de forma cuantitativa la huella de carbono del ciclo de vida de dos plantaciones forestales comerciales (*Eucalyptus grandis*, *Pinus patula*) y forestal protectora (*Guadua angustifolia kunth*). Para este propósito se ha definido como unidad funcional kg CO₂-Eq /ha de rotación.

2. Materiales y métodos

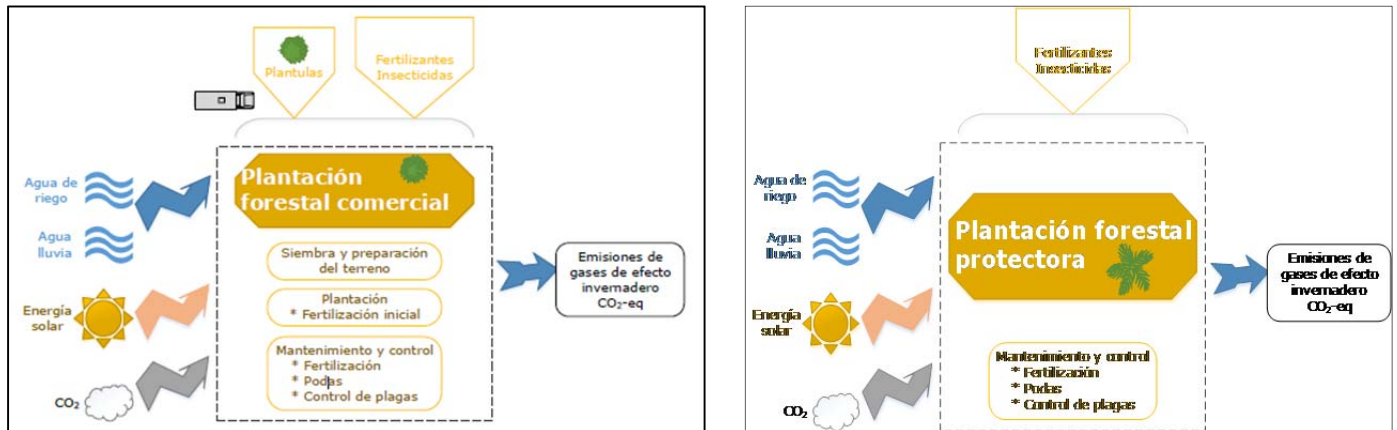
El desarrollo del ACV se realizó siguiendo los lineamientos de la norma internacional ISO:14040 (2006) e ISO:14044. Se utilizó el software libre OpenLCA® y como insumo para el programa informático se consultó la base de datos de Ecoinvent 3.2 (Ecoinvent Association, 2013). La categoría de impacto evaluada en este estudio es la huella de carbono, expresada en Potencial de calentamiento global

¹ Hay dos tipos de ACV ampliamente discutidos en la literatura (Brandao, Martin, Cowie, Hamelin, & Zamagni, 2017; Jones, Gilbert, Raugei, Mander, & Leccisi, 2016), el atribucional (ALCA – en inglés: *Attributional Life Cycle Assessment*) y el consecuencial (CLCA – en inglés: *Consequential Life Cycle Assessment*). Un ALCA atribuye una asignación definida de impactos ambientales a un producto o unidad de proceso de acuerdo con la unidad funcional definida, por ejemplo, para un panel solar, los impactos ambientales se atribuyen a las etapas de minería, refinación, fabricación, distribución, operación y eliminación.

(PCG), o por sus siglas en inglés GWP. La unidad funcional del sistema es masa de contaminante (kg) por área de plantación (ha), para huella de carbono es de kg CO_{2-Eq}/ha rotación en pie.

2.1. Definición del sistema a estudiar y alcance

El alcance del sistema considera un límite temporal que corresponde a la rotación de cada plantación, las cuales son de 7, 18 y 4² años para *Eucalyptus grandis*, *Pinus patula* y *Guadua angustifolia kunth* respectivamente. El enfoque de ciclo de vida utilizado es de la *cuna a la puerta*, es decir, desde la producción de plántulas hasta árboles en pie, listos para talar y aprovechar; no se tiene en cuenta el corte y el uso del producto y/o disposición final. La Fig. 1-a, corresponde al límite de sistema para las plantaciones forestales comerciales (*Eucalyptus grandis*, *Pinus patula*), y en la Fig. 1-b los procesos que se tienen en cuenta para el ACV de la plantación forestal protectora (*Guadua angustifolia kunth*).



1-a. *Eucalyptus grandis* y *Pinus patula*

1-b. *Guadua angustifolia kunth*

Fig. 1. Límites del sistema y secuencia de actividades para plantaciones evaluadas

2.2. Datos para el inventario

Se identifican y cuantifican las entradas y salidas del sistema para las etapas del proyecto. La cuantificación de emisiones de CO₂ expresada como kg CO_{2-Eq}/ha en pie; comprenden: i) producción de plántulas; ii) siembra y preparación del suelo; iii) mantenimiento y control; y iv) riego, hasta que las unidades arbóreas quedan en "pie"; se considera solamente el transporte de las plántulas (Sánchez, Cardona, & Sánchez, 2012). La cuantificación de dichos flujos considera el consumo de materias primas (fertilizantes, herbicidas e insecticidas, agua) y consumo de energía. En la tabla 2 se muestran los insumos y la cantidad utilizada en la producción de plántulas.

Tabla 2. Datos de inventario producción de plántulas (Lisboa, 2012).

Insumo	Cantidad de plántulas		Unidad
	1600 <i>E. grandis</i>	1111 <i>P. patula</i>	
Electricidad	25.04	17.39	kWh
N	6.24	4.33	Kilogramo
P	2.88	2.00	Kilogramo
K	7.68	5.33	Kilogramo
Polyestireno expandible (EPS) (contenedores 75 cm ³)	3.84	2.67	Kilogramo
Pesticida (Pyretroid)	0.08	0.06	Kilogramo

² 4 años es el tiempo definido a partir del cual se puede hacer un aprovechamiento forestal de los culmos de guadua. Se debe notar que, en el caso de esta especie, el aprovechamiento no implica la remoción completa de la biomasa en el área de cultivo; sino que se va realizando conforme se obtienen culmos de suficiente madurez (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, 2005).

Compost	20	13.89	Kilogramo
Semillas	0.016	0.01	Kilogramo
Madera aserrada (infraestructura)	0.016	0.01	m ³
Poliuretano de alta densidad (infraestructura)	0.08	0.06	Kilogramo
Riego	1.6	1.11	m ³
Transporte de plantas a terreno	16	11.11	t*km

En la tabla 3 se encuentran los insumos y cantidades requeridas en los 7 años de la plantación forestal del *Eucalyptus grandis*, asumiendo una re-fertilización y un control químico con insecticida. También insumos y cantidades necesarias en los 18 años de plantación de *Pinus patula*, asumiendo una única re-fertilización para el cultivo.

Tabla 3. Datos de inventario para *Eucalyptus grandis*, *Pinus patula* y *Guadua angustifolia kunth* (Ospina et al., 2011)(Ospina et al., 2006) (ProExport, 2012)

Eucalyptus grandis			Pinus patula		
Siembra y preparación del suelo			Siembra y preparación del suelo		
Insumo	Cantidad	Unidad	INSUMO	Cantidad	Unidad
Nitrógeno	16.8	kg	Nitrógeno	11.66	kg
Fósforo	42.56	kg	Fósforo	29.55	kg
Potasio	11.2	kg	Potasio	7.77	kg
Bórax al 68%	16	kg	Sulfato de zinc (ZnSO ₄)	22.22	kg
Tractor/diésel	94.016	kg	Bórax al 48%	8.88	kg
Glifosato	2.6	kg	Tractor/diésel	94.01	kg
Agua de riego	8	m ³	Glifosato	2.6	kg
Mantenimiento y control			Mantenimiento y control		
Nitrógeno	180	kg	Nitrógeno	15.99	kg
Fósforo	18	kg	Oxido de fosforo (P ₂ O ₅)	40.88	kg
Boro	1.8	kg	Oxido de potasio (K ₂ O)	13.33	kg
Calcio	60	kg	Zinc	3.11	kg
Magnesio	24	kg	Bórax al 48%	6.66	kg
Lorsban 48% ec	0.06	kg	Agua de riego	5.5	m ³
Guadua angustifolia kunth					
Mantenimiento inicial			Mantenimiento y control		
Insumo	Cantidad	Unidad	Fosfato	73.34	kg
Fosfato	6.47	kg	Cloruro de potasio	150.55	kg
Cloruro de potasio	13.28	kg	Urea	83.35	kg
Urea	7.35	kg			
Compost	400	kg			
Glifosato	2.6	kg			

La identificación de datos de inventario del ciclo de vida para la *Guadua angustifolia Kunth* se tomaron de diferentes fuentes de información, (Salas, 2006), (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, 2005), (SENA, 2006), (Hernández Londoño, Montoya Arango, & Camargo García, 2015), (Rea Lozano, 2012), (Arango Arango & García Camargo, 2012), (Ramírez, Torres, Peña, & Duque-Rivera, 2014), (Arango, 2015) y (Arango Arango, Camargo García, & Castaño Rojas, 2017), que se refieren a manejo de fertilizantes, herbicida y otros. Las dosis de nitrógeno (N), fosforo (P), y potasio (K) se calcularon a partir de los datos presentados por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (2005) y de (Ramírez et al., 2014).

La estimación de la tasa de captura está basada en el carbono neto fijado y tiene en cuenta la masa leñosa (ramas, hojas, tallo). La tasa de captura de CO₂ para la *Eucalyptus grandis* se asume por un valor de 35 t CO₂/ha-año (245 t CO₂/ha-7años) (Foelkel, 2012); para el caso del *Pinus patula* 19 t CO₂/ha-año (342 t CO₂/ha-18 años) (Gayoso, 2002); para *Guadua angustifolia kunth* 83 t CO₂/ha-año (332 t CO₂/ha-4 años) (Arango, 2015).

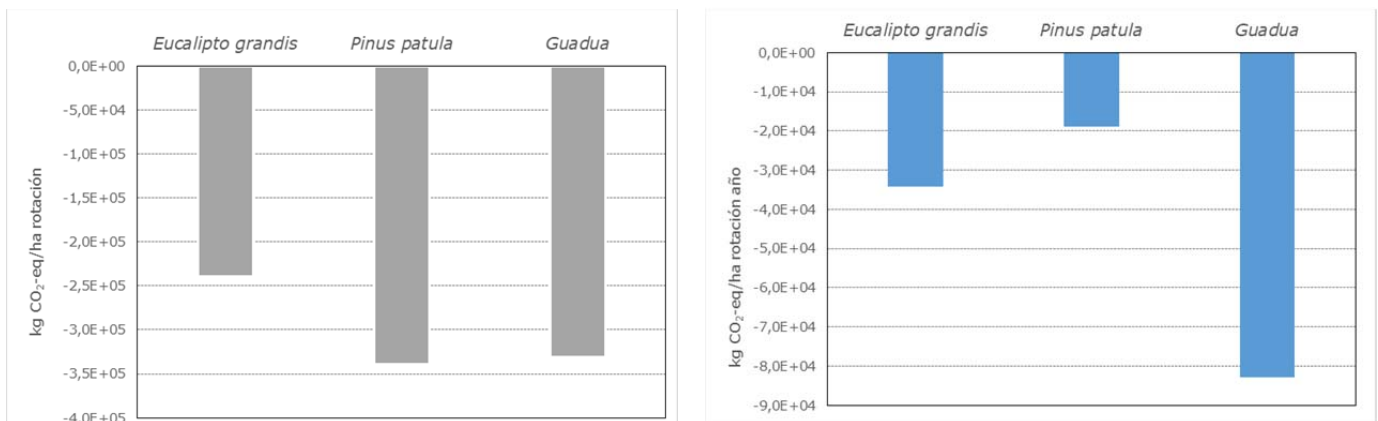
2.3. Métodos de evaluación de impacto y factores de emisión

Las emisiones de óxido nitroso (N₂O) generadas por la aplicación de fertilizantes se estimaron siguiendo los lineamientos del IPCC 2006 (De Klein et al., 2006). En este se tuvieron en cuenta las emisiones directas e indirectas debidas a la aplicación de fertilizantes sintéticos. Así mismo, se estimaron las emisiones de CO₂, N₂O y CH₄ por la quema de combustible diésel en tractor (Davies et al., 2006). Para estimar huella de carbono (en términos de kg CO₂-Eq / ha sembrada-años), se aplica el método IPCC 2007.

3. Resultados y discusión

Un análisis de ciclo de vida en el ámbito forestal puede involucrar resultados ampliamente variables en términos de efectos en las emisiones de GEI. Sin embargo, es muy importante destacar que dicha variabilidad no implica que los resultados sean inciertos. Por el contrario, gran parte de la variación es sistemática y puede relacionarse con factores claramente identificables (Matthews et al., 2014).

En la Fig.1 se presentan los resultados de la huella de carbono total para cada tipo de plantación en donde para las 3 plantaciones se tienen flujos negativos indicando que efectivamente se da la absorción del CO₂-Eq atmosférico considerando tasas de fijación y procesos de mantenimiento, siendo el *Pinus patula* la plantación que más dióxido de carbono captura considerando la huella de carbono total; y la *Guadua angustifolia kunth*, considerando la tasa de fijación anual. Cuando se tiene en cuenta el tiempo total para cada plantación, el *Pinus patula*, absorbe cerca del 29% más que el *Eucalyptus grandis*, pero el primero se tala en un tiempo mayor (18 años). Si se analizan dichos resultados considerando el tiempo de cada plantación, por cada año de árboles en pie, el *Eucalyptus grandis* absorbe 45% CO₂ más que el *Pinus patula*. Bajo este mismo criterio, la *Guadua angustifolia kunth* captura un 77% y 59% más que el *Pinus patula* y *Eucalyptus grandis*, respectivamente.



2-a Huella de carbono total

2-b Huella de carbono anualizada (7 años para Eucalyptus, 18 años Pinus y 4 años Guadua)

Figura 2. Resultados de huella de carbono total por plantación

La figura 3, presenta los resultados desagregados por procesos. Comparando únicamente la tasa de captura de plantación, el *Pinus patula* presenta los mayores beneficios (Fig. 3-b). Las etapas que emiten CO₂ corresponden al mantenimiento de los bosques y la propagación de plántulas (Fig. 3-a). Aunque para el *Eucalyptus grandis* el mantenimiento y control se desarrolla en 7 años, se generan mayores emisiones asociados a los insumos utilizados en la producción de fertilizantes nitrogenados y fosforados. La aplicación de fertilizantes también aporta a emisiones de N₂O con un potencial de

calentamiento global de 310 para un horizonte temporal de 100 años. La *Guadua angustifolia kunth* presenta las menores emisiones por mantenimiento y producción de plántulas de las tres plantaciones evaluadas.

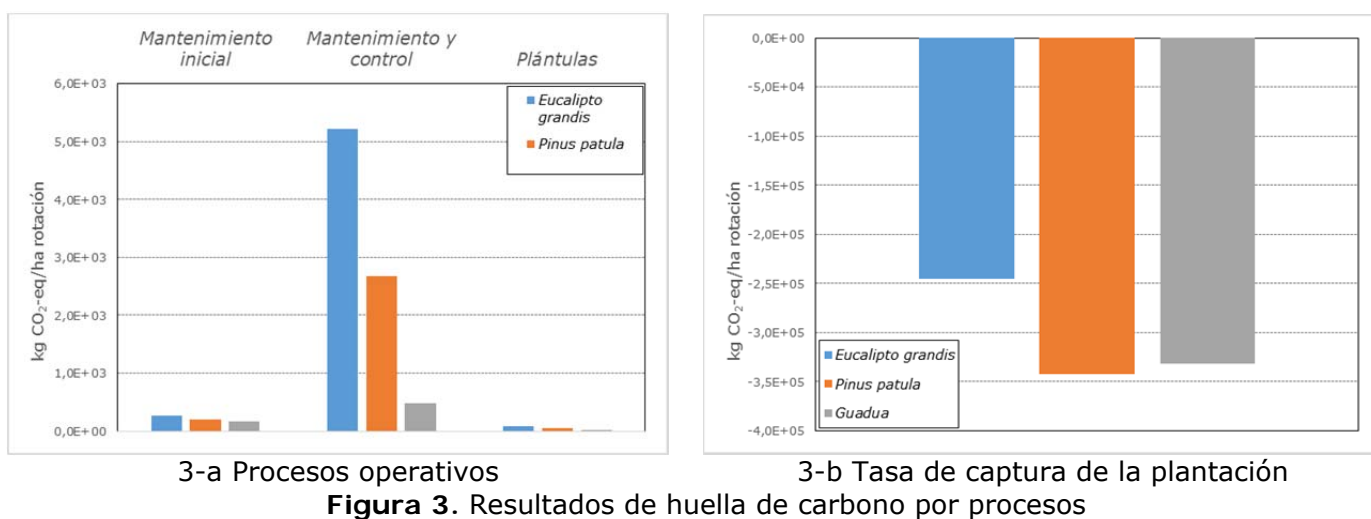


Figura 3. Resultados de huella de carbono por procesos

Finalmente, se encuentra que la huella de carbono del ciclo de vida de las plantaciones forestales comerciales consideradas, abarcando las etapas de producción de plántulas, siembra y mantenimiento hasta que los árboles están listos para cortar es de -239 t/ha-7años (*Eucalyptus grandis*) y -339 t/ha-18años (*Pinus patula*), lo que indica que las etapas que se tuvieron en cuenta en el ACV disminuyeron la captura de CO₂ en 2.5% en *Eucalyptus grandis* y 0.9% para *Pinus patula*. Para la plantación de *Guadua angustifolia kunth* la huella de carbono del ciclo de vida se estima en -331 t/ha-4 años; y las etapas del ACV producen una reducción en la captura de CO₂ del 0.2%.

4. Conclusiones

Se calculó que la huella de carbono para *Eucalyptus grandis* es de -239 t/ha-7años, *Pinus patula* de -339 t/ha-18años y para *Guadua angustifolia kunth* de -331 t/ha-4 años. Los resultados muestran que la selección y promoción de una especie forestal específica para aplicaciones comerciales o protectoras debe depender no solo del rendimiento de biomasa y la edad de cosecha, sino también de la intensidad de las prácticas forestales, ya que puede afectar las cuentas ambientales. Las condiciones locales pueden influir en los resultados y especialmente la región donde se establece una plantación, pues de ello puede depender la calidad de los suelos y los requerimientos de fertilización de los bosques. Se debe consolidar la información necesaria para adicionar en un futuro ACV la tala y el posible aprovechamiento de la madera y así obtener una huella de carbono completa. También podrían cuantificarse otras categorías de impacto relevantes como eutrofización por el consumo de fertilizantes.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen al Grupo de Investigación en Calidad del Aire (GICA) del departamento de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá; y al Centro Suizo para Inventarios de Análisis de Ciclo de Vida (*Swiss Centre for Life Cycle Inventories*).

6. Referencias

Arango, A. M. (2015). *Huella de carbono y aproximación a la definición de sostenibilidad del recurso Guadua. Caso de estudio finca Yarima Pereira*. Universidad Tecnológica de Pereira. Retrieved from <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/6031/1/577276A662.pdf>

- Arango Arango, Á. M., Camargo García, J. C., & Castaño Rojas, J. M. (2017). Sustainability calculation approach of guadua (*Guadua angustifolia* Kunth.) forests throughout the use of emergent analysis. *Acta Agronomica*, 66(4). <http://doi.org/10.15446/acag.v66n4.57478>
- Arango Arango, Á. M., & García Camargo, J. C. (2012). Determinación de la huella de carbono de una empresa forestal productora de guadua. *Recursos Naturales Y Ambiente*, (65), 56–61. Retrieved from <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/7067>
- Brandao, M., Martin, M., Cowie, A., Hamelin, L., & Zamagni, A. (2017). Consequential Life Cycle Assessment: What, How, and Why? *Encyclopedia of Sustainable Technologies*, 277–284.
- Corporación Autónoma Regional del Valle de Cauca. (2005). Silvicultura y Manejo Sostenible de la Guadua. Retrieved from http://www.bosquesflegt.gov.co/sites/default/files/publicaciones/silvicultura_y_manejo_sostenible_de_guaduales.pdf
- Costos y potencial de captura de CO2 para plantaciones de. (n.d.), 0–1.
- Davies, W., Harnisch, J., Lucon, O., Mckibbon, S., Saile, S., Wagner, F., & Walsh, M. (2006). CAPÍTULO 3. Combustión Móvil. In *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* (p. 78). IPCC. Retrieved from http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2_Volume2/V2_3_Ch3_Mobile_Combustion.pdf
- De Klein, C., Novoa, R. S. A., Ogle, S., Smith, K. A., Rochette, P., & Wirth, T. C. (2006). Emisiones de N2O de los suelos gestionados y emisiones de CO2 derivadas de la aplicación de cal y urea. In *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* (pp. 1–56). IPCC. Retrieved from http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_11_Ch11_N2O&CO2.pdf
- Ecoinvent Association. (2013). The ecoinvent Database. Retrieved March 1, 2017, from <http://www.ecoinvent.org/database/>
- Finkbeiner, M. (2016). Introducing “Special Types of Life Cycle Assessment.” In M. Finkbeiner (Ed.), *LCA Compendium – The Complete World of Life Cycle Assessment Special Types of Life Cycle Assessment* (p. 413). Springer, Dordrecht. <http://doi.org/https://doi.org.ezproxy.unal.edu.co/10.1007/97>
- Foelkel, C. (2012). A Sustentabilidade das Florestas Plantadas de Eucalipto na Rede de Valor da Celulose e Papel no Brasil. *Associação Brasileira Técnica de Celulose E Papel*. Retrieved from A Sustentabilidade das Florestas Plantadas de Eucalipto na Rede de Valor da Celulose e Papel no Brasil
- Guinée, J., Heijungs, R., Huppes, G., Zamagni, A., Masoni, P., Buonamici, R., ... Rydberg, T. (2011). Life Cycle Assessment: Past, Present, and Future. *Environmental Science & Technology*, 45(1), 90–96. Retrieved from 10.1021/es101316v
- Hauschild, M. Z., & Huijbregts, M. A. J. (2015). *LCA Compendium – The Complete World of Life Cycle Assessment. Life cycle impact assessment.* (W. Klöpffer & M. A. Curran, Eds.) *The International Journal of Life Cycle Assessment* (Vol. 2). Springer. <http://doi.org/10.1007/BF02978760>
- Hernández Londoño, A., Montoya Arango, J. A., & Camargo García, J. C. (2015). Análisis del ciclo de vida aplicado a la fase de extracción de guadua, en el Eje Cafetero colombiano. *Recursos Naturales Y Ambiente*, (65–66), 68–76. Retrieved from <http://docplayer.es/9818026-Analisis-del-ciclo-de-vida-aplicado-a-la-fase-de-extraccion-de-guadua-en-el-eje-cafetero-colombiano.html>
- IDEAM. (2015). Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero.
- International Organisation for Standardisation (ISO). (2007). NTC-ISO 14040 Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia. Bogotá D.C.: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).

- IPCC. (2014). El Quinto Reporte de Evaluación del IPCC ¿Qué implica para Latinoamérica?
- ISO. (2006). ISO 14040: Environmental Management –Life Cycle Assessment– Principles and Framework. Ginebra: ISO.
- Jones, C., Gilbert, P., Raugei, M., Mander, S., & Leccisi, E. (2016). An approach to prospective consequential life cycle assessment and net energy analysis of distributed electricity generation. *Energy Policy*. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.08.030>
- Lisboa, P. M. (2012). plantas a raíz cubierta de Eucalyptus nitens .
- Matthews, R., Sokka, L., Soimakallio, S., Mortimer, N., Rix, J., Schelhaas, M., ... Randle, T. (2014). Review of literature on biogenic carbon and life cycle assessment of forest bioenergy. *Fuel*, 4(April), 246–253. <http://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.02.053>
- ONU. (2015). Aprobación del Acuerdo de París. *Convención Marco Sobre El Cambio Climático - Noviembre de 2015, COP 21*. París. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Ordóñez, J. A. B., & Masera, O. (2001). Captura de carbono ante el cambio climático. *Revista Maderas Y Bosques*, 7(1), 3–12. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61770102>
- Ospina, C., Hernández, R., Restrepo, E., Sánchez, F., Urrego, J., Rondas, C., ... Riaño, N. (2011). *E I Pino pátula*.
- Ospina, M. et al. (2006). El Eucalipto. *Guías Silviculturales Para El Manejo de Especies Forestales Con Miras a La Producción de Madera En La Zona Andina Colombiana*, 1–53.
- ProExport. (2012). Sector Forestal en Colombia. *Conif*, 1–17.
- Ramírez, A. D., Torres, D., Peña, P., & Duque-Rivera, J. (2014). Life cycle assessment of greenhouse gas emissions arising from the production of glued and pressed wall panels derived from *Guadua angustifolia* Kunth (bamboo) in Ecuador. *WIT Transactions on Ecology on The Built Environment*, 142, 447–457. <http://doi.org/10.2495/ARC140381>
- Rea Lozano, V. (2012). *Uso de la Caña Guadua Como Material de Construcción: Evaluación Medioambiental Frente a Sistemas Constructivos Tradicionales*. Universidad Politécnica de Madrid. Retrieved from <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/356/1/T-SENESCYT-0126.pdf>
- Salas, E. (2006). La *Guadua angustifolia* “El Bambú Colombiano.” *Actualidad Y Futuro de La Arquitectura de Bambú En Colombia*. Retrieved from https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93442/06_ESD_Cos_pp_35_81.pdf
- Sánchez, O. J., Cardona, C. A., & Sánchez, D. L. (2012). Análisis de ciclo de vida y su aplicación a la producción de bioetanol: Una aproximación cualitativa. *Revista Universidad EAFIT*, 43(146), 59–79. <http://doi.org/0120-341X>
- SENA. (2006). *Caracterización ocupacional de la guadua*. Bogotá D.C.: Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Retrieved from <http://observatorio.sena.edu.co/mesas/01/CADENA DE LA GUADUA.pdf>