

Análisis del ciclo de vida aplicado a la fase de extracción de guadua, en el Eje Cafetero colombiano

Andrea Hernández Londoño¹, Jorge Augusto Montoya Arango², Juan Carlos Camargo García³

Resumen

Se utilizó la metodología de análisis del ciclo de vida como herramienta para identificar, calificar y categorizar los impactos ambientales causados por la extracción de materia prima de guadua (*Guadua angustifolia* Kunth). Mediante un inventario del ciclo de vida del material proveniente de un guadua natural manejado se demostró cuantitativamente el impacto ambiental de las actividades de pre cosecha y cosecha de culmos de guadua. Los datos del inventario se obtuvieron en guaduales de la empresa Yarima Guadua E.U, municipio de Pereira (Colombia); además, se evaluaron fuentes de información primarias y secundarias y bases genéricas de datos de inventarios de ciclos de vida. El análisis de la información se llevó a cabo en la Universidad Tecnológica de Pereira, mediante la versión *Faculty* del paquete estadístico SimaPro 7.3.3. Los resultados obtenidos muestran que los impactos más relevantes se relacionan con el consumo de combustible utilizado por el equipo de aserrío y transporte en los procesos de pre cosecha y cosecha en el guadua. El proceso de cosecha de guadua húmeda y puesta en planta arrojó valores altos en la categoría de impacto 'toxicidad humana' a causa del consumo de gasolina (44% del total de impactos). La máquina utilizada para realizar los cortes afectó principalmente a la categoría de impacto 'deterioro de la capa de ozono' (99%), debido a las emisiones de halon 1301, halon 1211 y CFC-10.

Palabras claves: *Guadua angustifolia*; ciclo vital; cosecha; operaciones forestales; combustibles; consumo; impacto ambiental; Colombia.

Abstract

Life cycle assessment during the extraction phase of guadua culms in the Colombian coffee region. The life cycle assessment methodology was used as a tool to identify, qualify and categorize the environmental impacts caused by the extraction of guadua culms (*Guadua angustifolia* Kunth). A life cycle inventory of raw material from a managed natural guadua forest permitted to quantify the environmental impact of pre-harvest and harvest activities. Inventory data were obtained from Yarima Guadua E.U. company (Pereira, Colombia); moreover, primary and secondary information sources were assessed, as well as life cycle inventory generic databases. Data analysis was made at the Technological University of Pereira, using the Faculty version of SimaPro 7.3.3. The results showed that the strongest impacts are related to gasoline combusted by both sawing equipment and transportation in pre-harvest and harvest processes. Harvesting and transporting to plant showed high values in the category 'human toxicity' due to consumption of gasoline (44% of total impact). The sawing equipment mainly affected the category 'ozone layer depletion' (99%) because of emissions of halon 1301, halon 1211, and CFC-10.

Keywords: *Guadua angustifolia*; life cycle; harvest; Forest operations; fuels; consumption; environmental impacts; Colombia.

1 Grupo de Investigación Producción más Limpia, Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Tecnológica de Pereira. andreafernandez@utp.edu.co
 2 Grupo de Investigación Producción más Limpia, Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Tecnológica de Pereira. jorgemontoya@utp.edu.co
 3 Grupo de Investigación en Gestión de Agroecosistemas Tropicales Andinos, Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Tecnológica de Pereira. jupipe@utp.edu.co

Introducción

El análisis del ciclo de vida (ACV) es una herramienta metodológica que sirve para medir el impacto ambiental de un producto, proceso o sistema a lo largo de todo su ciclo de vida (desde que se obtienen las materias primas hasta su fin de vida). Se basa en la recopilación y análisis de las entradas y salidas del sistema para obtener resultados que muestren sus impactos ambientales potenciales, con el objetivo de definir estrategias que ayuden a reducir tales impactos (IHOBE 2009). La medición de los impactos ambientales de un producto por medio de la metodología ACV es una manera de valorar la sostenibilidad ambiental de dicho producto, de manera que el consumidor cuente con elementos de juicio para valorarlo con respecto a otros de forma más objetiva.

La guadua (*Guadua angustifolia* Kunth) es una especie de rápido crecimiento, con características físico-mecánicas y resistencia comparables con el acero y el concreto. Esta especie es cada vez más empleada como material de construcción; sin embargo, a diferencia de los materiales de construcción más utilizados en el mundo occidental (Lugt et al. 2003), pocas veces se ha medido su sostenibilidad en términos cuantitativos en todas las etapas de su ciclo de vida. Uno de los estudios más significativos hechos con guadua comparó, por medio del ACV, los impactos ambientales de materiales de bambú con materiales usados comúnmente en construcción en Europa occidental (Lugt et al. 2009). El estudio identificó y cuantificó los impactos ambientales potenciales ocasionados en la primera etapa del ciclo de vida del producto -la extracción de la materia prima- en un guadual natural manejado, certificado por FSC (Forest Stewardship Council); dicho esquema de certificación se basa en criterios de tipo legal, normativo, social,

ambiental y económico aplicados a la valoración del manejo de los bosques naturales. Una vez reconocidos los impactos, los datos se analizaron con el paquete informático SimaPro 7.3.3, para asociarlos a las categorías de impacto, que se describen en el método CML 2000 (línea de base).

El material evaluado corresponde a culmos de guadua recolectados en guaduales de la empresa colombiana Yarima Guadua E.U. La finca se ubica en la vereda Los Planes, sector El Tigre, en la vía Pereira – Cerritos, entre las coordenadas 75°45'50" W, 75°46'40" y 4°47'30"N, 4°8'20" N. La empresa cuenta con un área de guaduales de 26 hectáreas (Figura 1). La evaluación se llevó a cabo en la Universidad Tecnológica de Pereira, por medio de la versión *Faculty* del SimaPro 7.3.3. Este paquete informático permite hacer adecuaciones a las bases de datos existentes para modelar procesos específicos y se ajusta a los requisitos exigidos por la NTC ISO 14.044:2007 (Icontec 2007 a y b).

Análisis del ciclo de vida

Para la aplicación de la metodología ACV se tomaron como base los

requisitos y principios definidos por la norma NTC ISO 14.044:2007, la cual describe cuatro fases de estudio (Figura 2).

Objetivo y alcance

El **objetivo** de este estudio fue aplicar el análisis del ciclo de vida durante la fase de extracción de culmos de guadua como materia prima para la producción de tableros de esterilla; el **alcance** fue desde la cuna (labores de precosecha y cosecha) a la puerta (preparación de la materia prima para ser enviada a la fase de producción).

En esta fase, la selección de la **unidad funcional** (UF) es muy importante pues todos los impactos se asignan y califican a partir de dicha unidad. Como unidad funcional para esta etapa del ACV se definió “*el culmo de guadua húmeda de 3 m de longitud, obtenido de la corta de una guadua en el bosque*”. Actualmente, la Hacienda Yarima cuantifica casi todos sus procesos y comercializa sus productos en metros lineales de guadua húmeda; por esto se decidió definir la UF en estos términos.

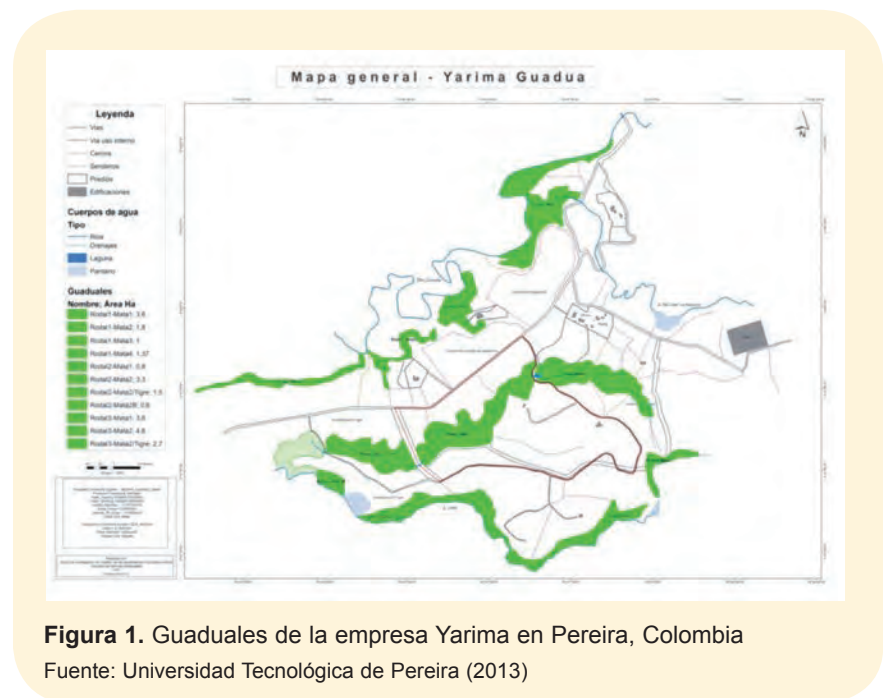


Figura 1. Guaduales de la empresa Yarima en Pereira, Colombia
Fuente: Universidad Tecnológica de Pereira (2013)

Estructura ACV

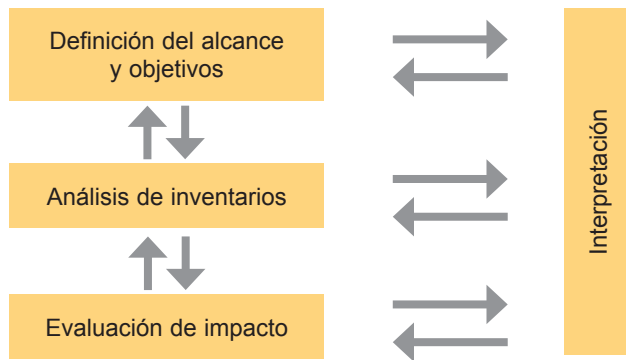


Figura 2. Etapas de un análisis del ciclo de vida
Fuente: Icontec (2007 a y b)

Los **límites del sistema** se definieron a partir de datos de entrada y salida de cada proceso unitario que forma parte de las labores de precosecha y cosecha. Hay que tener en cuenta que varias de las actividades que se realizan en el gradual son manuales y no demandan insumos diferentes de las herramientas básicas de trabajo, como guantes y

machetes, entre otras de uso común (Figura 3).

Análisis del inventario del ciclo de vida

Para esta fase, se trabajó con datos de primer plano y de fondo. Los **datos de primer plano** se relacionan específicamente con el sistema del producto; se trata de datos reales

y verificados, recolectados directamente en campo mediante observaciones, entrevistas con expertos, trabajadores y personal de las unidades productivas estudiadas, así como medición de variables y/o de publicaciones relevantes.

Los **datos de fondo** no se relacionan específicamente con el sistema del producto sino que se derivan de bases de datos genéricas de inventarios de ciclos de vida (ICV). Estos datos pueden ser, por ejemplo, de consumo energético o de transporte, que no son específicos para el producto. La mayoría de datos se tomaron de la base de datos *Ecoinvent v2⁴*, la cual integra las bases de datos ETH-ESU 96 y BUWAL250, entre otras. El paquete informático SimaPro integra, además, otras bases de datos dentro de su biblioteca⁵, que también se usaron como insumos de datos. Cuando fue posible se realizaron cálculos para sumar entradas y salidas dentro de un mismo proceso unitario; asimismo, los flujos de todos los procesos unitarios se relacionaron con la unidad funcional final.

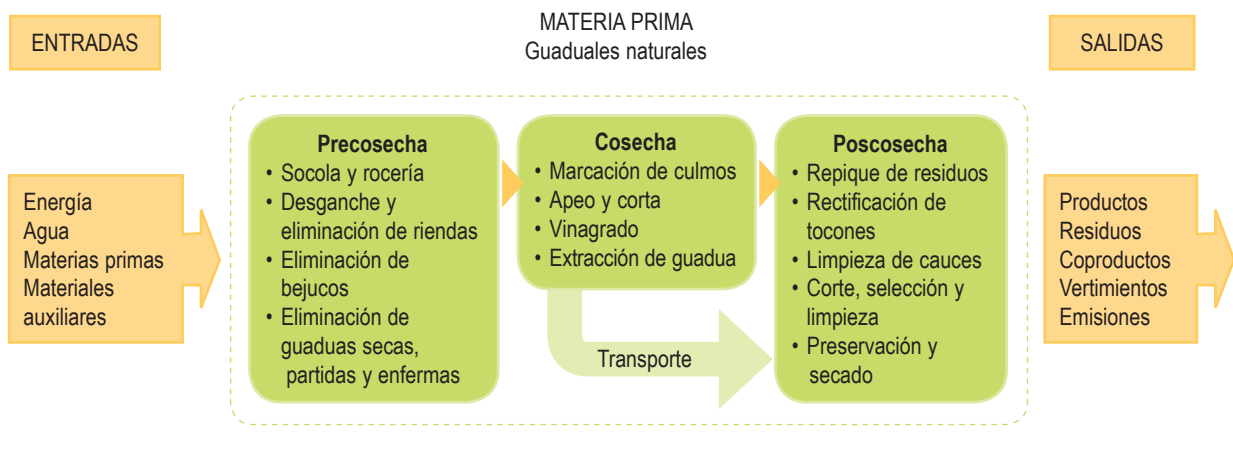


Figura 3. Límites del sistema con procesos unitarios

4 Esta es la base de datos internacional de ICV más completa y transparente; todos los datos de inventario son establecidos con altos estándares de calidad.
5 European Life Cycle Database (ELCD), EU & DK, LCA Food DK, Industry data 2.0, Swiss Input Output, USA Input Output y U.S. LCI

Buena parte de las labores de cosecha y precosecha son manuales, con herramientas básicas, por lo cual los impactos ambientales se consideran de mínimo efecto; entre esas labores están la socla, rocería, eliminación de bejucos, apeo, avinagrado, extracción de culmos y limpieza de cauces. Por otra parte, en las labores de desganche, eliminación de riendas y de guaduas secas, partidas y enfermas, la corta, repique de residuos y rectificación de tocones se necesita una motosierra y un disco pulidor, los cuales se acoplan con una guadaña. Estos equipos requieren insumos como combustible y aceite y, por ende, generan algunos impactos ambientales como consumo de combustible, ruido y emisión de gases de combustión.

Las labores de precosecha, cosecha y poscosecha no se realizan de manera independiente, sino en forma simultánea y dependen, a veces, de las condiciones del bosque y del terreno. La recolección de datos del inventario se agrupó en los procesos descritos en el Cuadro 1.

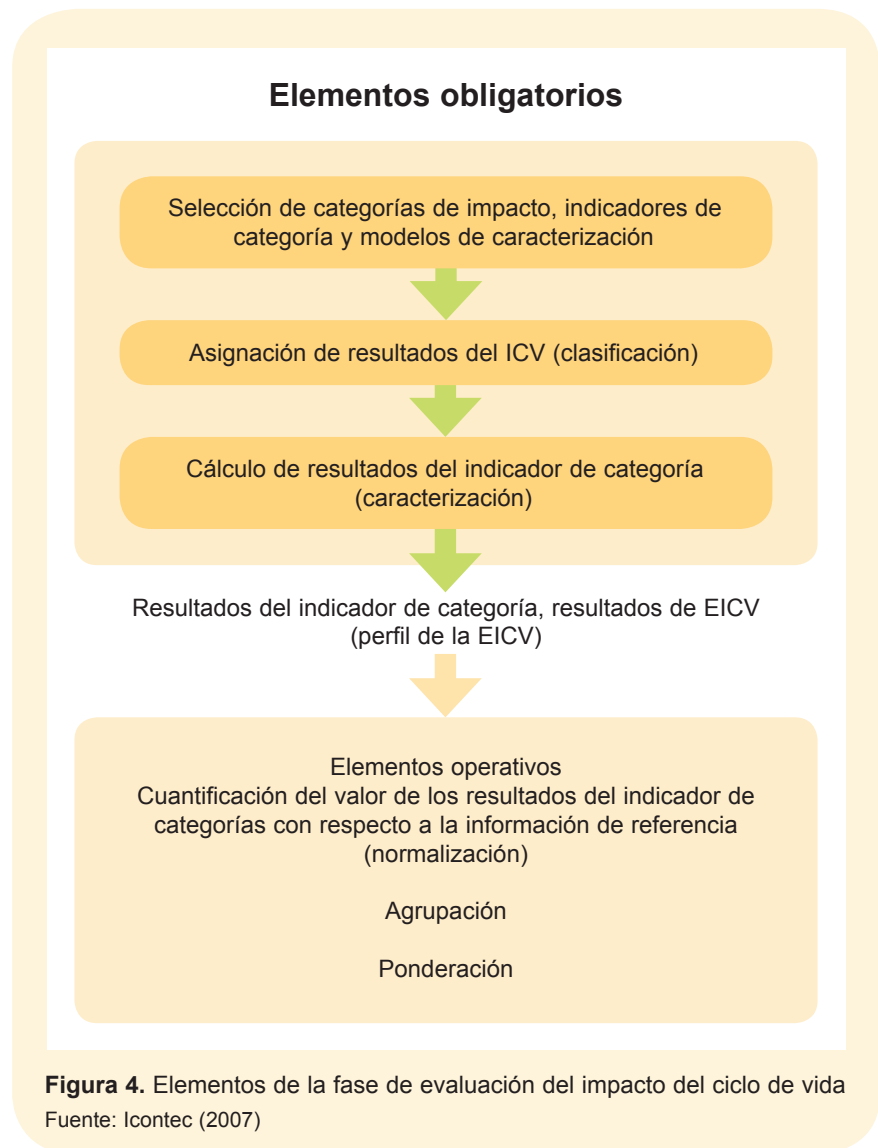
Evaluación del impacto del ciclo de vida

Según Icontec (2007 a y b), existen tres pasos obligatorios y tres opcionales para evaluar la magnitud de los impactos ambientales potenciales a partir de los resultados del ICV (Figura 4). En este estudio, para la evaluación de los impactos se siguieron los pasos de clasificación y caracterización.

Los datos del ICV y los cálculos de la evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV) se analizaron con el método CML 2000 V 2,05 (línea de base), desarrollado por un grupo de científicos del Centro de Ciencias Ambientales de la Universidad de Leiden, Holanda. Este método propone un grupo de categorías de impacto y formas de caracterización de impactos de punto medio para la fase de EICV, medidas con los indicadores que se detallan en el Cuadro 2.

Cuadro 1. Información del conjunto de datos para el ICV de la extracción de la materia prima

Procesos	<i>Guadua angustifolia</i> en pie en el bosque	Guadua cortada y puesta en el camino del bosque	Transporte interno
Ubicación	Guaduales Yarima	Caminos de guaduales Yarima	Planta Yarima
Unidad	Culmo maduro, entre 4 y 5 años de edad con 10,96 cm de diámetro, 20,38 m de altura, área basal de 54,07 m ² /ha, densidad promedio de madera de 670 kg/m ³ y volumen aparente de 0,11 m ³	Segmento de guadua húmeda de 3 m de longitud	
Actividades o procesos incluidos	<ul style="list-style-type: none"> Captura de CO₂ del aire y el suelo Poder calorífico de la biomasa Ocupación intensiva del bosque 	Consumo de combustible por corta con motosierra y disco pulidor acoplado a la guadaña	Transporte de guadua en un tractor ocupado a capacidad máxima (80 a 100 culmos por viaje)



Cuadro 2. Características de las categorías de impacto para el método CML 2000 V 2,05 (línea de base)

Nombre de la categoría de impacto	Factor	Indicador
Agotamiento de recursos abióticos	Factor de agotamiento abiótico	kg Sb eq/kg de extracción
Cambio climático	Potencial de calentamiento global	kg CO ₂ eq/kg de emisión
Agotamiento del ozono estratosférico	Potencial de agotamiento de la capa de ozono	kg CFC-11 eq/kg de emisión
Toxicidad humana	Potencial de toxicidad humana	kg 1,4-DB eq/kg de emisión
Ecotoxicidad de agua dulce	Potencial de ecotoxicidad de agua dulce	kg 1,4-DB eq/kg de emisión
Ecotoxicidad marina	Potencial de ecotoxicidad acuática marina	kg 1,4-DB eq/kg de emisión
Ecotoxicidad terrestre	Potencial de ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq/kg de emisión
Formación foto-oxidante	Formación potencial de ozono fotoquímico	kg C ₂ H ₄ eq/kg de emisión
Acidificación	Potencial de acidificación	kg SO ₂ eq/kg de emisión
Eutrofización	Potencial de eutrofización	kg PO ₄ eq/kg de emisión

Fuente: Goedkoop et al. (2010).

kg Sb eq = kg equivalentes de antimonio; kg CO₂ eq = kg de dióxido de carbono; kg CFC-11 eq = kg de CFC - 11 equivalente; kg 1,4-DB eq = kg equivalente de 1,4 -diclorobenceno; kg C₂H₄ eq = kg equivalentes de etileno; kg SO₂ eq = kg equivalentes de dióxido de azufre; kg PO₄ eq/kg de emisión = kg equivalentes de fosfatos

Fase de interpretación

En esta fase se analizaron los impactos seleccionados en las fases anteriores; se determinaron los valores específicos de las cargas ambientales de cada entrada e insumo para cada categoría de impacto.

Resultados y discusión

Yarima Guadua E.U. se dedica al aprovechamiento, preservación, secado y comercialización de productos de los guaduales. La empresa cuenta con un plan de manejo aprobado por la Corporación Autónoma

Regional de Risaralda (CARDER), en el cual se detallan las actividades de manejo para las 26 hectáreas de guaduales en ciclos de 24 meses; además, se describen las actividades de preservación, secado y despacho de pedidos.



Foto: Grupo GATA

El estudio contempló la extracción de materia prima para los 2012 y 2013 en un sitio específico del Eje Cafetalero de Colombia

Cuadro 3. Información y características de las entradas tomadas de bases de datos internacionales

Nombre de la entrada	Nombre de la entrada en la base de datos	Procesos incluidos	Geografía	Tecnología	Observaciones
Gasolina	Gasolina quemada en equipo	Sin especificar	Estados Unidos	Combustión de gasolina en equipos tales como unidades móviles de refrigeración, generadores, bombas y equipos portátiles de perforación de pozos.	La mayoría de entradas de la base de datos US LCI han sido revisadas; sin embargo, la base en su conjunto aún no ha sido sometida a un proceso de validación formal.
Motosierra	Motosierra con catalizador	Potencia (infraestructura), el uso de combustibles, lubricantes, aceite, y algunas medidas de emisiones de aire (incluidas las emisiones procedentes de la combustión del combustible). La sierra está equipada con un convertidor catalítico.	Desconocida	Tecnología media utilizada en Europa a finales de la década de 1990.	
Transporte en tractor	Transporte, tractor	El inventario toma en cuenta el consumo de combustible y la maquinaria agrícola para el transporte de mercancías por carretera: un tractor y dos remolques de neumáticos. También se consideran las emisiones y residuos de calor al aire de la combustión y la emisión al suelo por abrasión de los neumáticos durante el transporte. Se incluyen las siguientes actividades: trabajos preliminares en la planta (p.e., enganche del remolque al tractor), transporte en carretera por 1 km, trabajo final y desacoplamiento de la máquina. No se incluyen emisiones de polvo ni ruido.	Los inventarios se basan en mediciones realizadas por la FAT, en Suiza.	Las medidas de emisiones y consumo de combustible corresponden a tractores en funcionamiento durante el período 1999 a 2001.	Incluye dos remolques de neumáticos con capacidad máx. de 8t, velocidad media con carga = 15 km/h, velocidad media sin carga = 25 km/h (a igual distancia). UF es 1 t transportada en 1 km.

En el 2004, la empresa inició el proceso de certificación forestal voluntaria con el FSC; en mayo del 2006 obtuvo la certificación GFA-FM/COC-1333 por medio de la Corporación Guadua. Desde entonces, los guaduales se mantienen en muy buen estado y la unidad forestal ha venido cumpliendo con sus actividades de una excelente manera, lo que da cuenta del compromiso de la empresa con el componente ambiental (Suárez y Hernández 2013).

Análisis del ciclo de vida

En el Cuadro 3 se detallan las variables evaluadas. La información se tomó de bases de inventarios europeas y estadounidenses, puesto que no se cuenta con bases de datos nacionales. En el Cuadro 4 se muestran los datos de las entradas y salidas asociadas a la UF del producto final, calculados a partir de la información de todos los flujos en cada proceso.

Para el análisis con el SimaPro se evaluaron el consumo de gasolina,

la utilización del equipo de corta y el transporte interno. La Figura 5 muestra la caracterización de los impactos, para cada entrada, provocados durante la fase de extracción de 278,4 kg de guadua húmeda como principal materia prima para la fabricación de tableros de esterilla. La categoría de impacto con mayor cantidad de emisiones fue la ecotoxicidad marina, en la que el consumo de gasolina aportó la mayor cantidad de emisiones. Sin embargo, para esta investigación este resultado no es válido por la ubicación geográfica del sitio en estudio. En segundo lugar se ubicó la categoría de cambio climático, en la que el uso del equipo de corta fue el principal contribuyente de emisiones; en tercer lugar se ubicó la toxicidad humana (Cuadro 5).

Las categorías en las que el consumo de gasolina causa mayor impacto son la toxicidad: 44% para la toxicidad humana y 20% para la ecotoxicidad de agua dulce (Figura 5), ya que los combustibles fósiles afectan de manera importante

la salud humana y los ecosistemas hídricos durante todo su ciclo de vida. El transporte en tractor tuvo una representatividad baja en la contribución total de todas las categorías; el aporte más alto se dio en la categoría de toxicidad humana con un valor del 1,2%. Finalmente, el uso del equipo para realizar los cortes representó el 99% de la carga del impacto total en dos categorías: agotamiento de la capa de ozono y ecotoxicidad terrestre, por las emisiones al aire de trifluor-bromometano o halon 1301 (3,05 E-7 kg CFC-11 eq), difluor-cloro-bromometano o halon 1211 (7,33E-9 kg CFC-11 eq) y tetracloro metano o CFC-10 (2,09 E-9 kg CFC-11 eq) durante todo su ciclo de vida. Las emisiones de estos gases –los cuales poseen un alto potencial de agotamiento de la capa de ozono– se atribuyen al proceso de producción del equipo de corte.

Limitaciones del estudio

Un estudio de ACV de un producto que se fabrica bajo condiciones

Cuadro 4. Información de flujos para cada proceso del ICV de la extracción de materia prima para la producción de tablero de esterilla de guadua

Información de los flujos								
Entradas	Nombre del proceso	Salida	Nombre del proceso en SimaPro 7.3.3 (base de datos)	Categoría / Subcategoría	Valor	Unidad	Fuente del dato	Comentarios
<i>Guadua angustifolia</i> Kunth	Guadua en pie en el bosque		Madera, no especificado, en pie/kg (Ecoinvent)	Recurso / Biótico	442,2	kg	(Camargo García 2006)	Se toma como referencia un culmo promedio, maduro de 4 a 5 años de edad, con 10,96 cm de diámetro, 20,38 m de altura, área basal de 54,07 m ² /ha, densidad promedio de madera de 670 kg/m ³ y volumen aparente de 0,11 m ³ .
Energía solar almacenada			Energía, valor calorífico bruto, en biomasa (Ecoinvent)	Recurso / Biótico	8291,25	MJ	(Daza 2013)	Se calculó a partir de los siguientes valores de la guadua: valor calorífico superior de 18,75 MJ/kg, densidad de 670 kg/m ³ y volumen neto de 0,03 m ³ .
Captura de CO ₂			Dióxido de carbono, en aire (Ecoinvent)	Recurso / Aire	187,26	kg	(Arango 2011)	Se supone que en una hectárea con 4050 culmos de guadua se almacenan 126,41 t/ha de CO ₂ ; en promedio, 31,21 kg por cada guadua completa (hojas, ramas, raíz, culmo).
Ocupación del bosque			Ocupación del bosque, intensiva (Ecoinvent)	Recurso / Suelo	0,0516	m ²	(Camargo García 2006)	Este dato se obtiene con el área basal de la guadua (54,07 m ² /ha) calculada con el diámetro (medido en el entrenudo a la altura del pecho) y una cantidad de 6284 culmos/ha.
			Guadua en pie en el bosque	Guadua en pie en el bosque (Autor)	Material / Madera, Extracción	442,2	kg	(Camargo García 2006)
Guadua en pie en el bosque	Guadua cortada y puesta en el camino del bosque		Guadua en pie en el bosque (Autor)	Material / Madera, Extracción	442,2	kg		
Gasolina			Gasolina, quemada por el equipo (US LCI)	Energía / Combustible	0,192	L	(Lugt et al. 2009)	El dato corresponde al combustible utilizado en labores de precosecha, cosecha y poscosecha; es decir, todos los cortes realizados con motosierra y disco pulidor acoplados a la guadaña. Se incluyen aceite del motor y aceite lubricante. Consumo de 0,016 L y 12 cortes por culmo.
Corta con máquina			Poder de aserrado, sin convertidor catalítico (Ecoinvent)	Transformaciones / Madera	0,5	H	(Althaus 2007)	Motosierra y disco pulidor acoplados a la guadaña; 0,4h/m ³ para la corta de pino paraná con una densidad de 500 kg/m ³ . Se calculó el tiempo de uso para realizar un total de 12 cortes a guaduas con densidad de 670 kg/m ³ .
			Guadua cortada y puesta en el camino del bosque	Guadua cortada y puesta en el camino del bosque (Autor)	Material / Madera, Extracción	278,4	kg	
Guadua cortada y puesta en el camino del bosque	Transporte interno		Guadua cortada y puesta en el camino del bosque (Autor)	Material / Madera, Extracción	278,4	kg		
Transporte en tractor			Transporte, tractor y remolque (Ecoinvent)	Transporte / Carretera	0,032	Tkm		El tractor utilizado tiene una capacidad máx. de 100 guaduas (1,8 t); recorre un promedio de 5,2 km (2,6 km de ida y 2,6 km de regreso vacío); la cantidad de guadua a transportar por cada UF es de 292,32 kg.
			Guadua húmeda cortada en planta	Guadua húmeda cortada en planta (Autor)	Material / Madera, Extracción	278,4	kg	(Liese 2003, Montoya Arango 2006)

Cuadro 5. Análisis de impacto para la extracción de materia prima con el método CML 2000

Categoría de impacto	Unidad	Total	Gasolina	Equipo de corta	Transporte en tractor
Agotamiento de recursos abióticos	kg Sb eq	0,020604	0,003532	0,016978	9,45E-05
Acidificación	kg SO ₂ eq	0,016699	0,0044	0,012224	7,56E-05
Eutrofización	kg PO ₄ eq	0,006701	0,000906	0,005771	2,34E-05
Cambio climático	kg CO ₂ eq	3,316932	0,527905	2,775198	0,013829
Agotamiento del ozono estratosférico	kg CFC 11 eq	3,18E-07	1,94E-11	3,16E-07	1,61E-09
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	1,694131	0,747963	0,926429	0,01974
Ecotoxicidad de agua dulce	kg 1,4-DB eq	0,808297	0,164304	0,640351	0,003642
Ecotoxicidad marina	kg 1,4-DB eq	1020,341	600,5547	413,2586	6,528142
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	0,007651	3,05E-05	0,007548	7,25E-05
Formación foto-oxidante	kg C ₂ H ₄ eq	0,00344	0,000826	0,00261	3,39E-06

Fuente: Elaborado a partir de información de SimaPro 7.3.3 2014

específicas de extracción de la materia prima y del proceso productivo, como el tablero de esterilla de guadua, presenta varias limitaciones e implica asumir situaciones y datos que no necesariamente coinciden con lo que sucede en la realidad. La selección de un método de análisis implica, asimismo, la omisión de aspectos ambientales que podrían ser relevantes en la evaluación del impacto. Por lo tanto, es importante aclarar las limitaciones y supuestos que se tomaron en cuenta en esta investigación.

Conjuntos de datos

La evaluación de los impactos ambientales en un análisis del ciclo de vida por lo general requiere un gran conjunto de datos, así como supuestos del modelo. A pesar de que algunos datos fueron recolectados en campo, otros se tomaron de fuentes secundarias o de bases de datos disponibles en el paquete informático mismo. Todas las fuentes de datos procedentes de información bibliográfica y las características de los datos tomados de bases de datos se especifican en los Cuadros 1 y 3.

Temporalidad y geografía del conjunto de datos

El ACV del producto en estudio refleja la extracción de materia prima para el año 2012 y 2013, en un sitio específico ubicado en el Eje Cafetero de Colombia; o sea que los resultados no son válidos para otra forma de cosecha de la guadua.

Modelos e indicadores

Actualmente no existen modelos de evaluación de impactos que hayan sido validados para Colombia ni para América Latina; por eso, es necesari-

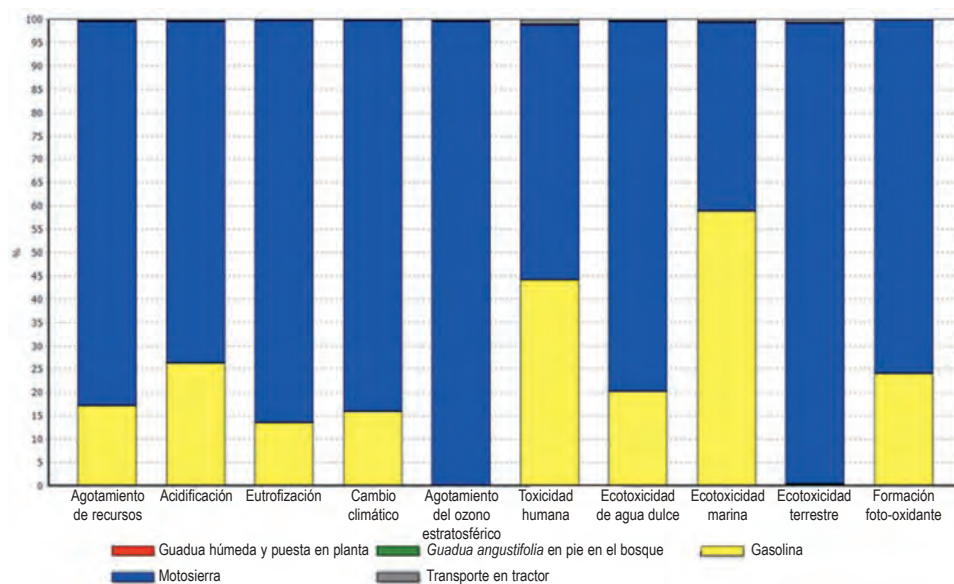


Figura 5. Caracterización de impactos para la etapa de extracción de materia prima con el método CML 2000

Fuente: Elaborado a partir de información de SimaPro 7.3.3 2014

rio utilizar métodos con indicadores europeos que pueden ocasionar errores en la interpretación, puesto que no reflejan la realidad de los impactos para nuestro país. Las principales diferencias radican en las condiciones ambientales, la vulnerabilidad de los ecosistemas y las tecnologías e insumos empleados para obtener las diferentes materias primas.

Otro aspecto a tener en cuenta es que gran variedad de modelos de análisis omiten algunos impactos y aspectos importantes; por eso, la selección de un método debe ser un proceso cuidadoso que refleje el alcance e interés de cada estudio.

Conclusiones

- Para el estudio de ACV desarrollado en este trabajo se analizaron las diez categorías de impacto ambiental descritas por el modelo de evaluación CML 2000 (línea de base), el cual arrojó resultados importantes para las categorías relacionadas con la toxicidad humana y el deterioro de la capa de ozono.
- Específicamente para la fase de extracción de materia prima, en

el proceso de la guadua húmeda cortada y puesta en planta se obtuvieron valores altos en la categoría de impacto toxicidad humana, a causa del consumo de gasolina, que tuvo un aporte de 44%. La máquina utilizada para realizar los cortes afectó en mayor proporción la categoría de impacto de deterioro de la capa de ozono (99%) atribuido a las emisiones halon 1301, halon 1211 y CFC-10.

- La selección de un método para la evaluación del impacto del ciclo de vida depende del alcance, la delimitación del sistema, la selección de la unidad funcional y del interés de cada estudio en particular. Esta selección debe hacerse de manera cuidadosa pues algunos métodos omiten aspectos ambientales que podrían ser relevantes para el sistema que se está evaluando.
- Es fundamental que las iniciativas de certificación forestal voluntaria no solo se mantengan sino que se mejoren de manera continua. Los trabajadores deben tener acceso a capacitación y sensibilización per-

manente sobre el correcto manejo de los equipos y maquinaria para las labores de cosecha, así como su incidencia en los impactos ambientales generados.

- Se recomienda evaluar los impactos ambientales relacionados con la guadua en diferentes escenarios; por ejemplo, la cosecha en bosques naturales manejados y en plantaciones comerciales. Igualmente, pueden generarse datos de ICV de diferentes procesos y productos de guadua con variación en las unidades funcionales de manera que puedan hacerse comparaciones entre ellos.
- La metodología de ACV es estática en el tiempo y en el espacio; es decir que refleja los impactos ambientales de un producto bajo condiciones específicas que cambian en el tiempo. En consecuencia, se requiere una constante actualización de los ICV de materiales e insumos que alimentan las bases de datos con que se construyen estos estudios. Esta es la principal limitación de esta metodología.

Literatura citada

- Althaus, H.J. 2007. Life cycle inventories of renewable materials; Data v 2.0. Dübendorf, Switzerland, EMPA.
- Arango, A.M. 2011. Posibilidades de la guadua para la mitigación del cambio climático. Caso: Eje Cafetero Colombiano. Tesis de Pregrado. Pereira, Colombia, UTP - Facultad de Ciencias Ambientales.
- Camargo García, J.C. 2006. Growth and productivity of the bamboo species *Guadua angustifolia* Kunth in the coffee region of Colombia. Thesis Ph.D. Göttingen, Germany, Georg-August Universität.
- Daza M., C.Z. 2013. Torrefied bamboo for the import of sustainable biomass from Colombia. Petten, Netherlands, Energy Research Centre of the Netherlands.
- Goedkoop, M.; Oele, M.; Schryver, A.; Viera, M.; Hegger, S. 2010. SimaPro Database Manual. Amersfoort, Netherlands, Pré Consultants. Methods library.
- Icontec (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación). 2007a. NTC ISO 14040:2007. Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia. Bogotá, Colombia.
- Icontec (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación). 2007b. NTC ISO 14044:2007. Gestión ambiental. Directrices. Requisitos del ciclo de vida. Bogotá, Colombia.
- IHOBE (Sociedad Pública de Gestión Ambiental). 2009. Análisis de ciclo de vida y huella de carbono: dos maneras de medir el impacto ambiental de un producto. Bilbao, España.
- Liese, W. 2003. Bamboo preservation compendium. New Delhi, India, Center for Indian Bamboo Resource Technology. (INBAR Technical Report no. 22).
- Lugt, P.; Dobbelsteen, A.; Abrahams, A. 2003. Bamboo as a building material alternative for Western Europe. A study of the environmental performance, costs and bottlenecks of the use of bamboo (products) in Western Europe. *Bamboo and Rattan* 2(3): 205-223.
- Lugt, P.; Vogtländer, J.; Brezet, H. 2009. Bamboo: a sustainable solution for Western Europe design cases, LCAs and land-use, New Delhi, India, Center for Indian Bamboo Resource Technology. (INBAR Technical Report no. 30).
- Montoya Arango, J.A. 2006. Trocknungsverfahren für die Bambusart *Guadua angustifolia* unter tropischen Bedingungen. Tesis de doctorado. Hamburgo, Alemania, Universidad de Hamburgo.
- Suárez, J.D.; Hernández, A. 2013. Propuesta: Sistema de gestión ambiental Yarima Guadua E.U. Pereira, Colombia, ColcienciaS, Yarima Guadua EU, UTP.
- Universidad Tecnológica de Pereira. 2013. Innovación tecnológica para la optimización de procesos y la estandarización de productos en empresas rurales con base en la guadua: Una contribución para el fortalecimiento de la competitividad de la cadena productiva de la guadua en el Eje Cafetero de Colombia. Pereira, Colombia, Colciencias.