

Universidad Nacional de Costa Rica  
Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar  
Escuela de Ciencias Ambientales

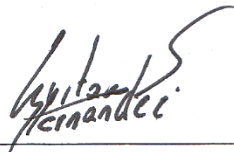
***Impacto potencial sobre el cambio climático de las tarimas de  
madera elaboradas en la Región Huetar Norte de Costa Rica a  
través de un Análisis de Ciclo de Vida (ACV)***

Modalidad tesis artículo científico para optar al grado de  
Licenciatura en Ingeniería en Ciencias Forestales  
Con énfasis en manejo forestal

Presentado por:  
John Solano Salmerón

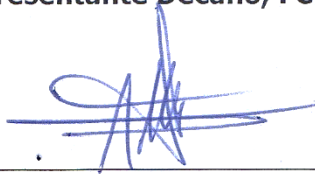
Heredia, Costa Rica.

2018



---

MSc. Gustavo Hernández Sánchez  
**Representante Decano, FCTM**



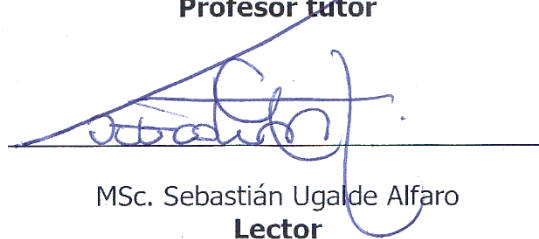
---

Ph.D. Sergio Molina Murillo  
**Representante de la Dirección, EDECA**



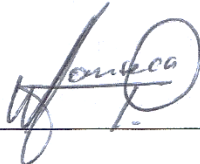
---

MSc. Federico Alice Guier  
**Profesor tutor**



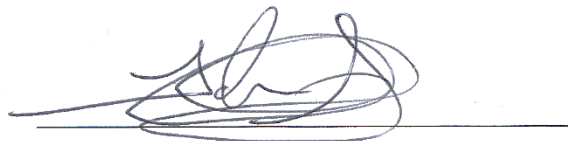
---

MSc. Sebastián Ugalde Alfaro  
**Lector**



---

Ph.D. William Fonseca González  
**Lector**



---

Bach. John Solano Salmerón  
**Postulante**

**Fecha: 27/Abril/2018**

## Índice General

Índice de cuadros.....	iii
Índice de figuras.....	iii
Índice de apéndices.....	iv
Índice de anexos.....	iv
Agradecimientos.....	v
Dedicatoria.....	vi
Acrónimos.....	vii
1. Introducción.....	9
2. Métodos y materiales.....	11
2.1. Área de estudio.....	11
2.2. Alcance y límites del sistema del producto.....	12
2.3. Inventario de ciclo de vida (ICV).....	14
2.4. Evaluación del impacto de Ciclo de Vida (EICV).....	17
2.5. Prácticas para mejorar el desempeño ambiental del producto.....	18
2.6. Análisis comparativo.....	18
3. Resultados.....	19
3.1. Evaluación del impacto de ciclo de vida (EICV) para los sistemas del producto de tarimas con madera local.....	19
3.2. Análisis de incertidumbre y sensibilidad.....	23
3.3. Prácticas para mejorar el desempeño ambiental del producto.....	24
3.4. Análisis comparativo.....	25
4. Discusión.....	27
5. Conclusiones.....	32
6. Referencias bibliográficas.....	33
Apéndices.....	39
Anexos.....	82

## Índice de cuadros

Cuadro 1. Distribución del número de actores entrevistados para la recopilación de los datos del ICV. ....	14
Cuadro 2. Parámetros utilizados para el cálculo del reservorio de carbono en el ecosistema y en el producto. Región Huetar Norte. 2017.....	15
Cuadro 3. Fuentes de gases de efecto invernadero contempladas en el ICV. Región Huetar Norte. 2017. ....	16
Cuadro 4. Resultados del ICV para cada sistema del producto de madera local. Región Huetar Norte, Costa Rica. 2017. ....	21
Cuadro 5. Principales fuentes de emisiones de GEI para cada etapa del CV evaluadas. Región Huetar Norte, Costa Rica. 2017. ....	22
Cuadro 6. Resultados del análisis de incertidumbre del ICV Región Huetar Norte, Costa Rica. 2017. ....	23
Cuadro 7. Resultados del análisis de sensibilidad de las fuentes biogénicas. 2017. ....	23
Cuadro 8. Emisiones de GEI de los sistemas del producto de madera local versus los sistemas de madera importada. 2017. ....	27

## Índice de figuras

Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio.....	12
Figura 2. Límites del sistema del producto. ....	13
Figura 3. Representación gráfica de las etapas y los límites de los sistemas del producto en comparación.....	19
Figura 4. Resultados de la EICV según los diferentes tipos de emisiones y el reservorio de carbono en producto para los sistemas del producto de madera local. ....	20
Figura 5. Distribución porcentual del impacto sobre el cambio climático según las diferentes etapas evaluadas.....	22
Figura 6. Resultados del análisis comparativo para una tarima.....	26
Figura 7. Resultados del análisis comparativo para un m <sup>3</sup> .....	26

## Índice de apéndices

Apéndice 1. Descripción detallada de las etapas y los procesos unitarios que conforman el CV de los sistemas del producto en estudio .....	39
Apéndice 2. Procesos unitarios, entradas y salidas de los sistemas del producto .....	53
Apéndice 3. Cuestionarios utilizados en la recopilación de los datos del ICV .....	63
Apéndice 4. Procedimiento de cálculo para la estimación de los desechos forestales de las actividades de raleos y aprovechamiento .....	68
Apéndice 5. Especificaciones metodológicas del cálculo de las emisiones .....	70
Apéndice 6. Factores de emisiones y valores de incertidumbre .....	74
Apéndice 7. Detalle del manejo de los datos de actividad en cada una de las etapas del CV ..	75
Apéndice 8. Especificaciones metodológicas del análisis de incertidumbre .....	79
Apéndice 9. Manejo de los datos del ICV para el sistema del producto de madera importada .	80

## Índice de anexos

Anexo 1. Cargado de la madera de Melina utilizando fuerza humana.....	82
Anexo 2. Larguero con muescas o boquetes (comúnmente conocido como cavacote) de las tarimas de diseño americano. ....	83
Anexo 3. Cargador hidráulico manual utilizado para el movimiento de la madera dentro de la planta de aserrío.....	83
Anexo 4. Horno o cámara para tratamiento térmico.....	83
Anexo 5. Sonda térmica para el control de la temperatura interna de la cámara de tratamiento térmico.. ....	84
Anexo 6. Sistema de almacenamiento de tarimas posterior a la aplicación del tratamiento fitosanitario.....	84
Anexo 7. Cubierta de las tarimas tratadas como parte de los procesos previos a la distribución de las tarimas.....	85

## Agradecimientos

A la vida, por la darme la oportunidad de terminar con éxito esta importante etapa, a pesar de las dificultades.

A mi familia, especialmente a mi madre, Kattia Salmerón, y a mi abuela, Olga Salmerón, por su apoyo y cariño; y por ser mi motor de inspiración.

Al proyecto “*Manejo del Cambio Climático a través del Sector Forestal en Costa Rica*” de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional (EDECA-UNA), comúnmente conocido como “*proyecto de carbono*”, por darme la oportunidad de incursionar en el tema de Análisis de Ciclo de Vida y Huella de Carbono de productos forestales. En especial, al MSc. Federico Alice por su apoyo, asesoría, seguimiento y paciencia; al PhD. William Fonseca por el apoyo brindado y por haber creído en mis capacidades; y a la Lic. Marilyn Rojas por su apoyo incondicional.

A la Oficina Nacional Forestal por la asesoría, el seguimiento y el apoyo técnico y financiero brindado. En especial al MII Sebastián Ugalde y al MBA Alfonso Barrantes Rodríguez.

A la Dirección de Extensión y la Dirección de Investigación de la Universidad Nacional (UNA) por el apoyo financiero brindado a través del Fondo para el Fortalecimiento de las Capacidades Estudiantiles (FOCAES).

A las organizaciones forestales, empresarios, productores, ingenieros y operarios que muy gentilmente colaboraron con este estudio ¡Sin ustedes esto no habría sido posible!

Finalmente, agradecer a todas las personas que directa o indirectamente me incentivaron a continuar con este proceso.

## **Dedicatoria**

A mi familia.

A mi madre, Kattia Salmerón, y a mi abuela, Olga Salmerón.

A mi hermano, José Pablo Solano, y a mi hermana, Paula Michelle Zúñiga.

A mis compañeros de Universidad; y

A mis profesores.

## Acrónimos

**ACV:** Análisis de Ciclo de Vida.

**CC:** Cambio Climático.

**CV:** Ciclo de Vida.

**EICV:** Evaluación del Impacto de Ciclo de Vida.

**GEI:** Gases de efecto invernadero (en este estudio CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O).

**ICV:** Inventario de Ciclo de Vida.

**PCG<sub>100</sub>:** Potenciales de Calentamiento Global con base en un modelo de línea base de 100 años.

**SEDS:** Sitio de Eliminación de Desechos Sólidos.

**SP:** Sistema del producto.

**SP-Bio:** Sistema del producto con biomasa en el tratamiento térmico.

**SP-GLP:** Sistema del producto con gas licuado de petróleo (GLP) en el tratamiento térmico.

**SP-Importada:** Sistema del producto con madera importada de Chile.

**SP-Local:** Sistema del producto con madera local

**Tt:** Tratamiento térmico.

**UF:** Unidad Funcional.



# Impacto potencial sobre el cambio climático de las tarimas de madera elaboradas en la Región Huetar Norte de Costa Rica a través de un Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

John Solano Salmerón<sup>1</sup>, William Fonseca González<sup>1</sup>, Sebastián Ugalde Alfaro<sup>2</sup>, Federico Alice Guier<sup>1</sup>.

(1) Escuela de Ciencias Ambientales, Campus Omar Dengo, Universidad Nacional de Costa Rica. Apdo postal 86-3000. Heredia, Costa Rica. [jh.solsla@gmail.com](mailto:jh.solsla@gmail.com).

(2) Oficina Nacional Forestal. San Antonio de Belén, Heredia, Costa Rica.

## Resumen

Se evaluó el desempeño ambiental sobre la categoría de cambio climático de las tarimas de madera elaboradas en la región Huetar Norte de Costa Rica, tomando en cuenta las emisiones fósiles y biogénicas de los sistemas del producto, así como el reservorio de carbono. Además, se realizó un análisis comparativo entre las tarimas elaboradas con madera local y las elaboradas con pino chileno. Los resultados muestran que las tarimas de madera local liberan entre 25,87-29,25 kg CO<sub>2</sub>-eq tarima<sup>-1</sup> equivalente a 978,44 – 1 106,18 kg CO<sub>2</sub>-eq m<sup>-3</sup>; donde las emisiones biogénicas representan entre 88-90%. Al considerar el reservorio de carbono en producto el impacto se reduce 19 kg CO<sub>2</sub>-eq tarima<sup>-1</sup> equivalente a 718,5 kg CO<sub>2</sub>-eq m<sup>-3</sup>. El análisis comparativo muestra que al excluir las emisiones biogénicas de CO<sub>2</sub> del análisis e incluir el carbono almacenado en el producto, la evaluación del impacto de los sistemas del producto con madera local varía entre -15,34 y -15,14 kg CO<sub>2</sub>-eq tarima<sup>-1</sup> y los sistemas del producto con madera importada entre -11,7 y -11,64 kg CO<sub>2</sub>-eq tarima<sup>-1</sup>. Lo que significa, en el corto plazo, un mejor desempeño ambiental de las tarimas elaboradas con madera local en términos de cambio climático. Se concluye que las emisiones biogénicas de CO<sub>2</sub> juegan un papel clave en el desempeño ambiental sobre el cambio climático de las tarimas elaborados en la región, sin embargo, la falta de consenso internacional en aspectos metodológicos dificulta su inclusión y análisis en los ACV.

**Palabras clave:** Huella de carbono de productos (HCP), productos de madera recolectada (PMR), productos biogénicos, plantaciones forestales, bosque tropical.

## Abstract

The environmental performance on the climate change category of the wooden pallets made in the Huetar Norte region of Costa Rica was evaluated, taking into account the fossil and biogenic emissions of the product systems, as well as the carbon reservoir stock. In addition, a comparative analysis was carried out between the pallets made with local wood and those made with Chilean

pine. The results show that local wooden pallets release between 25.87 and 29.25 kg of CO<sub>2</sub> equivalent pallet<sup>-1</sup> equivalent to 978.44 - 1 106.18 kg of CO<sub>2</sub>-eq m<sup>-3</sup>; where biogenic emissions represent between 90-88%. The comparative analysis shows that excluding biogenic CO<sub>2</sub> emissions and including the carbon in product, the evaluation of the impact of the product systems with local wood varies between -15.34 and -15.14 kg CO<sub>2</sub>-eq pallet<sup>-1</sup> and the product systems with imported wood between -11.7 and -11.64 kg CO<sub>2</sub>-eq pallet<sup>-1</sup>. Which means, in the short term, a better environmental performance of the pallets made with local wood in terms of climate change. It is concluded that the biogenic emissions of CO<sub>2</sub> play a key role in the performance on the climate change of the pallets elaborated in the region, however, the lack of international consensus in methodological aspects hinders its inclusion and analysis in the LCA.

**Key words:** Product carbon footprint (PCF), harvest wood products (HWP), biogenic products, forest plantations, tropical forest.

## 1. Introducción

Los productos de madera presentan un elevado potencial de mitigación de cambio climático (CC) tanto en la oferta como en la demanda. En la oferta, se reconocen al menos cuatro potenciales de mitigación. El primero, está relacionado con la remoción y almacenamiento de importantes cantidades de carbono (C) en los ecosistemas forestales y en los productos de madera. El segundo, se relaciona con la capacidad de sustituir o reemplazar bienes más intensos en emisiones. El tercero, asociado a la capacidad de evitar emisiones a la atmósfera producto de los cambios en el uso de la tierra; y el cuarto, se refiere a la capacidad de incrementar los depósitos de carbono. En la demanda, los potenciales de mitigación se encuentran asociados a la medida en que se incrementa la producción forestal sin que esto signifique un incremento en las emisiones y en la medida que se reduzca la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) por unidad de producto (Gustavsson et al. 2006; FAO 2010a; IPCC 2014).

La magnitud en que los bienes maderables contribuyen a la mitigación del CC depende de factores como: fuentes de madera utilizada, regímenes de manejo forestal empleado, características propias de los sitios de producción, procesos de producción, modo de operación de las labores, entre otros (Heinimann 2012; Lippke et al. 2011; Klein et al. 2015). De acuerdo con Lippke et al. (2011), una forma para determinar el efecto sobre el

CC de los productos de madera e identificar oportunidades de mitigación es a través de los estudios de Análisis de Ciclo de Vida (ACV). El ACV es una herramienta mundialmente reconocida que permite cuantificar y analizar los impactos ambientales de un producto o servicio, a lo largo de su cadena de valor (INTE/ISO 2007a; 2007b; Heinemann 2012).

Los ACV consisten en inventarios de entradas y salidas que permiten determinar los impactos ambientales potenciales de un bien o servicio a lo largo de su ciclo de vida (INTE/ISO 2007a y b). En total, es posible evaluar hasta 18 categorías de impacto ambiental, entre ellas CC o potencial de calentamiento global (PCG; INTE/ISO 2007a; 2007b; Heinemann 2012, Klein et al. 2015). Tienen como finalidad determinar la magnitud de los impactos ambientales potenciales, para diferentes propósitos como: i) identificar oportunidades de mejora en lo que se refiere al uso de recursos y desempeño ambiental, ii) aportar información para la planificación estratégica, el establecimiento de prioridades y el diseño o rediseño de productos, iii) seleccionar y cuantificar indicadores de desempeño ambiental; iv) proveer información para el desarrollo de procesos de eco-etiquetado y declaraciones ambientales de producto y v) el establecimiento de aseveraciones comparativas entre productos que desempeñan una misma función (INTE/ISO 2007a; 2007b; Heinemann 2012; Klein et al. 2015, Life Cycle Initiative 2017).

En la industria forestal, el primer estudio de ACV aparece en Europa en la década de los noventa (Klein et al. 2015). Desde entonces, se han desarrollado numerosas investigaciones promovidas por la creciente preocupación sobre el cambio climático y la exigencia de los consumidores cada vez mayor sobre los impactos ambientales de los productos y servicios que ofrece el mercado (INTE/ISO 2007a; 2007b; Brandão et al. 2013; Klein et al. 2015). En Costa Rica, para este sector de la economía, se tiene registro de un estudio en sillas de madera, a partir de una empresa integrada verticalmente (Hartley 2003); y un estudio preliminar en tarimas o pallets (Solano y Alice 2014; Solano 2013). Ambas investigaciones marcan un precedente esencial, sin embargo, es evidente que existen vacíos metodológicos y de interpretación que deben ser profundizados.

Las tarimas o pallets son un producto de gran importancia para el trasiego y manipulación de mercancías (CCL 2003; Maizeka 2011; Elia y Grazia 2015; García-Durañona et al.

2016). En Costa Rica, son esenciales en el trasiego de piña y banano para exportación. Según las estadísticas oficiales, entre 42-46% de la madera procesada en el país se destina a este uso (ONF 2014, 2015 y 2016). La industria nacional de tarimas se abastece, principalmente, de madera de plantación producida en el territorio nacional. No obstante, en los últimos años se ha registrado un flujo de madera aserrada que ingresa desde Chile para cubrir la demanda. En el 2015 la producción de tarimas en el país alcanzó una cifra de 5,4 millones de unidades, de las cuales 5,3% se fabricaron con madera proveniente de Chile (ONF 2016).

El objetivo general de esta investigación es analizar el efecto sobre la categoría de cambio climático de las tarimas de madera elaboradas en la región Huetar Norte de Costa Rica utilizadas para el embalaje de productos agrícolas de exportación. Los objetivos específicos son: i) analizar los procesos unitarios y los flujos de entrada y de salida de las etapas del ciclo de vida de las tarimas elaboradas en la región, ii) determinar el impacto potencial sobre el cambio climático de las tarimas de madera elaboradas en la región, iii) identificar prácticas que conllevan a un mejor desempeño ambiental del producto, y iv) comparar el desempeño ambiental de las tarimas elaboradas con madera local y las elaboradas con madera importada.

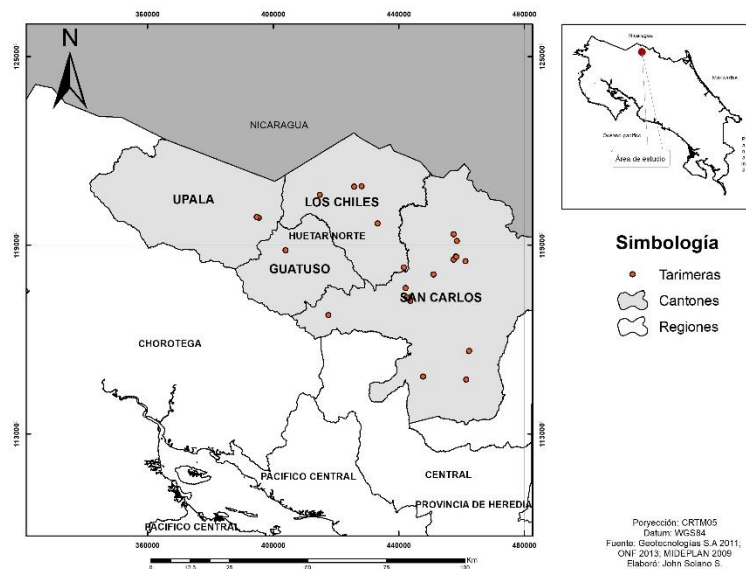
Con el desarrollo de esta investigación, se espera contribuir a mejorar el entendimiento sobre el papel que juegan los productos de madera nacional dentro del cambio climático; así como generar información que sirva como insumo para la planificación estratégica de medidas orientadas a mejorar la competitividad del sector forestal nacional en apego a los ejes estratégicos del Plan Nacional de Desarrollo Forestal (MINAET 2011) y como insumo para el desarrollo de políticas públicas en el sector forestal orientadas hacia un desarrollo bajo en emisiones.

## **2. Métodos y materiales**

### **2.1. Área de estudio**

Comprende la región Huetar Norte de Costa Rica, específicamente los cantones de Guatuso, Los Chiles, San Carlos y Upala (figura 1). Esta región se caracteriza por su

gran desarrollo forestal, asociado a tres factores principales: mayor número de industrias forestales, mayor desarrollo de plantaciones y mayor aporte de madera local (Arias 2004; SINAC 2011; SINAC, SIREFOR y MINAE 2013). Limita al norte con Nicaragua y el río San Juan, al sur con la Cordillera Volcánica Central, al oeste con la Cordillera de Guanacaste y la Cordillera de Tilarán; y al este con el Río Chirripó. Tiene una extensión de 7 419 km<sup>2</sup>. Según el sistema de clasificación en zonas de vida propuesto por Holdridge la región presenta bosque húmedo tropical, bosque muy húmedo tropical y bosque pluvial (CCT y MAG 2004). El clima es lluvioso todo el año, con una leve disminución de las lluvias en los meses de febrero, marzo y abril. La temperatura media anual oscila entre 18-32°C y la precipitación media ronda los 1 700 - 4 400 mm anuales (IMN 2014).

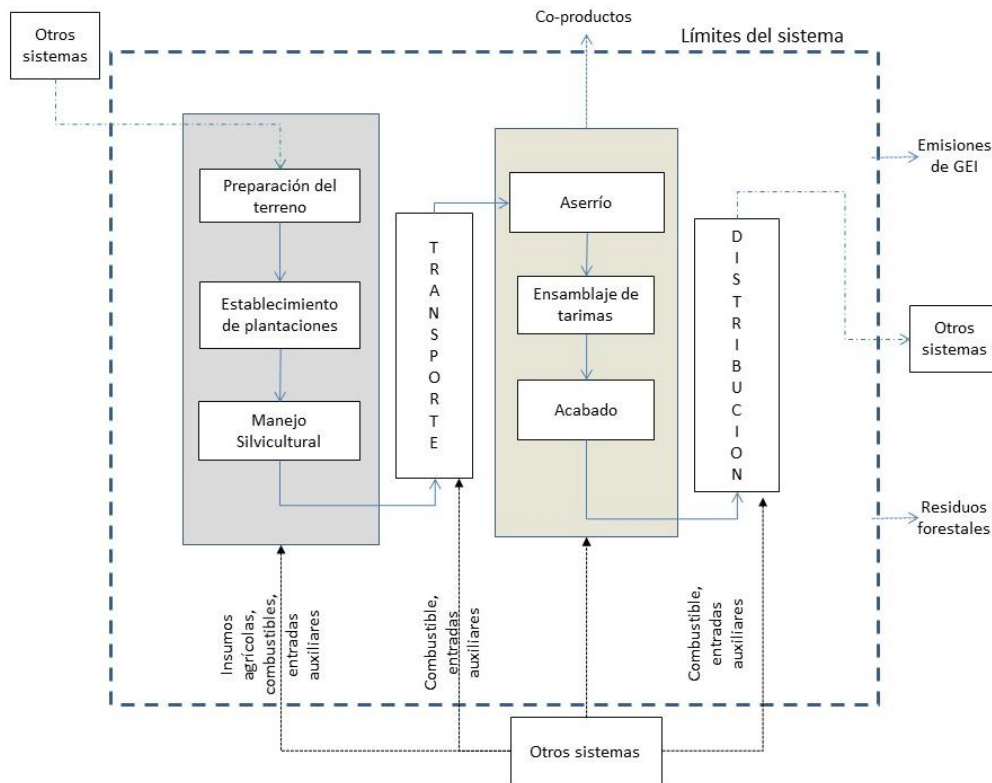


**Figura 1.** Ubicación geográfica del área de estudio. Región Huertar Norte.

## 2.2. Alcance y límites del sistema del producto

El estudio se limitó a evaluar el desempeño ambiental sobre la categoría de cambio climático. Las etapas del ciclo de vida (CV) contempladas fueron: i) preparación del terreno, ii) establecimiento de plantaciones, iii) manejo silvicultural, iv) transporte, v) aserrío, vi) ensamblaje de tarimas, vii) acabado y viii) distribución (figura 2). Las etapas de vivero, uso y disposición final de las tarimas no se tomaron en cuenta. El análisis se realizó tomando en cuenta las emisiones fósiles y biogénicas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) del sistema del producto; así como los

reservorios de carbono. Las emisiones asociadas a la construcción de infraestructuras y fabricación de maquinarias y equipos no fueron consideradas en el análisis, ya que sus relativamente largos periodos de vida útil, hacen que su aporte sea insignificante (García-Durañona et al. 2016). La temporalidad del estudio se limitó a un turno de rotación de 12 años.



**Figura 2.** Límites del sistema del producto.

### 2.2.1. Unidad funcional

Se establecieron dos unidades funcionales (UF). La primera es una tarima de madera con dimensiones comerciales para la manipulación y trasiego de productos agrícolas de exportación; y la segunda, un metro cúbico de madera aserrada (m<sup>3</sup>) destinado a la producción de tarimas para el mismo uso.

### 2.3. Inventario de ciclo de vida (ICV)

El inventario inició con una descripción detallada de las etapas del CV (apéndice 1), en el cual se identificaron los procesos unitarios, las entradas y salidas del sistema del producto y las fuentes de GEI (apéndice 2). Posteriormente, se recopilaron los datos y factores para la elaboración del ICV.

La recopilación de los datos de entrada se realizó a partir de cuestionarios (apéndice 3), utilizando la técnica conocida como recuperación de información o recuperación de rendimientos. Este es una técnica de recolección de datos que consiste en reconstruir o recuperar información de costos, rendimiento u otra variable de cualquier faena o actividad luego de haber sido efectuada. La información se recopila de archivos, publicaciones o entrevistas (Reiche 1989; Louman et al. 2006; Guevara y Murillo 2009;). En total, se obtuvo información de 93 de los 100 actores entrevistados, incluyendo: ingenieros forestales, propietarios de aserraderos, tarimeras, reforestadores, operarios de maquinaria y transportistas (cuadro 1). La recopilación de los datos se realizó a nivel de proceso unitario<sup>1</sup>. Sin embargo, cuando los entrevistados no disponían información a este nivel de detalle, se recopilaron datos a nivel de actividades, grupo de actividades, etapas o grupo de etapas. Se trató de que los resultados del inventario representarán la variabilidad encontrada en el área de estudio. No obstante, los resultados corresponden a un promedio ponderado.

Cuadro 1. Distribución del número de actores entrevistados para la recopilación de los datos del ICV.

<b>Id</b>	<b>Etapas del CV</b>	<b>Muestra (n)</b>
i	Preparación del terreno	19
ii	Establecimiento de la plantación	9
iii	Manejo silvicultural	12
iv	Transporte	11
v	Transformación	10
vi	Elaboración	10
vii	Acabado	10
viii	Distribución	12
<b>TOTAL</b>		<b>93</b>

<sup>1</sup> “Proceso más pequeño considerado en el análisis del inventario de ciclo de vida para el cual se cuantifican datos de entradas y salida” (INTE/ISO 2007a y 2007b).

La estimación de las existencias de madera y carbono en el ecosistema se realizó a partir de información de campo de 90 parcelas suministradas por CODEFORSA y el consorcio Grupo Los Nacientes. La estimación de los desechos forestales generados de los raleos y la cosecha se realizó con mediciones de campo de 33 árboles (apéndice 4). Mientras que las existencias de madera y carbono en producto, se estimó a partir del cubicaje de 23 tarimas (13 en diseño americano y 10 en diseño europeo). Para convertir las unidades de volumen de madera a C, se empleó el método indirecto (IPCC 2006; Fonseca 2009; Martínez-Alonso y Berdasco 2015), utilizando las ecuaciones 1 y 2, cuyos parámetros se detallan en el cuadro 2.

$$C = Vc * (\beta * FEB) * (1 + R) * FC \quad (1)$$

$$C = Vc * \beta * FC \quad (2)$$

Dónde *C* es el reservorio de carbono (en el ecosistema o en el producto), en kg; *Vc*: volumen comercial de madera, en m<sup>3</sup>;  $\beta$ : densidad específica de la madera; en kg/m<sup>3</sup>; *FEB*: factor de expansión de biomasa, *R*: relación entre biomasa área y biomasa subterránea y *FC*: fracción de carbono.

Cuadro 2. Parámetros utilizados para el cálculo del reservorio de carbono en el ecosistema y en el producto. Región Huetar Norte. 2017.

Especie	Densidad básica (kg/m <sup>3</sup> )	FEB	R	FC	Fuente
Melina	387	1,15	0,16	0,360	a, b, c, d y e
Acacia	570	1,15	0,16	0,470	c, e y f
Cebo	355	1,15	0,16	0,481	c, e y g
Otras (10 sp)	584	1,15	0,16	0,482	a, c, d, g, h, i y j

<sup>a</sup> Carpio-Malavassi (1992). <sup>b</sup> Cubero y Rojas (1999). <sup>c</sup> Kraenzel et al. (2003). <sup>d</sup> Blanco; Carpio y Muñoz (2005). <sup>e</sup> Moya-Roque et al. (2010). <sup>f</sup> Andrade (1999). <sup>g</sup> Fonseca (2009). <sup>h</sup> IPCC (2006). <sup>i</sup> Montero y Kanninen (2006). <sup>j</sup> Rojas (2012).

Dónde: FEB es Factor de expansión de biomasa. R: relación biomasa aérea-biomasa subterránea. FC: fracción de carbono.

La recopilación de los datos de salida del ICV se limitó a las emisiones de GEI, el producto, los co-productos y los desechos forestales. Las emisiones se estimaron a través de la ecuación 3 (IPCC 2006) y tomando en cuenta las *Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero* (apéndice 5). Las



fuentes de GEI contempladas se detallan en el cuadro 3. En presencia de vacíos de información, se realizaron consultas bibliográficas y se solicitó el criterio a expertos.

$$Emisiones = DA * FE \quad (3)$$

Dónde: DA son los datos de actividad y FE los factores de emisión (apéndice 6).

Cuadro 3. Fuentes de gases de efecto invernadero contempladas en el ICV. Región Huatar Norte. 2017.

<b>Fuente</b>	<b>GEI</b>	<b>Detalle</b>
Quema de combustibles fósiles	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O	Emisiones directas.
Uso de lubricantes	CO <sub>2</sub>	Emisiones indirectas.
Producción y aplicación de cal	CO <sub>2</sub>	Emisiones indirectas y directas de la producción y aplicación.
Producción y aplicación de fertilizantes nitrogenados sintéticos	N <sub>2</sub> O y CO <sub>2</sub>	Emisiones indirectas y directas de CO <sub>2</sub> de la producción y emisiones directas de N <sub>2</sub> O de la aplicación.
Consumo de electricidad	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O en valores CO <sub>2</sub> -eq	Emisiones indirectas cuantificadas como CO <sub>2</sub> -eq (IMN 2015).
Producción de clavos de acero	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O	Emisiones indirectas de la producción.
Quema de biomasa	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O	Emisiones directas.
Descomposición de desechos forestales generados en labores de campo	CO <sub>2</sub>	Emisiones directas cuantificadas como emisiones inmediatas de carbono (IPCC 2006).
Descomposición de desechos forestales generados en el aserrío	CO <sub>2</sub> y CH <sub>4</sub>	Emisiones directas cuantificadas a través del método de primer orden de descomposición (IPCC 2006).

### 2.3.1. Manejo de los datos del ICV

El manejo de datos se realizó para estimar las emisiones de GEI y asignarlas a las unidades funcionales. Primero, se estimaron las emisiones por m<sup>3</sup> y luego se transformaron a valores por tarima, a excepción de las etapas de ensamblaje, acabado y distribución, en donde primero se estimaron las emisiones por tarima y luego se transformaron a valores por m<sup>3</sup> (apéndice 7). En las etapas de preparación,

establecimiento, manejo, transporte y aserrío se realizaron procesos de asignación para evitar que las cargas ambientales de los co-productos se atribuyan al producto. Para ello, se utilizó como criterio de asignación la relación física de volumen entre producto, co-producto y desechos, según el rendimiento promedio del aserrío de madera para tarima en la región.

#### 2.4. Evaluación del impacto de Ciclo de Vida (EICV)

La EICV se realizó utilizando como indicador de categoría<sup>2</sup> el equivalente de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>-eq); y como factor de caracterización, los Potenciales de Calentamiento Global del Panel Intergubernamental del Cambio Climático, con base en un modelo de línea base de 100 años (PCG<sub>100</sub>; Myhre et al. 2013). Para la asignación de los resultados del inventario a la categoría de CC, se multiplicó la masa de cada uno de los GEI por su respectivo PCG<sub>100</sub>. El resultado de la EICV se obtuvo a partir de la suma de las emisiones en valores de CO<sub>2</sub>-eq.

Como parte de la EICV se realizó un análisis de incertidumbre y un análisis de sensibilidad. El análisis de incertidumbre se realizó a partir del método *propagación del error* (IPCC 2006), a partir de la combinación de la incertidumbre de cada uno de los parámetros utilizados (apéndice 8). Para el análisis de sensibilidad, se empleó el método conocido como *un factor a la vez* (LCA Food 2014), el cual consiste en seleccionar de todos los datos de entradas un grupo de ellos y cambiar su magnitud, utilizando algún rango o una decisión arbitraria; y a partir de ello, analizar el efecto sobre los resultados del ACV. En este estudio, se cambió la magnitud de diferentes parámetros utilizando una decisión arbitraria y se seleccionaron los dos parámetros con mayor efecto negativo o positivo sobre la EICV.

---

<sup>2</sup> Indicador de categoría: representación cuantificable de una categoría de impacto (INTE/ISO 2007a, 2007b).

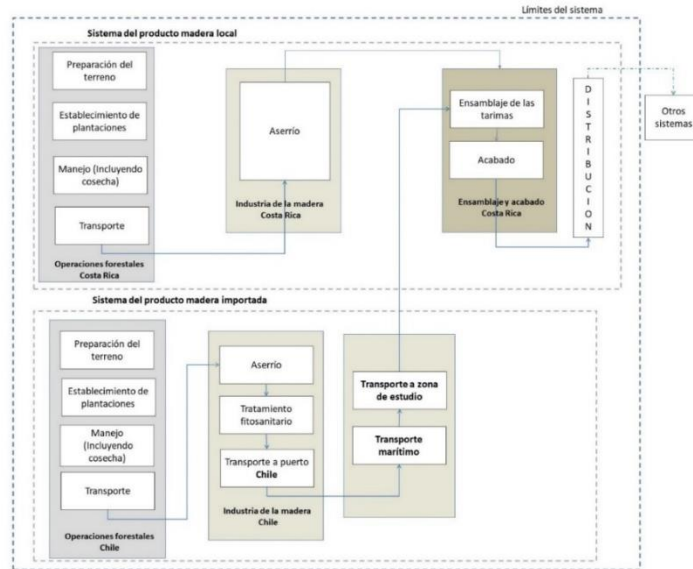
## 2.5. Prácticas para mejorar el desempeño ambiental del producto

Con base en los resultados del ACV se identificaron las fuentes de emisión que generan mayor impacto. Posteriormente, se determinaron diferentes acciones que pueden contribuir a reducir las emisiones asociadas a estas fuentes, de acuerdo con las observaciones en campo realizadas e información bibliográfica.

## 2.6. Análisis comparativo

Este análisis se realizó tomando en cuenta que se importa madera aserrada de Chile para la producción de tarimas en Costa Rica (ONF 2016). La figura 3 muestra las etapas del CV contempladas en la comparación. La información del ICV para el sistema del producto de madera importada se recopiló a partir de fuentes bibliográficas, a excepción de la etapa de transporte marítimo y la etapa de transporte del puerto de descargue en Costa Rica hasta el área de estudio, donde se contó con información primaria obtenida de la entrevista de una naviera y de transportistas de contenedores. Para estimar las emisiones de GEI de estos sistemas del producto y asignarlas a las unidades funcionales, se realizaron procesos de manejo de datos (apéndice 9). Con base en la información obtenida, se determinó el impacto sobre la categoría de CC y se comparó con los resultados obtenidos en los sistemas del producto con madera local.

En el análisis comparativo se asumió que la madera (local o importada) proviene de regímenes de manejo forestal sostenible donde las emisiones biogénicas de CO<sub>2</sub> no representan una emisión neta para la atmósfera (IPCC 2006; Lippke et al. 2010; Lippke et al. 2013; Brandão et al. 2013). Además, se tuvo en cuenta el reservorio de C del producto, el cual se calculó por medio del método indirecto, considerando una densidad básica de 390 kg/m<sup>3</sup> y una fracción de carbono de 0,4334 para pino chileno (Gayoso 2001; Zanne et al. 2009).



**Figura 3.** Representación gráfica de las etapas y los límites de los sistemas del producto en comparación.

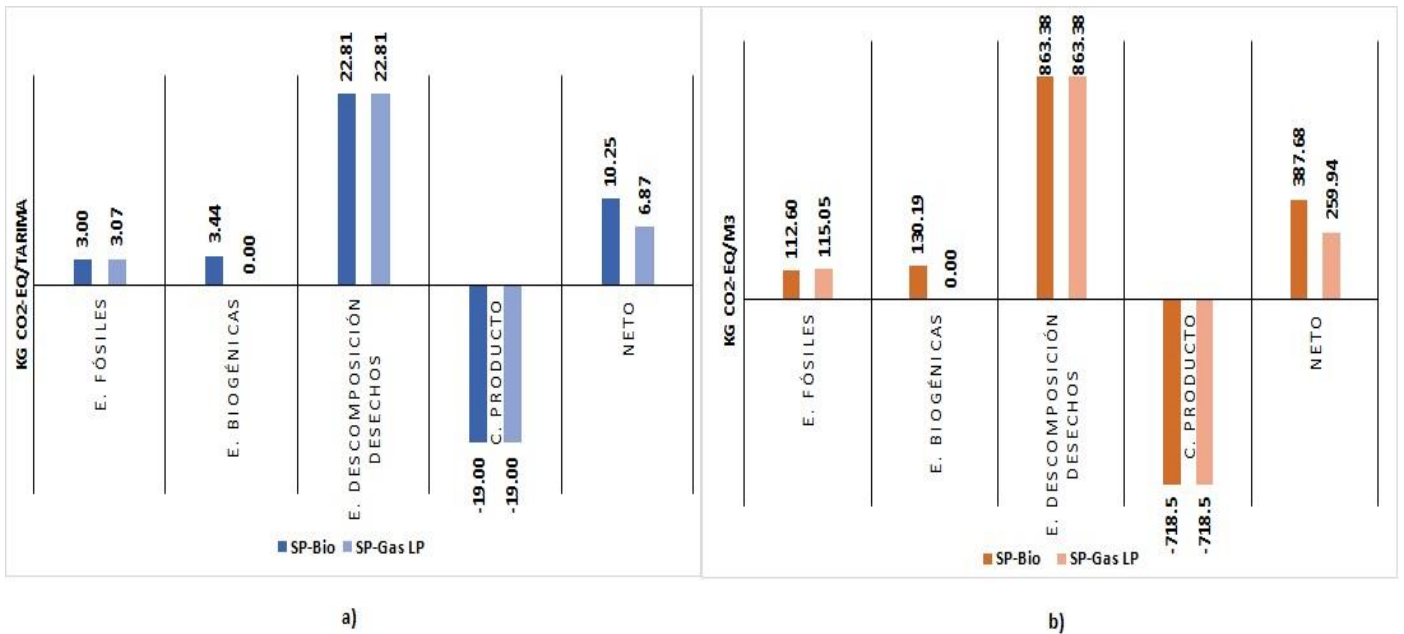
### 3. Resultados

Según el tipo de combustible utilizado en el tratamiento térmico (Tt), el sistema del producto se puede clasificar en dos: i) sistema del producto con biomasa (SP-Bio) y ii) sistema del producto con gas licuado de petróleo (SP-Gas LP). Se estima a partir de los resultados que el 76% de las tarimas elaboradas en la región se elabora bajo el SP-Bio y un 24% bajo el SP-Gas LP. Lo anterior determinado en gran parte por la empresa Maderas Cultivadas de Costa Rica S.A., quien realiza el Tt con biomasa y produce una alta cantidad de tarimas. En el cuadro 4 se presentan los resultados del ICV.

#### 3.1. Evaluación del impacto de ciclo de vida (EICV) para los sistemas del producto de tarimas con madera local

Los resultados muestran que las tarimas bajo el SP-Bio tienen un impacto potencial neto sobre el CC igual a 10,25 kg de CO<sub>2</sub>-eq tarima<sup>-1</sup> mientras que bajo el SP-Gas LP el impacto es igual a 6,87 kg de CO<sub>2</sub>-eq tarima<sup>-1</sup>, para un promedio ponderado (PP) de 9,44 kg de CO<sub>2</sub>-eq tarima<sup>-1</sup> que corresponde a 357,02 kg de CO<sub>2</sub>-eq m<sup>-3</sup>. En el SP-Bio las emisiones fósiles fueron de 3 kg de CO<sub>2</sub>-eq/tarima<sup>-1</sup> y las emisiones biogénicas de 26,25 kg de CO<sub>2</sub>-eq/tarima<sup>-1</sup>. Mientras que en el SP-GLP fueron de 3,07 y 22,81,

respectivamente. En términos porcentuales, las emisiones fósiles representan entre 12-10% y las emisiones biogénicas entre 90-88%. Por su parte, en ambos sistemas del producto el reservorio de carbono en producto fue de 19 kg de CO<sub>2</sub>-eq tarima<sup>-1</sup> o 718,5 kg de CO<sub>2</sub>-eq m<sup>-3</sup>, que al ser reservorio de carbono se reporta en valores negativos (figura 4).

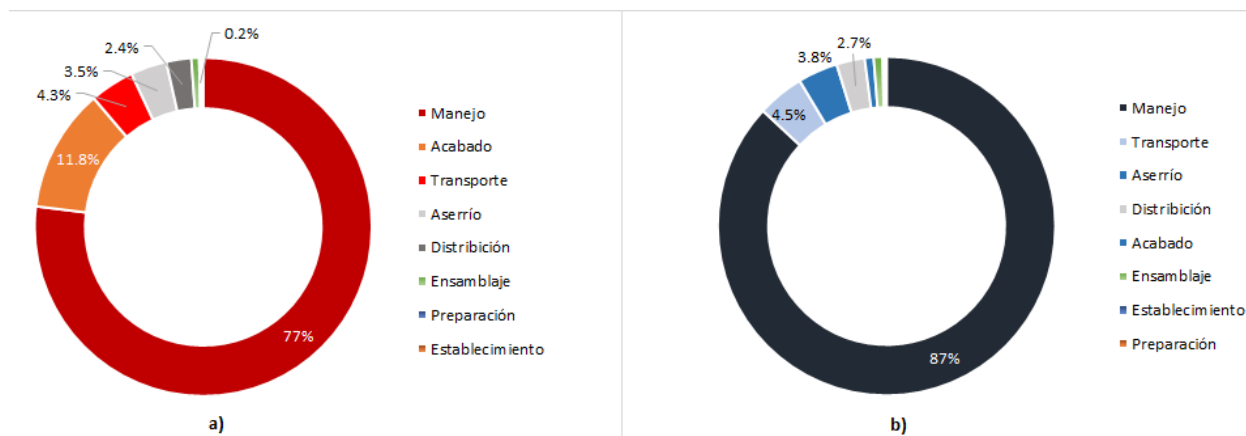


**Figura 4.** Resultados de la EICV según los diferentes tipos de emisiones y el reservorio de carbono en producto para los sistemas del producto de madera local: a) en valores por tarimas y b) en valores de un m<sup>3</sup>.

En ambos sistemas del producto la mayor cantidad de emisiones (entre 87-86%) se libera producto de la descomposición de la biomasa de desecho generada en el ecosistema producto de las labores de manejo silvicultural, llámese secciones no comerciales de los fustes, raíces, ramas y hoja. De esto que en la etapa de manejo se genera la mayor cantidad de CO<sub>2</sub>-eq con valores entre 87-77%. En orden de importancia le sigue la etapa de acabado de las tarimas con valores entre 12-0,9% y el transporte de la madera con 4,3-4,5%, aproximadamente. Las cinco etapas restantes aportan menos de 4% cada una de ellas (figura 5).

Cuadro 4. Resultados del ICV para cada sistema del producto de madera local. Región Huetar Norte, Costa Rica. 2017.

Descripción	Sistema del producto			
	Tarima		m <sup>3</sup>	
	SP-Bio	SP-GLP	SP-Bio	SP-GLP
<b>Materia prima</b>				
Madera (m <sup>3</sup> )	0,026	0,026	1,00	1,00
Acero (clavos); kg	0,201	0,201	7,62	7,62
<b>Energía</b>				
Diesel	0,851 L 36,59 MJ	0,851 L 36,59 MJ	31,90 L 1 371,78 MJ	31,90 L 1 371,78 MJ
Gasolina	0,035 L 1,57 MJ	0,035 L 1,57 MJ	1,32 L 58,44 MJ	1,32 L 58,44 MJ
GLP		0,130 L 6,16 MJ		4,92 L 232,95 MJ
Electricidad	0,751	0,751	28,42	28,42
Biomasa	1,76 kg 28,32 MJ		66,70 kg 1 071,9 MJ	
<b>Entradas auxiliares</b>				
Fertilizante (kg)	0,032	0,032	1,18	1,18
Urea (kg)	0,008	0,008	0,296	0,296
N sintético (kg)	0,004	0,004	0,138	0,138
Carbonato de Calcio (CaCO <sub>3</sub> ); kg	0,017	0,017	0,631	0,631
Carbonato de Magnesio (MgCO <sub>3</sub> ); kg	4,7x10 <sup>-8</sup>	4,7x10 <sup>-8</sup>	1,7x10 <sup>-6</sup>	1,7x10 <sup>-6</sup>
Óxido de Calcio (CaO); kg	0,00305	0,00305	0,114	0,114
Lubricantes	0,055 L 2,21 MJ	0,055 L 2,21 MJ	2,07 L 83,36 MJ	2,07 L 83,36 MJ
<b>Emisiones (kg)</b>				
CO <sub>2</sub> (fósil)	2,96	3,03	111,15	113,69
CO <sub>2</sub> (biogénico)	3,17		120,05	
CH <sub>4</sub> (fósil)	0,00028	0,00027	0,0105	0,00999
CH <sub>4</sub> (biogénico)	0,00850		0,32157	
N <sub>2</sub> O (fósil)	0,00012	0,00011	0,00436	0,00407
N <sub>2</sub> O (biogénico)	0,00011		0,00429	
<b>Desechos (kg)</b>				
Biomasa (ecosistema)	14,37	14,37	544,0	544,0
Biomasa (aserrío)	0,125	0,125	4,75	4,75
<b>Co-producto (kg)</b>				
Biomasa	2,84	2,84	107,3	107,3
<b>C en producto (kg CO<sub>2</sub>-eq)</b>				
Reservorio	19,0	19,0	718,5	718,5



**Figura 5.** Distribución porcentual del impacto sobre el cambio climático según las diferentes etapas evaluadas: a) para el sistema del producto PS-Bio y b) para el sistema del SP-GLP.

Según el origen de los GEI entre 90-88% de las emisiones son biogénicas y entre 12-10% son de origen fósil, aproximadamente. Con respecto a las fuentes, como se indicó anteriormente, la principal fuente de emisión es la descomposición de la biomasa de desecho generada en el ecosistema producto de las labores de manejo silvicultural; específicamente, en las labores de cosecha, raleos y podas. Sin embargo, al visualizar las fuentes de emisión por etapa encontramos otras fuentes importantes para los sistemas en estudio (cuadro 5).

**Cuadro 5.** Principales fuentes de emisiones de GEI para cada etapa del CV evaluadas. Región Huetar Norte, Costa Rica. 2017.

<b>Etapas del CV</b>	<b>Principal fuente de GEI</b>	<b>Aporte a la etapa</b>
<b>Manejo</b>	Descomposición de biomasa de desecho	99%
<b>Acabado</b>	Combustión de biomasa o GLP	99,6 - 94,4%
<b>Transporte</b>	Combustión de diesel	99,99 - 93,20%
<b>Aserrió</b>	Descomposición de biomasa de desecho	63,8 - 62.2%
<b>Distribución</b>	Combustión de diesel	99.997%
<b>Ensamblaje</b>	Uso de clavos de acero	97%
<b>Preparación</b>	Combustión de diesel	95 - 72%
<b>Establecimiento</b>	Uso y aplicación de fertilizantes	100 - 95%

### 3.2. Análisis de incertidumbre y sensibilidad

La incertidumbre del SP-Bio fue de 53,9% y la incertidumbre del SP-Gas LP de 65,8%. En ambos sistemas de producto estuvo determinada en mayor medida por las fuentes biogénicas de emisión, ya que al ser excluidas del análisis se redujo en más de un 50% (cuadro 5).

Cuadro 6. Resultados del análisis de incertidumbre del ICV Región Huetar Norte, Costa Rica. 2017.

Sistema del producto	Detalle	Incertidumbre del ICV	
		Sin emisiones biogénicas	Con emisiones biogénicas
SP-Bio	Biomasa, tratamiento térmico	26,3%	53,9%
SP-GLP	GLP, tratamiento térmico	22,2%	65,8%

En relación al análisis de sensibilidad, los resultados mostraron que en ambos sistemas del producto las emisiones biogénicas son el elemento más sensible, ya que al disminuir o aumentar estas en un 50%, la EICV varía en un  $\pm 135\%$ ; mientras que, al realizar el mismo procedimiento en las emisiones fósiles, la variación es de  $\pm 16\%$ . Dentro de las fuentes biogénicas, la descomposición de la biomasa de desecho en el ecosistema resultó ser la variable más sensible con un efecto sobre el resultado de alrededor de un  $\pm 117\%$ . Valor considerablemente mayor al de las otras fuentes evaluadas (cuadro 6).

Cuadro 7. Resultados del análisis de sensibilidad de las fuentes biogénicas. 2017.

Indicador	Escenario base	Biomasa descomposición, ecosistema		Biomasa para tratamiento térmico		Biomasa descomposición, aserrío	
		Menos 50%	Más 50%	Menos 50%	Más 50%	Menos 50%	Más 50%
Kg CO <sub>2</sub> -eq tarima <sup>-1</sup>	9.44	-1.65	20.53	8.13	10.75	9.12	9.75
Kg CO <sub>2</sub> -eq m <sup>-3</sup>	357.0	-62.7	776.8	307.5	406.5	345.1	368.9
Diferencia con respecto a EICV	NA	-11.09	11.09	-1.31	1.31	-0.32	0.32
<b>Cambio (%)</b>	<b>NA</b>	<b>-117%</b>	<b>117%</b>	<b>-13.9%</b>	<b>13.9%</b>	<b>-3.3%</b>	<b>3.3%</b>



### 3.3. Prácticas para mejorar el desempeño ambiental del producto

Como se indicó anteriormente la descomposición de la biomasa de desecho generada en el ecosistema es la principal fuente de GEI. Estos gases se liberan debido al proceso natural de descomposición de la materia, en el cual la biomasa que ha sido abandonada en campo, al no tener valor de mercado, comienza a desintegrarse y en el proceso libera emisiones de CO<sub>2</sub>, principalmente. De acuerdo con los resultados, la biomasa de desecho se compone en orden de importancia en: i) secciones no comerciales de los fustes, ii) raíces; y iii) ramas y hojas. Por lo tanto, las prácticas sugeridas para mejorar el desempeño ambiental del producto se concentran en estos tres tipos de biomasa.

En primer lugar, se sugiere aprovechar al menos un 50% de la biomasa de desecho, enfocándose principalmente en las secciones no comerciales de los fustes, las raíces y las ramas. Dos alternativas para aprovechar aún más las secciones no comerciales de los fustes son: 1) utilizando aserraderos que permitan obtener madera con valor de mercado de trozas de 7 cm en el extremo delgado y no 12 cm como es habitual en la zona actualmente; y 2) a través del chipeado o astillado de la biomasa para ser utilizado con fines energéticos en forma de pellets o astillas. Con respecto al aprovechamiento de las raíces y las ramas, este se podría realizar, a través del chipeado o astillado de la biomasa. Con el método de chipeado o astillado se recomienda hacer el proceso de chipeado en el sitio para transportar por viaje la máxima cantidad de material posible y de esta forma reducir al máximo los costos de operación y las emisiones por unidad de producto. Idealmente, el aprovechamiento de las secciones no comerciales de los fustes, las raíces y las ramas debe realizarse tomando en cuenta la eficiencia energética de los métodos de operación y sus impactos ambientales, en especial los impactos sobre la biodiversidad, el cambio climático, el reservorio de C del suelo y la pérdida de nutrientes del mismo.

En segundo lugar, se sugiere invertir mayor esfuerzo en mejorar las prácticas de manejo silvicultural, de forma tal que se evite la formación de árboles con fuste torcido o bifurcado; o la formación de árboles con daño grave por acción de plagas, enfermedades o daños mecánicos. Lo anterior, como una medida para reducir la cantidad de biomasa de desecho de las secciones no comerciales de los fustes, dado que se observó una

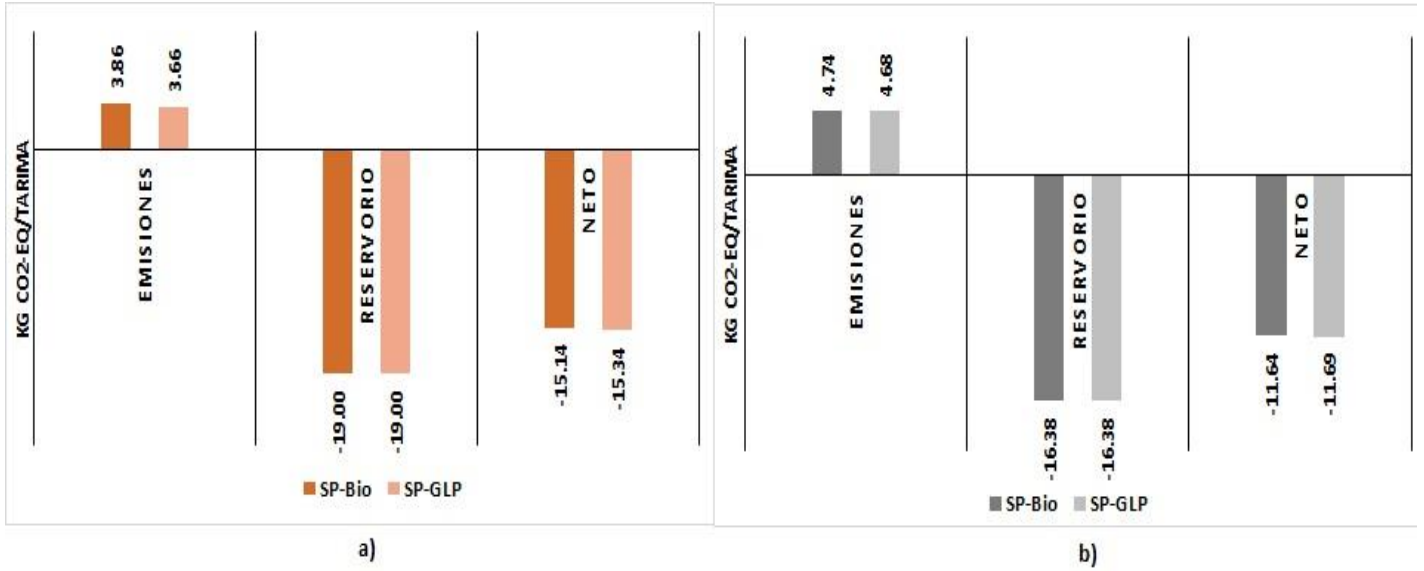
importante cantidad de biomasa de desecho por estas causas, a pesar de haberse utilizado material genéticamente mejorado en el establecimiento de las plantaciones.

En tercer lugar, se sugiere emplear en el establecimiento de este tipo de plantaciones material genético superior, ya que los avances recientes en mejoramiento genético de especies como Melina podrían hacer posible obtener mayor número de árboles rectos y de buena forma por unidad de área, lo cual conlleva un mayor rendimiento y posiblemente una menor cantidad de secciones no comerciales de los fustes. Además, utilizando material genético superior se podría reducir la cantidad de biomasa de desecho de ramas y hojas, dado que con las prácticas de mejoramiento genético es posible orientar la selección hacia individuos con mayor eficiencia fotosintética, con copas pequeñas y de ramas delgadas.

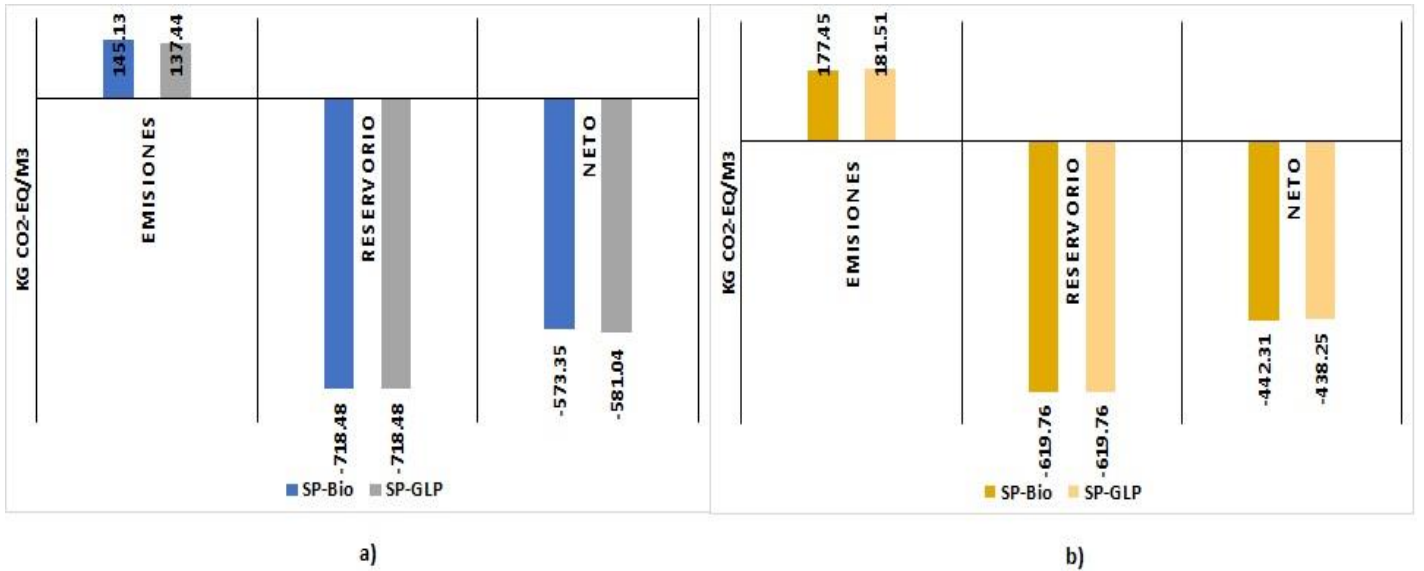
De acuerdo con los resultados de la EICV lograr una reducción del 50% de la biomasa de desecho en el ecosistema permite revertir el impacto sobre el CC, en el sentido, de que la EICV pasaría de un valor positivo (PP= 9,44 Kg de CO<sub>2</sub>-eq/tarima) a un valor negativo (-1,65 Kg de CO<sub>2</sub>-eq/tarima).

### **3.4. Análisis comparativo**

Los resultados muestran que al comparar los sistemas del producto de madera local (SP-loc) y los sistemas de madera importada (SP-imp) se presentan dos situaciones esenciales en términos de CC. La primera, es que el reservorio de C en producto, es 2,6 kg de CO<sub>2</sub>-eq tarima<sup>-1</sup> mayor en los SP-loc; y la segunda, es que las emisiones de los SP-loc son hasta 31% menores. Lo anterior, conlleva a una situación más favorable para para las tarimas de madera local tanto en los SP-Bio como en los SP-GLP (figura 6 y 7). En los SP-imp la etapa que presentó la mayor cantidad de GEI fue la industria (cuadro 7), la cual incluye las emisiones de la etapa de aserrío y del transporte de madera aserrada desde los aserraderos en Chile hasta los puertos de salida.



**Figura 6.** Resultados del análisis comparativo para una tarima: a) en los sistemas del producto con madera local y b) en los sistemas del producto con madera importada.



**Figura 7.** Resultados del análisis comparativo para un m<sup>3</sup>: a) en los sistemas del producto con madera local y b) en los sistemas del producto con madera importada.

Cuadro 8. Emisiones de GEI de los sistemas del producto de madera local versus los sistemas de madera importada. 2017.

Etapas del CV	Emisiones (kgCO <sub>2</sub> -eq/tarima)				Emisiones (kgCO <sub>2</sub> -eq/m <sup>3</sup> )			
	Local		Importada		Local		Importada	
	Biomasa	GLP	Biomasa	GLP	Biomasa	GLP	Biomasa	GLP
Operaciones forestales <sup>a</sup>	1,68	1,57	0,61	0,61	62,79	58,29	23,00	23,00
Industria <sup>b</sup>	0,98	0,95	2,19	2,19	36,90	35,93	83,00	83,00
Transporte marítimo	0,00	0,00	0,55	0,55	0,00	0,00	20,80	20,80
Transporte terrestre de madera importada <sup>c</sup>	0,00	0,00	0,19	0,19	0,00	0,00	7,12	7,12
Ensamblaje	0,22	0,22	0,22	0,22	8,31	8,31	8,31	8,31
Acabado	0,28	0,22	0,28	0,22	10,61	8,40	10,61	8,40
Distribución	0,70	0,70	0,70	0,70	26,52	26,52	26,52	26,52
<b>TOTAL</b>	<b>3,86</b>	<b>3,66</b>	<b>4,74</b>	<b>4,68</b>	<b>145,13</b>	<b>137,44</b>	<b>179,36</b>	<b>177,15</b>

<sup>a</sup> incluye las emisiones de las etapas de preparación, establecimiento y manejo de las plantaciones y la etapa de transporte de madera desde las plantaciones hasta los aserraderos.

<sup>b</sup> incluye las emisiones de la etapa de aserrío y en el caso de la madera importada incluye también las emisiones del transporte desde los aserraderos en Chile hasta los puertos de salida.

<sup>c</sup> transporte terrestre en Costa Rica de la madera importada desde el puerto de desembarque hasta el área de estudio.

#### 4. Discusión

Los resultados de la EICV presentados para la región Huertar Norte toman en cuenta las emisiones fósiles y biogénicas de los sistemas del producto, así como el reservorio de C en producto. Lo anterior, con el propósito de lograr un análisis integral del efecto sobre el CC de los productos elaborados en la región, lo cual deja ver que tanto el SP-Bio como el SP-GLP contribuye al calentamiento global debido a las emisiones de la descomposición de la biomasa de desecho, principalmente. Si bien, esto se hizo con ese propósito, es importante señalar que comúnmente los estudios de ACV se concentran en las emisiones fósiles y las emisiones biogénicas no CO<sub>2</sub>, relegando, de cierto modo, a un segundo plano las emisiones biogénicas de CO<sub>2</sub> y el reservorio de C en producto (Brandão et al. 2013; Helin et al. 2013; INTE/ISO 2015).

En los estudios de ACV sobre CC, las emisiones biogénicas de CO<sub>2</sub> comúnmente se declaran C neutro, con lo cual automáticamente, quedan excluidas del análisis (Johnson

2009). En los sistemas del producto de productos forestales el CO<sub>2</sub> biogénico se produce por la descomposición de la biomasa de desecho y en ocasiones, por la combustión de biomasa para generar calor de proceso (Lippke et al. 2010; Cherubini et al. 2011; Brandão et al. 2013). La declaración de C neutro de estas emisiones se sustenta en que “el crecimiento de los bosques secuestra C de la atmósfera, el cual entretanto el área aprovechada se mantenga reforestada es absorbido nuevamente con el crecimiento de los árboles, y en consecuencia su impacto climático es neutro” (Cherubini et al. 2011). Sin embargo, desde 2007 algunas investigaciones han hecho hincapié en que asumir las emisiones biogénicas de CO<sub>2</sub> como C neutro subestima su efecto climático y genera contradicciones importantes (Johnson 2009). Los estudios recientes cuantifican el CO<sub>2</sub> biogénico, sin embargo, se comunica como elemento informativo, esto significa que se cuantifican y se reporta, pero no se incluye dentro de la EICV (Lopes-Silva 2013; INTE/ISO 2015). La razón principal de esto es que no existe consenso sobre la forma de incluirlas en la EICV, y, por lo tanto; se continúan las investigaciones al respecto (Cherubini et al. 2013; De Rosa et al. 2017; CILCA 2017).

De acuerdo con los resultados del presente estudio la suma de las emisiones fósiles y biogénicas rondan entre 29,25 - 25,87 kg de CO<sub>2</sub>-eq tarima<sup>-1</sup>, valores que son hasta 2 000% mayor a los de otras investigaciones en tarimas (Niero et al. 2014; García-Durañona et al. 2016). Dicha diferencia se puede deber a una serie de factores metodológicos, silviculturales y naturales que dificultan la comparación entre resultados (Klein et al. 2015). Sin embargo, un elemento esencial son las emisiones biogénicas de CO<sub>2</sub>, ya que, si las excluimos de la EICV, los resultados se reducen entre 86-87%, para un promedio ponderado de 3,81 kg CO<sub>2</sub>-eq tarima<sup>-1</sup>. Valor muy cercano a los encontrados por Niero et al. (2014) de hasta 3,17 kg CO<sub>2</sub>-eq tarima<sup>-1</sup> para algunos tipos de tarima.

Como se indicó la exclusión del CO<sub>2</sub> biogénico se debe a dos razones. La primera es que entretanto el área aprovechada se mantenga reforestada su efecto climático puede considerarse neutro y la segunda es que no existe consenso sobre como incluirlas en la EICV. No obstante, la decisión de incluirlas o no es de gran relevancia, dada la magnitud de las mismas. Cabe recordar que, en este estudio, presentan entre 90-88% de la EICV. Por lo tanto, y tomando en cuenta, que estas emisiones contribuyen al CC hasta que las

partículas de CO<sub>2</sub> sean absorbidas nuevamente con el crecimiento de los árboles (Cherubini et al. 2011), se recomienda cuantificarlas en todos los casos (Johnson 2009; Searchinger et al. 2009; Brandão et al. 2013) y establecer una posición metodológica sobre como incluirlas en la EICV, en concordancia con los avances en la investigación y los acuerdos internacionales que se tomen al respecto (De Rosa et al. 2017; CILCA 2017). Lo anterior, como una medida para evitar una subestimación del impacto climático de los productos de madera. Más aún, en Costa Rica donde existe evidencia de que las tasas de reforestación son menores a las tasas de aprovechamiento (ONF 2016), lo que implica que en algunos casos las moléculas de CO<sub>2</sub> biogénico liberadas no son absorbidas nuevamente con el crecimiento de los árboles y quedan en la atmósfera por largos periodos de tiempo generando calentamiento global (Cherubini et al. 2013).

Para lograr una estimación regional es importante considerar este factor. A manera de ejemplo, tomando como indicador que la tasa de reforestación en el país ha caído un 48,9% en el periodo 2004-2014 (Martínez 2014), es posible asumir que el 51,1% de la madera proviene de áreas de producción que se mantienen reforestadas donde las emisiones biogénicas de CO<sub>2</sub> son C neutro y que el 48,9% restante de la madera proviene de áreas de producción que no se ha vuelto a reforestar donde el CO<sub>2</sub> biogénico es una emisión neta para la atmósfera. Bajo estas circunstancias, considerando las emisiones fósiles, las emisiones biogénicas y el reservorio de C, el impacto ponderado sobre el CC para la región sería de -3,15 kg de CO<sub>2</sub>-eq tarima<sup>-1</sup> y -217,93 kg de CO<sub>2</sub>-eq m<sup>-3</sup>.

Con respecto al reservorio de C en producto, este en ocasiones se deja de lado (Lopes-Silva et al. 2013); o bien se cuantifica, pero se reporta de forma separada (Helin et al. 2013; INTE/ISO 2015; García-Durañona et al. 2016). Lo anterior, de alguna manera impide contrarrestar el C almacenado en producto a las emisiones del sistema del producto. Sin embargo, algunos autores reconocen que el C en producto es una compensación o emisión negativa en términos de CC (Lippke et al. 2010), por lo que para realizar un ACV subjetivo debe ser contemplado en la evaluación (Helin et al. 2013). En este sentido, se debe indicar que en el presente estudio se cuantificó y se contrarresto

a las emisiones de los sistemas del producto, como una forma de determinar el impacto neto.

El C en producto presentó un valor de 19 kg de CO<sub>2</sub>-eq tarima<sup>-1</sup> y 718,5 kg CO<sub>2</sub>-eq m<sup>-3</sup>, valor muy cercano promedio reportado por Klein et al. (2015), pero considerablemente menor al de otras investigaciones (Skog 2008, García-Durañona et al. 2016). Estas diferencias se pueden deber al volumen de madera por unidad de producto y a las densidades de C de las especies forestales utilizadas en la región. Este C hace que el impacto neto se reduzca, lo cual es un beneficio en términos de CC, sin embargo, su efecto es temporal, ya que, luego de que el producto haya cumplido su vida útil, comienza en un proceso de descomposición que libera GEI (IPCC 2006).

Los resultados obtenidos presentaron una precisión buena ya que la incertidumbre fue inferior a 66%. Valor considerablemente menor al de otras investigaciones, las cuales superan el 100% (Díaz 2016). La razón de haber obtenido resultados buena precisión posiblemente se deba al uso de datos locales en el ICV (Belizario et al. 2017). De acuerdo, con los resultados de incertidumbre la EICV de las tarimas bajo los SP-Bio varía entre 15,77 - 4,72 kg CO<sub>2</sub>-eq tarima<sup>-1</sup> y entre 13,95 - 6,54 kg CO<sub>2</sub>-eq tarima<sup>-1</sup> bajo los SP-GLP. En términos de un m<sup>3</sup> esto equivale a un intervalo entre 596,64 - 178,72 kg CO<sub>2</sub>-eq m<sup>-3</sup> en los SP-Bio y entre 468,90 - 50,98 kg CO<sub>2</sub>-eq m<sup>-3</sup> en los SP-GLP. Aun así, es recomendable mejorar la precisión de los datos asociados con las emisiones biogénicas, ya que en ellos se concentra la mayor incertidumbre y son el elemento más sensible dentro del análisis. Una alternativa para mejorar la precisión de este tipo de información es a través de inventarios periódicos de materia orgánica en descomposición o creando modelos de simulación de las dinámicas de descomposición (IPCC 2016).

Los resultados obtenidos indican que se deben tomar medidas para evitar que se liberen tantas emisiones producto de la descomposición de la biomasa de desecho. En este sentido, se propusieron las prácticas de aumentar la cantidad de madera con valor de mercado utilizando aserraderos que permitan aprovechar trozas más delgadas; o bien, aprovechando el valor energético de la biomasa de desecho. Una alternativa como esta última, podría conllevar grandes beneficios en términos de CC. Por una parte, porque evita que estas emisiones se atribuyan a las tarimas y, por otra parte, porque evita la

liberación de emisiones fósiles al sustituir combustibles derivados del petróleo (por ejemplo: GLP, Bunker, etc.). Sin embargo, el uso de este tipo de biomasa podría presentar importantes barreras técnicas, económicas y ambientales que deberán ser superadas (Royal Academy of Engineering 2017).

El análisis comparativo indica que el desplazamiento de tarimas de madera local por tarimas de pino chileno es perjudicial en términos de CC por dos razones. Primero, porque reduce en un 16%, el reservorio de C en producto y; segundo, porque genera hasta 56% más emisiones de CO<sub>2</sub>-eq por unidad de producto. El mayor reservorio de los sistemas locales se debe a que las maderas nacionales tienen densidades de C más altas. En cuanto a las emisiones, la diferencia radica principalmente en la cantidad de GEI liberado en la industria de la madera chilena.

En los sistemas locales, las emisiones de la industria representan entre 12 y 13%, mientras que en los sistemas de madera chilena representan entre 46 y 47%. Esto se debe a que el factor de emisión de la industria chilena (83 kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>3</sup>) es aproximadamente 6 veces mayor al de la industria costarricense (13,54 kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>3</sup>). Si bien, la información disponible sobre este factor de emisión es limitada (Arauco 2009), es posible identificar al menos tres elementos que pueden explicar dicha diferencia.

En primer lugar, las emisiones asociadas a la electricidad. En la industria el principal consumo energético que se da en forma de electricidad. En Costa Rica, la matriz energética se caracteriza por ser una matriz limpia dominada de fuentes hidráulicas y geotérmicas (Molina 2012), por lo que su factor de emisión es relativamente bajo (IMN 2015); mientras que en Chile la matriz energética es muy dependiente de combustibles fósiles (Energía Abierta 2017a) y, por ende, su factor de emisión es relativamente alto (Energía Abierta 2017a; IGES 2017). En segundo lugar, el factor de la industria chilena incluye las emisiones por transporte desde los aserraderos hasta los puertos de salida y, además, contempla, el componente *viajes de negocios* (Arauco 2009), lo cual es de esperar que genere un aumento considerable en las emisiones, máxime si conlleva recorridos de largas distancias (Mirabella et al. 2014). Tercero, diferencias metodológicas, especialmente porque se utilizan otras metodologías, igual de válidas, pero diferentes al ACV.



En Costa Rica, más de 311 mil tarimas se elaboran anualmente con madera importada (ONF 2016). Si estas se elaboran con madera local, se evitaría la liberación 0,53 Tg de CO<sub>2</sub>-eq año<sup>-1</sup>. Esto, sin considerar el beneficio climático del aumento en el reservorio de C en producto; ya que este es temporal.

## **5. Conclusiones**

Las emisiones biogénicas de CO<sub>2</sub> juegan un papel clave en la evaluación del impacto potencial sobre el cambio climático de las tarimas dada su magnitud y a que en Costa Rica existe evidencia de que las tasas de reforestación son menores a las de cosecha, con lo cual asumir, en todos los casos, que estas emisiones son carbono neutro podría llevar a una subestimación del impacto. Los resultados del análisis comparativo reflejan que el uso de madera local conlleva dos beneficios climáticos en relación al uso de pino chileno. El primero producto de que las tarimas de madera local tienen un mayor reservorio de C y segundo porque los sistemas productivos liberan menos emisiones fósiles de CO<sub>2</sub>-eq por unidad de producto. La falta de consenso internacional en aspectos metodológicos claves dificulta el desarrollo de estudios de análisis de ciclo de vida en productos de madera o productos forestales.

## 6. Referencias bibliográficas

ACCS (Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo) 2012. Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales. Eds. A Alvarado Hernández; J Raigosa Echeverri. ACCS. Sabanilla, San José, CR. 416 p.

American Association of Port Authorities (AAPA). 2015. World port rankings (en línea). Alexandria, US. Consultado 19 abr. 2017. Disponible en: <http://www.aapa-ports.org/unifying/content.aspx?ItemNumber=21048>

Andrade, HJ 1999. Dinámica productiva de sistemas silvopastoriles con *Acacia mangium* y *Eucalipto deglupta* en el trópico húmedo. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, CR. 84 p.

Anil, S. K. 2010. Environmental analysis of pallets using life cycle analysis and multi-objective dynamic programming. Tesis Mg.sc. Pennsylvania, US. The Pennsylvania State University. 153p.

Arauco. 2009. Arauco efectuó la medición de su huella de carbono: estudio constituye un importante primer paso para hacer frente a las emisiones de gases de efecto invernadero. Issues & Answers, no 8: 1-2.

Arguedas M., 2004. Problemas fitosanitarios de la Melina (*Gmelina arborea* (Roxb)) en Costa Rica. KURÚ: Revista Forestal (Nota técnica).1(2):1-9.

Arias, G. 2004. Análisis del impacto económico y social de las plantaciones forestales en Costa Rica. San José, CR. 25 p.

Bámaca Figueroa, EE; Kanninen, M; Louman, B; Pedroni, L; Gómez, M. 2004. Contenido de carbono en los productos y residuos forestales generados por el aprovechamiento y el aserrío en la Reserva de Biosfera Maya. Recursos Naturales y Ambiente. 2004: 102-110.

Belizario, F; Satomi O; Horta, R; Almeida, C; Donega, E; Echevengúá, C; Alves de Oliveira, L. 2017. Uncertainty sources in the life cycle assessment of construction products in Brazil (en línea). Consultado 19 dic. 2017. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/317601231\\_Uncertainty\\_sources\\_in\\_the\\_Life\\_Cycle\\_Assessment\\_of\\_construction\\_products\\_in\\_Brazil](https://www.researchgate.net/publication/317601231_Uncertainty_sources_in_the_Life_Cycle_Assessment_of_construction_products_in_Brazil)

Bertsch; F. 2014. Encalemos....!!!. Revista Germinar. 4(14): 15.

Blanco, ML; Carpio, I; Muñoz, F.2005. Fichas técnicas de veinte especies maderables de importancia en Costa Rica. San José, CR, UCR. 106 p.

Brandão M; Levasseur A; Kirschbaum MUF; Weidema BP; Cowie AL; Jørgensen SV; Hauschild MZ; Pennington DW; Chomkamsri K. 2013. Key issues and options in accounting for carbon sequestration and temporary storage in life cycle assessment and carbon footprinting. Int J Life Cycle Asses. 18: 230-240.

BSR/CCWG (Business for Social Responsibility/Clean Cargo Working Group). 2014. Global maritime trade lane: emissions factors. s.l. 10 p.

Carpio Malavassi, IM. 1992. Maderas de Costa Rica: 150 Especies forestales. San José, CR, UCR. 340 p.

Castillo 2007. Análisis sobre el impacto en los costos y rendimientos de actividades silvícolas y de cosecha en condiciones adversas en MCC 2007. Práctica profesional supervisada. Universidad Nacional. Heredia, CR. 33 p.

CCL (Comité Costarricense de Logística). 2003. Recomendaciones GS1 para la logística: manual de logística de paletización. s.e. San José, CR. 28 p.

CCT (Centro Científico Tropical) y MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería) 2004. Zonas de vida de Costa Rica según la clasificación de zonas de vida del mundo de L.R. Holdridge; Atlas de Costa Rica 2014 (shape). San José, CR.

CFACAHN (Consejo Forestal del Área de Conservación Arenal Huetar Norte) 2014. Memoria: taller de intercambio de experiencias de manejo y control *Nectria sp.*, por productores forestales en la región Huetar Norte de Costa Rica con énfasis en *Gmelina arborea*. CFACAHN-SINAC. s.l, CR. 15 p.

Chen; X; Corson MS. 2014. Influence of emission-factor uncertainty and farm-characteristic variability in LCA estimates of environmental impact of French Dairy. Journal of Cleaner Production. 81: 150-157.

Cherubini, F; Brigh, RM; Strømman, AH. 2013. Global climate impacts of forestry bioenergy: what, when and how to measure? Environ. Res. Lett. 8.

Cherubini, F; Peters, GP; Berntsen, T; Strømman, AH; Hertwich, E. 2011. CO<sub>2</sub> emissions from biomass combustion for bioenergy: atmospheric decay and contribution to global warming. GCB Bioenergy. 3. 413-426.

- CILCA (7, 2017, Medellín, CO). 2017. Conferencia Internacional de Análisis de Ciclo de Vida en Latinoamérica (CILCA 2017): Memorias. Medellín, CO. s.p.
- CONAF 2017. Estadísticas forestales. Plantaciones forestales: superficie regional forestada y reforestada (en línea). Consultado 19 abr. 2017. Disponible en: <http://www.conaf.cl/nuestros-bosques/bosques-en-chile/estadisticas-forestales/>
- Congreso Latinoamericano IUFRO. (1, 1998, Valdivia, CL). 1998. Diagnóstico nacional de plagas y enfermedades forestales en Costa Rica: el manejo sustentable de los recursos forestales, desafío del Siglo XXI, tema 1. Establecimiento, manejo y protección de plantaciones. Valdivia, CL, 22–28.
- Costa Rica 2015. Contribución prevista y determinada a nivel nacional de Costa Rica. Ed. MINAE. San José, CR. 19 p.
- Cubero, J; Rojas, S. 1999. Fijación de carbono en plantaciones de melina (*Gmelina arborea* Roxb.), teca (*Tectona grandis* L.f.) y pochote (*Bombacopsis quinata* Jacq.) en los cantones de Hojancha y Nicoya, Guanacaste, Costa Rica. Tesis Lic. Ing. For. Heredia, CR, UNA. 95 p.
- De Rosa, M; Pizzol, M; Schmidt, J. 2017. How methodological choices affect LCA climate impact results: the case of structural timber. *Int J Life Cycle Assess.* Doi: 10.1007/s11367-017-1312-0
- Díaz, 2016. Evaluación del desempeño ambiental del edificio de residencias estudiantiles del Instituto Tecnológico de Costa Rica en la etapa de producción de materias primas, construcción y ocupación. Tesis Lic. Ing. Ambiental. Cartago, CR, TEC. 104 p.
- Djörklund, AE. 2002. Survey of approaches to improve reliability in LCA. *The International Journal of Life Cycle Assessment.* 7: 64.
- Elia, V; Grazia, M. 2015. Designing an effective closed loop system for pallet management. *Int. J. Production Economics.* 170: 730-740.
- Energía Abierta. 2017a. Balance nacional de energía (en línea). Santiago, CL. Consultado 11 nov. Disponible en: <http://energiaabierta.cl/visualizaciones/balance-de-energia/>
- Energía Abierta. 2017b. Factores de emisión SIC y SING (en línea). Santiago, CL. Consultado 11 nov. Disponible en:
- <http://energiaabierta.cl/visualizaciones/balance-de-energia/>
- Eshun, JF; Potting, J; Leemans, R. 2010. Inventory analysis of the timber industry in Ghana. *Int J of Life Cycle Assess.* 15. 715-725.
- Eshun, JF; Potting, J; Leemans, R. 2011. LCA of the timber sector in Ghana: preliminary life cycle impact assessment (LCIA). *Int J of Life Cycle Assess.* 16. 625-638.
- Espinoza-Durán, J; Moya, R. 2013. Aprovechamiento e industrialización de dos plantaciones de *Gmelina arborea* de 15 años de edad en diferentes condiciones de pendiente. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente (Nota técnica).* 19(2): 237-248 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 2006a. *Livestock's long shadow: environmental issues and options.* Eds. H Steinfeld; P Gerber; T Wassenaar; V Castel; M Rosales; C de Haan. Rome, IT. 391 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2006b. Normas internacionales para medidas fitosanitarias: NIMF-15 directrices para reglamentar el embalaje de madera utilizado en el comercio internacional (2002). FAO. Roma, IT. 11 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 2010a. *Impact of the global forest industry on atmospheric greenhouse gases.* North Carolina, US. 86p.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2010b. *Greenhouse gas emissions from the dairy sector: a life cycle assessment.* Rome, IT, FAO. 98 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). sf. *The potencial use of wood residues for energy generation (en línea).* Consultado 14 jul. 2017. Disponible en: [http://www.fao.org/docrep/t0269e/t0269e08.htm#6.2.1 forest residues](http://www.fao.org/docrep/t0269e/t0269e08.htm#6.2.1_forest_residues)
- Fonseca González 2009. *Restauración forestal y almacenamiento de carbono en el trópico húmedo (zona caribe de Costa Rica).* Ph.D. tesis. Alcalá de Henares, ES, Universidad de Alcalá. 191 p.
- García-Durañona L; Farreny R; Navarro P; Boschmonart-Rives J. 2016. Life cycle assessment of a coniferous Wood supply chain for pallet production in Catalonia, Spain. *Journal of Cleaner Production.* 137: 178-188.

- Gasol, CM; Farreny, R; Gabarrell, X; Rieradevall, J. 2008. Life cycle assessment comparison among different use intensities for industrial wooden containers. *Int J Life Cycle Assess.* 13 (421-431).
- Gayoso, J. 2001. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques nativos y plantaciones de Chile. *Revista Forestal Iberoamericana.* 1(1): 1-13.
- Guevara, M. 2011. Productividad y costos operacionales de la chapea mecanizada en plantaciones jóvenes de *Acacia mangium* en la zona norte de Costa Rica. *KURÚ: Revista Forestal.* 8(20):1-4.
- Guevara, M; Murillo, O. 2009. Costos y rendimientos de ocho tipos de poda en plantaciones jóvenes de *Acacia mangium Willd* en la zona norte de Costa Rica. *KURÚ: Revista Forestal.* 6(17):1-7.
- Guinée, JB; Heijungs, R; Huppes, G; Zamagni, A; Masoni, P; Buonamici, R; Ekvall, T; Rydberg, T. 2011. Life cycle assessment: past, present and future. *Environ. Sci. Technol.* 45: 90-96.
- Gustavsson, L; Madlener, R; Hoen, HF; Jungmeier, G; Karjalainen; Klöhn, S; Mahapatra, K; Pohjola, J; Solberg, B; Spelter, H. 2006. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Chance. 11: 1097-1127.
- Hartley, M. 2003. Políticas económicas para el desarrollo sostenible de la industria forestal en Costa Rica: evaluación del ciclo de vida (LCA) a la cadena de producción de muebles que utilizan *Gmelina arborea*. Tesis Mag. Sc. Heredia, CR, UNA. 118 p.
- Heinimann, HR. 2012. Life cycle assessment (LCA) in forestry - state and perspectives. *Croat. J. For. Eng.* 33(2): 357-372.
- Helin T, Sokka L, Soimakallio S, Pingoud K, Pajuka, T. 2013. Approaches for inclusion of forest carbon cycle in life cycle assessment – a view. *GCB Bioenergy.* 5: 475-486.
- Herrera, EE; Sánchez, V; Blanco H. 2013. Formulación de gránulos bases para la incorporación de ingredientes activos con efecto biológico sobre el hongo simbiótico cultivado por las hormigas forrajeras del género *Atta*. *Agronomía Costarricense.* 37(2): 55-69.
- Huijbregts, MAJ. 2001. Uncertainty and variability in environmental life cycle assessment. Ph.D. Thesis. Amsterdam, NL, University of Amsterdam. 193 p.
- IGES (Institute for Global Environmental Strategies). 2017. IGES list of grid emission factors: base de datos (en línea). Kanagawa, JP. Consultado 11 nov.
- Disponible en: <https://pub.iges.or.jp/pub/iges-list-grid-emission-factors>
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional). 2012. Inventario nacional de gases de efecto invernadero y absorción de carbono. Eds. AR Chacón; G Jiménez; J Montenegro; J Sasa; K Blanco. San José, CR. MINAE; IMN; GEF; PNUD. 68 p.
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional) 2014. Clima en Costa Rica: Clima de Costa Rica y variabilidad climática (en línea). San José, CR. Consultado 2 mar 2014. Disponible en: <https://www.imn.ac.cr/clima-en-costa-rica>
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional). 2015. Factores de emisión gases de efecto invernadero. 5 ed. San José, CR, IMN. 10 p.
- IMO (International Maritime Organization). 2015. Third IMO greenhouse gas study 2014: executive summary. London, UK. 43 p.
- INTE/ISO. 2007a. Norma 14040. Gestión ambiental, análisis del ciclo de vida: principios y marco de referencia. INTECO. San José, CR. 33p.
- INTE/ISO. 2007b. Norma 14044. Gestión ambiental, análisis del ciclo de vida: requisitos y directrices. INTECO. San José, CR. 33p.
- INTE/ISO.2015. INTE/ISO/TS 14067: 2015. Gases de efecto invernadero. Huella de carbono. Requisitos y directrices para cuantificación y comunicación. INTECO. San José, CR. 73 p.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio climático) 2006. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Eds: HS Eggleston, L Buendia, K Miwa, T Ngara, K Tanabe. IGES. Hayama, JP. s.p.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio climático) 2014: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment. Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Eds. O Edenhofer, R Pichs-Madruga, Y Sokona, E Farahani, S Kadner, K Seyboth, A Adler, I Baum, S Brunner, P Eickemeier, B Kriemann, J Savolainen, S Schlömer, C von Stechow, T Zwickel, JC Minx. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio climático). 2006. Directrices del IPCC 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Eds. HS Eggleston; L Buendia, K Miwa; T Ngara; K Tanabe. Hayama, JP, IGES. s.p.

- ITTO. 2014. Life cycle assessment for environmental product declaration of tropical plywood production in Malaysia and Indonesia: report. Eds. KS Gan, MY Massijaya. S.I. 29 p.
- Jadin I; Meyfroidt P; Zamora JC; Lambin EF. 2016. Unexpected interactions between agricultural and forest sector through international trade: wood pallets and agricultural exports in Costa Rica. *Land*. 6(1): 1-21.
- Johnson E. 2009. Goodbye to carbon neutral: getting biomass footprints right. *Environmental Impact Assessment Review*. 29: 165-168.
- Klein, D; Wolf, C; Schulz, C; Weber-Blaschke, G. 2015. 20 years of life cycle assessment (LCA) in the forestry sector: state of the art and a methodical proposal for the LCA of forest production. *Int J of Life Cycle Assess*. 20. 556-575.
- Kraenzel, M; Castillo, A; Moore, T; Potvin, C. 2003. Carbon storage of harvest-age teak (*Tectona grandis*) plantations, Panama. *Forest Ecology and Management*. 173: 213-225.
- La Gaceta. 2016. Resolución N°R-413-2016-MINAE. San José, CR. 144 p.
- LCA food (9, 2014, San Francisco, US). 2014. Proceeding of the 9<sup>th</sup> Internacional Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector (LCA Food 2014). Eds. R Schenck; D Huizenga. Washington, US. ACLCA. 1574 p.
- Life Cycle Initiative, FR. 2017. What is Life Cycle Thinking? (en línea). Paris, FR. Consultado 15 nov. 2017. Disponible en: <https://www.lifecycleinitiative.org/starting-life-cycle-thinking/what-is-life-cycle-thinking/>
- Lippke, B; Oneil, E; Harrison, R; Skog, K; Gustavsson, L; Sathre, R. 2011. Life cycle impacts of forest management and wood utilization on carbon mitigation: knowns and unknowns. *Future Science: Carbon Management*. 2(3). 303-333.
- Lippke, B; Wilson, J; Meil, J; Taylor, A. 2010. Characterizing the importance of carbon stored in wood products. *Wood and Fiber Science*. 42: 5-14.
- Lopes Silva, DA; Rocco Lahr, FA; Pinheiro García, R; Seixas Freire, FMC; Ometto, AR. 2013. Life cycle assessment of medium density particleboard (MDP) produced in Brazil. *Int J of Life Cycle Assess*. 18. 1404-1411.
- Lopes-Silva, DA; Rocco Lahr, FA; Pinheiro García, R; Seixas Freire, FMC; Ometto, AR. 2013. Life cycle assessment of medium density particleboard (MDP) produced in Brazil. *Int J of Life Cycle Assess*. 18. 1404-1411.
- Louman, B, Gómez, M, Navarro, G. 2006. Determinación de costos, productividad y rendimientos del aprovechamiento forestal. In *Aprovechamiento de impacto reducido en bosques latifoliados húmedos tropicales*. Eds. L. Orozco, C. Brumér; D. Quirós. Cartago, CR, CATIE. p. 278-312.
- Malmsheimer, RW; Bowyer, JL; Fried, JS; Gee, E; Izlar, RL; Miner, RA; Munn, IA; O'Neil, E; Stewart, WC. 2011. Managing forests because carbon matters: integrating energy, products and land management policy. *Journal of forestry*. 109 (7S): S7-S50.
- Martínez, HA. 2014. Barreras que desalientan el cultivo de madera: "fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono". San José, CR. Banco Mundial; FONAFIFO; ONF. 84 p.
- Martínez-Alonso, C; Berdasco, L. 2015. Carbon footprint of sawn timber products of *Castanea sativa* Mill., in the north of Spain. *Jornal of Cleaner Production*. 102: 127-135.
- Mazeika, A. 2011. Environmental impact analysis of alternative pallet management system. Thesis Mag. Sc. New York, US. Rochester Institute of Technology. 160 p.
- Méndez 2011. Evaluación de tratamientos para el manejo de *Nectria* sp., en plantaciones de *Gmelina* arborea en Santa Rosa de Pocosol, Alajuela. Tesis licenciatura. Cartago, CR. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 39 p.
- Micales, JA; Skog, KE. 1997. The decomposition of forest products in landfills. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 39(2-3): 145-158.
- MIDEPLAN (Ministerio de Planificación y Política económica). 2009. Regiones del MIDEPLAN: Atlas de Costa Rica 2014 (shape). San José, CR.
- MINAET (Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones). 2011. Plan nacional de desarrollo forestal: 2011-2020. Comunicaciones Milenio. San José, CR. 60 p.
- Miner R; Gaudreault, C. 2013. A review of biomass carbon accounting methods and implications. *National Council for Air and Stream Improvement: Technical bulletin*. no. 1015.
- Mirabella N; Castellani V; Sala S. Forestry operations in the alpine context: life cycle assessment to support the integrated assessment of forest wood short supply chain. *Int. J. Life Cycle Assess*. 19: 1524-1535.

- MMA (Ministerio de Medio Ambiente). 2016. Segundo informe bianual de actualización de Chile sobre cambio climático. Eds. R Martínez; F Farías; S González; JA Prado; M Alfaro; R Guzmán. Santiago, CL. 269 p.
- Molina, A. 2012. Balance energético nacional de Costa Rica. San José, CR, MINAE/DSE. 68 p.
- Montero, M; Kanninen, M. 2006. Carbono fijado a diferentes edades en plantaciones de *Terminalia amazonia*, *Tectona grandis* y *Bombacopsis quinata* en Costa Rica. Rev. Recursos Naturales y Ambiente sep. 2006: 19.
- Moya 2004. *Gmelina arborea* en Costa Rica. Bois et Forêts des Tropiques. 279(1): 1-11.
- Moya Roque, R; Muñoz Acosta, F; Salas Garita, C; Berrocal Jiménez, A; Leandro Zúñiga, L; Esquivel Segura, E. 2010. Tecnología de maderas de plantaciones forestales: fichas técnicas. Revista 7(18-19): 87-101.
- Myhre, G; Shindell, D; Bréon, F-M; Collins W; Fuglestedt J; Huang J; Koch D; Lamarque J-F; Lee D; Mendoza B; Nakajima T; Robock A; Stephens G; Takemura T; Zhang H. 2013: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Eds: Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 82 p.
- Niero, M; Di Felice, F; Ren, J; Manzardo, A; Scipioni, A. 2014. How can a life cycle inventory parametric model streamline life cycle assessment in the wooden pallet sector? Int. J. Life Cycle Assess. 19: 901-918.
- ONF (Oficina Nacional Forestal). 2009. Guía del productor para el establecimiento y manejo de pequeñas plantaciones forestales comerciales. Eds. G Salazar, S Lobo, MI Chavarría. ONF-SINAC. San José, CR. 32 p.
- ONF (Oficina Nacional Forestal). 2014. Usos y aportes de la madera en Costa Rica. Estadísticas 2013. Eds. B Alfonso; S Ugalde; ONF-SINAC. San José, CR. 32 p.
- ONF (Oficina Nacional Forestal). 2015. Usos y aportes de la madera en Costa Rica. Estadísticas 2014. Eds. B Alfonso; S Ugalde; ONF-SINAC. San José, CR. 40 p.
- ONF (Oficina Nacional Forestal). 2016. Usos y aportes de la madera en Costa Rica. Estadísticas 2015. Eds. B Alfonso; S Ugalde; ONF-SINAC. San José, CR. 44 p.
- ONF (Oficina Nacional Forestal) 2013. Dase de datos de los fabricantes de tarimas y embalajes adscritos a la Oficina Nacional Forestal (correo electrónico). Heredia, CR. ONF.
- Ports. 2017. Sea route: start port puerto de San Vicente, Chile; destination port Limón, Costa Rica (en línea). Consultado 24 abr. 2017. Disponible en: <http://ports.com/sea-route/>
- ProChile. 2015. Tendencias de la construcción en Madera en Costa Rica. s.l. s.e. 17 p.
- Puettmann, ME; Bergman, R; Hubbard, S; Johnson L; Lippke, B; Oneil, E; Wagner FG. 2010. Cradle-to-gate life cycle inventory of US wood products production: corrim phase I and phase II products. Wood and Fiber Science. 42. 15-28p.
- Quirós, R; Chinchilla, O; Gómez, M. 2005. Rendimiento en aserrío y procesamiento primario de madera proveniente de plantaciones forestales. Agronomía Costarricense. 29(2):7-15.
- Reiche C. 1989. Manual para determinar rendimientos y costos de faena de producción de los sistemas de árboles uso múltiple. CATIE/ROCAD. Turrialba, CR. 54 p.
- Rojas, M. 2012. Almacenamiento de carbono en plantaciones forestales del proyecto hidroeléctrico Cachí. Tesis Lic. Ing. For. Heredia, CR, UNA. 65 p.
- Royal Academy of Engineering. 2017. Sustainability of liquid biofuels. London, UK. 96 p.
- SAG (Servicio Agrícola Ganadero). 2017. Exportaciones: requisitos fitosanitarios por país (en línea). Consultado 26 abr. 2017. Disponible en: <http://www.sag.cl/ambitos-de-accion/requisitos-fitosanitarios-por-pais>
- Sage Mora, LF; Quiros Herrerra, R. 2001. Proyección del volumen de madera para aserrío proveniente de las plantaciones de Melina y Teca y de otras fuentes: documento técnico preparado como componente del proyecto TCP/COS/006(A) "mercadeo e industrialización de madera proveniente de plantaciones forestales". San José, CR. 24 p.
- Salas, A. 2015. Determinación de la incidencia y severidad de la pudrición del tronco de genotipos de Melina (*Gmelina arborea* Roxb.) en el Pacífico Sur de Costa Rica. Tesis licenciatura. Heredia, CR. Universidad Nacional. 59 p.
- Searchinger, TD; Hamburg, SP; Melillo, J; Chameides, W; Havlik, P; Kammen, DM; Likens, GE; Lubowski, RN; Obersteiner, M; Oppenheimer, M; Robertson, GP;

- Schlesinger, WH; Tilman GD. 2009. Fixing a critical climate accounting error. *Science*. 326: 527-528.
- SEF-MAG (Servicio Fitosanitario del Estado del Ministerio de Agricultura y Ganadería). 2014. Lista de fabricantes de embalajes autorizados por el SFE. Ed. M Morales. San José, CR. 19 p.
- Silva, F; Arduin, R; Diestelkamp, E; Teixeira, C; Oliveira, L. 2017. The importance of primary data for life cycle assessment of construction products in Brazil. São Paulo, BR. 7p.
- SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación) 2011. Censo nacional de la industria forestal primaria de Costa Rica. Eds. M Camacho, D Camacho y F Monge. San José, CR. SIREFOR (Sistema de información de recursos forestales). 124p.
- SINAC, SIREFOR y MINAE (Sistema Nacional de Áreas de Conservación, Sistema de Información de los Recursos Forestales y Ministerio de Ambiente y Energía). 2013. Reporte estadístico forestal 2013. Eds. MI Chavarría Espinoza; M Castillo Núñez. San José, CR, GIZ. 42 p.
- Skog EK; Nicholson, AG. 1998. Carbon cycling through wood products: the role of wood and paper products in carbon sequestration. *Forest Products Journal*. 7(8): 75-83.
- Skog, KE. 2008. Sequestration of carbon in harvested wood products for the United States. *Forest Prod. J*. 58(6): 56-72.
- Solano, J; Alice, F. 2014. Estudio de caso: balance de gases de efecto invernadero de las tarimas de madera a través de un Análisis de Ciclo de Vida. Sin publicar. Heredia, Costa Rica. 13 p.
- Solano J. 2013. Balance de gases de efecto invernadero (GEI) en la elaboración de tarimas para dos empresas típicas ubicadas en la zona norte de Costa Rica a través de un análisis de ciclo de vida (ACV). Práctica profesional supervisada. Heredia, CR. Universidad Nacional 52 p.
- Ugalde, S; Godio, LA. 2014. Área reforestada en la Región Huetar Norte con contratos vigentes de PSA para el periodo 2003-2013 y proyección del volumen de subproductos de madera provenientes de fincas y del proceso de aserrío de *Gmelina arborea*: informe para el departamento de investigación en energías alternativas del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). ONF. Heredia, CR. 25 p.
- Ulate Rodríguez, CL. 2014. Rendimiento de *Gmelina arborea* en el Área de Conservación Arenal Huetar Norte, Costa Rica. *Revista Germinar*. 4(15): 14-15.
- Valdia, S; Bajaj, S; Sonnemann, G; Quirós, A; Ugaya, CML. 2015. Mainstreaming life cycle sustainability management in rapidly growing and emerging economies through capacity-building. Eds. G Sonnemann; M Margni. Life cycle management. DOI 10.1007/978-94-017-7221-1\_19
- WRI/WBCSD (World Resources Institute/World Business Council for Sustainable Development). 2011. Product life cycle accounting and reporting standard. Eds: P Bhatia; C Cummis; A Brown; L Draucker; D Rich; H Lahd. s.l. 148 p.
- Zanne, AE; Lopez-Gonzalez, G; Coomes, DA; Ilic, J; Jansen, S; Lewis, SL; Miller, RB; Swenson, NG; Wiemann, MC; Chave, J. 2009. Global wood density database (en línea). Consultado 26 abr. 2017. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10255/dryad.23>

## Apéndices

### Apéndice 1. Descripción detallada de las etapas y los procesos unitarios que conforman el CV de los sistemas del producto en estudio

#### Preparación del terreno

En la preparación del terreno para el establecimiento de plantaciones forestales, se implementan procesos de drenado de aguas, chapea, destronque, barrido, acordonado, carrileo, arado, subsolado, formación de camellones, rodajea, encalado y trazado o marcaje de los puntos de siembra. El drenado de las aguas se realiza utilizando draga o Backhoe. Este proceso está relacionado únicamente a terrenos abandonados. Las chapeas se realizan en el 80% de los casos, de forma manual, en un 19%, con motoguadaña y un uno por ciento con tractor agrícola (chapeadoras). Este proceso está relacionado a terrenos con ganado y charrales bajos como usos anteriores de la tierra.

El destronque, barrido y acordonado son procesos que están estrechamente relacionados. El primero consiste en la extracción de los tocones de los árboles o arbustos remantes, por lo que está relacionado a tierras con cultivos permanentes, plantación forestal y charrales altos como usos anteriores de la tierra. Este proceso se realiza con tractor de oruga, draga o Backhoe. El segundo es la remoción y apilado de los tocones extraídos, para lo cual se utiliza tractor agrícola. Por su parte, el tercero consiste en amarrar y arrastrar los tocones y otros residuos hasta los sitios de eliminación donde serán enterrados o quemados, en este proceso se utiliza tractor agrícola. El carrileo, por otro lado, consiste en picar y cortar, en hileras de un metro de ancho, los árboles, arbustos y residuos (tocones, ramas, fustes, etc.) remanentes del uso anterior (Castillo 2007). Este proceso está relacionado a tierras con cultivos permanentes, plantación forestal y charrales altos con usos anteriores de la tierra. Para este proceso se utiliza únicamente motosierra. Se puede afirmar que los procesos de chapea (como parte de la preparación), destronque, barrido y acordonado y carrileo son homólogos, en el sentido de que cumplen una misma función (limpiar el terreno para el establecimiento de las plantaciones).



El proceso de arado se realiza con arados o rastras, las cuales son tiradas por un tractor agrícola. Este es uno de los sistemas más utilizados en el área de estudio. Sin embargo, se encontró una empresa a que realiza este proceso con maquinaria especial que realiza los procesos de destronque, arado, subsolado y formación camellones de una sola vez. Esta maquinaria es tirada por un tractor agrícola. El subsolado se efectúa utilizando un juego de disco movido por un tractor agrícola, al igual que el proceso de formación de camellones.

La rodajea consiste en eliminar el cien por ciento de la vegetación herbácea no deseada en una circunferencia de un metro de diámetro alrededor de los árboles plantados. Este proceso está asociado principalmente a tierras con ganado y charrales bajos como uso anterior. Se utilizan varios métodos para realizar las rodajeas. Según los resultados, en el área de estudio, el método más utilizado es el control químico, en un 95% de los casos. Consiste en rociar herbicida en el área a limpiar, utilizando bomba de espalda. Otros métodos utilizados son el control manual y el control mecánico, los cuales son realizados en un 4 y 1%, respectivamente. El proceso de encalado consiste en la adición de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), yeso u otra enmienda al suelo para contrarrestar la acidez (ACCS 2012 y Bertsch 2014). Existen diferentes productos comerciales para este fin (ACCS 2012); sin embargo, en el área de estudio, según los resultados se estima que el 96,2% de las plantaciones forestales aplican  $\text{CaCO}_3$  y el 1,6% utiliza carbonato de magnesio ( $\text{MgCO}_3$ ).

Por su parte, el proceso de trazado o marcaje de los puntos de siembra se realiza a través de dos métodos. El primero consiste en colocar estacas en los puntos de siembra; y el segundo, en aprovechar los parches sin malezas obtenidos días después por la aplicación de herbicida. El primer método está asociado a sitios con cultivos permanentes y charrales altos como uso anterior de la tierra, mientras el segundo a sitios con ganado o charrales bajos como uso anterior.

En esta etapa se evidencia que la cantidad y el tipo de los procesos unitarios están relacionados, entre otros factores, al uso anterior de la tierra. Según este factor, los procesos unitarios de esta etapa se pueden categorizar en tres grupos. El primer grupo asociado a ganado como uso anterior de la tierra; el segundo, a cultivos permanentes

(e.g. cítricos y plantaciones forestales); y el tercero, a tierras abandonadas (charrales; figura A1.1). Se estima a partir de las entrevistas que el 59,2% de las plantaciones forestales actuales del área de estudio pertenecen al primer grupo (ganado), el 28% al segundo grupo (cultivos permanentes) y un 12,8% al tercer grupo.

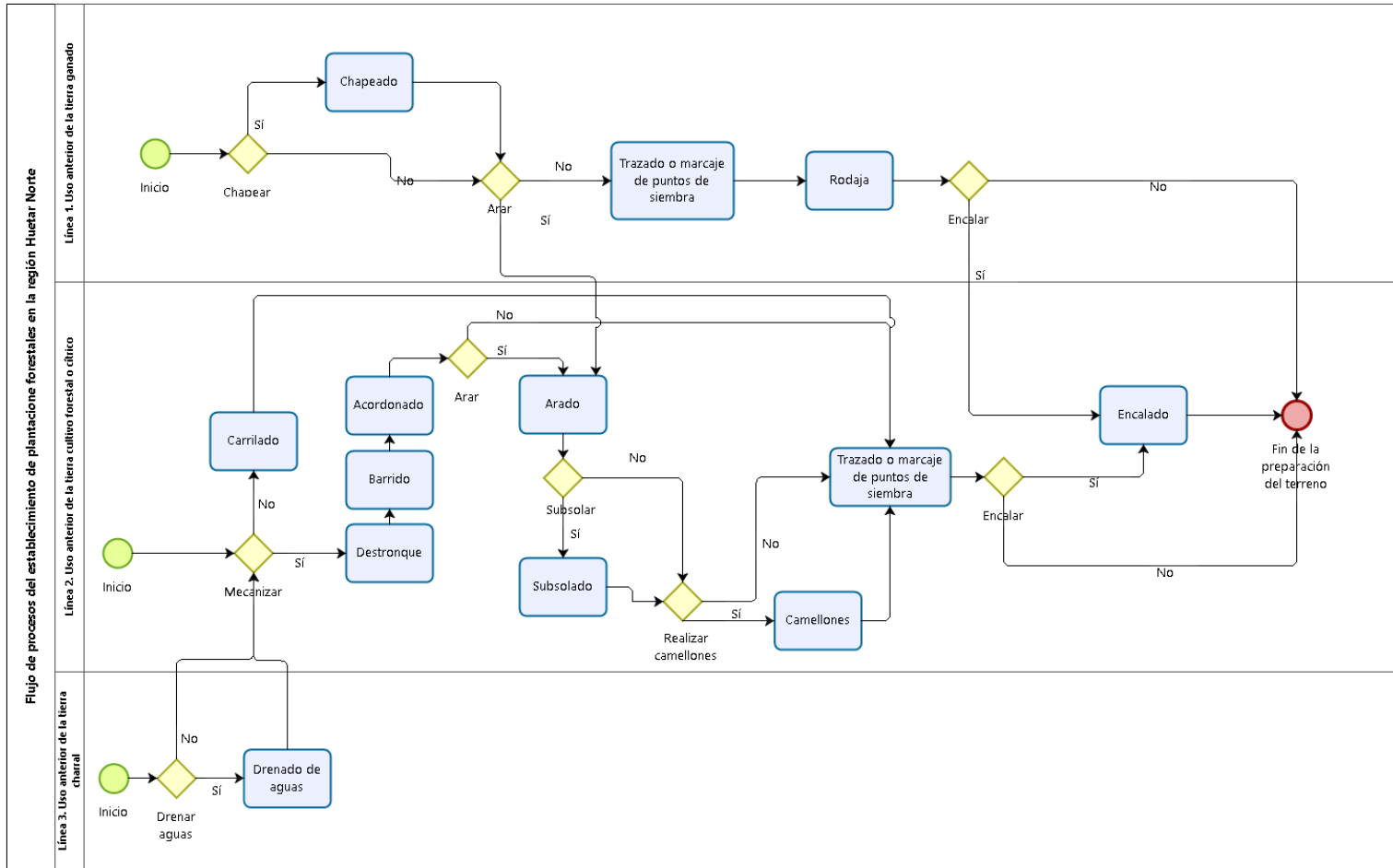
### **Establecimiento de las plantaciones**

Esta etapa se compone de los procesos de ahoyado, fertilización inicial, siembra y resiembra. El ahoyado se realiza en un 82,2% de forma manual con palín o macana y el 17,8% restante de forma mecanizada con “ahoyadora” o perforadora de tierra. Un 99,4% de las plantaciones se fertiliza de forma manual. Las fuentes de fertilizantes empleadas son las fórmulas 20-28-9, 12-21-9 y la 10-30-10 (o en su defecto 12-24-12). Para la fertilización inicial, la fórmula más utilizada es la 20-28-9 con un 76,5%, seguida por 12-21-9 y 10-30-10, con un 17,8% y un 5,1%, respectivamente. Se encontró que todas las fórmulas fertilizantes aplicadas corresponden a fórmulas físicas.

En relación al proceso de siembra, este se realiza de forma manual, utilizando principalmente clones mejorados o semilla certificada a densidades de siembra de 816, 625, 1 257 y 1 111 árboles/ha. Se estima que el 42% de las plantaciones establecidas actualmente en el área de estudio están a una densidad de 816, un 39% a una densidad de 625, un 18% a una densidad de 1 257 y un 1,9% a una densidad de 1 111. Las especies más plantadas son Melina (*Gmelina arborea*) con un 49%, Teca (*Tectona grandis*) con un 20,8%, Cebo (*Vochysia guatemalensis*) con un 13% y Acacia (*Acacia mangium*) con un 10% (Ugalde y Godio 2014). En cuanto al proceso de resiembra se aconseja realizar cuando la tasa de mortalidad es superior al 10% (ONF 2009).

### **Manejo silvicultural**

Comprende las actividades de control de malezas, manejo de la fertilidad y la acidez del suelo, control de plagas y enfermedades, la ejecución de podas, raleos y cosecha final. Estas actividades, a su vez, se componen de hasta 74 procesos unitarios a lo largo del turno de corta, los cuales presentan una importante variabilidad asociada a factores como: condiciones específicas del sitio, especie plantada, material genético, índice de sitio, entre otros.



**Figura A1.1.** Diagrama del flujo de los procesos unitarios de la etapa de preparación del terreno para el establecimiento de plantaciones forestales con fines comerciales. Región Huetar Norte, 2014-2016.

A continuación, se describen los procesos unitarios que comprenden esta etapa del CV. Dentro de las actividades de control de malezas se presentan 14 procesos unitarios, los cuales consisten en la ejecución de siete chapeas y siete limpiezas de rodajas. En promedio, cuatro chapeas y limpiezas en el primer año (con un mínimo de dos y un máximo de seis) y, posteriormente, una vez por año hasta el cuarto año de la plantación. Las chapeas se realizan principalmente de forma manual y la limpieza de rodajas de forma manual con el método de control químico.

Dentro de las actividades de manejo de la fertilidad, se encuentra dos procesos unitarios: la aplicación de una segunda dosis de fertilizantes; y la aplicación de una tercera dosis de fertilizantes. Ambas se realizan de forma manual, la segunda dosis cerca del mes tres y la tercera al año de la plantación. Se encontró que para la segunda dosis se aplican las fórmulas fertilizantes 20-28-9, 12-21-9 y 10-30-10; mientras que para la tercera dosis de fertilizante únicamente la 10-30-10. Así mismo, en las plantaciones que reciben una tercera fertilización utilizan únicamente la fórmula 10-30-10.

Las actividades de manejo de la acidez se encontraron presentes en al menos el 1,6% de las plantaciones, en las cuales se aplicaron hasta cinco dosis de  $\text{CaCO}_3$ . Aproximadamente, una aplicación cada dos años, iniciando a partir del año dos de la plantación. Dichas aplicaciones se realizan de forma manual; además, procesos de control de la acidez asociada al manejo *Nectria* a través de la aplicación de cal líquida (CFACAHN 2014). En cuanto a las actividades de control de plagas y enfermedades, se evidenció un manejo constituido por dos fases: preventiva y correctiva, enfocado principalmente al control de hormigas del género *Atta* sp. y el hongo de *Nectria* (*Nectria* sp; Arguedas 2004, Rojas et al. 2004; Méndez 2011, Herrera et al. 2013, CFACAHN 2014).

No obstante, los procesos de control de plagas y enfermedades varían considerablemente, ya que existen alrededor de 455 especies de plagas forestales registradas en el país (Congreso Latinoamericano IUFRO 1998). El control preventivo y correctivo de las hormigas consiste principalmente en la aplicación manual de insecticidas comerciales y, en menor medida, en la ejecución de controles mecánicos

y la aplicación de controladores biológicos (Herrera et al. 2013). Por su parte, el control preventivo de *Nectria* conlleva los procesos unitarios de (Méndez 2011, CFACAHN 2014, Salas 2015):

- i) Mantenimiento de las rodajas: es una actividad que se realiza como parte del control de malezas, pero con un efecto beneficioso para evitar la propagación de *Nectria*. Este proceso se contempla dentro de las actividades de control de malezas.
- ii) Desinfección de las herramientas de corte para la ejecución de las podas: se rocían productos desinfectantes en la hoja de corte. Este proceso se contempla dentro de las actividades de podas.
- iii) Ejecución de podas fitosanitarias: se eliminan las ramas afectadas por *Nectria*, utilizando machete o serrucho. Estas podas se programan de forma que coincidan con las podas de control de la calidad de la madera. Este proceso se contempla dentro de las actividades de podas.
- iv) Curado de los cortes de poda: se aplica fungicida sobre las heridas causadas por las podas. Para ello, se prepara una mezcla en forma de pasta a base de fungicidas, colorantes, aditivos y pintura de agua. Este proceso se contempla dentro de las actividades de podas.
- v) Fumigación de los árboles posterior a las podas: consiste en la aplicación de fungicidas comerciales y aditivos con bomba de espalda a los árboles podados y los residuos de madera generados. Dentro de los aditivos utilizados se encuentra el uso de cal líquida (Cal 56).

Así mismo, en la fase correctiva, se realizan los procesos de (Méndez 2011, CFACAHN 2014, Salas 2015):

- i) Ejecución de cirugías fitosanitarias: se realizan a árboles con un desarrollo leve de *Nectria*. Consiste en eliminar con un machete el área dañada por el hongo y aplicar sobre las heridas una pasta a base de fungicidas, aditivos y pintura de agua.

- ii) Fumigaciones posteriores a las cirugías: luego de realizar las cirugías fitosanitarias, se fumigan los árboles afectados y los árboles circundantes con fungicidas comerciales, utilizando bomba de espalda.
- iii) Raleos fitosanitarios: se cortan los árboles fuertemente afectados por Nectria. En algunos casos, se aprovechan secciones comerciales del árbol y en otros no. Se encontró que en algunos casos la planificación de los raleos fitosanitarios se realiza de forma que coincida con los raleos de manejo de la densidad. Por esta razón, este proceso se contempló dentro de las actividades de los raleos.
- iv) Fumigación posterior a la ejecución de los raleos fitosanitarios: se fumigan los residuos y los árboles remanentes de los raleos con fungicidas comerciales y aditivos utilizando bomba de espalda. Este proceso se contempló dentro de las actividades de los raleos.

Dentro de las actividades de podas se encontraron seis procesos, lo cuales consisten en la ejecución de tres podas y en cada poda un proceso de desinfección de las herramientas de corte. La primera poda se ejecuta cuando los árboles alcanzan los dos metros de alto y tres cm de dap (cerca de los 10 meses de la plantación). Para esta poda se utilizan tijera o machete. La segunda se ejecuta cuando los árboles alcanzan los cuatro metros de altura y seis cm de dap (cerca del año 2); Por último, la tercera se realiza cuando la plantación alcanza los ocho metros de altura (cerca del año 3, aunque existen evidencias de podas que se realizan a los cuatro años de la plantación; Guevara y Murillo 2009; CFACAHN 2014). La segunda y tercera poda se realizan principalmente de forma manual. Se estima que el 98,3% de las plantaciones se podan con serrucho, “rabo de zorro” o similares y el 1,7% de forma mecánica, utilizando podadora. En cada poda se elimina como máximo el 50% de la copa (CFACAHN 2014).

Los raleos conllevan la ejecución de hasta 18 procesos unitarios. Estos consisten en los procesos de volteo, arrastre, apilado, troceo, saneamiento y cargado de madera

de primero, segundo y tercer raleo<sup>3,4</sup>. Para la ejecución de estos, se utiliza una o dos motosierras para el volteo, troceo y saneamiento de la madera; bueyes, tractor agrícola o tractor de oruga para el arrastre y el apilado de los fustes; y tractor agrícola, backhoe, draga, cargador, auto-cargador o fuerza humana (anexo 1) para el cargado de las trozas. Los resultados muestran que se utilizan hasta tres configuraciones de equipo de trabajo en los raleos. Algunas con un mayor nivel de mecanización que otros (cuadro A1.2).

Cuadro A1.2. Configuraciones de los equipos de trabajo para la cosecha de las plantaciones forestales. Región Huetar Norte, Costa Rica. 2013-2016.

<b>Tipo de configuración</b>	<b>Componentes</b>
1. Baja mecanización	1.1.1 Uno, dos o más motosierristas, cada uno acompañado por un ayudante.
	1.1.2 Una yunta de bueyes por cada motosierrista.
	1.1.3 Una o varias cuadrillas de cargado de la madera (fuerza humana).
2.a. Media mecanización	3.1.a.1 Uno, dos o más motosierristas, cada uno acompañado por un ayudante.
	3.1.a.2 Un equipo de arrastre (tractor de oruga, tractor agrícola, backhoe)
	3.1.a.3 Una o varias cuadrillas de cargado de la madera (fuerza humana).
2.b. Media mecanización	3.1.b.1 Uno, dos o más motosierristas, cada uno acompañado por un ayudante.
	3.1.b.2. Una yunta de bueyes por cada motosierrista
	3.1.b.3 Un equipo de carga (cargador, tractor agrícola, tractor de oruga, backhoe o camión auto-cargador)
3. Alta mecanización	4.1.1 Uno, dos o más motosierristas, cada uno acompañado por un ayudante.
	4.1.2 Un equipo de arrastre (tractor agrícola, tractor de oruga, backhoe)
	4.1.3 Un equipo de carga (cargador, tractor agrícola, tractor de oruga, backhoe o camión auto-cargador)

<sup>3</sup> La ejecución de los raleos depende de muchos factores, entre ellos la especie, el índice de sitio, el manejo, el material génico y la densidad de siembra. Por ello, en ocasiones se realizan únicamente dos raleos comerciales (Sage y Quiros 2001).

<sup>4</sup> Pérez, FL y Rivera, A. 2014. Rendimiento del aprovechamiento de plantaciones forestales de Melina, Acacia y Chanco en la región Huetar Norte (comunicación personal). San Carlos, Alajuela, CR. Comisión de Desarrollo Forestal de San Carlos (CODEFORSA).

Según los resultados de las entrevistas, se estima que en el primer y segundo raleo el 93,8% de las plantaciones utiliza una configuración de baja mecanización, un 4,6% una media, mientras un 1,6% alta. Por su parte, en el tercer raleo, se estima que el 55,6% se realiza con una configuración de baja mecanización, un 31,8% una media; y un 12,6% alta.

Finalmente, como parte de la cosecha final, se encuentran los procesos de volteo, arrastre, apilado, troceo, saneamiento de la madera y cargado. Para la ejecución de la cosecha final, se estima que se utiliza una configuración de baja mecanización en un 47,3% de los casos, alta en un 26,9% y una media en un 25,8%. En relación al momento de corta, este depende de diferentes factores. En el área de estudio para especies de rápido crecimiento, como son las tres especies más plantadas, el turno de corta se establece en 12 años (Sage y Quiros 2001; Pérez y Rivera 2014). Sin embargo, existen evidencias de que para plantaciones orientadas a la producción de tarimas este turno se puede adelantar a ocho, nueve y diez años (Moya 2004; Ulate 2014, Pereira 2015<sup>5</sup>). De igual forma hay evidencia de plantaciones de Melina manejadas en la Región Huetar Norte a turnos de corta de hasta 13 años (Ulate 2014). Por otra parte, el Ministerio de Ambiente establece en diez años el turno mínimo de corta para especies de rápido crecimiento (La Gaceta 2016).

### **Transporte de la madera**

En relación al transporte, los resultados muestran que este se realiza con tándem, tráiler y tractor agrícola con carreta. Se encontró que el 70% utiliza tándem, el 20% tráiler (chinga) y el 10% restante tractor agrícola con carreta. El transporte de madera para tarima generalmente se realiza en trozas cortas (de 1,12-1,26 m de largo). En relación a las distancias de recorrido ida y vuelta de los vehículos, se encontraron valores que oscilaron entre 15 y 868 km (cuadro A1.3).

---

<sup>5</sup> Pereira, M. 2015. Volumen comercial y rendimiento de madera de primer raleo y cosecha final en plantaciones de Melina en la región Huetar Norte (comunicación personal). Santa Rosa de Pocosol, Alajuela, CR. Grupo Los Nacientes.



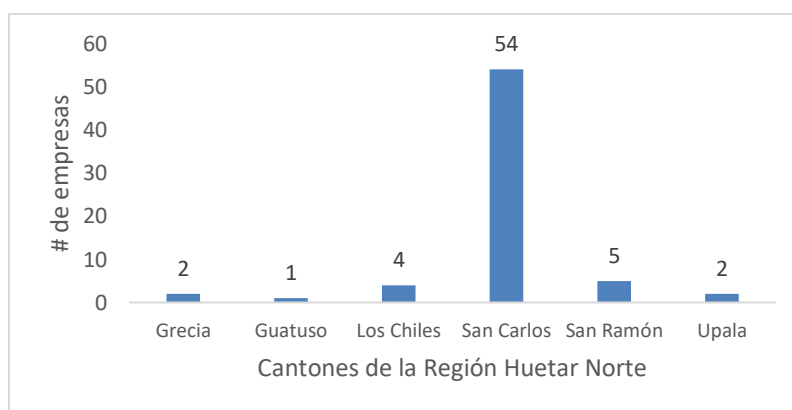
Cuadro A1.3. Distribución, por clases, del recorrido (ida y vuelta) para el transporte de la madera del patio de la plantación al patio del aserradero. Región Huetar Norte, Costa Rica. 2014-2015.

Clase (km)	Frecuencia relativa (%)	Recorrido promedio (km)
Menos de 20	10	15
20 a 99,9	30	61.3
100 a 179,9	30	126.7
180 a 260	20	254
Más de 260	10	868
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>195.5<sup>a</sup></b>

<sup>a</sup> Promedio ponderado

### Aserrío

Para la transformación de la madera de tarimas se encontraron desde aserraderos que se dedican únicamente a aserrar la madera hasta aserraderos integrados con su propia planta de armado de tarimas. Pasando por aserraderos que procesan madera para tarima y para la construcción y aserraderos que brindan servicio de aserrío. Según los registros del Servicio Fitosanitario del Estado del Ministerio de Agricultura y Ganadería (SFE-MAG 2014) existen 67 empresas autorizadas para la fabricación de tarimas y embalajes en la Región (figura A1.2)<sup>6</sup> de las cuales 37 (55%) estaban activas al momento de realizar el estudio. De ellas 24 (36%) tiene permiso para aplicar tratamiento térmico.



**Figura A1.2.** Distribución del número de empresas ligadas a la producción de tarimas y embalajes por cantón. Región Huetar Norte. 2014-2015.

<sup>6</sup> En los cantones de Grecia y San Ramón se contabilizaron, únicamente, las empresas ubicadas en los distritos de Río Cuarto y Peñas blancas; ya que estos distritos forman parte de la región Huetar Norte, según el MIDEPLAN (2009).

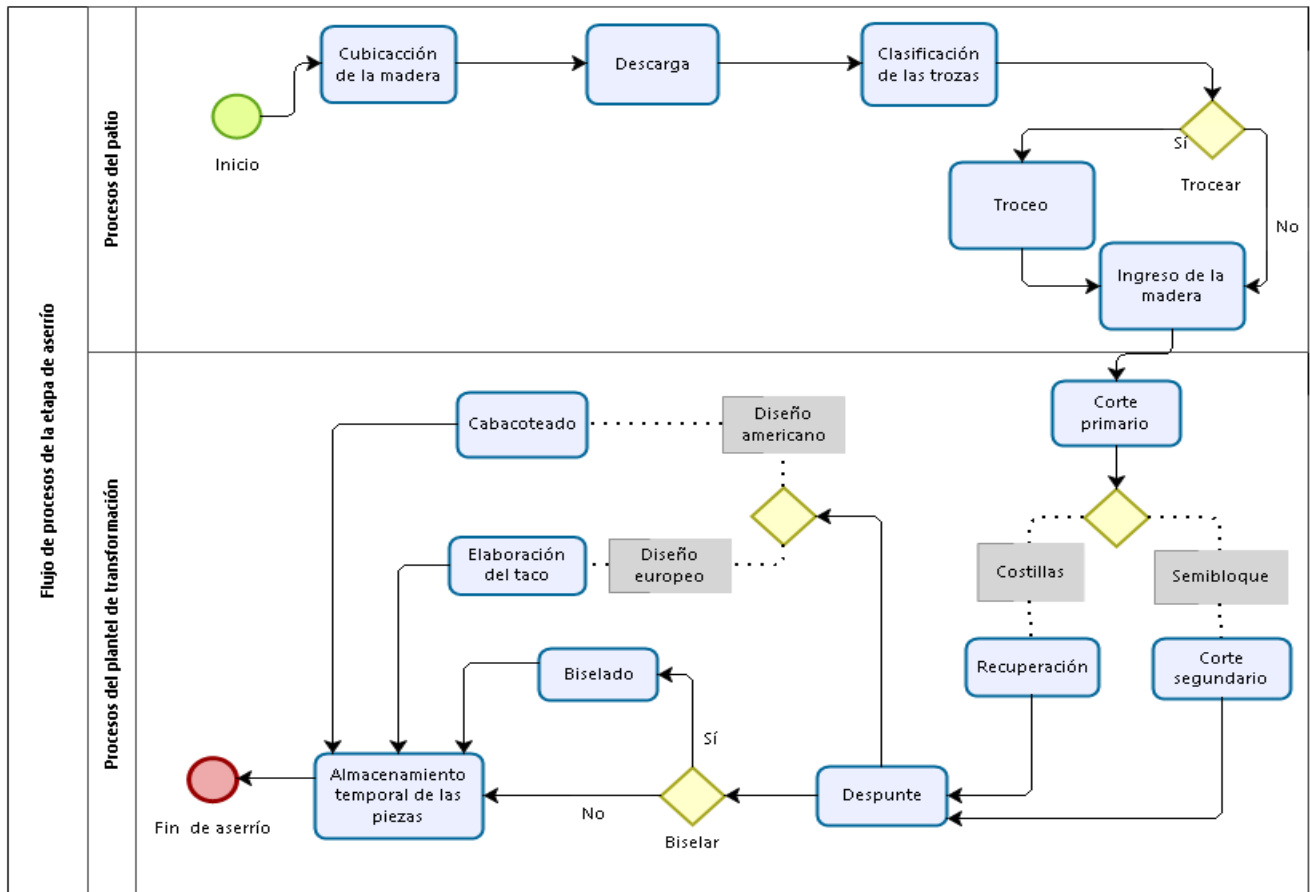
La etapa de aserrío conlleva procesos en el patio y en la planta de transformación (figura A3). Se encontró que las tarimeras disponen de una a cuatro maquinarias para los procesos en el patio y de cuatro a diez máquinas en la planta de transformación. Esto, según el grado de integración de la empresa y el nivel de producción.

Para el movimiento de la madera en el patio y el ingreso de la madera, se utiliza mini-cargador, cargador frontal, tractor agrícola o Backhoe, siendo el mini-cargador la maquinaria utilizada con mayor frecuencia. Para el troceo, las empresas disponen de una a dos motosierras. En la planta de transformación, el 69% de las tarimeras dispone de dos entradas de trozas que son complementarias. En una de ellas, el corte primario se realiza con bloqueadora y la otra con sierra de cinta. El corte secundario se realiza en un 77% con sierra múltiple; la recuperación principalmente con sierra circular de mesa (aunque también se utilizan sierras de cinta, sierras múltiples y orilladoras). Para el despunte se emplea de una a dos sierras, principalmente circulares de péndulo. Para el cabacoteado, el 91% de las tarimeras dispone de una máquina especial conocida como cabacoteadora. El cabacoteado consiste en la formación de muescas a cada uno de los largueros de las tarimas de diseño americano, lo que permite el ingreso de las horquillas del montacargas por los cuatro lados de la tarima (anexo 2). En la formación de los tacos, las tarimeras utilizan principalmente sierra circular de péndulo. Este proceso es exclusivo de las tarimas de diseño europeo, consiste en seccionar una barra de madera en largos de 3" o 3,5". La función de los tacos es permitir el ingreso de las horquillas de los montacargas y, a su vez, definir la altura de las tarimas. Finalmente, el proceso de biselado se realiza principalmente con una fresadora (comúnmente llamada biseladora).

Se determinó que el factor promedio de recuperación de la madera (rendimiento del proceso de aserrío) para tarima es de un 63%. El 37% restante corresponde a los residuos de madera (aserrín, viruta, leña, costillas y cabos); lo cuales se utilizan para alimentar la cámara de tratamiento térmico, otros se venden o se regalan y una proporción cada vez menor se acumula en los botaderos de madera, debido a la fuerte tendencia de vender los residuos para producción de energía.

Basado en los resultados de las entrevistas y la información del Censo de la Industria Forestal (MINAET 2011), se calcula que en los aserraderos sin tratamiento térmico o con

tratamiento a base de GLP el 95% de los residuos se vende y el 5% restante se acumula en los botaderos de madera; además, en los aserraderos con tratamiento térmico a base de biomasa el 17% se utilizan en las calderas del tratamiento, el 82% de los residuos se vende y un 5% se acumula en los botaderos.



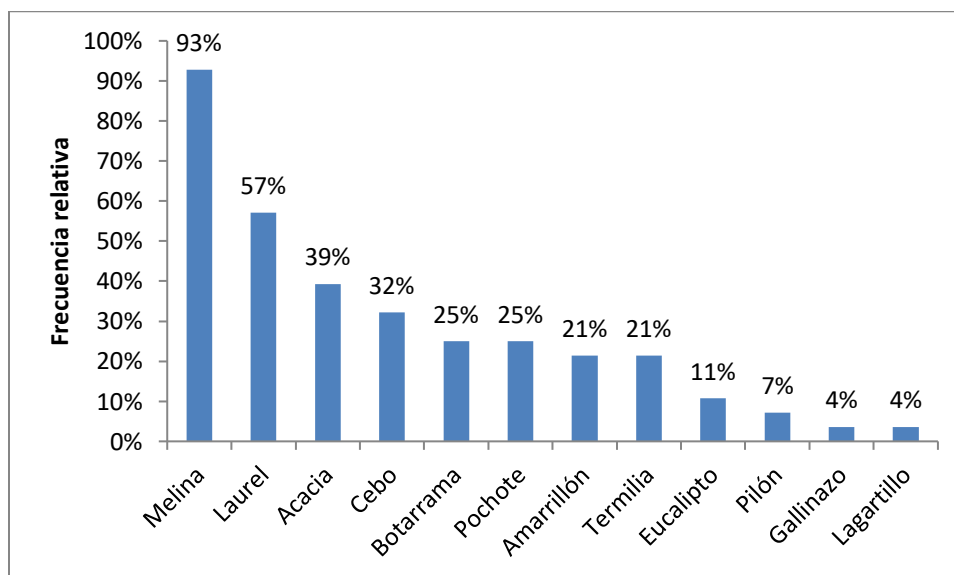
**Figura A1.3.** Diagrama del flujo de procesos en la etapa de aserrijo de la madera. Región Huetar Norte, 2014-2016.

### Ensamblaje de las tarimas

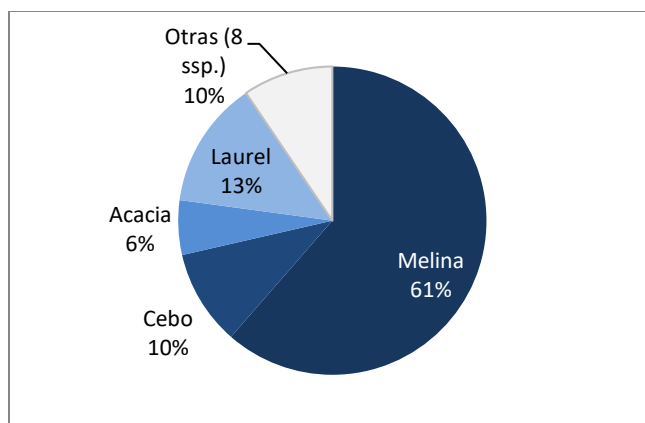
En esta etapa se realizan el ingreso de las piezas de madera, así como el armado, pegado y almacenamiento temporal de las tarimas. En esta etapa se utiliza cargador

hidráulico manual, montacargas (ocasionalmente), pistolas neumáticas, compresor, mesa de armado y clavos de acero. El ensamblaje de las tarimas se realiza en función de las especificaciones de los clientes. En el mercado se manejan las tarimas con diseño americano y europeo, con dimensiones variables. Dentro de las principales dimensiones se encuentran las tarimas de 1000x1200 mm; 980x 1180mm; 1019x1220 mm; 990x1990mm, entre otras.

Los diseños, las dimensiones, el uso previsto y otras especificaciones del cliente determinan la cantidad de volumen de madera por tarima. En el área de estudio se determinó que al menos un 90% de las tarimas son para el embalaje de productos agrícolas de exportación, principalmente piña. Los resultados muestran que en promedio una tarima para el embalaje de productos agrícolas de exportación contiene 0,026 m<sup>3</sup> de madera/tarima (12 pulgadas madereras ticas; pmt). En relación al tipo de madera, se utilizan hasta 12 especies forestales (figura A1.4); aunque hay una preferencia por maderas blancas, siendo las especies Melina, Laurel, Cebo y Acacia las más utilizadas (figura A1.5).



**Figura A1.4.** Porcentaje de empresas que utilizan las diferentes especies forestales en la elaboración de tarimas. Región Huetar Norte. 2017.



**Figura A1.5.** Distribución porcentual del uso de especies forestales en la producción de tarimas. Región Huetar Norte. 2014-2016.

### **Acabado (tratamiento fitosanitario)**

De acuerdo con la norma NIMF- 15 las tarimas utilizadas en el comercio internacional deben ser sometidas a un tratamiento fitosanitario para evitar la introducción y dispersión de plagas entre países (FAO 2006b). La FAO (2006b) reconoce dos tipos de tratamientos fitosanitarios, de los cuales el térmico (HT) se aplica en la región de estudio. Este implica la ejecución de los procesos de ingreso y extracción de las tarimas, tratamiento térmico (TT), monitoreo de la temperatura y, en ocasiones, un almacenaje temporal de las tarimas tratadas. Para el ingreso y extracción de las tarimas del horno de tratamiento, se utiliza principalmente montacargas y en ocasiones cargador hidráulico manual (anexo 3). En el caso de los montacargas, se encontraron algunos que funcionan con gas licuado de petróleo (GLP), diesel o gasolina. Para realizar el TT, las empresas disponen de un horno o cámara de tratamiento (anexo 4), con un sistema de aspas o de succión de aire para la circulación del aire caliente y un sistema de sondas térmicas (anexo 5), para el monitoreo de la temperatura por medio de un sistema computarizado.

El tratamiento térmico se realiza con biomasa que proviene del mismo aserradero o gas licuado de petróleo (GLP). Se estima que cerca del 76% de las tarimas tratadas en la región provienen de un sistema a base de biomasa y un 24% a base de GLP. Este resultado está influenciado principalmente por la empresa Maderas Cultivadas de Costa

Rica, dado su relativamente alto volumen de producción de tarimas y a que utiliza biomasa para el tratamiento térmico. Sin esta empresa, el número de tarimas tratadas con biomasa pasaría a un 43% y el uso de GLP a 57%.

Por otro lado, se evidencia una preferencia por el uso de GLP, dado que exige menos control por parte del Ministerio de Salud, que el uso de calderas de biomasa. Por último, para el almacenamiento temporal de las tarimas las empresas cuentan con un espacio específico cubierto con una malla tipo sarán (anexo 6). Esta malla sirve como elemento aislador del entorno físico y el cuarto de almacenado, y tiene por función evitar que la tarima se contamine con alguna plaga.

### **Distribución de las tarimas**

En la etapa de la distribución se encuentran los procesos de cargado de las tarimas, sujetado y cubierta de la carga y la distribución. Para el primero, se utiliza cargador hidráulico manual y montacargas. El segundo se realiza con eslingas y la cobertura se realiza con una lona (anexo 7). La distribución de las tarimas se ejecuta con camiones de un eje (cerrados o de plataforma) y tándem de uno o dos ejes. En relación a la distancia, se encontró que en la distribución se recorren desde 700 m hasta 143 km. En el caso de los recorridos de 700 m corresponde a una empresa que tienen integrada la división forestal y la división agrícola.

## **Apéndice 2. Procesos unitarios, entradas y salidas de los sistemas del producto**

### **Procesos unitarios que conforman las etapas del ciclo de vida**

Se identificaron hasta 117 procesos unitarios, siendo la etapa de manejo silvicultural la que más procesos conlleva (64%), seguida por la etapa de aserrío (11%) y la etapa de preparación (10%; cuadro A2.1. y apéndice 1). La etapa de preparación se compone de una variedad de procesos que van desde los sistemas sencillos como la chapea, trazado y rodajea hasta aquellos más complejos como drenado de aguas, destronque, barrido, acordonado, arado, subsolado, formación de camellones, encalado y trazado. En esta etapa, se encontraron procesos homólogos, en el sentido de que desempeñan una misma función. Estos procesos son: i) chapeas, ii) destronque, barrido y acordonado y

iii) carrileo, cuya función es eliminar la vegetación remanente del uso anterior de la tierra para establecer las plantaciones.

La etapa de establecimiento es una de las etapas que menos procesos unitarios conlleva. Destaca el proceso de ahoyado y fertilización. Se encontró que el proceso de ahoyado se realiza con mayor frecuencia de forma manual; sin embargo, en muy pocas ocasiones algunas empresas utilizan perforadora mecánica. El proceso de fertilización se realiza ocasionalmente.

La etapa de manejo se compone de sistemas relativamente sencillos integrados por los procesos de chapeas, limpieza de rodajas, procesos correspondientes al control de plagas, enfermedades, podas, raleos y cosecha; y sistemas más complejos donde se incorporan los procesos de fertilización y encalado.

Cuadro A2.1. Procesos unitarios que componen las etapas del CV de las tarimas de madera elaboradas en la región.

<b>Etapas del CV</b>	<b>Actividades</b>	<b>Procesos unitarios</b>	<b>Total de procesos unitarios<sup>a</sup></b>
Preparación	Limpieza del terreno	Drenado de aguas, chapea (destronque, barrido y acordonado) <sup>b</sup> (carrileo), arado, subsolado, formación de camellones, encalado, trazado y rodajea	12
Establecimiento	Siembra y resiembra de los árboles	Ahoyado, fertilización inicial, siembra y resiembra	4
	Control de malezas	Chapea y limpieza de rodajas	14 <sup>c</sup>
	Manejo de la fertilidad	Segunda y tercera fertilización	2
	Manejo de la acidez	Encalado	5 <sup>d</sup>
	Control de plagas	Control de zompopas (principalmente)	6 <sup>e</sup>
Manejo	Control de enfermedades	Curado de las podas, cirugías fitosanitarias, fumigación posterior a las podas, fumigación posterior a las cirugías fitosanitarias y fumigación posterior a los raleos	17 <sup>f</sup>
	Podas	Desinfección de las herramientas, corta de ramas	6 <sup>g</sup>
	Raleos	Volteo, arrastre, apilado, troceo, saneamiento y cargado	18 <sup>h</sup>
	Cosecha	Volteo, arrastre, apilado, troceo, saneamiento y cargado	6
Transporte	Transporte	Transporte de madera	1

Aserrío	Transformación de la madera	Cubicación, descarga, clasificación de trozas, troceo, ingreso de la madera a la planta de transformación, corte primario, corte secundario, recuperación, despunte, cabacoteado, elaboración de tacos, biselado y almacenamiento temporal de las piezas	13
Ensamblaje	Armado de las tarimas	Ingreso de las piezas a sección de ensamblaje, armado de la tarima, pegado de las piezas y almacenamiento temporal	4
Acabado	Tratamiento fitosanitario	Ingreso de las tarimas, tratamiento térmico, monitoreo y control de la temperatura, extracción de las tarimas y almacenamiento temporal	5
Distribución	Distribución	Cargado, sujetado, cobertura de la carga y distribución	4
<b>TOTAL</b>			<b>117</b>

<sup>a</sup> Valores para todo el turno de rotación.

<sup>b</sup> Los valores entre paréntesis representan procesos que desempeñan una misma función.

<sup>c</sup> Se estima la ejecución de siete chapeas y siete limpiezas de rodajas a lo largo del turno de rotación.

<sup>d</sup> Algunas empresas aplican aproximadamente una dosis de cal cada dos años, iniciando a partir del año dos, lo que conlleva la aplicación de 5 dosis de cal a lo largo del turno.

<sup>e</sup> Se estima que en promedio se realizan seis aplicaciones de insecticida para el control preventivo y correctivo de zompopas.

<sup>f</sup> Considera el curado de las podas, cuatro procesos de cirugía fitosanitaria y 10 fumigaciones.

<sup>g</sup> Considera que se realizan tres podas en el turno, con herramientas previamente desinfectadas.

<sup>h</sup> Considera la ejecución de tres raleos, de los cuales se obtiene madera comercial, por lo que en cada raleo se realizan los procesos de volteo, arrastre, apilado, troceo, saneamiento y cargado.

En la etapa de transporte de la madera, se encontró que el vehículo tándem es el más utilizado, seguido de los tráilers. Además, una de las empresas entrevistadas utiliza tractor agrícola con carreta. Estos vehículos poseen capacidades de carga distintas siendo el tráiler el de mayor capacidad y el tractor agrícola con carreta el de menor capacidad. En transporte de la madera en la región se realiza en tramos que van desde los 15 hasta 868 km ida y vuelta.

En el aserrío existen procesos que ocurren en el patio y procesos que ocurren en la planta de transformación. Los primeros son la cubicación de la madera, la descarga de los camiones, la clasificación de trozas, el troceo e ingreso. Cabe indicar que una empresa realiza el troceo con una de las sierras de transformación primaria. Los segundos suelen ser de corte primario, corte secundario, recuperación, despunte, cabacoteado, elaboración de tacos, biselado y almacenamiento temporal de las piezas.



Los procesos de cabacoteado, formación de tacos y biselado están en función del tipo de tarima a elaborar y en función de las especificaciones de los clientes, por lo que son procesos que se realizan de forma ocasional.

El ensamblaje es una etapa relativamente sencilla con procesos comunes para todas las empresas entrevistadas. Las diferencias están asociadas al uso de las especies de madera y las dimensiones de las tarimas. Se encontró que se utilizan hasta 12 especies forestales, aunque hay una preferencia por maderas blancas, siendo las especies Melina, Laurel, Cebo y Acacia las más utilizadas. Una práctica frecuente fue la combinación de especies en una misma tarima. En relación a las dimensiones de las tarimas, se obtuvo que las tarimas más frecuentes son las de dimensiones de 1000x1200 mm; 980x1180mm; 1019x1220 mm; 990x1990mm.

La etapa de acabado se caracteriza principalmente por el proceso de tratamiento fitosanitario. Sin embargo, en esta etapa, se realizan otros procesos complementarios como el ingreso y la extracción de las tarimas o el monitoreo y control de la temperatura. En relación al proceso de tratamiento fitosanitario, se encontró que este se limita al tratamiento térmico y que es un proceso obligatorio para todas las tarimas utilizadas para el trasiego internacional de mercadería (FAO 2006b), no así en las tarimas de trasiego de mercancías a nivel nacional. Para finalizar, la etapa distribución se caracteriza por el uso de camiones de plataforma de un eje, principalmente. Aunque también se utiliza tándem de uno y dos ejes y contenedores. Estos vehículos poseen capacidades de carga distintas, siendo el contenedor el de mayor capacidad y el camión plataforma de un eje el de menor capacidad. En relación a la distancia de recorrido en la distribución, esta varía de 700 m a 143 km ida y vuelta.

## Entradas del sistema del producto

Las entradas se pueden agrupar en: flujos de energía, flujos de materias primas<sup>7</sup>, flujos de entradas auxiliares<sup>8</sup> y flujos de productos intermedios<sup>9</sup>. Dentro de los flujos de energía predomina el uso de diesel, le siguen en orden de frecuencia el uso de gasolina, electricidad, GLP y biomasa (figura A2.1). El uso de diesel se encuentra en mayor o menor medida, en las etapas de preparación, manejo, transporte, aserrío, acabado y distribución. El uso de gasolina se limita a las etapas de manejo y aserrío. Aunque en ocasiones suele estar presente en las etapas de preparación del terreno asociado al uso de guadaña en los procesos de chapea y en la etapa de establecimiento asociado al uso de perforadoras mecánicas para el ahoyado. El GLP se encuentra presente en las etapas de acabado, en el proceso de tratamiento térmico (tt) y en ocasionalmente en los procesos de ingreso y extracción de las tarimas de las cámaras de tt. La biomasa se limita a la etapa de acabado, específicamente al proceso de tt. Cabe señalar que en la región el uso de biomasa es más frecuente que el uso de GLP en el tt. Se estima a partir de los resultados que el 76% de las tarimas elaboradas son tratadas utilizando biomasa y un 24% utilizando GLP.

En relación a los flujos de entrada de materias primas, existen dos entradas principales: la madera en rollo y de forma indirecta el acero utilizado para fabricar los clavos que sujetan las piezas de madera. Los flujos de entradas auxiliares lo componen los aceites, grasas y lubricantes, fertilizantes, cal, herbicidas, insecticidas, fungicidas (y sus aditivos) y pintura de agua (Cuadro A2.2). Los aceites, grasas y lubricantes están presentes en diferentes procesos a lo largo de varias etapas del CV. Mientras que los fertilizantes, cal, herbicidas, insecticidas, fungicidas (y sus aditivos) y pintura de agua las se limitan a ciertos procesos unitarios. Los fertilizantes se limitan a la fertilización inicial y a los procesos de manejo de fertilidad. En la fertilización se encontró el uso de las fórmulas

---

<sup>7</sup> Entendidas como las entradas de materias que se utiliza para elaborar un producto (INTE/ISO 2007a y b).

<sup>8</sup> Entendidas como las materias que entra y se utiliza en un proceso unitario pero que no constituye una parte del producto (INTE/ISO 2007a y b).

<sup>9</sup> "Salidas de un proceso unitario que son entradas de otros procesos unitarios que requieren una transformación adicional dentro del sistema" (INTE/SO 2007 ay b).

fertilizante 20-28-9, 12-21-9, 10-30-10 y 12-24-12 en dosis que oscilan entre 19,68 y 103,7 kg/ha. En el encalado se encontró el uso de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) y carbonato de magnesio (MgCO<sub>3</sub>) en dosis que oscilaron entre 51,86 kg/ha y 2,2 ton/ha. Por su parte, en lo relacionado a los herbicidas, insecticidas, fungicidas se encontró el uso de una gran lista de productos (apéndice 1).

Dentro de los flujos de productos intermedios se encuentran las piezas de madera aserrada, las cuales salen de la etapa de aserrío y entran a la etapa de ensamblaje; las tarimas elaboradas que salen de la etapa de ensamblaje y entran a la etapa de acabado; y las tarimas tratadas que salen de la etapa de acabado y entran a la etapa de distribución (Cuadro A2.2).

Cuadro A2.2. Entradas de energía, materias primas, entradas auxiliares y productos intermedio de las etapas del CV de las tarimas de madera elaboradas en la región.

<b>Etapa del CV</b>	<b>Procesos unitarios</b>	<b>Fuentes de energía</b>	<b>Materias primas</b>	<b>Entradas auxiliares</b>	<b>Productos intermedios</b>
Preparación	Drenado de aguas, chapea (destronque, barrido y acordonado) (carrileo), arado, subsolado, formación de camellones, encalado, trazado y rodajea	Diesel y gasolina	NA <sup>a</sup>	Aceites, grasas, lubricantes, herbicidas y cal	NA
Establecimiento	Ahoyado, fertilización inicial, siembra y resiembra	Gasolina <sup>b</sup>	NA	Fertilizantes, aceites y lubricantes <sup>c</sup>	NA
Manejo	Chapea y limpieza de rodajas	Diesel y gasolina <sup>d</sup>	NA	Aceites, grasas, lubricantes y herbicidas <sup>e</sup>	NA
	Segunda y tercera fertilización	NA	NA	Fertilizante	NA
	Encalado	NA	NA	Cal	NA
	Control de zompopas	NA	NA	Insecticidas	NA
	Curado de las podas, cirugías fitosanitarias, fumigación posterior a las podas, fumigación posterior a las cirugías y fumigación posterior a los raleos	NA	NA	Fungicidas, aditivos y pintura de agua	NA
	Desinfección de las herramientas, corta de ramas	Gasolina <sup>f</sup>	NA	Aceite, lubricante y desinfectantes	NA

	Volteo, arrastre, apilado, troceo, saneamiento y cargado	Diesel y gasolina	NA	Aceites, grasas y lubricantes	NA
	Volteo, arrastre, apilado, troceo, saneamiento y cargado	Diesel y gasolina	NA	Aceites, grasas y lubricantes	NA
Transporte	Transporte de madera	Diesel	NA	Aceites, grasas y lubricantes	NA
Aserrío	cubicación, descarga, clasificación de trozas, troceo, ingreso de la madera a la planta de transformación, corte primario, corte secundario, recuperación, despunte, cabacoteado, elaboración de tacos, biselado y almacenamiento temporal de las piezas	Diesel, gasolina y electricidad	NA	Aceites, grasas y lubricantes	NA
Ensamblaje	Ingreso de las piezas a sección de ensamblaje, armado de la tarima, pegado de las piezas y almacenamiento temporal de las tarimas	Electricidad	Acero	Lubricantes	Madera aserrada
Acabado	Ingreso de las tarimas, tratamiento térmico, control de la temperatura, extracción de las tarimas y almacenamiento temporal	Biomasa, GLP, diesel y electricidad	NA	Aceites, grasas y lubricantes	Tarimas elaboradas
Distribución	Distribución de las tarimas	Diesel y GLP	NA	Aceites, grasas y lubricantes	Tarimas tratadas

<sup>a</sup> NA= no aplica.

<sup>b</sup> la gasolina está asociado al uso de perforadora mecánica, lo cual es una práctica poco frecuente.

<sup>c</sup> los aceites y lubricantes de esta etapa están asociado al uso de perforadora mecánica, lo cual es una práctica poco frecuente.

<sup>d</sup> el diesel y la gasolina de este proceso están asociados al uso de chapeador mecánico o moto-guadaña.

<sup>e</sup> los aceites, grasas y lubricantes de este proceso están asociados al uso de chapeador mecánico o moto-guadaña.

<sup>f</sup> asociado al uso de podadoras mecánicas de combustión interna, las cuales son usan con poca frecuencia

## Salidas del sistema del producto

Las salidas se dividen en forma de producto, co-productos, desechos y emisiones (cuadro A2.3). La principal son las tarimas puestas en las plantas de empacado de fruta. Las salidas en forma de co-productos se presentan únicamente en la etapa de aserrío y corresponde a biomasa residual, que se utiliza para alimentar otros sistemas del

producto. Según el tipo de sistemas del producto que abastece esta biomasa, se puede clasificar en tres tipos de co-productos:

- i) Biomasa para producción de calor a lo interno del sistema del producto: se da en empresas con sistema de caldera de biomasa para el tratamiento térmico. Se estima a partir de los resultados que, en estas empresas, el 17% de la biomasa residual se dirige a este uso.
- ii) Biomasa para producción de calor en sistemas de producto externos al sistema de producción de tarimas: este tipo de co-producto se genera en aserraderos con y sin sistema de tt. Sin embargo, la proporción de biomasa residual que se destina a este tipo de co-producto varía. En aserraderos o tarimeras sin tt o con sistemas a base de GLP, se estima que el 92% de la biomasa residual se vende con fines energéticos. En los aserraderos o tarimeras con tt a base de biomasa, este porcentaje es de 75%. Se evidencia una tendencia cada vez mayor a aprovechar el potencial energético de la biomasa residual de los procesos de aserrío en sistemas externos.
- iii) Biomasa destinada a otros usos en sistemas de producto externos al sistema de producción de tarimas: corresponde a la biomasa que se vende o regala para diferentes usos como cocción de alimentos, pisos de caballerizas y establos, para compostaje y formación de sustratos. De forma generalizada, se estima que un 3% de la biomasa residual se destina a estos usos.

Los co-productos representan el 95% de la biomasa residual que sale de la etapa de aserrío y un 5% corresponde a desechos.

Las salidas en forma de desechos se limitaron a los forestales, los cuales están presentes en la etapa de manejo y a la etapa de aserrío (cuadro A2.3). En la etapa de manejo, los desechos se relacionan a las actividades de podas, raleos y cosecha final. En los raleos y en la cosecha final, se generan desechos forestales en forma de hojas, ramas, raíces y secciones no comerciales de los fustes. En la etapa de aserrío, los desechos son los residuos de madera que terminan en los sitios de eliminación de madera de los mismos aserraderos. Estos sitios se caracterizan por su bajo manejo, el cual se limita a una compactación y reacomodo periódico, para el ingreso de más

desechos. En algunas ocasiones, se registraron quemas atribuidas a actos de vandalismo, según los propietarios. La cantidad de desechos que termina en los sitios de eliminación está relacionada principalmente a dos factores: i) rendimiento del aserradero (factor de recuperación de la madera) y ii) grado de utilización de la biomasa residual como co-productos.

Cuadro A2.3. Salidas de productos, co-productos, desechos y emisiones de las etapas del CV del sistema del producto de las tarimas de madera elaboradas en la región.

Etapa del CV	Actividades	Procesos unitarios	Productos	Flujos de salida		Emisiones de GEI
				Co-productos	Desechos	
Preparación	Limpieza del terreno	Drenado de aguas, chapea (destronque, barrido y acordonado) (carrileo), arado, subsolado, formación de camellones, encalado, trazado y rodajea	NA <sup>a</sup>	NA	NC <sup>b</sup>	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, HFC, PFC y SF <sub>6</sub> <sup>c</sup>
Establecimiento	Siembra y resiembra de los árboles	Ahoyado, fertilización inicial, siembra y resiembra	NA	NA	NC	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O
Manejo	Control de malezas	Chapea y limpieza de rodajas	NA	NA	NC	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, HFC, PFC y SF <sub>6</sub> <sup>c</sup>
	Manejo de la fertilidad	Segunda y tercera fertilización	NA	NA	NC	CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O
	Manejo de la acidez	Encalado	NA	NA	NC	CO <sub>2</sub>
	Control de plagas	Control de zompopas	NA	NA	NC	NC
	Control de enfermedades	Curado de las podas, cirugías fitosanitarias, fumigación posterior a las podas, fumigación posterior a las cirugías fitosanitarias y fumigación posterior a los raleos	NA	NA	NC	NC
	Podas	Desinfección de las herramientas, corta de ramas	NA	NA	Ramas y hojas	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O <sup>d</sup>
	Raleos	Volteo, arrastre, apilado, troceo, saneamiento y cargado	Madera rolliza	NA	Ramas, hojas, raíces y desechos	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, HFC, PFC y SF <sub>6</sub> <sup>c</sup>

	Cosecha	Volteo, arrastre, apilado, troceo, saneamiento y cargado	Madera rolliza	NA	Ramas, hojas, raíces y desechos de madera	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, HFC, PFC y SF <sub>6</sub> <sup>c</sup>
Transporte	Transporte	Transporte de madera	Madera rolliza transportada	NA	NC	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, HFC, PFC y SF <sub>6</sub> <sup>c</sup>
Aserrío	Transformación de la madera	Cubicación, descarga, clasificación de trozas, troceo, ingreso de la madera a la planta de transformación, corte primario, corte secundario, recuperación, despunte, cabacoteado, elaboración de tacos, biselado y almacenamiento temporal de las piezas	Madera aserrada	Leña, cabería, aserrín y viruta	Leña, cabería, aserrín, viruta y otros desechos de madera	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O
Ensamblaje	Armado de las tarimas	Ingreso de las piezas a sección de ensamblaje, armado de la tarima, pegado de las piezas y almacenamiento temporal de las tarimas	Tarimas elaboradas	NA <sup>e</sup>	NC	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O
Acabado	Tratamiento fitosanitario	Ingreso de las tarimas, tratamiento térmico, control de la temperatura, extracción de las tarimas y almacenamiento temporal	Tarimas tratadas	NA	NC	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O
Distribución	Distribución	Distribución de las tarimas	Tarimas entregadas	NA	NC	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, HFC, PFC y SF <sub>6</sub> <sup>c</sup>

<sup>a</sup> NA= no aplica

<sup>b</sup> NC= elemento no considerado

<sup>c</sup> Las emisiones de HFC, PFC y SF<sub>6</sub> están asociadas al uso de aires acondicionados, se evidenció que estos gases podrían estar presentes en algunas maquinarias agrícolas y vehículos de transporte. No obstante, estas son insignificantes ya que su uso es poco frecuente y además depende del estado y los modelos de las maquinarias y vehículos utilizados.

<sup>d</sup> Las emisiones de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> de este proceso están asociados a la combustión de gasolina cuando se utilizan podadoras mecánicas de combustión interna.

<sup>e</sup> Se evidenció que en esta etapa se pueden generar residuos producto de las piezas de madera que revientan en la hora del pegado, las cuales podrían llegar a formar parte de los co-productos o desechos. Sin embargo, estos residuos son insignificantes.

Las salidas de producto, co-productos y desechos del sistema ponen en evidencia las diferentes rutas que toma la biomasa forestal a lo largo del CV. En resumen, los resultados indican que de la biomasa total del ecosistema<sup>10</sup> a lo largo de un turno de rotación, el 34,83% termina como producto, el 44,67% como desechos en el ecosistema (producto de las labores de manejo), el 19,47% como co-producto y el 1,02% como desechos de la etapa de aserrío.

Las salidas en formas de emisiones de GEI están presentes a lo largo de todas las etapas del CV, principalmente en forma de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y NO<sub>2</sub> y muy rara vez como HFC, PFC y SF<sub>6</sub>. Las emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y NO<sub>2</sub> están asociadas principalmente a la quema de combustibles fósiles, uso de materias primas, combustión y descomposición de la biomasa forestal, uso de entradas auxiliares principalmente fertilizantes, cal (cuadro A2.3). Mientras que las emisiones de HFC, PFC y SF<sub>6</sub> en el sistema del producto son muy escasas; ya que se limitan al uso de aires acondicionados en las etapas de preparación, manejo, transporte y distribución, los cuales muchas veces se encuentran en mal estado o en el caso particular de la maquinaria agrícola, no están equipados con este sistema. Por lo que su uso es una práctica poco frecuente en el sistema del producto estudiado. Cabe mencionar que el uso de aires acondicionados es más frecuente en las oficinas administrativas; sin embargo, no se obtuvo importación al respecto.

### Apéndice 3. Cuestionarios utilizados en la recopilación de los datos del ICV

#### Apéndice 3.a. Cuestionario para la recopilación de datos de las plantaciones



El proyecto de carbono de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional (EDECA-UNA), lo invita a compartir su experiencia en el establecimiento y manejo de plantaciones forestales con fines comerciales, a través del siguiente cuestionario. Con el fin de generar un mayor entendimiento del sector forestal actual e identificar alternativas para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, responsables del cambio climático.

1. ¿Cuál fue el uso anterior de la tierra de los sus plantaciones?

2. Antes de realizar la siembra, ¿chapeo el terreno?

---

<sup>10</sup> Incluyendo hojas, ramas y raíces.



- ( ) Sí ( ) No, pase a 7
3. ¿La chapea se la realizó a toda la finca?  
( ) Sí ( ) No, explique: \_\_\_\_\_.
4. ¿La chapea la realizó utilizando motoguadaña?  
( ) Sí ( ) No, pase a 6
5. ¿Qué rendimiento obtuvo usted de un día de trabajo realizando chapea con motoguadaña?  
\_\_\_\_\_.
6. ¿La chapea la realizó utilizando machete?  
( ) Sí ( ) No, explique: \_\_\_\_\_.
7. ¿Drenó aguas para poder establecer las plantaciones forestales?  
( ) Sí ( ) No, pase a 10
8. ¿Qué maquinaria utilizó para hacer el drenado de las aguas?  
\_\_\_\_\_.
9. ¿Qué rendimiento obtuvo usted en el drenado de aguas en día de trabajo?  
\_\_\_\_\_.
10. A parte de la primera chapea, ¿realizó o piensa realizar otras chapeas?  
( ) Sí ( ) No, pase a 14
11. ¿Cuántas chapeas aparte de la primera?  
\_\_\_\_\_.
12. ¿A qué edad de la plantación las realizó o las piensa realizar?  
\_\_\_\_\_.
13. ¿Estas chapeas las realiza con machete?  
( ) Sí ( ) No, explique: \_\_\_\_\_.
14. ¿Aró la tierra antes de sembrar?  
( ) Sí ( ) No, pase a 16
15. ¿Qué maquinaria utilizó para arar la tierra?  
\_\_\_\_\_.
16. ¿Subsoló la tierra antes de sembrar?  
( ) Sí ( ) No, pase a 18
17. ¿Qué maquinaria utilizó para subsolar la tierra?  
\_\_\_\_\_.
18. ¿Realizó camellones antes de sembrar?  
( ) Sí ( ) No, pase a 21
19. ¿Qué maquinaria utilizó para realizar los camellones?  
\_\_\_\_\_.
20. ¿Qué rendimiento obtuvo usted en la realización de camellones en un día de trabajo?  
\_\_\_\_\_.
21. ¿Realizo alguna labor de preparación del terreno con maquinaria pesada?  
( ) Sí ( ) No, pase a 24
22. ¿En qué labor, a parte de las mencionadas anteriormente, utilizo maquinaria pesada?  
\_\_\_\_\_.
23. ¿Qué tipo de maquinaria pesada utilizó?  
\_\_\_\_\_.
24. ¿Para marcar los puntos de siembra, donde posteriormente se realizaran los huecos, utilizó algún insumo agrícola?  
( ) Sí ( ) No, pase a 27
25. ¿Qué tipo de insumo utiliza para marcar los puntos de siembra?  
\_\_\_\_\_.
26. ¿Cuál es el rendimiento de este producto?  
\_\_\_\_\_.
27. Antes de la siembra ¿realizó rodajas?  
( ) Sí ( ) No, pase a 32
28. ¿Utilizó producto químico (quemante) para hacer las rodajas?

- ( ) Sí ( ) No, pasa a 31
29. ¿Qué producto utilizó?  
\_\_\_\_\_.
30. ¿Qué dosis aplicó de este producto?  
\_\_\_\_\_.
31. ¿Realizó las rodajas con machete?  
( ) Sí ( ) No, explique: \_\_\_\_\_.
32. ¿Qué cantidad de árboles plantados por hectárea suele sembrar: \_\_\_\_\_ (Si lo desconoce, indique el distanciamiento entre árboles).
33. ¿Ha aplicado cal como enmienda al suelo?  
( ) Sí ( ) No, pase a 39
34. ¿Qué dosis de cal ha aplicado?  
\_\_\_\_\_.
35. ¿Cuántas aplicaciones ha realizado o piensa realizar a lo largo del turno de la plantación?  
\_\_\_\_\_.
36. ¿A qué edades encalo o piensa encalar?  
\_\_\_\_\_.
37. ¿La primera aplicación de cal la realizó antes o después de sembrado los árboles?  
\_\_\_\_\_.
38. ¿La aplicación de cal la realiza en forma de rodaja?  
( ) Sí ( ) No, explique: \_\_\_\_\_.
39. A la hora de realizar los huecos de siembra, ¿los realiza con palín?  
( ) Sí ( ) No, explique: \_\_\_\_\_.
40. ¿Ha aplicado fertilizantes a sus plantaciones para potenciar el crecimiento de los árboles?  
( ) Sí ( ) No, pase a 50
41. ¿Cuántas veces ha fertilizado o piensa fertilizar su plantación a lo largo del turno de la plantación?  
\_\_\_\_\_.
42. ¿A qué edades fertilizó o piensa fertilizar la plantación?  
\_\_\_\_\_.
43. ¿Ha utilizado o piensa utilizar fertilizante granulado?  
( ) Sí ( ) No, pase a 46
44. ¿Qué tipo de fertilizante granulado?  
\_\_\_\_\_.
45. ¿Cuáles dosis de fertilizante granulado ha empleado?  
\_\_\_\_\_.
46. ¿Ha utilizado o piensa utilizar fertilizante foliar?  
( ) Sí ( ) No, pase a 50
47. ¿Qué tipo de fertilizante foliar?  
\_\_\_\_\_.
48. ¿Cuáles dosis de fertilizante foliar ha utilizado?  
\_\_\_\_\_.
49. De las aplicaciones de fertilizante que ha realizado a su plantación (o piensa realizar) ¿Cuántas han sido con fertilizante foliar?  
\_\_\_\_\_.
50. ¿En sus plantaciones ha realizado o piensa realizar podas de formación?  
( ) Sí ( ) No, pase a 54
51. ¿La poda de formación la ha realizado o la piensa realizar al 100% de las plantaciones?  
( ) Sí ( ) No, explique: \_\_\_\_\_.
52. ¿A qué edad ha realizado o piensa realizar la poda de formación?  
\_\_\_\_\_.
53. ¿Qué tipo de herramienta utilizó o piensa utilizar para la poda de formación?  
\_\_\_\_\_.
54. A parte de la poda de formación, ¿ha realizado o piensa realizar otras podas?  
( ) Sí, cuántas: \_\_\_\_\_. ( ) No, pase a 54.

55. ¿A qué edades realizó o piensa realizar estas podas?  
\_\_\_\_\_.
56. ¿Ha utilizado podadora mecánica en alguna de estas podas?  
( ) Sí ( ) No
57. ¿Qué tipo de podadora mecánica?  
\_\_\_\_\_.
58. ¿Qué rendimiento obtuvo usted en la realización de podas con podadora mecánica?  
\_\_\_\_\_.
59. ¿Utiliza algún producto para curar las podas?  
( ) No  
( ) Sí, explique: \_\_\_\_\_.
60. En relación a los raleo, ¿suele realiza raleos a sus plantaciones?  
( ) Sí ( ) No, pase a 67
61. ¿Cuántos raleos ha realizado o piensa realizar a lo largo del turno de la plantación?  
\_\_\_\_\_.
62. ¿A qué edades ha realizado los raleos o los piensa realizarlos?  
\_\_\_\_\_.
63. ¿En el primer raleo ha sacado madera comercial?  
( ) Sí ( ) No, explique y pase a 65: \_\_\_\_\_.
64. ¿Cuántas pulgadas aproximadamente?  
\_\_\_\_\_.
65. ¿En el segundo raleo ha sacado madera comercial?  
( ) Sí ( ) No, explique y pase a 67: \_\_\_\_\_.
66. ¿Cuántas pulgadas aproximadamente?  
\_\_\_\_\_.
67. En la extracción, ¿Las labores de volteo y rastre de las madera las subcontrata?  
( ) Sí ( ) No, explique: \_\_\_\_\_.
68. ¿Cuál es la edad promedio de sus plantaciones?  
\_\_\_\_\_.
69. ¿Cuántos años tiene usted trabajando en reforestaciones comerciales?  
\_\_\_\_\_.

### Apéndice 3.a. Cuestionario para la recopilación de datos de los aprovechamientos



1. Nombre del entrevistado:  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_.
2. ¿Cuántos años tiene usted de dedicarse al aprovechamiento forestal?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_.
3. ¿En cuál de los siguientes aprovechamientos ha participado?  
a) 1er raleo      b) 2do raleo      c) 3er raleo      d) cosecha final

4. Indique en cada cuadro la cantidad (#) y tipo de maquinaria (o en su defecto fuerza animal o humana) utilizada para cada labor.

Cosecha	Labores									
	Volteo		Descope, desrame y desbote		Arrastre		Acopio		Carga	
	#	Tipo y marca	#	Tipo y marca	#	Tipo y marca	#	Tipo y marca	#	Tipo y marca
<b>1er raleo</b>										
<b>2do raleo</b>										
<b>3er raleo</b>										
<b>Corta final</b>										

5. Indique en cada cuadro el consumo de promedio de combustible, aceite hidráulico y grasa en un día de trabajo. Indique las unidades (por ejemplo: lt/día)

Cosecha	Tipo de insumo	Labores					
		Volteo	Descope, desrame y desbote	Arrastre	Acopio	Troceado y saneamiento	Carga
<b>1er raleo</b>	Gasolina						
	Aceite fuera borda						
	Aceite lubricante para cadena						
	Diesel						
	Aceite hidráulico						
	Grasa						
<b>2do raleo</b>	Gasolina						
	Aceite fuera borda						
	Aceite lubricante para cadena						
	Diesel						
	Aceite hidráulico						
	Grasa						
<b>3er raleo</b>	Gasolina						
	Aceite fuera borda						
	Aceite lubricante para cadena						
	Diesel						
	Aceite hidráulico						
	Grasa						
<b>Corta final</b>	Gasolina						
	Aceite fuera borda						
	Aceite lubricante para cadena						
	Diesel						

	Aceite hidráulico						
	Grasa						

6. Tomando en cuenta las maquinarias citadas anteriormente y los consumos de combustibles y demás materias primas cual es el volumen comercial promedio extraído y cargado en día de trabajo.

Cosecha	Volumen comercial extraído	Volumen comercial cargado
<i>1er raleo</i>		
<i>2do raleo</i>		
<i>3er raleo</i>		
<i>Corta final</i>		

#### Apéndice 4. Procedimiento de cálculo para la estimación de los desechos forestales de las actividades de raleos y aprovechamiento

Para la estimación de estos desechos, se recopiló información de campo de 33 árboles de Melina en dos fincas ubicadas en el área de estudio (cuadro A3.1).

Cuadro A3.1 Información de las fincas seleccionadas para la recopilación de los datos de cubicaciones y residuos. Región Huécar Norte. 2015.

Nombre de la plantación	Ubicación	Edad (años)	Densidad promedio (N/Ha)	dap promedio (cm)	Altura promedio (m)
Finca Mainor	San Jorge, Los Chiles	3	760	14.12	8.09
Finca Wendy	Medio Queso, Los Chiles	12	276	25.5	17.06

La información recopilada en campo comprendió el pesaje de la masa de ramas, hojas, secciones no comerciales generado por árbol después del aprovechamiento. Con esta información, la cubicación de las secciones comerciales de los fustes (cuadro A3.2 y A3.3) y la distribución dasométrica de las plantaciones se obtuvo la cantidad de residuos generados por m<sup>3</sup>-r de madera comercial (kg/m<sup>3</sup>-r) en un primer raleo y en la cosecha

final. Para estimar la cantidad de residuos generados en un segundo y tercer raleo, se realizó un proceso de interpolación lineal (ecuación A2.1).

Cuadro A3.2 Cubicaciones y residuos de los individuos muestreados en una finca de 20 hectáreas de tres años de edad en primer raleo. San Jorge de Los Chiles, Alajuela. 2015.

# de árbol	dap	Vc <sup>1</sup> (m <sup>3</sup> /arb)	Peso húmedo (kg/arb)		Peso seco (kg/arb) <sup>2</sup>	
			BFNC <sup>3</sup>	BR+H <sup>4</sup>	BFNC	BR+H
1	21.2	0.17	31.6	30.4	13.4	12.8
2	18.3	0.12	35.8	64.4	15.1	27.2
3	16.5	0.06	51.8	18.6	21.9	7.9
4	16.8	0.09	42.8	29.1	18.1	12.3
5	9.8	0.00	50.2	7.8	21.2	3.3
6	9.1	0.00	36.0	3.8	15.2	1.6
7	9.1	0.00	26.6	7.2	11.2	3.0
8	6.4	0.00	19.2	4.4	8.1	1.9
9	4.6	0.00	6.4	1.4	2.7	0.6
10	13.9	0.03	40.4	8.4	17.1	3.5
11	15.0	0.06	50.1	14.2	21.2	6.0
12	15.4	0.03	43.4	15.8	18.3	6.7
13	11.2	0.00	48.4	16.6	20.4	7.0
14	13.2	0.04	57.2	12.2	24.2	5.2
15	12.6	0.02	29.2	2.4	12.3	1.0
16	16.3	0.08	56.8	21.2	24.0	9.0
17	10.6	0.00	41.0	8.2	17.3	3.5
18	11.5	0.00	53.8	7.8	22.7	3.3
19	15.4	0.08	88.0	27.4	37.2	11.6
20	13.0	0.03	62.6	15.6	26.4	6.6

<sup>1</sup> Vc= volumen comercial de madera, estimado a partir de la fórmula de smallian (Prodan 1997).

<sup>2</sup> estimado utilizando una fracción de materia seca de 42,25% (Cubero y Rojas 1999).

<sup>3</sup> BFNC= Biomasa del Fuste no comercial.

<sup>4</sup> BR+H= Biomasa de las ramas y las hojas.

Cuadro A3.3 Cubicaciones y residuos de los individuos muestreados en una finca de 12,6 hectáreas de 10 años de edad en cosecha final. Medio Queso de Los Chiles, Alajuela. 2015.

# de árbol	dap	Vc (m <sup>3</sup> /arb)	Peso húmedo (kg/arb)		Peso seco (kg/arb)	
			BFNC	BR+H	BFNC	BR+H
1	18.6	0.10	90.0	22.0	38.3	9.4

2	22.9	0.18	48.0	72.0	20.4	30.6
3	18.0	0.04	78.0	80.0	33.2	34.0
4	19.6	0.15	58.0	24.0	24.7	10.2
5	22.2	0.14	86.0	162.0	36.6	68.9
6	23.3	0.11	93.0	135.0	39.5	57.4
7	30.6	0.18	147.0	146.0	62.5	62.1
8	18.4	0.07	88.0	38.0	37.4	16.2
9	23.2	0.16	47.0	126.0	20.0	59.4
10	21.1	0.14	86.0	79.0	36.6	33.9
11	20.8	0.15	71.0	78.0	30.2	45.6
12	25.5	0.20	22.0	267.0	9.4	118.0
13	21.8	0.28	55.0	106.0	23.4	49.6

$$y_x = y_0 + \frac{x+x_0}{x_1+x_0}(y_1 - y_0) \quad (A2.1)$$

Donde:  $y_x$  es la cantidad de desechos del raleo a estimar, en  $\text{kg/m}^3\text{-r}$ .  $y_0$  es la cantidad de desechos generados en el primer raleo.  $x$  es el año en el que se ejecuta el raleo a estimar.  $x_0$  es el año del primer raleo, año 3.  $x_1$ : es el año de la corta final; año 12.  $y_1$ : es la cantidad de residuos generados en la corta final.

## Apéndice 5. Especificaciones metodológicas del cálculo de las emisiones

A continuación, se detallan los volúmenes y capítulos de las directrices del IPCC (2006) utilizadas para el cálculo de las emisiones. Además, se brindan detalles metodológicos adicionales sobre el cálculo de las emisiones.

Fuente de GEI	Etapas del CV	Volumen	Capítulo	Nivel de estimación	Detalle
Combustión de diesel y gasolina	Preparación, manejo, transporte y aserrío	Energía	Combustión móvil	2	Emisiones del transporte terrestre todo terreno (tractores, motosierras, etc.) calculadas a partir del consumo de combustible por labor o actividad; utilizando

					datos de actividad propios de la zona de estudio y factores de emisión específicos del país, del tipo de combustible, del tipo de vehículo o equipo y del tipo de fuente para emisiones de CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O (IMN 2015)
	Distribución	Energía	Combustión móvil	2	Emisiones del transporte terrestre calculadas a partir del consumo de combustible de un viaje ida y vuelta, utilizando datos de actividad propios de la zona de estudio y factores de emisión específicos del país, del tipo de combustible, del tipo de vehículo o equipo y del tipo de fuente para emisiones de CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O (IMN 2015)
Combustión de gas LP	Acabado	Energía	Combustión estacionaria	2	Emisiones en industrias manufactureras y de la construcción, utilizando datos de actividad propios de la zona de estudio y factores de emisión específicos del país, del tipo de combustible, del tipo de vehículo o equipo y del tipo de fuente para emisiones de CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O (IMN 2015)
Uso de lubricantes	Todas las etapas	Procesos industriales y uso de productos	Uso de productos no energéticos	2	Emisiones calculadas a partir de la cantidad de lubricantes alimentados a procesos, utilizando datos de actividad propios de la zona de estudio y factores de emisión específicos del país (IMN 2015).
Producción de Cales	Preparación y manejo	Procesos industriales y uso de productos	Industria de los minerales	2	Emisiones calculadas a partir de datos de actividad propios de la zona de estudio y factores de emisión específicos del país (IMN 2015).



Aplicación de Carbonato de Calcio (CaCO <sub>3</sub> )	Preparación y manejo	Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra	Emisiones de N <sub>2</sub> O de los suelos gestionados y emisiones de CO <sub>2</sub> derivadas de la aplicación de cal y urea	1	Emisiones derivadas de la aplicación de cal calculados a partir de datos de actividad propios de la zona de estudio, según el tipo de cal utilizada y factores de emisión por defecto
Producción de fertilizantes nitrógenos sintéticos	Establecimiento y manejo	Procesos industriales y uso de productos	Industria química	2	Emisiones calculadas a partir de la cantidad de fertilizante nitrogenado sintético utilizado, empleando datos de actividad propios de la zona de estudio y un factor de emisión global (FAO 2006a)
Aplicación de fertilizantes nitrógenados	Establecimiento y manejo	Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra	Emisiones de N <sub>2</sub> O de los suelos gestionados y emisiones de CO <sub>2</sub> derivadas de la aplicación de cal y urea	2	Emisiones de directas de N <sub>2</sub> O utilizando datos de actividad propios de la zona de estudio, según el tipo de fertilizante aplicado, un factor de emisión igual al uno por ciento del nitrógeno aplicado y un factor molecular de 44/28 (IPCC 2006, IMN 2015).
Aplicación de urea	Establecimiento y manejo	Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra	Emisiones de N <sub>2</sub> O de los suelos gestionados y emisiones de CO <sub>2</sub> derivadas de la aplicación de cal y urea	1	Emisiones de CO <sub>2</sub> derivadas de la aplicación de urea utilizando datos de actividad propios de la zona de estudio, según el tipo de fertilizante aplicado y un factor de emisión por defecto.
Consumo de electricidad	Aserrío, ensamblaje y acabado	Energía	Combustión estacionaria	2	Emisiones de las industrias energéticas a partir del consumo de kWh, utilizando datos de actividad propios de la zona de

					estudio y un factor de emisión específico para el país (IMN 2015).
Producción de acero	Ensamblaje	Procesos industriales y uso de productos	Industria metalúrgica	1	Emisiones calculadas utilizando datos de actividad específicos de la zona de estudio y un factor de emisión por defecto (IPCC 2006).
Combustión de biomasa	Acabado	Energía	Combustión estacionaria	1	Emisiones de las industrias manufactureras y de la construcción calculadas utilizando datos de actividad específicos de la zona de estudio y un factor de emisión por defecto (IPCC 2006).
Descomposición de los desechos forestales del ecosistema	Manejo	Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra	Tierras forestales	1	Emisiones de CO <sub>2</sub> derivadas de la descomposición del C de las hojas, ramas, raíces y secciones no comerciales del fuste generados de las labores de podas, raleos y cosecha final. El cálculo se basó en la oxidación inmediata del C según la cantidad de biomasa generada en estas labores según las prácticas realizadas en el área de estudio
Descomposición de los desechos forestales del aserrío	Aserrío	Desechos	Eliminación de desechos sólidos	2	Emisiones de CO <sub>2</sub> y CH <sub>4</sub> derivadas de la descomposición del C en botaderos de madera calculadas según la dinámica de primer orden de descomposición, utilizando datos de actividad específicos de la zona de estudio y los parámetros por defecto (IPCC 2006).

## Apéndice 6. Factores de emisiones y valores de incertidumbre

Fuente de emisión	CO <sub>2</sub>			CH <sub>4</sub>			N <sub>2</sub> O			Referencia
	Valor	Unidades	incertidumbre	Valor	Unidades	incertidumbre	Valor	Unidades	incertidumbre	
Gasolina/ maquinaria agrícola	2.26	Kg/L	5.3%	3.27E-04	kg/L	150.0%	1.96E-05	kg/L	200.0%	IMN 2015; IPCC 2006
Diesel/ maquinaria agrícola	2.69	Kg/L	2.0%	3.63E-04	kg/L	150.6%	2.18E-05	kg/L	200.0%	IMN 2015; IPCC 2006
Diesel/ transporte de madera	2.69	Kg/L	2.0%	3.63E-04	kg/L	150.6%	2.18E-05	kg/L	200.0%	IMN 2015; IPCC 2006
Producción de fertilizantes	2.93	kg/kg	66.4%	ND <sup>a</sup>	kg/kg	ND	ND	kg/kg	ND	FAO 2006a
Aplicación de Urea	0.73	kg/kg	50.0%	NA <sup>b</sup>	NA	NA	NA	NA	NA	IMN 2015; IPCC 2006
Aplicación de Nitrógeno sintético	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.016 <sup>c</sup>	kg/kg N	3.0%	IMN 2015; IPCC 2006
Producción de fuentes de cal	0.75	kg/kg	2.0%	NA	NA	NA	NA	NA	NA	IMN 2015; IPCC 2006
Aplicación de CaCO <sub>3</sub>	0.44	kg/kg	50.0%	NA	NA	NA	NA	NA	NA	IPCC 2006
Diesel/ transporte terrestre	2.69	Kg/L	2.0%	1.42E-04	kg/L	146.2%	1.42E-04	Kg/L	207.7%	IMN 2015; IPCC 2006
Uso de lubricantes	0.5101	Kg/L	50.0%	ND	kg/kg	ND	ND	kg/kg	ND	IMN 2015; IPCC 2006
Electricidad	0.117 <sup>d</sup>	kg/kWh	3.1%	NA	NA	NA	NA	NA	NA	IMN 2015; IPCC 2006
Producción de acero	1.06	Kg/kg	25.0%	0.00E-00	Kg/kg	NA	0.00E-00	Kg/kg	NA	IPCC 2006
GLP/ manufactura	1.61	Kg/L	4.0%	2.55E-05	Kg/L	200.0%	2.55E-06	Kg/L	50.0%	IMN 2015; IPCC 2006
Biomasa/ manufactura	0.112	kg/MJ	17.9%	0.0003	kg/MJ	233.3%	4.00E-06	kg/MJ	275.0%	IPCC 2006

<sup>a</sup> ND: sin información.

<sup>b</sup> NA: no aplica.

<sup>c</sup> factor de emisión para emisiones directas de N<sub>2</sub>O.

<sup>d</sup> factor de emisión en valores de CO<sub>2</sub>-eq.

## Apéndice 7. Detalle del manejo de los datos de actividad en cada una de las etapas del CV

A continuación, se detalla la forma en que se registraron los datos y el manejo de cada uno de ellos según las etapas:

Etapas del CV	Combustible	Lubricantes	Fertilizante y Cales	Electricidad	Acero	Gas LP	Combustión de biomasa
Ecosistema <sup>11</sup>	Valores por faena transformados a hectárea (ha), a partir de los rendimientos de las labores. Luego, a valores por UF según la productividad promedio para la región (cuadro 6.1)	Valores por aplicación transformados a ha, tomando en cuenta el rendimiento de las labores y asumiendo un periodo de aplicación de 250 horas para aceite de motor y 1 300 horas para otros lubricantes.	Valores por árbol transformados a ha según la densidad de siembra de las plantaciones (número de árboles/ha), considerando un 10% de resiembra.	NA	NA	NA	NA
Transporte de madera	Valores por viaje según el tipo de vehículo transformados a metro cúbico rollizo (m3-r) según la capacidad de carga de los vehículos.	Valores semestrales transformados a UF asumiendo un viaje diario en una jornada de trabajo de seis días por semana y tomando en cuenta la capacidad de carga.	NA	NA	NA	NA	NA

<sup>11</sup> Comprende las etapas de preparación del terreno, establecimiento de las plantaciones y manejo silvicultural.

Aserrió	Valores por mes transformados a m <sup>3</sup> -r a partir del consumo mensual de madera.	NA	Valores por mes transformados a valores m <sup>3</sup> -r según el consumo mensual de madera <sup>12</sup> .	NA	NA	NA	
Ensamblaje	NA	Valores por mes. Transformados UF según la producción mensual de tarimas	NA	Valores estimados a partir de los caballos de fuerza (Hp) de los motores de los compresores para lo cual se consideró un periodo de uso de 5 h/día transformados a kilowatts/hora (kWh) utilizando el factor conversión eléctrico 0,746 kWh/Hp <sup>13</sup> ; y finalmente a UF según la producción mensual.	Valores estimados a partir del número de clavos por tarima, considerando una masa de 2,44 g de acero/clavo <sup>14</sup> .	NA	NA

<sup>12</sup> Cabe señalar que las empresas que tienen integradas las etapas de aserrió, ensamblaje y acabado manejan la información en forma grupal, por lo que en estos casos al consumo total de electricidad se les restó lo correspondiente a las etapas de ensamblaje y acabado.

<sup>13</sup> Navarro, A. 2016. Uso de factores de conversión de unidades eléctricas. Cartago, CR. Consultor eléctrico-mecánico (comunicación personal).

<sup>14</sup> Circulo platino. 2014. Características de los clavos helicoidales para el ensamblaje de tarimas. Heredia, CR. Circulo platino. (comunicación personal).

Acabado	NA	NA	NA	Valores estimados a partir de los caballos de fuerza (Hp) de los motores de los hornos de tratamiento y la duración promedio de un tratamiento térmico (Tt) transformados a kWh y finalmente a UF según la capacidad máxima de tarimas de los hornos.	NA	Valores registrados por mes, transformados a UF según la producción mensual o registrados por tratamiento y transformados a UF según la capacidad máxima de tarimas de los hornos.	Valores registrados en volumen de madera por tratamiento; transformados a Megajulios (MJ) utilizando la densidad básica de la madera y su respectivo poder calorífico (cuadro 6.2), y finalmente convertidos a UF según la capacidad máxima de tarimas de los hornos.
Distribución	Valores por viaje según el tipo de vehículo, transformados a UF según la capacidad de carga de los vehículos.	Valores semestrales, transformados a UF asumiendo la ejecución de un viaje diario en una jornada de trabajo de seis días por semana y tomando en cuenta la capacidad de carga.	NA	NA	NA	NA	NA

Cuadro 6.1. Productividad de plantaciones de Melina (*Gmelina arborea* Roxb.) en la región Huetar norte, Costa Rica. 2017.

Actividad	Edad (años)	Vc (m <sup>3</sup> -r/ha)			Fuente
		Promedio	Min	Máx	
1 <sup>er</sup> raleo	3	5.99	0	9.67	a, b, y c.
2 <sup>do</sup> raleo	6	8.29	5.52	11.05	a
3 <sup>er</sup> raleo	10	64.46	41.44	82.87	a
Cosecha final	12	129.38	59.43	223.94	a, d y e.
<b>Total</b>	<b>12</b>	<b>208.11</b>	<b>106.39</b>	<b>327.53</b>	

<sup>a</sup> Pérez, LF y Rivera, A. 2014. Rendimientos del aprovechamiento de plantaciones forestales de Melina, Acacia y Chanco en la zona norte. San Carlos, CR. CODEFORSA (comunicación personal).

<sup>b</sup> Pereira, M. 2015. Sistemas de producción de Melina y rendimientos de un primer raleo comercial. San Carlos, CR. Grupo Los Nacientes (comunicación personal).

<sup>c</sup> Valerio, M. 2015. Volumen rollizo de madera extraído de una plantación de Melina de tres años en primer raleo comercial. Upala, CR. Productor independiente (comunicación personal).

<sup>d</sup> Murillo, F. 2014. Rendimientos en el aprovechamiento de plantaciones de Melina en la zona norte y volumen de residuos forestales generados. Heredia, CR. INISEFOR (comunicación personal).

<sup>e</sup> Ulate Rodríguez, CL. 2014. Rendimiento de *Gmelina arborea* en el Área de Conservación Arenal Huetar Norte, Costa Rica. Revista Germinar. 4(15): 14-15.

Cuadro 6.2. Densidad básica de la madera (kg/m<sup>3</sup>) y poder calorífico (MJ/kg) de las especies utilizadas para la elaboración de tarimas en la región. 2017.

Especie	Densidad básica (kg/m <sup>3</sup> )	Poder calorífico (MJ/kg)	Fuente
Melina	387	15.7	a, b y c.
Cebo	570	16.6	c
Acacia	355	16.4	c
Otras (10 ssp.)	584	16.4	a, c, d y e.

<sup>a</sup> Carpio-Malavassi (1992). <sup>b</sup> Cubero y Rojas (1999). <sup>c</sup> Moya-Roque et al. (2010). <sup>d</sup> Blanco; Carpio y Muñoz (2005). <sup>e</sup> IPCC (2006).

## Apéndice 8. Especificaciones metodológicas del análisis de incertidumbre

El análisis de incertidumbre se realizó con base en las directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (IPCC 2006). La estimación de la incertidumbre total del ICV, se estimó a partir de la combinación de las incertidumbres, utilizando el método 1 conocido como propagación del error (ecuación A6.1 y A6.2; cuadro A6.1). Las incertidumbres de los datos de actividad y los factores de emisión se determinaron por medio de dos métodos. En el caso de los datos de actividad la incertidumbre se determinó a partir del error de muestreo de cada una de las variables, con una probabilidad del 95% (ecuación A6.3 y A6.4) y en el caso de los factores de emisión la incertidumbre, se determinó a partir de los valores por defecto (IPCC 2006, FAO 2006a).

$$U_{total} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2} \quad (A6.1)$$

Dónde:  $U_{total}$ : es el porcentaje de incertidumbre del producto de las cantidades,  $U_i$ : es el porcentaje de incertidumbre asociado a cada una de las cantidades.

$$U_{total} = \frac{\sqrt{(U_1*x_1)^2 + (U_2*x_2)^2 + \dots + (U_n*x_n)^2}}{|x_1 + x_2 + \dots + x_n|} = \sqrt{\sum J} \quad (A6.2)$$

Donde:  $U_{total}$ : es el porcentaje de incertidumbre de la suma de las cantidades,  $U_i$ : es el porcentaje de incertidumbre asociado a cada una de las cantidades,  $x_i$ : son las cantidades inciertas y  $J$  es la contribución a la varianza por categoría (cuadro A6.1).

$$E_{SD} = \frac{SD}{\sqrt{n}} \quad (A6.3)$$

$$E_{\%} = \frac{E_{SD} * gl}{x} * 100 \quad (A6.4)$$

Donde:  $E_{SD}$ : es el error estándar una cantidad,  $SD$ : es la desviación estándar,  $n$ : es el número de observaciones,  $E_{\%}$  es el error de muestreo en porcentaje,  $gl$ : son los grados de libertad de t-student para una confiabilidad del 95% y  $x$ : es el valor promedio.



Cuadro A6.1. Matriz de evaluación de la incertidumbre del inventario de ciclo de vida a partir del método de propagación del error (IPCC 2006).

A. Etapa del CV	B. Categoría del IPCC	C. Labor	D. Fuente	E. Gas	F. Emisiones o absorciones en el año base	G. Incertidumbre de los datos de actividad	H. Incertidumbre de los factores de emisión	I. Incertidumbre combinada	J. Contribución a la varianza por categoría
				CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O	Equivalente de CO <sub>2</sub>	%	%	$\sqrt{G^2 + H^2}$ (%)	$\frac{(I * F)^2}{(\sum F)^2}$

Fuente: adaptado del IPCC (2006).

## Apéndice 9. Manejo de los datos del ICV para el sistema del producto de madera importada

Las emisiones de la etapa de preparación del terreno, establecimiento, manejo silvicultural y transporte de madera rolliza a los aserraderos de Chile no requirieron un manejo de datos; ya que la información disponible incluía un factor de emisión específico para estas etapas, a través de la categoría *operaciones forestales* (Arauco 2009). Lo mismo sucedió con las emisiones de las etapas de aserrío y transporte a puerto de embarque, las cuales presentaban un factor de emisión específico a través de la categoría *industria* (Arauco 2009).

### Transporte marítimo

La estimación de las emisiones del transporte marítimo el IPCC (2006) establece dos niveles de estimación para este tipo de emisiones basados en el consumo de combustible. Con el Nivel 2 “se puede usar la metodología de movimiento del barco cuando los datos detallados del movimiento del barco y la información técnica sobre los barcos están disponibles” (IPCC 2006). Dado que se disponen los datos necesarios, el cálculo de las emisiones del transporte marítimo se realizó con este método. Para ello, se estimó la distancia de recorrido desde el puerto San Vicente/Talcahuano en Chile hasta puerto Limón en Costa Rica y se utilizó el factor de emisión promedio para la ruta comercial de *Norte América a Sur América* (BSR/CCWG 2014).

La distancia de recorrido se estimó con base en información bibliográfica y criterio de experto. Primero, se identificó el puerto comercial más importante y cercano a las tres regiones con mayor desarrollo forestal en Chile. El puerto más cercano se determinó a partir de la información del ranking mundial de puertos del 2015 (AAPA 2015). Por su parte, las regiones chilenas con mayor desarrollo de plantaciones forestales, se eligieron a partir de las estadísticas del 2015 del CONAF (CONAF 2017). La ruta y distancia de recorrido se determinó a través del criterio de experto de la Naviera *SeaLand Costa Rica* y utilizando la plataforma digital *ports.com* (Ports 2017). Para el cálculo se consideró el transporte de madera en contenedores seco de 40 pies (2\*TEU<sup>15</sup>) con una capacidad de carga promedio de 42,21 m<sup>3</sup>.

### **Transporte de madera aserrada desde puerto de embarque al área de estudio**

Comprenden las emisiones por combustión de diesel y uso de lubricantes asociado al transporte terrestre desde el puerto hasta la región Huetar Norte. Las emisiones por la combustión de diesel se calcularon, asumiendo un recorrido de 234 km (distancia promedio desde puerto Limón hasta la región de estudio). Las emisiones del uso de lubricantes se estimaron a partir de una cantidad de 29,78 L por semestre, asumiendo una jornada de trabajo de seis días por semana.

Finalmente, para comparar la información se agruparon los resultados en siete categorías comunes: i) *operaciones forestales* - comprende las emisiones de las etapas de preparación del terreno, establecimiento de las plantaciones, manejo silvicultural y transporte de madera rolliza a los aserraderos en Chile; ii) *industria* - categoría que contiene las emisiones del aserrío y en el caso de los SPMimp incluye también las emisiones del transporte de la madera aserrada desde los aserraderos chilenos a los puertos de embarque; iii) transporte marítimo de madera aserrada; iv) transporte de madera aserrada desde puerto de desembarque hasta el área de estudio en Costa Rica; v) ensamblaje de las tarimas en el área de estudio; vi) acabado y vii) distribución.

---

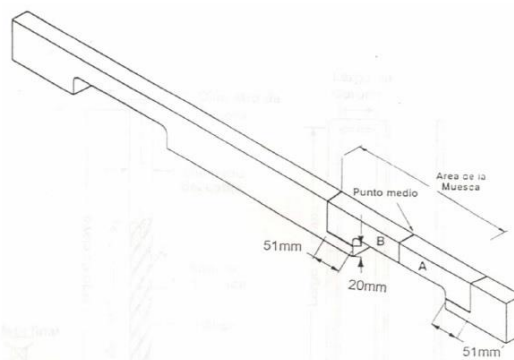
<sup>15</sup> TEU: unidad de medida de la capacidad de carga de los buques expresada en número de contenedores normalizados de 20 pies.

## Anexos



**Anexo 1.** Cargado de la madera de Melina utilizando fuerza humana. Finca Mainor Varela. Botijo de San Jorge, Los Chiles de Alajuela. 2015.

Dibujo de larguero



**Fuente:** INTE 2006.

**Anexo 2.** Larguero con muescas o boquetes (comúnmente conocido como cavacote) de las tarimas de diseño americano. Región Huetar Norte. 2015.



**Anexo 3.** Cargador hidráulico manual utilizado para el movimiento de la madera dentro de la planta de aserrío. Aserradero de la empresa Agrícola Industrial La Lydia S.A. Pital, San Carlos de Alajuela. 2015.



**Anexo 4.** Horno o cámara para tratamiento térmico. Plantel de la empresa Tarimera ALDEQUEZUL. Florencia, San Carlos de Alajuela. 2015.



**Anexo 5.** Sonda térmica para el control de la temperatura interna de la cámara de tratamiento térmico. Plantel de la empresa Industrias La Chota Ltda. Santa Rosa de Pocosol, San Carlos de Alajuela. 2015.



**Anexo 6.** Sistema de almacenamiento de tarimas posterior a la aplicación del tratamiento fitosanitario. Derecha: Empresa Aventuras forestales, Agua Zarcas, San Carlos, Alajuela. Izquierda: empresa Maderas Plantadas El Jardín S.A, Santa Rosa de Pocosol, San Carlos, Alajuela. Región Huetar Norte, Costa Rica. 2015.



**Anexo 7.** Cubierta de las tarimas tratadas como parte de los procesos previos a la distribución de las tarimas. Plantel de la empresa Industrias La Chota Ltda. Santa Rosa de Pocosal, San Carlos de Alajuela. 2015.