

**ESTUDIO COMPARATIVO DE SOSTENIBILIDAD DE TRES TIPOS DE  
PRODUCCIÓN DE GUADUA PARA CONSTRUCCIÓN EN EL EJE CAFETERO  
Y EN IBAMA, CUNDINAMARCA**

**NOMBRE:**

**SANDRA BURBANO LÓPEZ**

**CÓDIGO: 696888**

**Trabajo presentado para optar al título de Maestría en medio ambiente y  
desarrollo.**

**DIRIGIDO POR:**

**CARMENZA CASTIBLANCO**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
INSTITUTO DE ESTUDIOS AMBIENTALES IDEA  
MAESTRÍA EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO**

**BOGOTÁ 2010**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
INSTITUTO DE ESTUDIOS AMBIENTALES IDEA  
MAESTRÍA EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO**

**ESTUDIO COMPARATIVO DE SOSTENIBILIDAD DE TRES TIPOS DE  
PRODUCCIÓN DE GUADUA PARA CONSTRUCCIÓN EN EL EJE CAFETERO  
Y EN IBAMA, CUNDINAMARCA**

**NOMBRE:**

**SANDRA BURBANO LÓPEZ**

**DIRECTORA:**

**CARMENZA CASTIBLANCO**

**FECHA: 16 Julio 2010**

## TÍTULO DEL TRABAJO

ESTUDIO COMPARATIVO DE SOSTENIBILIDAD DE TRES TIPOS DIFERENTES DE PRODUCIR GUADUA PARA CONSTRUCCIÓN EN LA REGIÓN DEL EJE CAFETERO Y EN IBAMA CUNDINAMARCA

## TITULO EN INGLES

SUSTENTABILITY COMPARATIVE STUDY OF THREE DIFFERENT WAYS OF PRODUCING BAMBOO FOR CONSTRUCTION IN THE REGIONS OF EJE CAFETERO AND IBAMA CUNDINAMARCA

## RESUMEN

El presente trabajo es un estudio comparativo ambiental y de costos de la producción de tres maneras de producir culmos de guadua para construcción: la primera, la materia prima se obtiene a partir de bosques cultivados en el eje cafetero, en los cuales se hace manejo silvicultural de siembra, aprovechamiento y valor agregado (inmunizado y secado) con técnicas tradicionales; la segunda se realiza en bosques cultivados, también en el eje cafetero, con manejo silvicultural, aprovechamiento y valor agregado, usando técnicas denominadas ambientalmente amigables, y la tercera, corresponde a un bosque natural, situado en la región de Ibama (Cundinamarca), donde la explotación se realiza con manejo silvicultural y valor agregado por métodos ambientalmente amigables.

A partir de los datos obtenidos con base en la información de fincas y empresas, se hizo el análisis ambiental utilizando la metodología del Análisis de Ciclo de Vida (ISO 14040, ISO 14041 e ISO 14042). Adicionalmente, se realizó un análisis de renovabilidad del recurso y finalmente, aplicando el análisis costo beneficio se comparó la rentabilidad económica de los tres sistemas productivos.

## SUMMARY

The present work is an environmental production cost and comparative study about three to produce stem of bamboo: the first way, the raw material is obtained from forests cultivated in Eje Cafetero which handle silvicultural grow, usage and aggregated value, immunization and drying, with traditional techniques; the second, takes in cultivated forests, also in the Eje Cafetero, handling silvicultural management, usage and aggregated value, using techniques known as environmentally friendly; and the third, considers a natural forest located in Ibama (Cundinamarca), where the exploitation is made through silvicultural management and aggregated value by means of environmentally friendly methods until getting to lamination.

Using the data obtained in farms and companies, the environmental analysis was carried out through Life Cycle Assessment methodology (ISO 14040, ISO 14041 and ISO 14042), in addition, the analysis of resource renewability was taken in to account from “Models of silvicultural treatment for the optimization of the financial rentability in the management and sustainable usage of bamboo, in the Eje cafetero (Morales, 2004). Finally, the economical analysis took as a reference the rentability and cost studies of the usage of bamboo by the engineers Ruben Moreno from CARDER, and Tito Morales from Universidad Tecnologica of Pereira.

Palabras claves: Guadua, sostenibilidad, ciclo de vida, renovabilidad del recurso, rentabilidad económica,

KEY WORDS: Bamboo, sustentability, Life cycle, resource renewability, economical rentability.

FIRMA DEL DIRECTOR

CARMENZA CASTIBLANCO

AUTOR:

SANDRA BURBANO LÓPEZ

## **Contenido**

TÍTULO DEL TRABAJO .....	5
LISTA DE FIGURAS .....	9
LISTA DE TABLAS .....	11
LISTA DE CUADROS.....	13
ABREVIATURAS.....	14

INTRODUCCIÓN .....	16
1 ANTECEDENTES .....	19
2 MARCO DE REFERENCIA .....	20
2.1 CARACTERIZACIÓN DE LA GUADUA ( <i>ANGUSTIFOLIA KUNTH</i> ) .....	20
2.1.1. Servicios ambientales.....	22
2.1.2 Procesos productivos para el procesamiento de la guadua como materia prima ...	24
2.2 CARACTERIZACIÓN ECONÓMICA.....	30
2.2.1. Características productivas .....	30
2.2.2. Mercado nacional e internacional .....	30
2.2.3. Mercados verdes para el bambú .....	32
2.2.4. Cadena productiva .....	33
2.3 LEGISLACIÓN.....	35
2.4 BASES CONCEPTUALES PARA EL ANÁLISIS DE LA SOSTENIBILIDAD.....	37
2.4.1. Ciclo de vida .....	40
2.4.2. Análisis costo beneficio.....	42
3 ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD DE LA GUADUA EN LOS PROCESOS PRODUCTIVOS ESTUDIADOS .....	43
Figura 4. Esquema del proceso de análisis llevado a cabo para el estudio. Fuente: Autor. ....	43
3.1 ANÁLISIS AMBIENTAL DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS DE LA GUADUA	44
3.1.1. Estudios de impacto ambiental en la salud humana y de los ecosistemas .....	44
3.1.1.1. Definición del objeto y alcances .....	45
3.1.1.2. Análisis del inventario .....	46
3.1.1.3. Evaluación del impacto .....	52
3.1.1. Renovabilidad del recurso guadua.....	59

3.2. ANÁLISIS ECONÓMICO .....	60
3.3. RESULTADOS .....	67
4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	72
BIBLIOGRAFÍA.....	78
ANEXO 1 .....	83
FORMATOS PARA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL.....	83
ANEXO 2 .....	89
TABLAS DE COSTOS Y GANANCIAS .....	89
ANEXO 3 .....	91
RELACIÓN CONSTRUCCIÓN EN GUADUA Y CONSTRUCCIÓN EN ACERO .....	91
Costos de guadua.....	91
Costos de acero estructural .....	91
ANEXO 4 .....	93

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Partes de la guadua

Figura 2. Proceso de producción de guadua para construcción

Figura 3. Cadena productiva de la guadua

Figura 4. Esquema del proceso de análisis llevado a cabo para el estudio

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Costos de producción para el proceso convencional

Gráfico 2. Costos de producción para ecológico

Gráfico 3. Costos directos e indirectos en el proceso de extracción de bosque natural

Gráfico 4. Costos directos e indirectos en cada una de las fases de los tres procesos de obtener guadua para construcción

Gráfico 5. Ganancias de finqueros y guadueros para los escenarios de extracción estudiados

Gráfico 6 Análisis DOFA de la extracción de guadua para la construcción por proceso

## LISTA DE TABLAS

- Tabla 1. Producción de bambú en el mundo
- Tabla 2. Balanza comercial en Colombia de productos de bambú
- Tabla 3. Cuadro de análisis de entradas y salidas del proceso convencional
- Tabla 4. Cuadro de análisis de entradas y salidas del proceso ecológico
- Tabla 5. Cuadro de análisis de entradas y salidas del proceso convencional
- Tabla 6. Matriz causa-efecto-impacto para el proceso convencional.
- Tabla 7. Matriz causa-efecto-impacto para el proceso ecológico.
- Tabla 8. Matriz causa-efecto-impacto para el procesote extracción del bosque natural.
- Tabla 9. Información unificada sobre cantidades de insumos y significancia ambiental para proceso convencional
- Tabla 10. Información unificada sobre cantidades de insumos y significancia ambiental para proceso ecológico
- Tabla 11. Información unificada sobre cantidades de insumos y significancia ambiental para proceso natural
- Tabla 12. Matriz causa-efecto para el proceso convencional (método modificado de Leopold)
- Tabla 13. Matriz causa-efecto para el proceso ecológico (método modificado de Leopold)
- Tabla 14. Matriz causa-efecto para el proceso natural (método modificado de Leopold)
- Tabla 15. Escenarios de explotación.
- Tabla 16. Piezas aprovechadas por hectárea y costo de piezas a la venta, en finca y en depósito
- Tabla 17 Cuadro ganancias obtenidas tanto para el finquero y el guadero en los procesos estudiados, en relación con la cantidad de piezas aprovechadas

Tabla 18. Flujo de caja para el escenario de extracción mediante proceso convencional

Tabla 19. Flujo de caja para el escenario de extracción mediante proceso ecológico

Tabla 20. Flujo de caja para el escenario de extracción en bosque natural

## LISTA DE CUADROS

- Cuadro 1. Comportamiento de la renovabilidad del recurso en función de los aspectos ecológicos, sociales y económicos.
- Cuadro 2. Comportamiento del proceso convencional de producción de guadua en función de los aspectos ambientales, económicos y sociales.
- Cuadro 3. Comportamiento del proceso ecológico de producción de guadua en función de los aspectos ambientales, económicos y sociales.
- Cuadro 4. Comportamiento del proceso convencional de producción de guadua en función de los aspectos ambientales, económicos y sociales.
- Cuadro 5. Comportamiento del transporte en función de los aspectos ambientales, económicos y sociales

## ABREVIATURAS

ATSDR: Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades de Estados Unidos

CAR: Corporación Autónoma Regional

CARDER: Corporación Autónoma Regional del Risaralda

CEPAL: Comisión Económica para América Latina y el Caribe

CORPOCALDAS: Corporación Autónoma Regional de Caldas

CORTOLIMA: Corporación Autónoma Regional del Tolima

CRQ: Corporación Autónoma Regional del Quindío

CVC: Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca

ELINCS: Lista Europea de Sustancias Químicas Notificadas

EPA: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos

FSC: Consejo de Administración Forestal de Estados Unidos

GTZ: Agencia Alemana de Cooperación al Desarrollo

ICONTEC: Instituto de Normas Técnicas Colombianas

IICA: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura

INBAR: Red Internacional del Bambú y Ratán

IPP: Políticas Integrales del Producto

ISO: Organización Internacional para la Estandarización

MAVDT: Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

NTC: Norma Técnica Colombiana

OMS: Organización Mundial de la Salud

OPS: Organización Panamericana de la Salud

SENA: Servicio Nacional de Aprendizaje

TIR: Tasa Interna de Retorno

UTP: Universidad Tecnológica de Pereira



## INTRODUCCIÓN

La guadua (*Angustifolia Kunth*) ha sido utilizada en Colombia para múltiples aplicaciones, entre las que se destacan: cercas, bancas, tutores y canales, en el sector agropecuario; paneles, pisos, muebles, pulpa de papel y palillos, en el sector industrial; en la fabricación de utensilios de cocina, accesorios para hogar e incluso como planta decorativa. Sin embargo, la aplicación de mayor demanda es la construcción, debido a sus características sismorresistentes. Además, su composición fisicoquímica<sup>1</sup> proporciona una alta resistencia físico mecánica, que le permite competir con el acero con la ventaja de ser más barata.

Se estima que en Colombia hay entre 51.000 y 56.000 ha de guaduales<sup>2</sup>, la gran mayoría de ellas naturales y sólo un 5% plantadas.

El Eje Cafetero presenta la mayor cantidad de bosques de guadua. Otras zonas significativas se encuentran localizadas en el Valle del Cauca, Tolima, Santander y Cundinamarca donde, a diferencia del Eje Cafetero, el aprovechamiento de los bosques naturales incluye muy poco manejo silvicultural y se hace solamente para satisfacer la exigencia de los compradores.

El objetivo de este trabajo es efectuar un estudio comparativo ambiental y de rentabilidad económica de tres modos de producción de culmos de guadua. Para su desarrollo se aplicó la metodología descrita en las normas ISO 14040 e ISO 14041, construyendo matrices de evaluación de impacto ambiental. También, se efectuó una evaluación económica de los procesos de cultivo, aprovechamiento y valorización por medio de secado e inmunización de material para construcción.

Además, se integraron al trabajo estudios realizados sobre la renovabilidad del recurso guadua en bosques naturales y en plantación de guaduas. De esta forma, al comparar la renovabilidad del recurso, los impactos ambientales, incluyendo los riesgos a la salud humana, y la eficiencia económica se pudieron encontrar formas de producción ambiental y socialmente sostenibles.

Los tres procesos productivos estudiados fueron los siguientes:

---

<sup>1</sup> Posee un alto contenido de sílice en el tallo lo que la hace muy resistente y a la vez complicada para trabajar por el gasto de herramientas. Información obtenida de la entrevista con el experto Jairo Jiménez, del Centro Nacional para el Estudio del Bambú-Guadua, Quindío.

<sup>2</sup> Son varias las investigaciones que se han hecho con el fin de precisar la extensión del cultivo de guadua, entre ellas se pueden destacar las de Ximena Londoño. Sin embargo, no se ha podido precisar esta cantidad aún haciendo cálculos por sistema georreferenciado.

1. Cultivo convencional: Obtención de guaduas en una hectárea de plantación con proceso silvicultural usando sustancias químicas peligrosas para fertilizar, proteger contra las plagas y en los procesos de transformación.
2. Cultivo ecológico: Obtención de guaduas por cultivo en una hectárea de plantación con proceso silvicultural usando sustancias orgánicas y transformación por medio de procesos menos perjudiciales al ambiente.
3. Obtención de guaduas por extracción en bosque natural, cortándola longitudinalmente para obtener láminas de 1m x 3cm x 7mm, transformación usando inmunización con bajo impacto ambiental y secado con electricidad.

#### Limitaciones y alcances del estudio

El presente estudio cubre exclusivamente guaduas de la especie *Angustifolia Kunth* de dos procedencias: Eje Cafetero, para las guaduas de plantaciones; y de la región de Ibama (Cundinamarca) para el material de gradual natural y laminación<sup>3</sup>. Los datos fueron obtenidos en entrevistas semiestructuradas a guaderos, técnicos y profesionales que han trabajado sobre el tema de la guadua, empresarios y comerciantes.

La evaluación de la sostenibilidad se realizó sólo hasta la comercialización del insumo como tronco<sup>4</sup>. No se hizo un estudio sobre las posibilidades de uso por resultar excesivamente amplio, dadas su múltiples aplicaciones. Es de anotar que según el tipo de tratamiento que se le da al material durante su cultivo y proceso de transformación, este puede beneficiarse de una vida útil más larga o puede ser más o menos perjudicial al entorno en el momento de biodegradarse. Como base de los inventarios y evaluaciones tomó como unidad funcional una hectárea de gradual.

En los análisis sobre renovabilidad del producto se incorporaron datos del estudio de Morales (2004:45, 110), que corroboran los datos reportados en los trabajos de Cruz (1994) y Giraldo y Sabogal (1999).

Las preguntas que orientaron este trabajo fueron las siguientes:

¿Es el proceso de producción convencional de la guadua desarrollado en el Eje Cafetero ambientalmente sostenible?

---

<sup>3</sup> La decisión de trabajar con la guadua de bosque natural en la región de Ibama, Cundinamarca, obedeció a la necesidad de obtener datos fidedignos sobre este tipo de proceso, que es muy común en Colombia.

<sup>4</sup> Si bien se hace el análisis solo hasta la comercialización de la guadua, en algunas de las matrices de evaluación, que se verán en el capítulo 3, se incluyen comportamientos de uso y fin de vida útil de la guadua que ha sido utilizada en construcción arquitectónica.

¿Cuáles son las variables ambientales críticas en el proceso de producción convencional de la guadua?

¿Qué indicadores, ambientales y económicos, permiten comparar el proceso de producción convencional con un proceso de producción que incorpore buenas prácticas ambientales?

¿Qué posibilidades existen de mejorar los procesos de producción de la guadua en pro de unas ventajas para el ambiente, el ser humano y la economía?

Esta investigación integra datos y análisis sobre la guadua como materia prima, con el fin de dar una visión más sistémica sobre su comportamiento; en ningún momento pretende dar respuestas o soluciones acerca de su manejo sostenible y sólo plantea algunas recomendaciones, con base en los datos obtenidos.

## 1 ANTECEDENTES

Las universidades colombianas han organizado centros de estudio sobre la guadua y como referente principal se encuentra la Universidad Tecnológica de Pereira que, gracias a un convenio con la Agencia Alemana de Cooperación al Desarrollo (GTZ) que duró hasta el 2003, realizó numerosas investigaciones sobre la guadua-bambú respecto a la silvicultura, características físico-químicas, procesos para su tratamiento, análisis técnicos, cadenas productivas, modelaciones sobre renovabilidad y rentabilidad económica, manejo y mercadeo en Colombia, entre ellas se destaca la tesis de grado: “Modelos de tratamiento silvicultural para la optimización de la rentabilidad financiera en el manejo y aprovechamiento sostenible de la guadua, región eje cafetero”, (Moreno, 2004), que sirvió como referente para este trabajo.

En Armenia, la Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ) creó en 1986, el Centro Nacional para el Estudio del Bambú-Guadua. Allí se llevan a cabo investigaciones con orientaciones que van desde estudios sobre la planta misma y procesos de cultivo hasta propuestas de uso de la guadua para construcción de vivienda de interés social.

La Corporación Autónoma Regional del Risaralda (CARDER), creada en 1981, cuenta con un área específica para la realización de investigaciones y seguimientos de la producción de la guadua en la zona.

La Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, tiene un grupo de estudios técnicos sobre la guadua, conformado en su gran mayoría por ingenieros civiles y arquitectos.

El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), en Bogotá, posee en su biblioteca investigaciones y trabajos realizados sobre el tema de la guadua a nivel latinoamericano, así como ponencias de los seminarios de guadua realizados en los años 2002, 2003, 2004, 2006. Estos estudios contienen información fragmentada sobre los comportamientos ambientales del material, dados los intereses particulares del estudio y del investigador.

En este orden de ideas y dado que actualmente no se cuenta con un estudio que integre los datos del proceso de producción de la guadua, desde la preparación del terreno para la siembra hasta que se transforma en materia prima, donde se evidencie que tan “verde” o amigable para el ambiente es este material, este trabajo se constituye en un aporte sobre los conocimientos de la guadua y proporciona respuesta a interrogantes planteados, con el fin de contribuir a la construcción de una visión integral del comportamiento de la guadua desde el punto de vista de la sostenibilidad del producto.

## 2 MARCO DE REFERENCIA

### 2.1 CARACTERIZACIÓN DE LA GUADUA (*ANGUSTIFOLIA KUNTH*)

La guadua se compone, tal como lo muestra la Figura 1, de:

- a. Un sistema subterráneo, formado por los rizomas, las raíces y las raicillas, que ayudan a amarrar el suelo, absorben y almacenan el agua y los nutrientes, además contienen los rebrotes para la propagación vegetativa;
- b. El tallo, llamado culmo, que puede llegar a medir hasta 19 m de longitud y está formado por nudos y entrenudos, de los primeros salen las ramas de las hojas, los segundos son huecos y tienen una longitud que varía, entre 15 y 30 cm de longitud, entre 11 y 20 cm de diámetro<sup>5</sup>, según la distancia del suelo y el grosor de la pared entre 2 y 5 cm;
- c. Las ramas, compuestas de hojas lanceoladas y angostas como su nombre lo indica, brotan de yemas nodales ubicadas en los nudos de los tallos. En el ápice de las ramas se encuentran las flores y los frutos que son muy difíciles de multiplicar, por ello se recurre a otros métodos de reproducción como la siembra por chusquines, que se explicará más adelante.

Para el aprovechamiento de la guadua se emplean varios métodos, entre los que se cuentan:

- Explotación de bosques naturales de guadua, con o sin licencia otorgada por las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR), sin ser muy selectivos en el tipo de guadua ni en el lugar donde se colecta<sup>6</sup>.
- Aprovechamiento de bosque natural con manejo silvicultural, donde se seleccionan los troncos a cortar, ya sea para ser utilizados como materia prima o para liberar el bosque de guaduas demasiado maduras o con defectos físicos o enfermedades (hongos, insectos), estos cortes favorecen la calidad de las guaduas y permite un gradual más sano, siempre y cuando no se pase de la

---

<sup>5</sup> Las guaduas que llegan a este diámetro son las de la variedad castilla, las otras variedades son: cebolla, macana, cotuda, rayada negra, bicolor o rayada amarilla.

<sup>6</sup> La guadua que se corta al pie de las quebradas resulta una guadua perezosa, por lo tanto de muy bajas cualidades estructurales para construcción y si no se hace control desprotege las riveras de los ríos, es mejor la guadua de la falda de la montaña. Información obtenida de la entrevista con el experto Jairo Jiménez, del Centro Nacional para el Estudio del Bambú-Guadua, Quindío (septiembre 2009).

cantidad establecida por la Norma Unificada de la Guadua (2003)<sup>7</sup>, que estipula intervenir sólo hasta un 50% de las guaduas aptas para comerciar con el fin de no sobrepasar las cantidades para su autorrenovación y la estabilidad del bosque en cuanto a retención del suelo y el agua y la protección de la radiación solar.

PARTES DE UNA GUADUA		
DESCRIPCIÓN		UTILIZACIÓN
<b>COPA</b>	Parte apical de la guadua con una longitud de 1,20 a 2,00 m.	Se repica en el suelo del guadual como aporte de materia orgánica.
<b>VARILLON</b>	Sección de menor diámetro. Su longitud tiene aproximadamente 3 metros.	Se utiliza en la construcción como correa de techos con tejas de barro o de paja. Se emplea como tutor en cultivos transitorios.
<b>SOBREBASA</b>	Es un tramo de guadua con buen comercio debido a su diámetro, que permite un uso variado. Posee una longitud aproximada de 4 metros.	Utilizada como elemento de soporte en estructuras de concreto de edificios en construcción. También se emplea como viguetas para formaletear planchas y como postes de espalderas en cultivos.
<b>BASA</b>	Parte de la guadua que mayores usos tiene, debido a su diámetro intermedio. Es la sección más comercial de la guadua. La longitud es de 8 metros aproximadamente.	De esta sección se elabora generalmente la esterilla, la cual tiene múltiples usos: en construcción de paredes, casetones y formaletas de planchas. Esta parte se utiliza como vigas y columnas en construcciones nuevas de guadua.
<b>CEPA</b>	Sección basal del culmo de mayor diámetro, debido a sus entrenudos más cortos proporciona una mayor resistencia y tiene una longitud de 3 metros.	Se utiliza como columnas en construcción y para cercos.
<b>RIZOMA</b>	Es un tallo modificado, subterráneo, que se conoce popularmente como "caimán"	En decoración, muebles y juegos infantiles.

Figura 1. Partes de la guadua (Fuente: Proyecto UTP-GTZ).

<sup>7</sup> La Norma Unificada para el Manejo y Aprovechamiento de la Guadua, fue el resultado de un proceso liderado por las CAR de los departamentos de Caldas, Quindío, Risaralda, Tolima y Valle del Cauca y mediante esta se reglamenta lo relacionado con los aprovechamientos de la guadua desde el año 2002 (Resolución 185/2008 CORPOCALDAS; Resolución 666/2008 CRQ; Resolución 944/2008 CARDER; Resolución 1150/ 2008 CORTOLIMA; Resolución 01000439/2008 CVC). De acuerdo con esta Norma, lo más indicado, es que este proceso se haga cada doce meses o, preferiblemente, cada 18 meses.

- Siembra de plantación con fertilizantes y cuidados contra plagas por medio de productos químicos (Furadan o Lorsban<sup>8</sup>).
- Siembra de plantación con procesos amigables con la naturaleza, es decir, con cuidados contra plagas y fertilizantes de tipo orgánico (piretroides, procedentes del crisantemo y estiércol).
- El valor agregado que se le da al producto proviene de la inmunización y el proceso de secado. La inmunización se hace por inmersión, sea con químicos fuertes o con pentaboratos<sup>9</sup>; el secado se realiza al aire libre o usando hornos eléctricos, de carbón, a gas, o solares.

La guadua que se vende en el mercado para construcción tiene las siguientes presentaciones: Culmos de 3, 4 ó 6 m de longitud, con diferentes diámetros; esterillado<sup>10</sup> y, en menor proporción, guadua laminada para producción de paneles o vigas.

A nivel comercial en Colombia la guadua se está promoviendo para que ingrese dentro de los mercados verdes y el biocomercio como material con características sostenibles, principalmente por ser un recurso renovable y biodegradable.

#### 2.1.1. Servicios ambientales

Las zonas donde mejor se desarrollan los guaduales son los bosques húmedos tropicales, bosques secos tropicales y bosques premontanos, con alturas entre 900 y 1800 m.s.n.m., temperaturas entre 20° y 25°C, humedades relativas entre 75 y 85%, luminosidad solar anual de 1800 a 2000 horas luz y radiación solar promedio anual de 5,12 kWh/m<sup>2</sup>d, y suelos areno-limosos con ph de 5,5 a 6,0<sup>11</sup>.

Los tres procesos productivos de la guadua estudiados en este trabajo se encuentran en bosques húmedos tropicales, tanto los del eje cafetero en Quindío, plantaciones y procesos ubicados en la cordillera central, como el de Ibama

---

<sup>8</sup> Insecticida órganofosforado de amplio espectro, que actúa por contacto, ingestión e inhalación, y se utiliza para el control de los insectos chupadores y masticadores.

<sup>9</sup> Son los procesos más utilizados, que no excluye la existencia de otras alternativas. Sin embargo, para este estudio solamente se consideran las mencionadas.

<sup>10</sup> Que consiste en abrir el tronco de la guadua golpeándolo hasta dejarlo plano.

<sup>11</sup> De acuerdo a la información obtenida en el Centro Nacional para el Estudio del Bambú-Guadua, Córdoba (Quindío)..

Cundinamarca, plantación ubicada hacia el nor-occidente del Departamento de Cundinamarca y al sur-oriente del municipio de Yacopí, el relieve de esta zona es quebrado, se encuentra en las estribaciones de la cordillera oriental, antes de terminar en el valle del río Magdalena. Comparten las condiciones arriba citadas de temperatura, humedad relativa, luminosidad y radiación solar y su ubicación está entre los 1000 y 1600 msnm.

Los principales servicios ecológicos que los guaduales prestan son:

- Protección de las cuencas debido al entretrejido de raíces, lo que forma un sistema de redes que amarra el suelo evitando la erosión (Cruz, 1994). Además, el suelo de los guaduales tiene un bajo nivel de compactación, (0,69 g/cc) lo que permite una mejor oxigenación e intercambio microbiano (Giraldo, 1999).
- Protección del agua, puesto que el sistema radicular ayuda a la cohesión de partículas coloidales; en época de lluvias almacenan el agua en sus rizomas en el suelo y en el culmo (hasta 300.000 litros por hectárea), y la devuelve en verano a las corrientes de agua, así mismo, la guadua ejerce control en los sedimentos de los ríos armando barreras que permiten controlar la cantidad de caudal de agua y su dosel evita la rápida evaporación de las corrientes de agua y del suelo, es por ello que se dice que ayuda a la regulación por el principio de “vasos comunicantes” (Espinosa, 2004).
- Fijación de CO<sub>2</sub>, contribuye a la conservación y mejoramiento de la calidad del aire de una manera superior a otras plantas gracias a la alta eficiencia en la captura y fijación de CO<sub>2</sub> de la atmósfera a la planta<sup>12</sup>(Espinosa, 2004). Hábitat para la meso y micro fauna, (Espinosa, 2004). Si se logra controlar e incentivar su cultivo reduce los procesos de colonización y ampliación de fronteras agrícolas y ganaderas disminuyendo el riesgo de la extinción de la especie y promoviendo la biodiversidad.
- Aporte de biomasa al suelo, entre 2 y 4 ton/ha/año de biomasa, que constituye entre el 10 y el 14% de la totalidad de material vegetal que se genera en un guadual, esto es significativo dado que contribuye a enriquecer y mejorar la textura y estructura del suelo, por medio del reciclaje de nutrientes, (Giraldo, 1999).

---

<sup>12</sup> De acuerdo a Espinosa (2004) “El bambú también captura el CO<sub>2</sub> y lo convierte en Oxígeno, en mayor cantidad que los árboles. Recientes estudios indican que el potencial de fijación de dióxido de carbono en los primeros seis años de crecimiento de la Guadua desde que es plantada es de 54 toneladas métricas por hectárea – un descubrimiento fundamental que facilita su participación en el sistema internacional de intercambio comercial de derechos de emisión de CO<sub>2</sub> y conlleva beneficios adicionales a los inversores y granjeros que plantan y cultivan guadua, la cual produce emisiones cero!

### 2.1.2 Procesos productivos para el procesamiento de la guadua como materia prima

Del culmo de las guaduas se distinguen las siguientes zonas según las dimensiones de la sección y la altura con respecto al suelo a la cual se hizo el corte (Cruz, 1994) (ver Figura 1):

**Cepa:** corresponde a los primeros cuatro metros del tronco desde el suelo, es la sección de mayor diámetro (en promedio 15 cm de diámetro). Se utiliza para postes, columnas, laminado de pisos y cercas.

**Basa:** comprende los siguientes seis metros; es la sección comercial más importante. Se usa para vigas, columnas y esterillas.

**Sobrebasa:** es la sección posterior a la basa y de la cual, dependiendo de la altura y del espesor de la pared de la guadua, se pueden emplear aproximadamente cuatro metros. Se usa, principalmente, para esterilla y comercialmente tiene buena demanda para la elaboración de entrepisos (formaletas), fabricación de bareque y de muros en construcciones tradicionales. Además, se usa en artesanías y muebles.

El varillón y las ramas son aprovechadas como tutores de cultivos y para estructuras de techos.

En este trabajo se considera el proceso de obtención de culmos de seis, cuatro y tres metros de largo, inmunizados y secados a 12% de humedad (medidas y requerimientos comerciales) por método de plantación con agroquímicos y con productos orgánicos, y la obtención de culmos para láminas de guadua de bosque natural con manejo silvicultural.

La Figura 2, presenta de forma esquemática las diferentes fases del proceso de producción de guadua para construcción, las cuales se describen a continuación en detalle.

- Primera Fase: Siembra y estabilización del cultivo

Lograr bosques de guadua controlados exige la reproducción y propagación de las plantas. El método más eficaz, económico y de alta vigorosidad es por chusquines, es decir por medio de brotes basales del rizoma de la planta, que se reproducen en bancos de propagación, mientras se prepara el terreno (nivelación, trazado, ahoyado), donde luego se siembran las plántulas o chusquines que han germinado.



Figura 2. Proceso de producción de guadua para construcción (Fuente: Elaboración del autor).

Para que la siembra dé mejores resultados se hace un estudio de suelos con el fin de determinar el tipo de nutrientes, fertilizantes y abonos a emplear<sup>13</sup>, pueden ser agroquímicos o productos naturales. Entre los fertilizantes químicos básicos o de composición múltiple se encuentran: urea, sulfato de potasio, 10–15–30 (nitrógeno, fósforo, potasio, ) o Triple 15 y entre los orgánicos la gallinaza, la pulpa de café descompuesta, la conejaza, la porquinaza, el lombricompost, el compost, el estiércol de bovinos y equinos y materia inorgánica para regular el pH del suelo (Espinal,2005).

- Segunda Fase: Desarrollo y mantenimiento

El desarrollo de la plantación se da de manera escalonada, en el primer año el chusquín produce rebrotes, la planta inicial no es comercializable, sus rebrotes sí, al cabo de tres años tiene una altura de aproximadamente seis metros, y ya ha generado entre 18 y 20 rebrotes que se convertirán en plantas comerciales. Cuando los rebrotes van creciendo se hace un mantenimiento para quitar algunos tallos y evitar el amontonamiento de plantas, pues estas generan competencia por nutrientes, luz y espacio.

<sup>13</sup> Las plantas de guadua necesitan potasio, en menor cantidad nitrógeno y fósforo, con un complemento de boro como elemento menor. La aplicación de estos elementos debe hacerse, inicialmente, tres veces por año y luego dos por año. Las proporciones pueden variar según el estudio de suelos. Información obtenida de la entrevista con el agrónomo Fernando Burbano (2009 y 2010)

En los siguientes tres años la planta original sigue creciendo y produciendo renuevos en menor cantidad y luego se estabiliza. Cada renuevo se convierte, en cinco años, en planta comercial y, mientras llega a su madurez sigue produciendo otros renuevos. Por tal razón, los guaduales (asociación de rodales o guaduas que provienen del mismo sistema de rizomas) exhiben al mismo tiempo guaduas maduras, jóvenes y secas.

Durante el periodo de desarrollo de la planta (cinco años), se deben hacer mantenimientos y protecciones, que incluyen: limpiezas y plateos (quitar malezas cercanas al tronco), fertilización, socla (eliminar plantas pequeñas muy cercanas, procurando no acabar con la biodiversidad ni dejando desprotegido el suelo), desganche (quitar ramas bajas de las guaduas), aporque (poner tierra al lado de la planta) y entresacas de mejoramiento, para garantizar un buen desarrollo de los guaduales.

- Tercera Fase: Aprovechamiento: cosecha y pos cosecha

El aprovechamiento puede ser de bosques naturales o de plantaciones, en ambos casos se pueden aplicar métodos silviculturales.

En general, los bosques naturales de guadua se regeneran por sí mismos. Sin embargo, con el tiempo se tornan demasiado densos y no permiten la entrada de luz y ni el crecimiento vertical de los troncos, lo que ocasiona una degradación del bosque. Por tal motivo de estos bosques se obtiene material de calidad deficiente y poco comercial, por torceduras, ataque de hongos e insectos y fragilidad del culmo y, por estar al lado de las escorrentías, el tronco se debilita<sup>14</sup>. (Stamm, 2004)

Para aprovechar la guadua, sea esta proveniente de un bosque natural o de un silvicultivo, se hace una selección de acuerdo con las características del bosque y siguiendo las recomendaciones establecidas en la Norma Unificada de la Guadua (2003). El paso siguiente consiste en marcar las guaduas seleccionadas para el corte, las cuales se desganchan, para facilitar el aprovechamiento y, finalmente, se cortan en cuarto menguante a las horas de la madrugada, como lo indica la tradición<sup>15</sup>. El corte se hace a ras del primer o segundo nudo, así no se acumula el agua en el entrenudo que queda, evitando el daño del rizoma.

---

<sup>14</sup> Información obtenida de la entrevista con el experto Jairo Jiménez, del Centro Nacional para el Estudio del Bambú-Guadua, Quindío (septiembre 2009).

<sup>15</sup> Esta costumbre entre los campesinos ha sido estudiada en centros tecnológicos de manera empírica. Según esta la mejor época, de acuerdo a las fases de la luna, es menguante, porque la sábila y el agua están en su punto más bajo y por lo tanto es más fácil que lo que queda escurra.

Trascurrido el proceso de avinagrado<sup>16</sup> o escurrido los troncos, estos se cortan según las dimensiones de aprovechamiento: cuatro metros para la cepa, tres a seis metros para la basa, y tres a cuatro metros para la sobrebasa, quedando el varillón. Los troncos cortados y seleccionados para la comercialización se transportan, los que no se aprovechan en la finca se pican y esparcen en el terreno para fertilizarlo. El transporte, a la entrada de la finca, se hace a lomo de mula durante varios días, dependiendo de la cantidad de troncos y de mulas disponibles.

El aprovechamiento por hectárea oscila entre 200 (bosque natural) y 400 guaduas (cultivos) para comercializar (para este estudio se referencia la división del tronco en cuatro piezas, es decir entre 800 y 1600 piezas de 4 metros). En este proceso y con el fin de mejorar la calidad del bosque se cortan también las guaduas enfermas o torcidas. Se recomienda no cortar demasiadas plantas, para no dejar claros en los bosques y desprotegerlos de los vientos, el agua y los rayos ultravioleta (Norma Unificada, 2003).

- Cuarta Fase: Transformación, valoración y comercialización

Los troncos se llevan a los centros de acopio o al lugar donde se recolectan para realizar una labor de selección. Las guaduas de mejor calidad son vendidas a los constructores o industrias, que las han encargado previamente, las guaduas de menor calidad van a depósitos de materiales. De acuerdo con los pedidos de los clientes se inmuniza y, posteriormente, se seca<sup>17</sup>.

### Inmunización

La inmunización se realiza en plantas con infraestructura específica. Existen, básicamente, tres tipos de procesos de inmunización eficiente: Por inmersión, por presión y mixto.

El método por inmersión más utilizado es con pentaborato, por ser más eficiente, económico y menos dañino al medio ambiente. Los troncos de seis o tres metros de longitud se agujerean a lo largo, en los entrenudos, para que pase y penetre

---

<sup>16</sup> El avinagrado consiste en apoyar, durante quince días, la guadua en pie sobre una piedra, lo que permite que la savia de la planta escurra por gravedad y libere agua y azúcares y de esta manera se reduce el ataque de insectos y hongos.

<sup>17</sup> Cuando la guadua es utilizada para fabricar productos para el sector de la alimentación o de manipulación constante no se debe inmunizar.

mejor la sustancia inmunizante; se dejan en inmersión de tres a cinco días en agua con bórax y ácido bórico<sup>18</sup> y luego se escurren verticalmente.

Un sistema más agresivo es el que usa sustancias como sulfato de cobre, cromato de zinc, diclorovinil, dicromato de sodio, petróleo y formol; este método se puede complementar por el método mixto que emplea la inmersión, perforando cada uno de los canutos del tronco de manera alterna para, una vez la guadua esté en la construcción o el uso requerido, se le inyectan anualmente otros productos fungicidas e insecticidas.

El método de presión, llamado Boucherie, al igual que los otros, busca evitar el ataque de los insectos xilófagos (Montoya, 2004). Este procedimiento se efectúa a una presión de 20 psi y se hace culmo por culmo o se conectan varios culmos al mismo compresor, el proceso se logra cuando del otro lado de tronco comienza a salir la solución preservante<sup>19</sup>.

### Secado

Para iniciar el secado artificial de la guadua debe haber un proceso de secado natural de, por lo menos, quince días, el secado artificial mejora las cualidades físico mecánicas de la guadua, especialmente cuando se requiere de una alta exigencia física, como es el caso de las construcciones; a la vez sirve para exterminar plagas o insectos que todavía quedan en la planta (en caso de no haber pasado por proceso de inmunización), además evapora los azúcares, lo que la hace menos propensa al ataque de los insectos. De esta manera la vida útil del material se prolonga de diez a cincuenta años<sup>20</sup>.

### Procesos artificiales de secado

Secado Solar: aún en estado experimental en Colombia en la Universidad Tecnológica de Pereira por el Ingeniero Jorge Augusto Montoya, por lo que no se toma como referencia para el estudio. La construcción es tipo invernadero con doble plástico y plástico tipo burbuja. Duración del secado quince a veinte días en verano, llega hasta 8% de humedad.

---

<sup>18</sup> En general se utiliza 1 parte de bórax por 2 partes de ácido bórico, lo que equivalen a una solución del 4 o 8%. Sin embargo, estas proporciones y aditamentos, pueden variar, según los empresarios.

<sup>19</sup> También se emplean otros productos químicos como sulfato de cobre cristalizado, pentóxido de arsénico y dicromato de sodio, así como los piretroides. Se pueden adicionar a la fórmula inicial componentes como ruda, artemisa, ají y sábila.

<sup>20</sup> Información suministrada por el Ingeniero Augusto Montoya, en entrevista realizada en la Universidad Tecnológica de Pereira, Septiembre de 2009.

Secado a gas: cuenta con sensores eléctricos de temperatura y humedad relativa para hacer un secado controlado y de calidad. Un buen secado toma siete días, perdiendo entre 6 y 10% de humedad.

Secado por caldera, emplea como combustible carbón mineral y en un día seca 800 guaduas de seis metros. Tiene control automático y la guadua queda con un 13% de humedad.

El secador eléctrico consume entre diez y quince días en el proceso. El nivel de humedad se controla mediante humidificadores y tiene una capacidad de un metro cúbico (30 guaduas de 6 m).

### Transporte

Para llevar la guadua al sitio de procesamiento, al sitio de venta o donde el cliente, la Norma Unificada de la Guadua (2003) establece la cantidad de troncos a transportar y el impuesto que deben pagar. Esto hace que el aprovechamiento de la capacidad del transporte no sea el más eficiente.

Existen otros procesos que dan valor agregado al material y se utilizan para exigencias especiales, estos son el lateo y el laminado de la guadua. Las latas se emplean para hacer formaletas y esterillas mientras que las láminas son empleadas para hacer vigas y columnas macizas, pisos y paneles.

En este trabajo se considera que la guadua de bosque natural es la que se trabaja para laminado, tal como se hizo en la investigación de la Universidad Nacional, ya mencionada.

### Laminado

Este proceso se realiza por medios mecánicos, sea mediante sierra doble o maquina adaptada con estrella de ocho cuchillas para rasgar el tronco a lo largo. Posteriormente se quitan los entrenudos para pasarlos por trompos de doble sierra y corte lateral, para ello se hacen adaptaciones de máquinas o se consiguen maquinarias chinas especializadas. En estos procesos se aprovecha un 40% del material, lo que sobra queda como materia orgánica o para producción de pulpa de papel. Finalmente, se efectúa el pegado y prensado de las piezas que se van a fabricar, sea paneles, vigas o columnas.

## 2.2 CARACTERIZACIÓN ECONÓMICA

### 2.2.1. Características productivas

De acuerdo con los estudios realizados por Camargo et al. (2003), Moreno y Castaño (2004), los bosques de guadua contienen renuevos, guadua verde, guadua madura y guadua seca. En los bosques naturales el 69% es guadua madura y, según la Norma Unificada de la Guadua (2003), sólo debe aprovecharse hasta el 50% de esta. No obstante, este porcentaje ha sido utilizado mínimamente, pues entre los años de 1993 y 2004, el aprovechamiento fue del 9,5% del área total cubierta por guadua en la región del Eje Cafetero, (Moreno, 2004).

Tal información lleva a suponer que se podría aumentar la producción si se realiza un manejo diferente de los guaduales. Sin embargo, la baja rentabilidad económica (para el dueño de la finca) y la inestabilidad comercial desincentivan el emprendimiento de cualquier proyecto productivo orientado a garantizar un suministro de materia prima con criterios de calidad, cantidad y precios que sean competitivos internacionalmente o con productos importados (Moreno, 2004).

### 2.2.2. Mercado nacional e internacional

El comercio de guadua, bambú o ratán (otra especie de bambú), como materia prima o en forma de productos elaborados con ella, no cuenta con mucha información, dado que este no es un renglón muy importante a nivel mundial y sólo algunos países orientales han tecnificado su producción, logrando introducir sus productos a escala internacional, como es el caso de China, India y Tailandia.

De acuerdo con la información de la Red Internacional del Bambú y Ratán (INBAR), el comercio a nivel mundial de estos productos alcanza una cifra del orden de los catorce millones de dólares anuales.

La participación de Colombia en el mercado internacional de la guadua es del 0,1%. La Tabla 1 muestra algunos de estos valores.

Tabla 1. Producción de bambú – guadua en el mundo.

País	Exportaciones (miles de dólares)	Participación %
China	600.000	43.70 %
India	300.000	21.90 %
Filipinas	200.000	14.60 %
Taiwan	150.000	10.90 %
Indonesia	121.000	8.80 %
Colombia	1.500	0.1 %

Fuente: Centro Regional de Productividad de Innovación del Cauca et al., 2003.

Los productos que tradicionalmente se comercializan son: cestería, muebles, productos de mesa y para alimento (los brotes de bambú), pero en los últimos años se han abierto nuevos mercados con la producción de pisos en guadua y tableros, siendo la renovabilidad del material la que le ha dado un valor agregado al comercio de estos productos con perfiles “verdes”.

A pesar de que Colombia cuenta con una guadua de muy buena resistencia mecánica, característica favorable especialmente para la construcción, su tecnificación y utilización son muy bajas. La demanda de exportación es pequeña y por temporadas, y depende de exclusivos pedidos para construcciones en el extranjero. También hay solicitud de tutores de cultivos de vid y algunos que otros productos particulares. En el año 2006, de acuerdo con los datos de PROEXPORT, el nivel de exportaciones alcanzó la cifra de US\$ 1.041.000, que corresponde, principalmente, a productos de cestería y mobiliario.

A nivel nacional se ha tratado de impulsar el cultivo de la guadua, aduciendo una ventaja económica, lo que no es tan evidente. Además, se han iniciado estudios e investigaciones para tecnificar más la cadena productiva, ensayando con el laminado de guadua para la producción de pisos, paneles, vigas y columnas. Sin embargo, aún no se tienen resultados satisfactorios, debido a los costos y a la falta de viabilidad técnica y económica, si se compara con los productos que se consiguen en el mercado internacional.

Tabla 2. Balanza comercial en Colombia de productos de bambú-guadua.

Años	Exportaciones	Importaciones	Balanza
1991	2.696.795	101.305	2.595.490
1992	3.111.841	167.610	2.944.231
1993	2.894.275	403.148	2.491.127
1994	1.891.380	449.623	1.441.757
1995	1.014.465	713.631	300.834
1996	224.763	1.035.270	-810.507
1997	106.711	733.230	-626.519
1998	129.062	817.163	-688.101
1999	373.211	336.017	37.194
2000	679.041	566.638	112.403
2001	575.867	696.465	-120.598
2002	556.151	407.253	148.898
2003	744.627	593.638	150.989
2004	867.203	592.654	274.549
2005	1.382.329	1.061.000	321.329
2006*	1.041.000	883.000	158.000

Fuente: DANE y PROEXPORT, 2007

### 2.2.3. Mercados verdes para el bambú

Aunque existe una gran diversidad de definiciones de lo que son los mercados verdes, cada país, de acuerdo con sus políticas comerciales, define las características pertinentes. Al respecto, el Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), destaca lo siguiente:

“Productos provenientes de la biodiversidad: Tiene que ver con los productos ecológicos y naturales. Estos se obtienen por procesos agropecuarios que buscan una óptima producción por medio de técnicas y tecnologías que minimicen el impacto al medio ambiente, como es el caso de:

- No uso de productos químicos como herbicidas, fertilizantes, fungicidas e insecticidas.
- No uso de prácticas agrícolas perjudiciales como monocultivos, sobreexplotación, etc.

- Reciclaje de recursos renovables, sin contaminar aguas, suelos, ecosistemas y aire.
- Velar por la calidad de vida de los productores y trabajadores rurales.” (MAVDT, 2003)

Además de tener en cuenta estos parámetros se cuenta con el interés del Estado de promover los mercados verdes y la producción que se encuentren dentro de los parámetros de producción limpia, tal como se ilustra en el Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010<sup>21</sup>.

A nivel internacional está la Política Integrada de Producto (PIP)<sup>22</sup>, cuyo objetivo es mejorar los productos y servicios por medio de “la reducción de los efectos ambientales de los productos durante su ciclo de vida”; para ello se presta especial atención al uso responsable de los materiales, tanto por su renovabilidad, como en los posibles riesgos que estos representen para la salud humana y los ecosistemas, así mismo a los métodos de distribución, manejo de residuos durante la producción, uso y fin de vida útil del producto<sup>23</sup>.

#### 2.2.4. Cadena productiva<sup>24</sup>

Desde el punto de vista productivo la cadena de guadua cuenta con los siguientes eslabones:

Silvicultura: se encuentran los propietarios de fincas, los productores de los chusquines que son los viveristas, los administradores de las fincas y trabajadores internos o contratados; para tener un control del guadua es necesario contar con un técnico o profesional y mano de obra que fertilice, haga la siembra, soquee, limpie y entresaque (Figura 3).

---

<sup>21</sup> Entre los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010 "Estado Comunitario: Desarrollo para Todos" están: "...Posicionar a Colombia como proveedor de productos verdes, aprovechando la mega biodiversidad del país (...). Consolidar las estructuras organizativas de los productores verdes, tanto públicos como privados, y coordinar los esfuerzos que se adelantan en todo el país; y Establecer instrumentos de apoyo al sector de los productos verdes, incluyendo herramientas financieras, mecanismos claros de diferenciación, herramientas de promoción y comercialización y capacitación para la formulación de planes de negocios". Vale la pena destacar que la guadua es uno de los productos que se encuentra en estas listas de productos a potencializar.

<sup>22</sup> *Libro Verde sobre la Política de Productos Integrada*, Comisión de la Comunidad Europea, Bruselas, 2001.

<sup>23</sup> Para la construcción sostenible está la certificación LEED que persigue también entre otros, el uso de materiales menos contaminantes y renovables.

<sup>24</sup> El texto que ha servido de base para este apartado es el del documento “La cadena de la guadua en Colombia”, producido por el Grupo de Investigación dirigido por Carlos Federico Espinal. (2005).

Estos cuidados e inversiones necesarios elevan los costos, que en muchos casos no se ven compensados con las ventas, por ello son pocas las fincas que cuentan con un manejo silvicultural y mucho menos poseen un cultivo de guadua controlado desde su siembra. Como consecuencia, al no contar con control en la siembra la calidad de los troncos es deficiente, aunado a este problema se presentan cortes inadecuados y deterioros de los troncos por problemas en el transporte, lo que dificulta su comercialización. (Espinal, 2005).

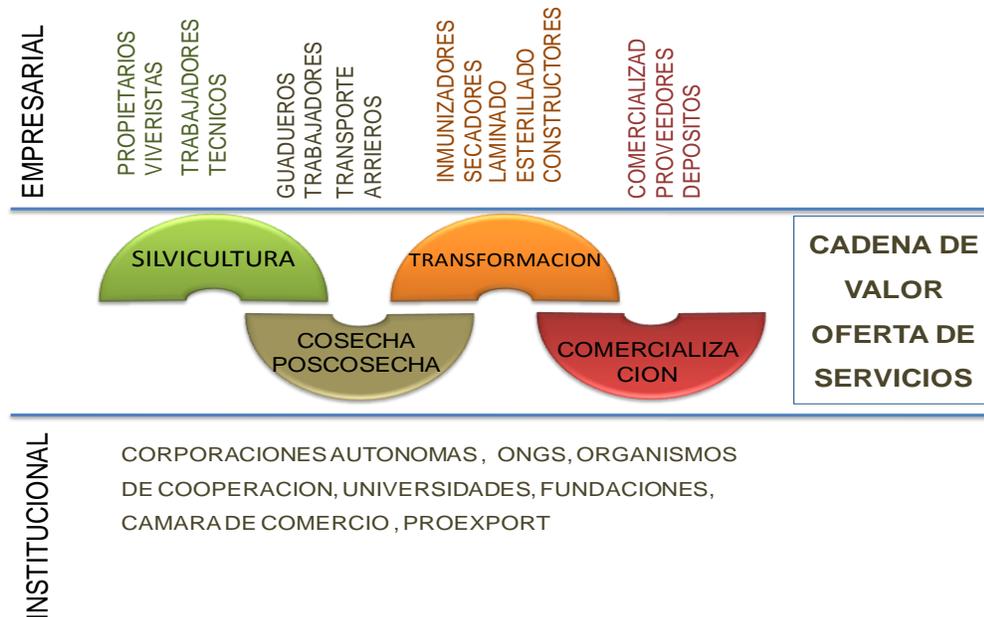


Figura 3. Cadena productiva de la guadua. Fuente: modificación cuadro documento Acuerdo marco de Competitividad de la cadena de la Guadua.

**Cosecha y poscosecha:** están los guadueros que son los aprovechadores de guadua y controlan todo el proceso de explotación de los guaduales, ellos pagan a los dueños de las fincas por troncos o hectáreas cosechadas, asumen los costos de permisos, salvoconductos, estudios, contratan a los corteros, coteros o arrieros, así como a los transportadores. Son contratados por empresas de transformación, por constructores o empresarios y venden los productos a los depósitos<sup>25</sup>.

**Transformación y procesamiento:** en el que se generan procesos de preindustrialización como lo son cortes para laminado y esterillado, así como el proceso de secado e inmunización, realizados por empresas especializadas. También intervienen los constructores, fabricantes de muebles, artesanos y organizaciones de artesanos. En este eslabón, a pesar de contar ahora con

<sup>25</sup> Los guadueros venden a los depósitos las guaduas que no han sido aceptadas por los compradores mayores (transformadores, constructores).

investigaciones e inversiones para un mayor desarrollo tecnológico que permitan tecnificar y mejorar la calidad del material para hacerlo más competitivo, no se ha llegado a unos resultados favorables, que permitan mejorar la industrialización.

Comercialización: se hace por un lado en los depósitos de venta de maderas y productos de guadua, pero también los fabricantes y constructores hacen la negociación de los troncos directamente con los guadueros y, si necesitan de los procesos de transformación, pueden hacer la negociación con los empresarios para que ellos se ocupen de todos los procesos anteriores, asegurando así una mejor calidad del producto.

También hacen parte de este eslabón los proveedores de insumos y de maquinarias a lo largo de todo el proceso; parte de los gastos que se tienen que incluir en esta fase son los del transporte, que incrementan el precio de cada pieza. La comercialización es uno de los puntos más frágiles de la cadena, después de la silvicultura, ya que no hay claridad en los niveles de participación, no se cuenta con sistematización de datos de mercado, ni se cuenta con información sobre las exigencias de los clientes; los únicos que han empezado a hacer este tipo de estudios son las corporaciones y universidades en el Eje Cafetero.

Como se aprecia en el Figura 3 en la cadena participan diferentes actores: por un lado están los empresariales (descritos anteriormente) y por otro los institucionales y los de apoyo como las Corporaciones Autónomas de Caldas, Quindío, Risaralda, Valle del Cauca, Tolima, Cundinamarca, SENA, Universidades, Secretarías de Agricultura y otros (Mejía, 2004).

## 2.3 LEGISLACIÓN

La producción de guadua debe tener en cuenta algunas normas y leyes específicas, como la ya citada Norma Unificada de la Guadua<sup>26</sup>(2003), y las normas específicas del Instituto de Normas Técnicas Colombianas (ICONTEC)<sup>27</sup>.

---

<sup>26</sup> De acuerdo a la Norma Unificada de la Guadua para hacer un aprovechamiento sostenible de un guadual se debe cosechar la guadua cada 18 meses y hacer uso solamente de hasta un 50% de los culmos a comercializar, los cuales corresponden a las guaduas maduras; en promedio el aprovechamiento por hectárea es de 1000 guaduas (1200 y 1500 para guaduas cultivadas y 600 y 800 para guadual natural), que son las que se encuentran en mejor estado para ser comercializadas. El valor en metros cúbicos corresponde aproximadamente a 67m<sup>3</sup>.

<sup>27</sup> Estas son algunas de las normas que en Colombia tienen relación con el tema de la preservación, las 3 últimas están más enfocadas a la madera.

- NTC 549-03: Norma para Cosecha y postcosecha de la Guadua *Angustifolia Kunth*.
- NTC 225-04: Norma para Preservación y Secado, de la Guadua *Angustifolia Kunth*.

Para la aceptación de esta materia prima en mercados especiales (verdes) se deben seguir condiciones como las previstas en la ISO 14040, la cual es complementada por las: ISO 14041, ISO 14042 e ISO 14043 sobre la administración ambiental, evaluación del ciclo de vida (ECV), evaluación del impacto y la interpretación de éste, tal como lo cita la norma esta “describe los principios y la estructura para efectuar estudios de ECV (...) Estudia los aspectos ambientales y los impactos potenciales a lo largo de la vida de un producto, desde la adquisición de la materia prima pasando por la producción, el uso y la eliminación. Entre las categorías generales de impactos es necesario considerar el uso de los recursos, la salud humana y las consecuencias ecológicas.”

La norma ISO 14040 se puede utilizar para asegurar la gestión ambiental en la producción de diferentes productos, por lo tanto para la definición de las especificaciones así como de la restricción de sustancias peligrosas, y preservación de los límites tolerables para el uso de productos o sustancias, vertimiento de sustancias en el suelo, el agua y aire.

Teniendo en cuenta que en algunos de los procesos para la producción de la guadua se pueden manejar sustancias peligrosas para la salud humana y de los ecosistemas es necesario revisar las normas y prohibiciones que existen sobre el manejo de fertilizantes, insecticidas e inmunizantes.

En general, estas normas, establecen algunos parámetros orientativos y son emitidas por diferentes agencias u organizaciones con reconocimiento mundial como es el caso de las guías y normas de sustancias y valores tolerables según los estándares de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y de la Organización Panamericana de la Salud (OPS)<sup>28</sup>, de la Lista Europea de Sustancias Químicas Notificadas (ELINCS)<sup>29</sup> del Sistema de Información Europeo de Sustancias Químicas, y de las listas publicadas por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) y, especialmente,, por su Departamento de Salud y Servicios Humanos a través de la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR, por sus siglas en

- 
- NTC 1767: Normas para maderas, preservativos y pentaclorofenoles.
  - NTC 2673: Normas para maderas, laminados decorativos de alta presión.
  - NTC 2500: Normas para el uso de la madera en la construcción.
  - *Scientia et Technica*, Año XI, No 28, Octubre de 2005. U.T.P 216.

<sup>28</sup> La OMS y la OPS trabajan con unos límites tolerables de sustancias contenidas en agua, aire o suelo. Así mismo cada gobierno tiene la potestad de hacer algunas modificaciones por lo que los valores que se presentan en las listas de estas organizaciones son referenciales.

<sup>29</sup> La Lista Europea de Sustancias Químicas Notificadas (ELINCS, por sus siglas en inglés) ha sido establecida y publicada en Official Journal of the European Union (OJ).

inglés). Todos ellos dan unos referentes y parámetros para el uso o no de sustancias o para su aceptación comercial.

En cuanto al manejo de recursos renovables, en el contexto nacional se hace referencia a la Ley General Forestal<sup>30</sup> y en otros casos, por ejemplo a los certificados forestales internacionales del Consejo de Administración Forestal (FSC, por sus siglas en inglés).

## 2.4 BASES CONCEPTUALES PARA EL ANALISIS DE LA SOSTENIBILIDAD

Al referirse a las temáticas de la sostenibilidad cabe preguntar qué es lo que se debe sostener o mantener, si es el bienestar del ser humano<sup>31</sup>, o es preservar la base natural sin intervenirla, o si es la capacidad de interactuar del ser humano en el capital natural sin disminuir su calidad y cantidad y capacidad de renovación; de acuerdo con Gallopin (2003) “el desarrollo sostenible debe orientarse no sólo a preservar y mantener la base ecológica del desarrollo y aumentar la habitabilidad, sino también aumentar la capacidad social y ecológica de hacer frente al cambio, la capacidad de conservar y ampliar opciones para confrontar un mundo natural y social en permanente transformación”, este enunciado ilustra que la sostenibilidad, a pesar de querer decir mantenerse, lleva intrínseca una serie de cambios para seguir existiendo, así mismo concibe que la sostenibilidad es una manera de interactuar entre lo natural y el ser humano y los beneficios de esta interacción son tanto para la naturaleza como para el ser humano y sus organizaciones.

Como en muchas de las definiciones de desarrollo sostenible se pretende integrar los aspectos económicos, sociales y ecológicos, bajo una articulación recíproca donde se tengan en cuenta paralelamente los aspectos locales y globales, en una relación espacio temporal que incluya las generaciones futuras. Cada uno de estos aspectos ocasiona reacciones que afectan el comportamiento de los otros en diferentes escalas y en diferentes tiempos.

Para el caso de este trabajo, se adoptó el concepto de sostenibilidad aplicado a un enfoque sistémico, como lo propone Gallopin (2003)<sup>32</sup>, que permite “reflexionar en función de conexiones, relaciones y contexto<sup>33</sup>”, para referenciarlo a los flujos de

---

<sup>30</sup> Ley 1021 de 2006 (Diario Oficial No. 46.249 de 24 de abril de 2006).

<sup>31</sup> Económico, psicológico o físico.

<sup>32</sup> En el marco del proyecto “Evaluación de la sostenibilidad en América Latina y el Caribe”, referenciado en el documento “Sostenibilidad y desarrollo sostenible: un enfoque sistémico”, CEPAL, 2003.

<sup>33</sup> Gallopin en este punto aclara que el término relaciones incluye términos similares como estructura, organización, conexión, correlación y patrón.

materia, energía e información con su entorno a lo largo del ciclo de vida de un producto.

Los sistemas que interesan en este caso son los abiertos, en ellos su sostenibilidad y comportamiento dependen del sistema mismo (variables de estado) y de los factores o variables provenientes del contexto o ambiente externo (variables de entrada) que ejercen influencia en el sistema, y generan variables que influyen en el entorno (variables de salida). Todas las variables pueden cambiar en el tiempo, espacio y el territorio.

Para la valoración de la sostenibilidad es indispensable definir qué es lo que se pretende sostener, si es un ecosistema o el rendimiento de un sistema agrícola, o si son variables en conjunto, de tal manera que se busquen informaciones que permitan cambiar el sistema para cambiar el producto, o cambiar el producto para preservar el sistema u otras variables. Dependiendo el tipo de sostenibilidad que se pretenda alcanzar (débil o fuerte) o como Gallopin y Bermejo proponen sostenibilidad del sistema socio ecológico (Gallopin, 2003; Bermejo, 2006)<sup>34</sup>.

Las propiedades fundamentales para la sostenibilidad de un sistema socio ecológico de acuerdo con Gallopin son: disponibilidad de recursos, adaptabilidad y flexibilidad, homeostasis general (preservar los valores de las variables esenciales, a pesar de los cambios externos), y capacidad de respuesta.

Estas propiedades permiten ir más allá de la simple evaluación ambiental del producto, para visualizar y modelar el comportamiento de este y su contexto a través del tiempo, evidenciando su permanencia como favorable o negativa al sistema socio ecológico en el cual se ubica, lo que permite tomar decisiones y proponer planes y proyectos según las conclusiones que de allí se obtengan.

Retomando el enfoque sistémico donde la sostenibilidad depende de las variables de entrada, de salida y el comportamiento del sistema y su variación en el tiempo, los procesos y el lugar donde se estén desarrollando. Así, es posible tomar la estrategia de contabilidad de flujos y stocks que plantea Bermejo (Bermejo, 2005) para una gestión sistémica de la producción donde se logren entender las relaciones entre flujos de materiales y el cierre de sus ciclos para recomenzar otros, la capacidad de carga del ecosistema para ofrecer materiales y recibir

---

<sup>34</sup> En este caso lo social hace referencia a lo cultural, lo económico, lo político y lo ecológico como los componentes de la naturaleza y estructuras como los ecosistemas. "...Se entiende por sistema socio ecológico (Gallopin y otros, 1989) un sistema formado por un componente (subsistema) societal (o humano) en interacción con un componente ecológico (o biofísico). Puede ser urbano o rural y puede definirse a diferentes escalas...". Es más compatible con la sostenibilidad fuerte, según Gallopin, donde los capitales naturales no son necesariamente sustituibles, aunque puede tener concordancias con la sostenibilidad débil en el sentido de proteger procesos ecológicos y bioquímicos que son irrecuperables, para lograr una sustitución por capital manufacturado.

descargas, los intercambios de energía y de información con relación a los estilos de vida, a los flujos entre las naciones, los efectos del cambio tecnológico, comprendiendo los aspectos favorables y adversos que se presentan.

La base teórica de este análisis de flujos de materia y energía es la primera ley de la termodinámica. Según esta ley la energía no se crea ni se destruye sólo se transforma. Por lo tanto se analizan las fuentes de energía y la transformación de estas en elementos de salida; esto mismo se hace con los materiales, el comportamiento de estos se asocia más a un flujo que a un ciclo, sobre todo los de origen antropogénico, ya que no se reciclan en su totalidad debido a pérdidas de características físico mecánicas, que ocasionan impactos al medio debido a la degradación o desuso de los mismos.

A partir de este pensamiento se origina la metodología del Ciclo de Vida para analizar los productos o servicios, conocer sus flujos y los stocks de material asociados al lugar geográfico en el que dejan huella, sea por degradación de los ecosistemas o por agotamiento de los recursos naturales, y los riesgos para la salud humana o su efecto negativo social. Por lo tanto, en este tipo de análisis se determinan: tipos y cantidades de materiales y energías manejadas desde la fabricación hasta el final de vida de los productos<sup>35</sup>; grupos de sustancias contaminantes, tóxicas y peligrosas involucradas en la fabricación o el uso. Adicionalmente, se determinan los flujos de residuos<sup>36</sup>. Estos análisis permiten detectar las interrelaciones físicas entre la producción (la sociedad) y la naturaleza así como la presión ejercida por el sistema socio económico sobre el ecológico. En este sentido, los resultados de este tipo de estudios son necesarios para impulsar una evolución tecnológica, más allá de un tiempo inmediato.

Una de las herramientas más utilizadas para estudiar si hay un impacto negativo de un producto sobre el ambiente (la ecología y la salud humana) son los denominados Análisis del Ciclo de Vida (ACV). Esta herramienta es utilizada por la Comunidad Económica Europea para verificar las condiciones ambientales de los productos que van a ser comercializados y aprobar o no su ingreso de acuerdo con las Políticas Integrales del Producto (PIP)<sup>37</sup>.

---

<sup>35</sup> El ciclo de vida de un producto presenta los siguientes pasos: planeación, obtención de materia prima, proceso primario de materia prima, producción, distribución, uso, fin de vida útil; en este último punto es posible recomenzar el ciclo convirtiéndose nuevamente en materia prima, reutilizando el producto o remanufacturándolo.

<sup>36</sup> A este respecto hay que tener que la cantidad de materiales extraídos y dejados como residuos supera con creces los procesos de recuperación y descomposición del medio natural

<sup>37</sup> Datos obtenidos del Libro verde sobre la política de productos integrada, Comisión de la Comunidad Europea, Bruselas, 2001.

Cuando se habla de sostenibilidad hay un concepto que es importante: la renovabilidad, Herman Daly (1997) dice que para que haya renovabilidad es necesario que: “La tasa de recolección sea igual a la tasa de regeneración y las tasas de emisión de residuos iguales a la capacidad de asimilación de los ecosistemas“, esto quiere decir que para aprovechar un recurso de manera permanente debe extraerse de manera prudente de tal forma que no afecte su existencia, que exista una regeneración de éste y que no se afecten otros recursos que interactúan con él.

La sostenibilidad económica se puede valorar por análisis costo beneficio, que se logra analizando los costos directos e indirectos en los diferentes pasos del ciclo productivo, también se relaciona con el TIR, Tasa Interna de Retorno, para obtener la rentabilidad económica.

#### 2.4.1. Ciclo de vida

La Sociedad de Toxicología y Química Ambiental (SETAC, por sus siglas en inglés), en 1993, define el ciclo de vida como: “... el proceso para evaluar los peligros ambientales asociados como un producto, proceso o actividad identificando y cualificando la energía y los materiales que se utilizan, las emisiones al ambiente y se identifican y se evalúan las oportunidades que pudieran mejorar la relación con el medio ambiente,” (Consoli et al., 1993). Los beneficios de realizar esta evaluación es la obtención de datos que sirven para la toma de decisiones en las organizaciones, así como indicadores de desempeño ambiental de los procesos, productos o servicios con el fin de adoptar acciones preventivas, trazar estrategias de sostenibilidad, aplicar eco-innovación, o hacer comparaciones con otros procesos y facilitar la obtención de certificados o sellos de tipo ambiental.

La norma ISO 14040 describe los principios y la estructura para efectuar los estudios de Evaluación del Ciclo de Vida en el marco de una gestión ambiental y es la guía que se emplea en este trabajo como parte de la metodología para evaluar los aspectos e impactos ambientales, ésta deja muy claro las restricciones de su aplicación como lo son la subjetividad que se tiene al determinar los límites del sistema a estudiar, los modelos que se emplean pueden ser variados y no tener disponibilidad para muchos de los estudios que se hagan, los datos y su exactitud frecuentemente son difíciles de conseguir, éstos además pueden variar según especificaciones espacio temporales, por lo tanto cuando se hacen evaluaciones comparativas se han de hacer si los supuestos y el contexto son similares.

Las principales actividades que propone la ISO 14040 son:

1. Conformar un inventario de entradas y salidas relacionadas a un sistema.

2. Evaluar los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas.
3. Interpretar los resultados del inventario y las fases de impacto en relación con los objetivos de estudio.”

Para que estas actividades se lleven a cabo propone la siguiente estructura metodológica<sup>38</sup>:

- a) Definición del objeto y el alcance<sup>39</sup>: El objeto debe estipular la aplicación prevista y las razones para efectuar el estudio. Para definir el alcance se debe tener en cuenta definir las funciones del sistema de producto o de los sistemas si se trata de estudios comparativos, la unidad funcional y el sistema que se va a estudiar, los límites del sistema y los procedimientos de asignación<sup>40</sup>.
- b) Análisis del inventario<sup>41</sup>: debe contar con una descripción general del inventario de ciclo de vida, esto implica una recolección de datos y procedimientos de cálculo para cuantificar entradas y salidas.
- c) Evaluación del impacto<sup>42</sup>: se relacionan los datos del inventario con los impactos ambientales específicos. El nivel de detalle dependen del objetivo y del alcance del estudio.
- d) Interpretación de los resultados<sup>43</sup>: se combinan los hallazgos del análisis y la evaluación del impacto. Se puede asumir en forma de conclusiones y recomendaciones.
- e) Presentación del informe.
- f) Revisión crítica.

---

<sup>38</sup> Las normas ISO 14041, 14042 y 14043 complementan y adicionan detalles en lo relacionados con cada una de las fases.

<sup>39</sup> ISO 14041.

<sup>40</sup> La definición de los límites del sistema es un importante paso después de la definición de los objetivos y métodos de balance. Los límites materiales son formulados según los criterios considerados en el balance (energía, materiales, emisiones). También es necesario considerar los límites temporales como lo son la periodicidad de los datos y periodos objetivos y posibles efectos relacionados en el tiempo.

<sup>41</sup> ISO 14041.

<sup>42</sup> ISO 14042.

<sup>43</sup> ISO 14043.

Este tipo de normas no cuentan con una acreditación oficial<sup>44</sup>, no hay un estándar y por lo tanto no hay una modelación o herramienta específica aceptada mundialmente para unificar las valoraciones de los impactos ambientales. De esta manera estos programas ayudan a hacer ponderaciones con respecto a los resultados comparados de diferentes herramientas utilizadas para los análisis.

#### 2.4.2. Análisis costo beneficio

Azqueta (2002), define el Análisis Costo Beneficio como: "... sopesar las ventajas y los inconvenientes en cualquier decisión". Desde el punto de vista financiero esta relación costo beneficio está dada en función de los costos de los procesos, sean directos o indirectos, con respecto a los beneficios dados por los ingresos que se consigan en un espacio y un tiempo definidos. Gracias a este tipo de estudios se pueden hacer análisis comparativos de situaciones, proyectos o productos, dando resultados de tipo económico, aunque también puede ser de tipo social o ambiental. Si se hace un estudio financiero se puede ser más específico con un indicador como la Tasa Interna de Retorno (TIR), que es constituye una forma de medir la rentabilidad del negocio.

---

<sup>44</sup> En Colombia comienzan a existir algunas NTC para certificar con sello ambiental bajo la ISO14040 algunos productos como lo son papel higiénico, algunos tipos de jabones y ecoturismo.

### 3 ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD DE LA GUADUA EN LOS PROCESOS PRODUCTIVOS ESTUDIADOS

#### Diseño metodológico

En este estudio se tomaron dos componentes básicos uno biofísico y otro económico, el primero tiene en cuenta, por un lado, los estudios de impacto ambiental de los procesos productivos para obtener la guadua como insumo, los cuales se relacionan principalmente a los riesgos a la salud humana y a los ecosistemas, de acuerdo con la metodología de la norma ISO 14040 y por otro lado la disponibilidad de los recursos y la adaptabilidad del sistema, para ello se incorporaron los estudios elaborados por Morales (2004)<sup>45</sup>, donde el autor hace el análisis de la renovabilidad de los guaduales en el Eje Cafetero. El proceso de análisis realizado en este trabajo se ilustra en la Figura 4.

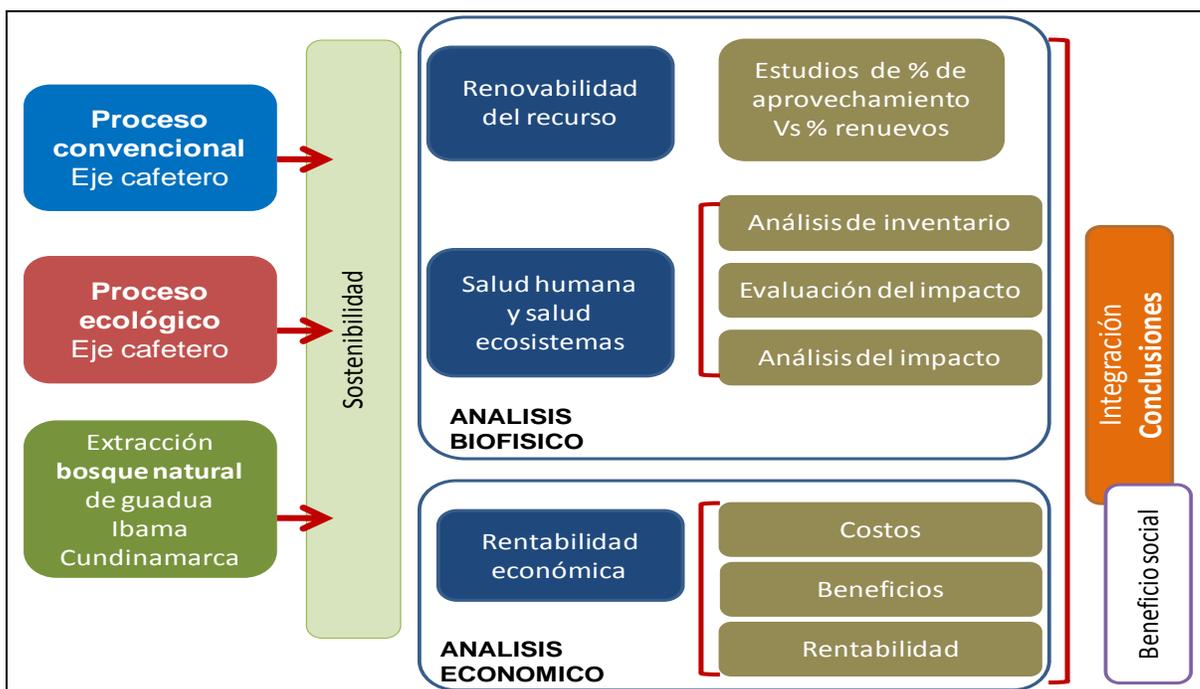


Figura 4. Esquema del proceso de análisis llevado a cabo para el estudio. Fuente: Autor.

<sup>45</sup> Morales, Tito. “Modelos de tratamiento silvicultural para la optimización de la rentabilidad financiera en el manejo y aprovechamiento sostenible de la guadua, región eje cafetero”, 2004.

En cuanto al componente económico se emplea la metodología de costo beneficio para obtener la tasa interna de retorno (TIR) y así calcular la rentabilidad económica<sup>46</sup>.

Si bien no se profundiza sobre el componente social se referencian los riesgos a la salud humana que se presentan en las diferentes actividades, analizadas en las evaluaciones ambientales, de acuerdo a la NTC OHSAS 18002 (ICONTEC:2009) y en las guías técnicas colombianas GTC45 (guía técnica para el diagnóstico de condiciones de trabajo o panorama de factores de riesgo, su identificación y valor)<sup>47</sup>, y GTC 3701 (Higiene y seguridad. Guía para la clasificación, registro y estadística de accidentes de trabajo y enfermedades profesionales). Así mismo se referencia la generación de empleo como aporte positivo al componente de sostenibilidad social.

Para finalizar se integran los tres parámetros (la renovabilidad del recurso, la rentabilidad económica y el cuidado a la salud de los ecosistemas y seres humanos)<sup>48</sup> con el fin de detectar los problemas que surgen en estas dimensiones y relacionarlas en una misma sostenibilidad.

### 3.1 ANÁLISIS AMBIENTAL DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS DE LA GUADUA

#### 3.1.1. Estudios de impacto ambiental en la salud humana y de los ecosistemas

En esta parte del estudio se aplica la metodología propuesta por la norma ISO 14040 que sugiere realizar un inventario de entradas y salidas relacionadas al sistema y evaluar los impactos ambientales potenciales asociados a estas. Posteriormente, se interpretan los resultados del inventario y las fases de impacto en relación con los objetivos de estudio. Todo esto en relación con los impactos en las reservas de los recursos naturales, la salud humana y la de los ecosistemas.

De manera detallada la metodología sigue el proceso sugerido en la norma, que a continuación se describe:

---

<sup>46</sup> Los datos obtenidos por Morales en su tesis sobre rentabilidad económica también se referencian en esta parte.

<sup>47</sup> En este caso se tomaron en cuenta “los factores de riesgo como todo elemento cuya presencia o modificación aumenta la posibilidad de producir un daño a quien está expuesto a él.” NTC45. Y se hizo referencia a los factores de riesgo químico y factores de riesgo biológicos (por el uso de estiércol en ocasiones no bien tratado)

<sup>48</sup> Los tres parámetros principales para una sostenibilidad integral según autores como Jiménez, Gallopin, Bermejo, Daly, entre otros, son la eficiencia económica, la estabilidad ecológica y la equidad social, en este caso no se presentan estudios sociales, se asume como el cuidado a la salud y la posibilidad de generar beneficios económicos que permitan generar empleo.

### 3.1.1.1. Definición del objeto y alcances

#### Objeto

Analizar el desempeño ambiental de tres sistemas de producción de guadua aplicando la metodología propuesta en las normas ISO 14040 e ISO 14041, con el fin de hacer un estudio comparado de impactos ambientales, eficiencia económica y riesgos a la salud humana.

#### Alcances

El objeto de estudio de este trabajo es de la especie *Angustifolia Kunth*. Los análisis sólo se realizan hasta la comercialización del insumo<sup>49</sup> y su transporte hasta Bogotá; no se incluye un estudio sobre las posibilidades de uso por resultar excesivamente amplias dadas sus múltiples aplicaciones, sin embargo es de anotar que según el tipo de tratamiento que se le ha dado al material durante su cultivo y proceso de transformación, este puede beneficiarse de una vida útil más larga o puede ser más o menos perjudicial al entorno en el momento de biodegradarse.

Para hacer el inventario de las entradas y salidas de cada proceso se toma como unidad funcional una hectárea de guadua, más adelante se especifican los datos que no se tomaron para este estudio.

El estudio se hizo con guadua de regiones montañosas, de clima húmedo, y las aguas que se utilizaron en su mayoría son de lluvia, escorrentías y otras del acueducto rural, las aguas servidas van a fosos sépticos o vertimientos directos a las quebradas, por ello no se consiguió información precisa sobre consumo y vertimientos al agua, para los cultivos se utiliza energía solar y humana por lo que no hay cuantificación de gastos energéticos ni emisiones al aire, razón por la cual se prefirió hacer una evaluación de tipo cualitativo, si bien se obtuvieron algunos datos, no se ingresaron a programas de modelación computarizado por no contar con datos fiables sobre su repercusión en este contexto específico<sup>50</sup>, solamente se

---

<sup>49</sup> Si bien se hace el análisis solo hasta la comercialización de la guadua, en la primera matriz de evaluación se incluyen comportamientos de uso y fin de vida útil de la guadua que ha sido utilizada en construcción arquitectónica.

<sup>50</sup> Los programas que se utilizan son para análisis de ciclo de vida y cuentan con una gran biblioteca de datos para valorar los impactos ambientales de procesos productivos, sus resultados se obtienen son llamados ecoindicadores y la unidad de medida son los milipuntos. Esta información que se obtiene esta basada en datos de comportamiento ambiental sea en diferentes países europeos o norteamericanos, se han hecho algunas contextualizaciones no suficientemente confiables, cuando se utilizan estos programas solo se logra visualizar el comportamiento general en cuanto a 8 impactos principales: eutrofización y acidificación, smog de invierno y de verano, cancerígenos, efecto invernadero, capa de ozono, ecotoxicidad, recursos orgánicos e inorgánicos.

ilustra en el anexo 4 una muestra de estas evaluaciones cuantitativas a modo de ejemplo.

#### 3.1.1.2. Análisis del inventario

La información acopiada para la realización de este estudio se obtuvo de diferentes fuentes, tales como:

- El director del Centro Nacional para el Estudio del Bambú-Guadua, en Córdoba Quindío. Jairo Jiménez, sus trabajos y sus asesorías.
- El director de la empresa Bambukindus. Juan Castellanos, Comercializadora de Guadua común y especial. Granja orgánica Pachamama
- El director de la empresa Induguadua, Raumar Gómez, Quindío.
- El arquitecto Iván Gómez, director de trabajos con guadua en la sede del SENA en Dosquebradas, Risaralda.
- Los ingenieros Carlos Orozco y Augusto Montoya, de la Universidad Tecnológica de Pereira, expertos en inmunizado y secado de la guadua, y sus múltiples artículos publicados sobre el tema.
- El ingeniero Rubén Darío Moreno. Subdirector Técnico Programa Bambú. CARDER y las publicaciones por él realizadas sobre el cultivo, los procesos, los aspectos económicos.
- El empresario Urdarico Moreno, guaduero de la región de Cundinamarca.
- El arquitecto Jorge Enrique Lozano Peña, director del proyecto: “Validación de la guadua Angustifolia como elemento estructural para diseño, por el método de esfuerzo admisible”, y de los miembros de su equipo de investigación: ingeniero civil Juan Carlos Cortés Cortés, técnico José Ignacio Moreno, experto del SENA en manejo de la guadua y la ingeniera forestal Ivonne Astrid Socha Ortiz.
- El agrónomo Fernando Burbano, experto en cultivos con productos orgánicos.

Se inició con el proceso convencional de sembrado y aprovechamiento de la guadua, la Tabla 3 de entradas y salidas, muestra el inventario de materiales, procesos y salidas de la producción de guadua.

De esta tabla se puede deducir que las salidas más críticas al ambiente son:

Los residuos de productos químicos como fertilizantes (úreas, potasio, fósforo, nitrógeno) y fitosanitarios (Lorsband y otros), los cuales afectan otras especies del

ecosistema, se generan vertimientos de nutrientes a las escorrentías aledañas ocasionando eutrofización; riesgos a la salud de los trabajadores y de la comunidad aledaña a las escorrentías intervenidas.

Tabla 3. Cuadro de análisis de entradas y salidas del proceso convencional.

CUADROS DE ANALISIS DE ENTRADAS Y SALIDAS PROCESO CONVENCIONAL		
ENTRADAS	ACTIVIDADES	SALIDAS
Chusquines, plásticos, bancos de propagación, urea, sulfato de potasio o el triple 15 y uso de plaguicidas, mano de obra calificada, herramientas, análisis de suelos, conocimientos especializados,	REPRODUCCIÓN Y PROPAGACIÓN Preparación terreno Nivelación, trazado, ahoyada, fertilización con químicos	Plántulas para siembra, materia orgánicas y fibras de trazado, estacas
Plántulas, nitrógeno, K <sub>2</sub> O, PO <sub>5</sub> agua, materia orgánica,	SIEMBRA abonos y fertilizantes químicos o múltiple	Plásticos de plántulas y empaques de fertilizantes, olores
N, p, k, materia orgánica, fitosanitarios (Lorsband o Furadan)	MANTENIMIENTO socas, limpias, desganche y entresacas	Materia orgánica, plásticos de empaques
Herramientas, mano de obra, combustible	APROVECHAMIENTO - CORTE POR SIERRA	Ruido, emisiones atmosfera, Materia orgánica, troncos de 6, 4 o 3 metros, varillones, algunas plantas averiadas por cortes
	AVINAGRADO	Savia al suelo, troncos sin azucares
Mulas, mano de obra,	TRANSPORTE por mula	Daño otras plantas
Mano de obra	SELECCIÓN GUADUA	Materia orgánica, guadua clasificada por calidades, para encargo o venta al deposito (menor calidad)
Trapo, agua, mano de obra	LIMPIEZA LÍQUENES	Material particulado, trapos, troncos limpios para inmunizar
Mano de obra, barra metálica	AHUECADO	Troncos con huecos para inmunizar
LORSBAN, FORMOL, diclorovinil, fungicidas a base de cobre, agua, mano de obra, piscina	INMUNIZACIÓN	Vertimientos de residuos peligrosos al agua y suelo, guadas inmunizadas. Olores
Estructuras de soporte, mano de obra	ESCURRIDO	Vertimientos de residuos peligrosos al agua y suelo, guadas inmunizadas. Olores
Carbón, agua, sistema de control computarizado, electricidad, camas, mano de obra especializada,	SECADO CAMARA CON CALDERA DE CARBÓN	Guadas secas con 12% de humedad, emisiones aire, gastos energéticos
Mano de obra	SELECCIÓN	Clasificar las guadas si hay defectos o torceduras por proceso calor, materia orgánica
Camión, diesel	TRANSPORTE CAMIÓN DE 50 ton	Emisiones al aire, gasto vías, material particulado
Herramientas, mano de obra	CONSTRUCCIÓN	Ruido, material particulado, residuos sólidos
Mano de obra, inmunización anual, Lorsban	MANTENIMIENTO DE LA CONSTRUCCIÓN	Daños a la salud de trabajador, empaques
Mano de obra	DESUSO	Residuos de troncos con sustancias químicas, posible toxicidad

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos investigados.

- La salida de empaques provenientes de la siembra de plántulas y de los empaques de las sustancias empleadas para la siembra y el mantenimiento, estos no son fácilmente degradables ni reutilizables debido a las sustancias allí

contenidas, por lo tanto es un riesgo de envenenamiento y deterioro del paisaje por residuos sólidos.

- El secado con carbón también ocasiona impactos negativos por las emisiones a la atmósfera, que están comprometiendo el calentamiento global y las escorias que quedan como residuo aumentan el problema de residuos sólidos al suelo.

• Tabla 4. Cuadro de análisis de entradas y salidas del proceso ecológico.

CUADRO DE ANALISIS DE ENTRADAS Y SALIDAS ECOLOGICO		
ENTRADAS	ACTIVIDADES	SALIDAS
Chusquines, plásticos, bancos de propagación, mano de obra calificada, herramientas, análisis de suelos, conocimientos especializados, suelos, cal dolomita,	REPRODUCCIÓN Y PROPAGACIÓN Preparación terreno Nivelación, trazado, ahoyada, fertilización	plántulas para siembra, materia orgánicas y fibras de trazado, estacas
Plántulas , agua, boro, gallinaza, porqueriza, materia orgánica, mano de obra, herramientas,	SIEMBRA abonos y fertilizantes orgánicos	Plásticos de plántulas y empaques de fertilizantes, olores
Herramientas, mano de obra, gallinaza, estiércol, materia orgánica, fitosanitarios (Piretroides y plantas )	MANTENIMIENTO socas, limpias, desganche y entresacas, fertilización de mantenimiento	Materia orgánica, plásticos de empaques
Herramientas, mano de obra,	APROVECHAMIENTO - CORTE POR MACHETE	Materia orgánica, troncos de 6 o 3 metros, varillones, algunas plantas
	AVINAGRADO	Savia al suelo, troncos sin azucares
Mulas, mano de obra,	TRANSPORTE por mula	
Mano de obra	SELECCIÓN GUADUA	Materia orgánica, guadua clasificada por calidades, para encargo o venta al deposito (menor calidad)
Trapo, agua, mano de obra	LIMPIEZA LÍQUENES	Material particulado, trapos, troncos limpios para inmunizar
Mano de obra, barra metálica	AHUECADO	Troncos con huecos para inmunizar
Acido bórico, bórax, agua, otros aditivos naturales, mano de obra,	INMUNIZACIÓN POR PENTABORATO	Vertimientos de pentaborato al agua y suelo, guaduas inmunizadas. Olores
Estructuras de soporte, mano de obra	ESCURRIDO	Vertimientos de pentaborato al agua y suelo, guaduas inmunizadas y sin excedente de sustancias
Gas natural. Cámara de gas, sistema de control computarizado, electricidad, camas, mano de obra	SECADO POR CAMARA DE GAS	Guaduas secas con 12% de humedad, emisiones aire, gastos energéticos
Mano de obra	SELECCIÓN	Guaduas clasificadas, se sacan si hay defectos o torceduras por calor,
Camión, diesel	TRANSPORTE CAMION 50 Ton	Emisiones al aire, gasto vías, material particulado
Herramientas, mano de obra	CONSTRUCCIÓN	Ruido, material particulado, residuos
Mano de obra, posible inmunizador	MANTENIMIENTO	
Mano de obra	DESUSO	Residuos de materia biodegradable, material particulado, escombros

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos investigados.

En el proceso ecológico (Tabla 4) se emplean fertilizantes de materiales orgánicos como gallinaza, porquinaza, estiércol de vaca, humus de lombricultura y materia orgánica, aparentemente más beneficiosos al ambiente, sin embargo las grandes cantidades que se necesitan (ver tabla 7) para suministrar el potasio y nitrógeno requerido por las plantas, la falta de control y calidad del producto fertilizante y el transporte requerido elevan las cargas negativa ambientales (Corrales:2000). Para la inmunización, a diferencia del otro proceso que emplea sustancias toxicas y peligrosas, éste emplea bórax y acido bórico, sustancias que a pesar de ser

toxicas son aprobadas por la OMS si no sobrepasan una proporción de 5mg/L. Cambia la energía utilizada en el secado es por gas propano y ocasiona emisiones al aire sin embargo no tantas como con carbón, el gas resulta más eficiente y eficaz como combustible<sup>51</sup>.

El proceso por aprovechamiento de guadua proveniente del bosque natural, cuenta con menos entradas y salidas que los otros dos procesos ya que no hay ni siembra ni mantenimiento del cultivo, los puntos críticos se evidencian en la inmunización, el secado y el procesamiento de las láminas; en este último paso, según los análisis que se hicieron en la Universidad Nacional, se pierde aproximadamente un 54% de material en el laminado de la guadua<sup>52</sup>, (Tabla 5). El secado para este proceso es eléctrico y poco eficiente (ver tabla 8, 5 días de proceso continuo de secado).

Tabla 5. Cuadro de análisis de entradas y salidas del proceso extracción de bosque natural.

CUADROS DE ANÁLISIS DE ENTRADAS Y SALIDAS BOSQUE NATURAL		
ENTRADAS	ACTIVIDADES	SALIDAS
Personal calificado, marcas para troncos	SELECCIÓN DE LOTES Y DE PLANTAS A CORTAR	Definición de arboles a cortar por edad y condiciones
Mano de obra, herramientas,	PREPARACIÓN CORTE desganche y entresacas	Materia orgánica, necro masa,
Mano de obra, herramientas,	APROVECHAMIENTO - CORTE POR MACHETE	Daño vegetación cercana, troncos con las medidas necesarias, materia
	AVINAGRADO	Troncos sin celulosa, vertido al duelo de savia
Mano de obra, mula	TRANSPORTE por mula	Posibles daños de mulas y troncos por sacar los troncos del bosque
Personal calificado	SELECCIÓN GUADUA	Materia orgánica, desechos biodegradables
Mano de obra, trapo, agua	LIMPIEZA LÍQUENES	Tropos, material particulado,
Herramienta electro mecánica de corte, mano de obra	CORTE LONGITUDINAL en 8 partes	Ruido, material particulado, astillas
Herramienta mecánica eléctrica	CORTE ENTRENUDOS	Ruido, material particulado, astillas
Mano de obra	SELECCION DE MATERIAL	Residuos sólidos
Pentaborato, agua, mano de obra	INMUNIZACIÓN POR PENTABORATO	Vertimiento aguas y suelos de pentaborato y sales
Mano de obra	ESCURRIDO	Vertimiento aguas y suelos de pentaborato y sales
Planeadora, energía, mano de obra	DEBASTADO DE LISTONES	Ruido, material particulado, astillas
Mano de obra	SELECCIÓN DE LISTONES	Residuos sólidos
Gas, cámara, electricidad, sistema de control computarizado, personal	SECADO POR CAMARA DE GAS	Emisiones atmosféricas, gasto elect
Diesel, lubricantes, llantas	TRANSPORTE CAMION 50	Emisiones atmosféricas, gasto vías
Formaldehído, personal especializado	PEGADO	Emisiones al aire, Residuos empaques
Prensa	PRENSADO	
Cartón, ganchos y cinta	EMPAcado	Residuos cartonés , ganchos

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos investigados.

<sup>51</sup> Se efectuó revisión de tablas de evaluación de impactos ambientales de procesos para producir calor de programas de evaluación de ciclo de vida de productos Simapro 7.0, Eco-it, Umberto.

<sup>52</sup> Datos obtenidos en el taller de carpintería de la Facultad de Artes de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, como parte de los estudios de la investigación sobre guadua laminada, dirigida por el profesor Jorge Lozano (2008).

La información unificada sobre los datos de entrada con cantidades de insumos, así como de su significancia ambiental para cada uno de los procesos estudiados en este trabajo se presenta en las Tabla 6, 7 y 8. Sin embargo, no se hace una cuantificación de las salidas, por falta de confiabilidad y precisión de los datos disponibles.

A nivel general, en los tres procesos es posible estimar que en la obtención de los troncos para comercializar un 20% de la planta es materia orgánica<sup>53</sup>.

Se considera que después de pasar por los procesos de avinagrado, inmunización y secado, el tronco puede aumentar su vida útil de quince años a cincuenta años, siempre y cuando se observe el adagio popular de construir con “buenas botas y buen sombrero”, es decir, protegida de la humedad gracias al no contacto con el suelo y buena protección del sol y de la lluvia.

Tabla 6. Información unificada sobre cantidades de insumos y significancia ambiental para proceso convencional.

REALIZADO POR	autor	FECHA	2009		
PROCESO	CONVENCIONAL				
DESCRIPCION DEL PROCESO	cultivo con sustancias toxicas, inmunización con piretríodes para 1600 piezas por ha secado con camara de carbón				
INSUMOS DE MATERIAL	UNIDADES	CANTIDAD	ORIGEN	DESCRIPCIÓN	SIGNIFICANCIA
fitosanitarios	kg	6			media
fertilizantes NPK	kg	450		siembra y mantenimiento	media
insecticidas con furadan	kg	2		productos quimicos toxicos	media
sulfato potasio	kg	150	importados	inmunizado, toxicos	media
plantulas	unidad	400	local		positiva
				durante uso	
<b>CONSUMO DE AGUA</b>					
inmunización	lt	10000	local	escorrentia	
limpieza líquenes			local	escorrentia	
siembra			local	escorrentia	
<b>CONSUMO ENERGÍA</b>					
carbón	ton	2	nacional	salen cenizas y escoria y emisiones	medio
electricidad					bajo
<b>SALIDA DE MATERIAL</b>					
plasticos de plantulas	kg	4	nacional	quedan en tierra, degradan paisaje	bajo
envases y costales	unidades	15	nacional	peligro, problema paisaje	bajo
aguas con residuos				vertimientos agua y suelo de inmunizado	media
materia organica		600		cortes	

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos investigados y tomando como ejemplo los formatos de significancia del Sistema de Gestión Ambiental ISO 14000. ICONTEC.

<sup>53</sup> Información obtenida en comunicación personal con la ingeniera forestal Ivonne Astrid Socha Ortiz quien trabaja en el proyecto sobre guadua laminada, que adelanta la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá,

Tabla 7. Información unificada sobre cantidades de insumos y significancia ambiental para proceso ecológico.

REALIZADO POR		Autor Sandra Burbano		FECHA		2009	
PROCESO							
ECOLOGICO							
DESCRIPCION DEL PROCESO				siembra con materia organica, inmunización con pentaborato, secado con camara de gas			
para 1600 piezas de guadua por ha							
INSUMOS DE MATERIAL	UNIDADES	CANTIDAD	ORIGEN	DESCRIPCIÓN	SIGNIFICANCIA		
control fitosanitario, piretro	kg	4000	zona	para siembra y mantenimiento	media		
fertilizante	kg	14500	zona	gallinaza, porquinaza	media		
plasticos	kg	4	nacional	para siembra de plantulas	baja		
insecticida,	lt	10	nacional	fitosanitarios	baja		
Roca fosforica	kg	120	nacional	parasiembra	media		
acido borico	lt	170	importado	para inmunización	media		
borax	lt	170	importado	para inmunización	media		
<b>CONSUMO DE AGUA</b>							
inmunización	lt	1300		inmunización	baja		
siembra							
limpieza liquenes							
<b>CONSUMO ENERGÍA</b>							
gas	lt			50 C temperatura 2 días			
electricidad				para control	no		
<b>SALIDA DE MATERIAL</b>							
materia organica	porcentaje	30%		de cortes	baja		
agua con pentaborato y residuos					alta		
plasticos de plantulas	kg	4		poliestileno negro	media		
plasticos de envases fertiliz	unidades	10 y 250	costales	costales o envases de fertilizantes	media		
				insecticidas, fitosanitarios			

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos investigados y tomando como ejemplo los formatos de significancia del Sistema de Gestión Ambiental ISO 14000. ICONTEC.

Tabla 8. Información unificada sobre cantidades de insumos y significancia ambiental para el proceso de aprovechamiento de bosque natural.

REALIZADO POR				FECHA		2009	
PROCESO							
NATURAL							
DESCRIPCION DEL PROCESO				explotación de bosque natural y laminación de los culmos			
para 800 piezas por ha							
INSUMOS DE MATERIAL	UNIDADES	CANTIDAD	ORIGEN	DESCRIPCIÓN	SIGNIFICANCIA		
acido borico	lt	170	nacional	mezcla con agua	medio		
borax	lt	170	nacional	porcentaje permitido por OMS	medio		
<b>CONSUMO DE AGUA</b>							
de quebrada	lt	10000		para inmunización	bajo		
<b>CONSUMO ENERGÍA</b>							
maquinaria	kw/h		hidroelectrico	para lateado laminado y pulido	alto		
secado	kw/h		hidroelectrico	5 días de proceso continuo	alto		
<b>SALIDA DE MATERIAL</b>							
materia particulada	porcentaje	60%	del material	puede ser como MO u otros usos	media		
residuos de inmunización				van a escorrentia o pozo séptico	alta		

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos investigados y tomando como ejemplo los formatos de significancia del Sistema de Gestión Ambiental ISO 14000. ICONTEC.

### 3.1.1.3. Evaluación del impacto

Con base en la información anterior se establecen los efectos y los impactos, positivos y negativos, y luego se relacionan con los impactos a la salud de los ecosistemas, a la salud humana y la afectación a los recursos naturales en cuanto a la calidad o disminución del recurso. Para ello se construyeron las tablas de matriz causa-efecto-impacto de cada uno de los procesos, que se presentan a continuación (Tablas 9, 10 y 11), y la explicación sobre su desarrollo se encuentra en el anexo 1.

Los impactos que se ocasionan a los recursos naturales corresponden a la disminución de la biodiversidad de las reservas forestales y disminución del recurso agua, en los dos casos de plantaciones, si lo que había anteriormente era un bosque natural o plantaciones mixtas, si por el contrario lo que se encontraba eran pastizales para ganadería, los ecosistemas ganan en servicios ambientales.

Los impactos a la salud de los ecosistemas corresponden al deterioro por contaminación, en este caso los procesos de siembra con químicos, y los procesos de inmunización de los procesos convencionales, son puntos críticos para el suelo y el recurso hídrico, en el proceso de bosque natural, en su proceso de laminado y pegado de las láminas<sup>54</sup> hay emisiones al aire principalmente por material particulado y gases tóxicos al aire y en todos los procesos el uso de transporte poco eficiente debido a las malas condiciones de las vías y las medidas legales de transporte<sup>55</sup> hacen que sean los puntos más críticos en este ítem. Además, existen otras consideraciones en cuanto al proceso ecológico, pues el uso de fertilizantes naturales, un factor en apariencia ambientalmente positivo, ocasiona un incremento en malos olores, gas metano y sobreproducción de nutrientes que producen percolación en las fuentes de agua circunvecinas, ya que para compensar los niveles de potasio y nitrógeno se necesitan cantidades considerablemente mayores de fertilizante<sup>56</sup> (32 veces más; Tabla 6 y 7).

---

<sup>54</sup> El proceso más eficiente es con urea formaldehído, sustancia prohibida por la OMS, la siguiente en eficiencia es con melanina la cual también presenta problemas a la salud humana.

<sup>55</sup> Los vehículos de 9 toneladas solo les es permitido llevar como máximo 3 m<sup>3</sup> de guadua, desperdiciando así más de un 50% de la capacidad del camión.

<sup>56</sup> Los fertilizantes a base de gallinaza mejoran las propiedades químicas, físicas y estructurales del suelo, lo hace más resistente a la erosión, retiene mejor el agua y se utilizan subproductos, haciendo reciclaje de productos. Sin embargo, si está fresca quema raíces, expone olores muy fuertes, asfixiantes, genera eutrofización y posiblemente hay transmisión de enfermedades zoonóticas, si no se hace un buen tratamiento en su proceso. (Corrales 2000)

Tabla 9. Matriz causa-efecto-impacto para el proceso convencional.

MATRIZ CAUSA - EFECTO - IMPACTO PROCESO CONVENCIONAL					
ACTIVIDAD	EFECTO	IMPACTO	SALUD ECOSISTEMAS	RECURSOS NATURALES	SALUD HUMANA
SELECCIÓN DEL TERRENO Y ADECUACIÓN DEL LOTE	CONFLICTO USO DEL SUELO, HABITAT DE OTRAS ESPECIES	SOBRE UTILIZACIÓN DE SUELO, DISMINUCIÓN BIODIVERSIDAD	+ -	-	
SIEMBRA	USO DE QUIMICOS, VERTIMIENTO DE SUSTANCIAS PELIGROSAS AL SUELO NUEVAS COBERTURAS EN SUELOS DESPROTEGIDOS	DISMINUCIÓN BIODIVERSIDAD, RECUPERACIÓN DE AREAS, CONTAMINACIÓN DE SUELOS, TOXICIDAD	- -	+	- -
MANTENIMIENTO DEL GUADUAL	ALTERACIÓN FAUNA Y FLORA, PELIGRO SALUD OPERARIOS	DISMINUCIÓN BIODIVERSIDAD, POSIBLES ACCIDENTES LABORALES	+ -	+	- -
CORTE-APROVECHAMIENTO	DAÑO FLORA Y FAUNA, MEJORAMIENTO DE LUZ Y CALIDAD DE LAS PLANTAS	DISMINUCIÓN BIODIVERSIDAD, POSIBLES ACCIDENTES LABORALES, MEJOR CALIDAD DEL RECURSO	+ -	+	-
INMUNIZADO	VERTIMIENTOS DE QUIMICOS AL AGUA Y SUELO, DAÑO FLORA Y FAUNA, MALOS OLORES, RIESGO SALUD OPERARIOS	CONTAMINACIÓN AGUA, SUELO, AIRE, ECOTOXICIDAD, RIESGO A LA SALUD HUMANA	- -	-	- -
SECADO	USO DE CARBÓN, EMISIONES AL AIRE, GENERACIÓN DE ESCORIA, GASTO ENERGÉTICO	CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA, CONTAMINACIÓN SUELO	-	-	-
TRANSPORTE	EMISIONES AIRE, DAÑO MALLA VIAL,	CONTAMINACIÓN AIRE	-		-
CONSTRUCCIÓN	USO DE SUSTANCIAS PELIGROSAS, INTOXICACIONES SER HUMANO Y FAUNA	RIESGO SALUD HUMANA Y FAUNA			-
FINDE VIDA UTIL	RESIDUOS DE MATERIALES CON SUSTANCIAS TOXICAS	RIESGOS A SALUD HUMANA, CONTAMINACIÓN SUELO	-	-	-

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos investigados.

Tabla 10. Matriz causa-efecto-impacto para el proceso ecológico.

MATRIZ CAUSA - EFECTO - IMPACTO PROCESO BOSQUE NATURAL Y LAMINADO					
ACTIVIDAD	EFECTO	IMPACTO	SALUD ECOSISTEMAS	RECURSOS NATURALES	SALUD HUMANA
SELECCIÓN DEL TERRENO Y CORTE	DAÑO FLORA Y FAUNA, MEJORAMIENTO DE LUZ Y CALIDAD DE LAS PLANTAS, ACCIDENTES LABORALES	DISMINUCIÓN BIODIVERSIDAD, MEJORA ESTRUCTURA BOSQUE, RIESGO TRABAJADORES	+ -	+	- -
INMUNIZADO	VERTIMIENTOS DE SUSTANCIAS Y MICROELEMENTOS AL AGUA Y SUELO, DAÑO FLORA Y FAUNA, MALOS OLORES, RIESGO SALUD OPERARIOS	EN MENOR ESCALA, CONTAMINACIÓN AGUA, SUELO, AIRE, RIESGO SER HUMANO	-	-	-
LATEADO	RUIDO, GASTO ENERGÉTICO, MATERIAL PARTICULADO Y RESIDUOS SOLIDOS	CONTAMINACIÓN AIRE Y SUELO			-
TRANSPORTE	EMISIONES AIRE, DAÑO MALLA VIAL,	CONTAMINACIÓN AIRE	-		-
LAMINADO	RUIDO, GASTO ENERGÉTICO, MATERIAL PARTICULADO Y RESIDUOS SOLIDOS	CONTAMINACIÓN AIRE Y SUELO	-		-
SECADO	USO DE GAS, GASTO ENERGÉTICO	EMISIONES AL AIRE,	-	-	-
PEGADO	USO DE SUSTANCIAS PELIGROSAS	DAÑO A LA SALUD, GASTO ENERGÉTICO	- -		- -
CONSTRUCCIÓN	GASTO ENERGÉTICO,				
FINDE VIDA UTIL	RESIDUOS BIODegradables, CORTA VIDA UTIL	ESCOMBROS BIODegradables	-	-	- -

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos investigados.

Tabla 11. Matriz causa-efecto-impacto para el proceso de extracción del bosque natural.

MATRIZ CAUSA - EFECTO - IMPACTO PROCESO BOSQUE NATURAL Y LAMINADO					
ACTIVIDAD	EFECTO	IMPACTO	SALUD ECOSISTEMAS	RECURSOS NATURALES	SALUD HUMANA
SELECCIÓN DEL TERRENO Y CORTE	DAÑO FLORA Y FAUNA, MEJORAMIENTO DE LUZ Y CALIDAD DE LAS PLANTAS, ACCIDENTES LABORALES	DISMINUCIÓN BIODIVERSIDAD, MEJORA ESTRUCTURA BOSQUE, RIEZGO TRABAJADORES	+ -	+	- -
INMUNIZADO	VERTIMIENTOS DE SUSTANCIAS Y MICROELEMENTOS AL AGUA Y SUELO, DAÑO FLORA Y FAUNA, MALOS OLORES, RIESGO SALUD OPERARIOS	EN MENOR ESCALA, CONTAMINACIÓN AGUA, SUELO, AIRE, RIESGO SER HUMANO	-	-	-
LATEADO	RUIDO, GASTO ENERGÉTICO, MATERIAL PARTICULADO Y RESIDUOS SOLIDOS	CONTAMINACIÓN AIRE Y SUELO			-
TRANSPORTE	EMISIONES AIRE, DAÑO MALLA VIAL,	CONTAMINACIÓN AIRE	-		-
LAMINADO	RUIDO, GASTO ENERGÉTICO, MATERIAL PARTICULADO Y RESIDUOS SOLIDOS	CONTAMINACIÓN AIRE Y SUELO	-		-
SECADO	USO DE GAS, GASTO ENERGÉTICO	EMISIONES AL AIRE,	-	-	-
PEGADO	USO DE SUSTANCIAS PELIGROSAS	DAÑO A LA SALUD, GASTO ENERGÉTICO	- -		- -
CONSTRUCCIÓN	GASTO ENERGÉTICO,				
FINDE VIDA UTIL	RESIDUOS BIOODEGRADABLES, CORTA VIDA UTIL	ESCOMBROS BIODEGRADABLES	-	-	- -

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos investigados.

Después de realizar las entrevistas con los profesionales y expertos en el tema de producción de guadua (que están referenciados en el aparte 3.1.1.2 de este trabajo), se sistematizaron los datos de las anteriores tablas y se elaboraron las Tablas 12, 13 y 14 que son las matrices globales causa-efecto de identificación y valoración de impacto ambiental de acuerdo al método Leopold, con importancia definida, las cuales fueron el resultado de 6 matrices realizadas con los expertos, el procedimiento empleado se explica en el anexo 1. La matriz causa –efecto toma en cuenta los procesos a lo largo del ciclo de vida y se confrontaron con los factores ambientales de tipo físico y socioeconómico.

Estas matrices corroboran las valoraciones antes citadas, evidencian que si bien los impactos negativos no son altos en ninguno de los procesos, a excepción del uso de formaldehidos para la elaboración de los paneles y vigas laminados en el proceso de bosque natural.

Las actividades con mayor impacto negativo en el proceso convencional corresponden a las relacionadas con la inmunización, tanto en el proceso inicial de alistamiento de la materia prima, como en el mantenimiento durante el uso, ya que es necesario inyectar sustancias toxicas a la guadua anualmente. Las otras actividades con impacto negativo son el secado, la fertilización y los diferentes transportes utilizados para la obtención y acercamiento de la materia prima al lugar de destino, este impacto se evidencia en los tres procesos. Se marca también negativo en el transporte el aspecto de disminución del ingreso ya que esta actividad resulta demasiado costosa e ineficiente.

En cuanto al proceso ecológico se valora como impacto bajo el hecho de generar monocultivos al generar plantaciones especializadas, y alcanza a ser ligeramente

significativo el impacto de la inmunización de las guaduas ya que, a pesar de ser un proceso aprobado por la comunidad como más “ecológico”, se han evidenciado daños en los ecosistemas lacustres próximos a las zonas de tratamiento.

En el aprovechamiento del gradual natural inicialmente no se presentan problemas, hasta la extracción, se calcula corte con sierra manual incrementando impactos y el transporte en la zona es aún más complejo por los reducidos espacios entre las guaduas, la inmunización presenta problemas y el impacto más significativo es el armado de los paneles con urea formaldehído.

Tabla 12. Matriz causa-efecto para el proceso convencional (método modificado de Leopold).

IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES EN EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE GUADUA COMO INSUMO POR METODO CONVENCIONAL																				
MATRIZ GLOBAL CAUSA- EFECTO DE IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE IMPACTO S AMBIENTALES METODO LEOPOLD CON IMPORTANCIA DEFINIDA																				
ASPECTOS AMBIENTALES			ACTIVIDADES																	
SISTEMA	SUBSISTEMA	COMPONENTE	REPRODUCCIÓN Y PROPAGACIÓN Preparación terreno Nivelación, trazado, ahoyado, fertilización con químicos (urea, cloruro de potasio o el triple 15)	SIEMBRA: abonos y fertilizantes químicos o múltiple	DESARROLLO: socas, limpias, desganche y entresacas	APROVECHAMIENTO - CORTE POR SIERRA ELECTRICA	AVINAGRADO	TRANSPORTE por mula	SELECCIÓN GUADUA	LIMPIEZA LIQUENES	AHUECADO	INMUNIZACIÓN LORSBAN, FORMOL	ESCURRIDO	SECADO CAMARA CON CALDERA DE CARBÓN	SELECCIÓN	TRANSPORTE CAMIÓN DE 50 ton	CONSTRUCCIÓN	MANTENIMIENTO	DESUSO	
FISICO	SOSTENIMIENTO O INTERCAMBIO BIO	ATMOSFERA					NA	NA	NA	NA	NA				NA		NA	NA		
		EDAFORA					NA	NA	NA	NA	NA				NA		NA	NA		
		HIDROSFERA				NA	NA	NA	NA	NA	NA			NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	BIOTICO	FLORA (macro-micro)				NA	NA	NA	NA	NA	NA				NA		NA	NA	NA	NA
		FAUNA (macro-micro)						NA	NA	NA	NA				NA		NA	NA	NA	NA
SOCIO-ECONOMICO-CULTURAL	PERCEPTUAL	UNIDADES DE PAISAJE	NA			NA	NA	NA	NA	NA	NA			NA	NA			NA		
	SOCIO-CULTURAL	TERRITORIO		NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		CULTURA		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		INFRAESTRUCTURA	NA	NA	NA	NA	NA			NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		TALENTO HUMANO	NA	NA	NA	NA	NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA			NA
	ECONOMICO	ECONOMIA					NA													NA
		POBLACION	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
CONVENCIONES																				
			ALTO NEGATIVO																	
			MEDIO NEGATIVO																	
			BAJO NEGATIVO																	
			MEDIO POSITIVO																	
			ALTO POSITIVO																	
			NA																	
			NO APLICA																	



Tabla 14. Matriz causa-efecto para el proceso extracción bosque natural (método modificado de Leopold).

IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES EN EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE GUADUA LAMINADA POR METODO BOSQUE NATURAL CON EXPLOTACIÓN SILVICULTURA																						
MATRIZ GLOBAL CAUSA- EFECTO DE IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES METODO LEOPOLD CON IMPORTANCIA DEFINIDA																						
ASPECTOS AMBIENTALES			ACTIVIDADES																			
SISTEMA	SUBSISTEMA	COMPONENTE	SELECCIÓN DE LOTES Y DE PLANTAS A CORTAR	DESARROLLO socas, limpias, desgancho y entresacas	APROVECHAMIENTO - CORTE POR MACHETE	AVINAGRADO	TRANSPORTE por mula	SELECCIÓN GUADUA	LIMPIEZA LIQUENES	CORTE LONGITUDINAL en 8 partes	CORTE ENTRENUDOS	SELECCIÓN DE MATERIAL	INMUNIZACIÓN POR PENTABORATO	ESCURRIDO	DEBASTADO DE LISTONES	SELECCIÓN DE LISTONES	SECA DO POR CAMARA DE GAS	TRANSPORTE CAMION 50 ton	PEGADO	PRENSADO	EMPACADO	
FISICO	SOSTENIMIENTO O INTERCAMBIO BIOC	ATMOSFERA	NA			NA	NA	NA	NA			NA			NA	NA				NA	NA	
		EDASFORA	NA															NA	NA	NA	NA	
		HIDROSFERA			NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA				NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	BIOTICO	FLORA (macro-micro)				NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA		NA		NA	NA			NA	NA	NA
		FAUNA (macro-micro)				NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA				NA	NA					
SOCIO-ECONOMICO-CULTURAL	PERCEPTUAL	UNIDADES DE PAISAJE	NA			NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA				NA	NA	NA		
		TERRITORIO				NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA				NA	NA	NA	
	SOCIO-CULTURAL	CULTURA	NA	NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		INFRAESTRUCTURA	NA	NA	NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		TALENTO HUMANO				NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA		NA	NA	NA
	ECONOMICO	ECONOMIA				NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA		NA	NA	NA
		POBLACION	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		<b>CONVENCIONES</b>																				
			ALTO NEGATIVO																			
			MEDIO NEGATIVO																			
			BAJO NEGATIVO																			
			MEDIO POSITIVO																			
			ALTO POSITIVO																			
			NO APLICA																			

### 3.1.1. Renovabilidad del recurso guadua

Para este proceso se toma como base el estudio de Morales (2004), donde se utilizan métodos de análisis multivariados, de covarianza, de varianza multivariado, cadenas de Markov y dinámica de sistemas para modelar el comportamiento de la estructura de los guaduales<sup>57</sup>, definió cómo puede ser intervenido un rodal de guadua de forma sostenible.

Se analizó el comportamiento de dos tipos de rodales: uno estructurado, con manejo silvicultural, y otro, de bosque natural. En ambos casos se estudió el total de tallos en pie en periodos de tres, seis y nueve meses y se modeló el comportamiento de la estructura con el mismo régimen de aprovechamiento después de diez años. Conjugó factores de fertilización con intensidades de aprovechamiento del 12%, 25% y 50% sobre el total de guaduas adultas de cada unidad experimental<sup>58</sup>. Por último, estimó el porcentaje de regeneración mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{Regeneración} = \frac{100 \times \text{Renuevos nuevos}}{\text{Total de tallos aprovechados}} \quad (1)$$

donde el total de tallos aprovechados incluye los tallos secos cortados.

Morales (2004) destaca los siguientes resultados:

- El aprovechamiento de los rodales aumenta la dinámica de los guaduales y mejora regeneración de brotes<sup>59</sup>, debido a que se estimula al sistema para conservar el equilibrio natural y así mismo mejora los espacios.
- La estructura de un rodal presenta un 67% de tallos maduros y el resto es de renuevos y de guaduas verdes, sobre maduras y secas.
- Áreas con mayor densidad y menor porcentaje de pendiente tienen más alta producción de renuevos.

---

<sup>57</sup> Áreas de estudio en el eje cafetero y al norte del valle del Cauca, muestreo sistemático en dos etapas en rodales de guadua *Angustifolia* y en una hectárea en un bosque natural de guadua ubicado en el municipio de Montenegro.

<sup>58</sup> La unidad experimental utilizada fue de 54 parcelas de 8mx8m, con área de amortiguación de 2m.

<sup>59</sup> La producción promedio, según estimaciones, paso de 267 tallos por hectárea a 949 tallos por hectárea.

- La mayor cantidad de renuevos se obtiene para una de intensidad de corte del 12% de las guaduas maduras (que es la más baja entre los estudios realizados).
- La fertilización beneficia el brote de renuevos y disminuye la tasa de mortalidad de éstos.
- Los guaduales tienden a equilibrar su población con la producción de renuevos y el aprovechamiento que se hace del bosque, el sistema tiende a conservar las mismas características del bosque no intervenido.
- En las condiciones extremas experimentadas se evidenció, con el tiempo, una tendencia a la estabilidad. Sin embargo la estabilidad ambiental se sacrificaba y los terrenos podían quedar desprotegidos al agua y al viento.
- Los análisis de residuos no evidenciaron problemas importantes.

### 3.2. ANÁLISIS ECONÓMICO

Se analizan tres escenarios de extracción: convencional, ecológico y de bosque natural, con las siguientes intensidades de aprovechamiento: a) 3288 piezas de cuatro metros, es decir un aprovechamiento del 50% por hectárea por cultivo, (Morales, 2004; 97); b) 1600 piezas de cuatro metros, valor que corresponde a un aproximado del óptimo estimado de aprovechamiento; c) 1000 piezas de cuatro metros, que es el promedio ponderado de lo que obtienen actualmente por hectárea los guadueros. Para el análisis del bosque natural, debido a la calidad de los troncos y la cantidad de culmos secos que no se pueden vender, se analizaron tres intensidades de extracción: 1600, 800 y 500 piezas de cuatro metros, respectivamente.

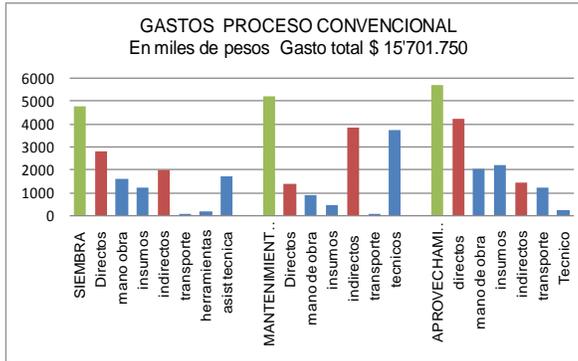
Tabla 15. Escenarios de explotación.

CANTIDAD DE PIEZAS DE 4 METROS		
CONVENCIONAL	ECOLOGICO	BOSQUE NATURAL
3288	3288	1600
1600	1600	800
1000	1000	500

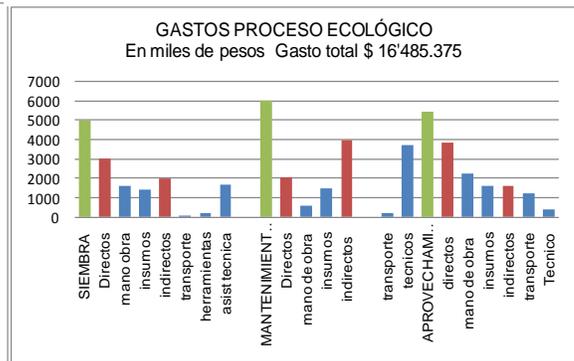
Los datos del estudio se obtuvieron de los costos directos e indirectos (cifras expresadas en pesos del 2009), para el establecimiento, mantenimiento y aprovechamiento de una plantación de una extensión de una hectárea, ya sea

realizada mediante un proceso de producción convencional, ecológico o directamente de extracción de bosque natural de guadua. (Gráficos 1, 2, 3, 4).

**Gráfico 1.** Costos de producción para el proceso convencional

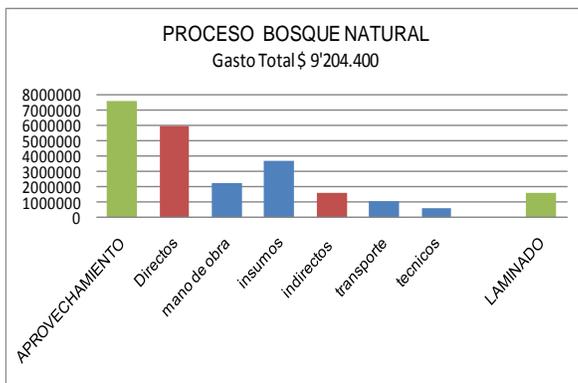


**Gráfico 2.** Costos de producción para el proceso ecológico.

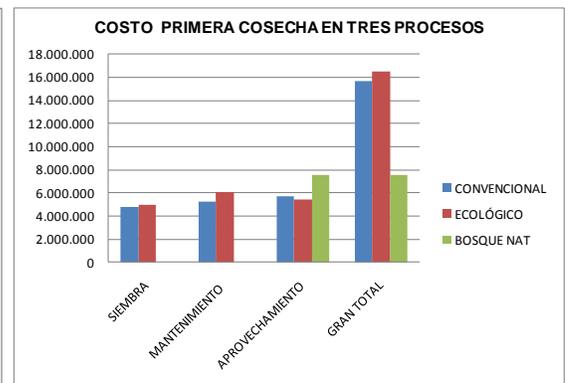


Fuente: Elaboración propia, a partir de la información suministrada por empresarios y expertos.

**Gráfico 3.** Costos directos e indirectos en el proceso de extracción de bosque natural.



**Gráfico 4.** Costos directos e indirectos en cada una de las fases de los tres procesos de obtener guadua para construcción.



Fuente: Elaboración propia, a partir de la información suministrada por empresarios y expertos.

Los gráficos anteriores muestran que en las fases de siembra y mantenimiento el proceso ecológico resulta ser el más costoso, lo que es debido a la cantidad de fertilizantes y el transporte necesarios en estas tareas.

Para la fase de aprovechamiento, se puede apreciar que, el proceso ecológico es el menos costoso, debido al proceso de inmunización con boro y al sistema de secado, y el mayor costo corresponde al del bosque natural, debido a la dificultad de extraer los troncos, el incremento en el costo del transporte por el mal estado de las vías, y al uso de energía eléctrica para el secado de las piezas.

Los cultivos tienen una demanda promedio de 200 jornales por hectárea para todo el proceso, desde la siembra hasta el primer aprovechamiento. Para el caso de la extracción de la guadua del bosque natural el número de jornales es aproximadamente 90.

La estimación de los ingresos se hizo con base en el valor de venta de las piezas de guadua, sea por guadua sencilla o por guadua procesada, con inmunización y secado. La Tabla 16 muestra los datos de las ventas ponderadas, de acuerdo con la información suministrada por guadueros y dueños de depósitos de materiales.

Tabla 16. Piezas aprovechadas por hectárea y costo de piezas a la venta, en finca y en depósito (cifras en pesos colombianos del 2009).

Cantidad de piezas vendidas	Precio unidad de piezas en finca	Utilidades total piezas vendidas	Precio unidad inmunizadas y secadas	Utilidad total piezas inmunizada y secada
3288	2500	8.220.000	13000	42.744.000
1600	2500	4.000.000	13000	20.800.000
1000	2500	2.500.000	13000	13.000.000
1600	250	400.000	13000	20.800.000
800	250	200.000	13000	10.400.000
500	250	125.000	13000	6.500.000

Fuente: Elaboración propia, con base en la información suministrados por guadueros y expertos.

El costo por unidad de guadua, obtenida de un cultivo y vendida en la finca es de \$2.500, mientras que la de bosque natural es de \$250. El precio de pieza de guadua inmunizada y secada asciende a \$13.000, independientemente de su procedencia.

La Tabla 17 resume las ganancias obtenidas en función de la cantidad de piezas vendidas. De la segunda a la cuarta columna se indican las ganancias obtenidas en el caso del cultivo convencional, para el finquero (con y sin considerar los costos de siembra<sup>60</sup> para una cosecha que se da cada 18 meses) y la ganancia del guaduero. Luego, siguiendo el mismo orden, se muestran los valores obtenidos para el caso de un cultivo por proceso ecológico. Las dos últimas columnas corresponden a las ganancias del finquero y del guaduero para explotación de bosque natural.

Esta tabla evidencia la baja retribución económica que recibe el finquero cuando se tiene en cuenta la inversión inicial que requiere el establecimiento del cultivo. Además, para el caso del aprovechamiento sin incluir los costos de la siembra, se generan pocas ganancias para los meses de cosecha, lo que evidencia que se

<sup>60</sup> Pues una vez hecha la siembra inicial no es necesario incurrir en estos gastos nuevamente.

debe vender más del 25% de aprovechamiento de la guadua, y se necesita la explotación de otras hectáreas u otros cultivos para complementar los ingresos. Por el contrario, para el guaduero es un buen negocio, pues obtiene ganancia, sin importar el tipo de proceso que escoja y puede fácilmente contratar varias cosechas en diferentes fincas durante un año, solamente resulta sin ganancia cuando hace un aprovechamiento de 500 guadas de bosque natural.

Tabla 17 Cuadro ganancias obtenidas tanto para el finquero y el guaduero en los procesos estudiados, en relación con la cantidad de piezas aprovechadas (cifras en pesos colombianos 2009).

Cantidad de piezas vendidas	Utilidades finca siembra convencional	Utilidades finca convencional	Utilidades guaduero convencional	Utilidades finca ecologica siembra	Utilidades finca ecologica	Utilidades guaduero ecologico	Utilidades propietario bosque	Utilidades guaduero bosque
3288	-1.775.350	6.659.745	23.111.200	-2.804.175	6.411.645	23.601.600		
1600	-5.995.350	2.439.745	11.093.600	-7.024.175	2.191.645	11.338.800		
1000	-7.495.350	939.745	4.793.600	-8.524.175	691.645,0	5.038.800		
1600							400.000	5.241.200
800							200.000	2.620.600
500							125.000	-1.204.400

Fuente: Elaboración del autor.

Los costos constantes en los cultivos corresponden al mantenimiento y al aprovechamiento (corte y valorización por inmunización y secado), que se hace cada 18 meses<sup>61</sup>. El guaduero se encarga de los gastos de aprovechamiento, incluyendo transporte interno y las tasas de aprovechamiento y salvoconductos necesarios.

El estudio analiza el comportamiento de los costos y los beneficios durante un periodo de diez años de aprovechamiento, suponiendo una producción sostenible. Para el periodo de siembra se tuvo en cuenta un año, cinco años de crecimiento y mantenimiento, pasados los cuales se efectúa el primer aprovechamiento. Posteriormente, todos los años, se hace mantenimiento, con socolas y fertilización a los rodales, y se hace corte y aprovechamiento cada 18 meses. Para el caso del bosque natural se toman los costos de aprovechamiento cada 18 meses, pero se contabiliza el costo de mantenimiento. A partir de esta información se calcularon la relación Beneficio/Costo y la Tasa Interna de Retorno TIR (Tablas 18,19 y 20).

<sup>61</sup> Se escogió esta frecuencia para el estudio de caso por ser la que permite una buena renovación del recurso de acuerdo a Moreno (2004).

Tabla 18. Flujo de caja para el escenario de extracción mediante proceso convencional (cifras en miles de pesos 2009).

FLUJO DE CAJA	AÑO									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>INTENSIDAD DE EXPLOTACION ALTA (3280 GUADUAS/ha)</b>										
COSTOS SIEMBRA	-4.795									
COSTOS MANTENIMIENTO		-1.040	-1.144	-1.259	-1.384	-1.523	-1.675	-1.843	-2.027	-2.230
COSTOS APROVECHAMIENTO						-11.413		-12.554		-13.809
INGRESOS VENTA 3280 GUADUAS /HA						42.744		47.018		51.720
<b>TOTAL</b>	-4.795	-1.040	-1.144	-1.259	-1.384	29.808	-1.675	32.622	-2.027	35.681
<b>TIR</b>	<b>50%</b>									
BENEFICIO/COSTO	2.2									
<b>INTENSIDAD DE EXPLOTACION MEDIA (1600 GUADUAS/ha)</b>										
COSTOS SIEMBRA	-4.795									
COSTOS MANTENIMIENTO		-1.040	-1.144	-1.259	-1.384	-1.523	-1.675	-1.843	-2.027	-2.230
COSTOS APROVECHAMIENTO						-5.706		-6.277		-6.905
INGRESOS VENTA 1600 GUADUAS /HA						20.800		22.880		25.168
<b>TOTAL</b>	-4.795	-1.040	-1.144	-1.259	-1.384	13.571	-1.675	14.760	-2.027	16.034
<b>TIR</b>	<b>29%</b>									
BENEFICIO/COSTO	1.8									
<b>INTENSIDAD DE EXPLOTACION MEDIA (1000 GUADUAS/ha)</b>										
COSTOS SIEMBRA	-4.795									
COSTOS MANTENIMIENTO		-1.040	-1.144	-1.259	-1.384	-1.523	-1.675	-1.843	-2.027	-2.230
COSTOS APROVECHAMIENTO						-5.706		-6.277		-6.905
INGRESOS VENTA 1000 GUADUAS/ HA						13.000		14.300		15.730
<b>TOTAL</b>	-4.795	-1.040	-1.144	-1.259	-1.384	5.771	-1.675	6.180	-2.027	6.596
<b>TIR</b>	<b>8%</b>									
BENEFICIO/COSTO	1.1									

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos obtenidos durante el estudio.

Para obtener la Tasa Interna de Retorno, TIR<sup>62</sup>, en los cultivos se tomó como inversión inicial el valor correspondiente a la siembra y estabilización del cultivo. Los valores de los costos incluyeron un tasa de descuento del 10%. De acuerdo con los valores encontrados para las TIR se puede deducir que el proceso más rentable entre las plantaciones estudiadas es el convencional. Altos aprovechamientos, tanto para el proceso convencional como el ecológico, permiten obtener altas rentabilidades, debido a que las inversiones iniciales requeridas son independientes de la intensidad de explotación.

<sup>62</sup> La Tasa Interna de Retorno, TIR, es la tasa que iguala a cero el Valor Presente Neto (VPN), y se asocia a la tasa de rentabilidad producto de la reinversión de los flujos netos de efectivo en un negocio dado. La siguiente expresión permite calcular la TIR, cuyo resultado se da en porcentaje,

$$VPN = 0 = \left( \frac{FE_1}{(1+K)^1} \right) + \left( \frac{FE_2}{(1+K)^2} \right) \dots + \left( \frac{FE_N}{(1+K)^N} \right) - Inversion$$

donde, FE: Flujos Netos de efectivo; k=valores porcentuales

Tabla 19. Flujo de caja para el escenario de extracción mediante proceso ecológico (cifras en miles de pesos 2009).

FLUJO DE CAJA	AÑO									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>INTENSIDAD DE EXPLOTACION ALTA (3280 GUADUAS/ha)</b>										
COSTOS SIEMBRA	-4.996,3									
COSTOS MANTENIMIENTO		-1.205,6	-1.326,1	-1.458,7	-1.604,6	-1.765,1	-1.941,6	-2.135,7	-2.349,3	-2.584,2
COSTOS APROVECHAMIENTO						-10.852,2		-11.937,4		-13.131,2
INGRESOS VENTA 3280 GUADUAS /HA						42.744,0		47.018,4		51.720,2
TOTAL	-4.996,3	-1.205,6	-1.326,1	-1.458,7	-1.604,6	30.126,7	-1.941,6	32.945,2	-2.349,3	36.004,8
<b>TIR</b>	<b>48%</b>									
<b>BENEFICIO/COSTO</b>	<b>2.5</b>									
<b>INTENSIDAD DE EXPLOTACION MEDIA (1600 GUADUAS/ha)</b>										
COSTOS SIEMBRA	-4.996,3									
COSTOS MANTENIMIENTO		-1.205,6	-1.326,1	-1.458,7	-1.604,6	-1.765,1	-1.941,6	-2.135,7	-2.349,3	-2.584,2
COSTOS APROVECHAMIENTO						-5.461,2		-6.007,3		-6.608,1
INGRESOS VENTA 1600 GUADUAS /HA						20.800,0		22.880,0		25.168,0
TOTAL	-4.996,3	-1.205,6	-1.326,1	-1.458,7	-1.604,6	13.573,7	-1.941,6	14.736,9	-2.349,3	15.975,7
<b>TIR</b>	<b>27%</b>									
<b>BENEFICIO/COSTO</b>	<b>1.8</b>									
<b>INTENSIDAD DE EXPLOTACION BAJA (1000 GUADUAS/ha)</b>										
COSTOS SIEMBRA	-4.996,3									
COSTOS MANTENIMIENTO		-1.205,6	-1.326,1	-1.458,7	-1.604,6	-1.765,1	-1.941,6	-2.135,7	-2.349,3	-2.584,2
COSTOS APROVECHAMIENTO						-5.461,2		-6.007,3		-6.608,1
INGRESOS VENTA 1000 GUADUAS /HA						13.000,0		14.300,0		15.730,0
TOTAL	-4.996,3	-1.205,6	-1.326,1	-1.458,7	-1.604,6	5.773,7	-1.941,6	6.156,9	-2.349,3	6.537,7
<b>TIR</b>	<b>5%</b>									
<b>BENEFICIO/COSTO</b>	<b>1.1</b>									

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos durante el estudio.

La relación Beneficio/Costo, es la razón entre los beneficios totales obtenidos y los costos totales. Su comparación permite ver que esta actividad de explotación apenas si resulta rentable para la intensidad de aprovechamiento del 12% (1000 piezas).

Es de anotar que los valores considerados para el caso del aprovechamiento de bosque natural son diferentes a los de los cultivos, ya que la cantidad de guadua aprovechada puede ser el 50% menos, debido a la dificultad en su explotación y la baja calidad de los troncos. Sin embargo, la TIR obtenida para una intensidad de explotación de 1600 guaduas de bosque natural es 3.5 veces mayor que la obtenida para el proceso convencional. La alta rentabilidad obtenida para esta intensidad y la de 800 guaduas es debida, en gran parte, a que la inversión inicial es muy baja (arreglo del bosque para la explotación y al costo de los servicios técnicos para aprovechamiento silvicultural).

Una intensidad de aprovechamiento de 500 piezas de guadua de bosque natural se convierte, no obstante, en un mal negocio, pues los costos superan a las ganancias.

Tabla 20. Flujo de caja para el escenario de extracción en bosque natural (cifras en miles de pesos 2009).

PROCESO PRODUCCIÓN GUADUA DE BOSQUE NATURAL

FLUJO DE CAJA	AÑO									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>INTENSIDAD DE EXPLOTACION ALTA (1600 GUADUAS/ha)</b>										
COSTOS APROVECHAMIENTO	-15.159		-16.675	-18.342		-20.176	-22.194		-24.413	-26.855
INGRESOS	20.800		22.880	25.168		27.685	30.453		33.499	36.848
<b>TOTAL</b>	5.642		6.205	6.826		7.508	8.259		9.085	9.994
TIR	110%									
BENEFICIO/COSTO	1.4									
<b>INTENSIDAD DE EXPLOTACION MEDIA (800 GUADUAS/ha)</b>										
COSTOS APROVECHAMIENTO	-7.579		-8.337	-9.171		-10.088	-11.097		-12.207	-13.427
INGRESOS VENTA 800 GUADUAS HA	10.400		11.440	12.584		13.842	15.227		16.749	18.424
<b>TOTAL</b>	2.821		3.103	3.413		3.754	4.130		4.543	4.997
TIR	90%									
BENEFICIO/COSTO	1.4									
<b>INTENSIDAD DE EXPLOTACION BAJA (500 GUADUAS/ha)</b>										
COSTOS APROVECHAMIENTO	-7.579		-8.337	-9.171		-10.088	-11.097		-12.207	-13.427
INGRESOS	6.500		7.150	7.865		8.652	9.517		10.468	11.515
<b>TOTAL</b>	-1.079		-1.187	-1.306		-1.437	-1.580		-1.738	-1.912
TIR										
BENEFICIO/COSTO	0.9									

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos durante el estudio.

Estas cifras pueden variar significativamente para los involucrados en el negocio si, por una parte, se hace un aprovechamiento constante del bosque natural, lo cual implica una mejora espacial en la distribución del guadua y de la calidad de las guaduas, además se incentiva el crecimiento de renuevos. Por otro lado, el guaduero puede decidir no hacer inversiones en el manejo silvicultural y aprovechar al máximo las ganancias recibidas, dando como resultado una sobreexplotación del bosque natural con las consabidas consecuencias de empobrecimiento del sistema y pérdida de los servicios ambientales prestados por él.

El Gráfico 5 presenta las ganancias totales, que se distribuyen entre las obtenidas por el finquero y el guaduero. Al comparar las ganancias conseguidas por cada uno de ellos se observa que el guaduero es aquel que saca mayor ventaja del negocio.

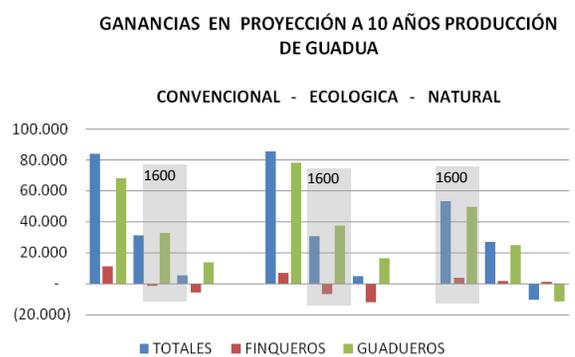
Los finqueros, por su parte, corren mayores riesgos, pues para ellos el negocio sólo es apenas rentable cuando la intensidad de extracción supera las 1600 piezas de guadua. Asimismo, los ingresos para el finquero obtenidos por la venta de la guadua sin valorización, proveniente del bosque natural, son muy reducidos, siendo para él más rentable dedicarse a otros cultivos.

Tomando como referencia una intensidad de aprovechamiento de 1600 guaduas por hectárea, si se pretende alcanzar el punto de equilibrio en el caso del cultivo convencional, se necesita aprovechar 5 cosechas, es decir 14 años desde la siembra para llegar a un nivel de ganancias de \$ 5'500.000 y, para el caso del

cultivo ecológico las cinco cosechas darán una ganancia de \$ 3'000.000. Se podría subir el precio de la pieza de guadua que sale de la finca. No obstante, un incremento en el precio del tronco en el mercado puede desincentivar la compra y, por lo tanto, el uso del producto.

Gráfico 5. Ganancias de finqueros y guadueros para los escenarios de extracción estudiados (cifras en miles de pesos de 2009).

CONVENCIONAL	TOTAL	finquero	guaduoero
3288	84.148	11.354	67.985
<b>1600</b>	<b>31.146</b>	<b>-1.306</b>	<b>32.606</b>
1000	5.328	-5.806	13.706
ECOLOGICO			
3288	85.250	7.128	78.121
<b>1600</b>	<b>30.691</b>	<b>-6.840</b>	<b>37.531</b>
1000	4.873	-11.805	16.678
EXTRACCIÓN BOSQUE NATURAL			
<b>1600</b>	<b>53.519</b>	<b>3.795</b>	<b>49.724</b>
800	26.760	1.897	24862
500	-10.240	1.186	-11426



Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos durante el estudio.

### 3.3. RESULTADOS

Los principales resultados de este estudio se resumen en los siguientes cuadros, que ilustran el comportamiento de los tres procesos de producción en función de los aspectos ambientales, económicos y sociales. Para la interpretación de los mismos se ha definido el siguiente código de colores: verde para los efectos positivos, amarillo para los efectos intermedios y rojo para los efectos negativos.

El Cuadro 1 relaciona la renovabilidad del recurso. Allí se puede apreciar un comportamiento semejante en los tres procesos. Si no sobrepasa el 50% y se hace un mantenimiento de limpias y socolas, el guadua produce renuevos suficientes para estabilizar la producción. Una producción y densidad del bosque estables permiten la conservación de los servicios ambientales que brinda la guadua, dando lugar a un beneficio social representado por la constitución de un territorio ambientalmente amigable, que, además, puede generar empleo para la comunidad. Sin embargo, los procesos de mantenimiento silvicultural introducen unos costos de monitoreo que no son despreciables.

Cuadro 1. Comportamiento de la renovabilidad del recurso en función de los aspectos ecológicos, sociales y económicos.

COMPORTAMIENTO DE LOS PROCESOS EN FUNCIÓN DE LOS ASPECTOS ECOLÓGICOS, ECONÓMICOS Y SOCIALES

EN GENERAL	CARACTERÍSTICAS GENERALES	ASPECTO ECOLÓGICO	ASPECTO ECONÓMICO	ASPECTO SOCIAL
RENOVABILIDAD DEL RECURSO	•Se mide en función de la cantidad de renuevos sobre el % de aprovechamiento	•Los cortes de aprovechamiento incentivan la producción de renuevos, principalmente al 12%	•El máximo aprovechamiento es 50%, suficiente para una buena rentabilidad	•Asegura ingresos para las familias
		•Mayor porcentaje de renuevos aseguran renovabilidad del recurso	•Estabilidad de la producción	•Estabilidad de trabajo
		•La fertilización aumenta los renuevos y los plaguicidas ayudan a disminuir la muerte de plantas.	•Aumento de gastos	•Riesgos a la salud humana, principalmente a los trabajadores
	•Más de 50% de aprovechamiento	•Disminuye densidad del bosque y genera pérdidas en los servicios ambientales como protección al suelo y al agua, así como se expone el cultivo a los vientos y a la radiación solar	•Mayores ingresos a corto plazo, a largo plazo pérdida de capital natural	•Inestabilidad de trabajo y disminución de materia para uso interno

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos durante el estudio.

El Cuadro 2, muestra cada una de las fases consideradas durante el proceso de producción de la guadua para el proceso convencional. El aspecto ecológico revela que la silvicultura, aunque mejora la calidad y productividad de la guadua a cosechar disminuye la biodiversidad. Adicionalmente, el trabajo con químicos tóxicos ocasiona problemas tanto a la salud de los ecosistemas como a la del ser humano.

Aunque en los procesos de inmunización y secado se utilizan sustancias tóxicas, importantes para alargar la vida del producto, que generan ganancias gracias a la valorización del producto conllevan impactos ambientales, tanto en la aplicación inicial como en el refuerzo anual y, además, ponen en riesgo la salud de los trabajadores y los habitantes de las construcciones en las que se utiliza la guadua. Esta situación hace necesario un cambio tecnológico en el desarrollo de estos procesos.

A pesar de los costos de mantenimiento silvicultural, \$1.000.000 anualmente, el negocio es suficientemente rentable. Así, en el caso de un aprovechamiento de 1600 guaduas por hectárea, se tiene una TIR del 29% y una relación beneficio/costo de 1.8, siendo el mayor beneficiado el guaduaero. La generación de empleo es de aproximadamente 70 jornales anuales por hectárea explotada (mantenimiento y aprovechamiento), pero no implica un trabajo constante para los jornaleros. De lo anterior se desprende que los aspectos sociales se ven afectados fuertemente por el comportamiento de la comercialización del producto.

Cuadro 2. Comportamiento del proceso convencional de producción de guadua en función de los aspectos ambientales, económicos y sociales.

PROCESO CONVENCIONO	CARACTERISTICAS GENERALES	ASPECTO ECOLÓGICO	ASPECTO ECONÓMICO	ASPECTO SOCIAL
SIEMBRA Y MANTENIMIENTO	preparación del terreno	•disminuye la biodiversidad	•Aumenta los gastos, principalmente a los finqueros	•Genera puestos de trabajo
	•entresacas, limpias y socas	•Aumenta la calidad de los rodales y la cantidad de renovos	•Estabilidad de la producción	•Facilita la labor de los trabajadores
	•Uso de químicos para fertilizar, como plaguicidas y para estabilizar el suelo	•Mejora la calidad de la guaduas	•Mejora la calidad del producto por lo tanto más posibilidad de mejor venta	
		•Estabiliza y conserva los servicios ambientales que da la plantación	•Mejora la productividad	
		Genera riesgos de contaminación al suelo, agua. Fauna y flora		
APROVECHAMIENTO - CORTE	•Puede ser de 12% aprox entre 800 a 1000 piezas, 25% 1600 piezas o 50% 3288 piezas, lo más común en buenas condiciones es 12%  •Corte manual y proceso de avinagrado tradicional	•Mejora las características del rodal	•el aprovechamiento de 12% y de 25% no genera beneficios para el finquero. Si para el guaduero. El de 50% si genera beneficios económicos a todos	•Genera puestos de trabajo
		•Mejora la cantidad de renovos	•Necesita de un manejo técnico, lo que incrementa los costos	•Estabilidad económica para familias
		•Mejora servicios ambientales si no se depasa el 50% (por ley tampoco se puede hacer)		•Aprovechamiento de materia prima para uso propio
		•Perturba el ecosistema, flora y fauna		
INMUNIZACIÓN	Con productos químicos tóxicos Refuerzo en uso anualmente por inyección	•Contaminación de agua, suelo y aire •Peligro a la salud de los ecosistemas •peligro a la salud humana	•Alarga la vida útil del material, por lo tanto genera valor agregado y posibilidades de un mejor mercado	•Riesgos de envenenamiento
SECADO	Con secador por carbón	•Uso de recurso no renovable Emisiones al aire por quema de carbón Las escorias aumentan residuos sólidos	•alarga la vida del producto •Aumenta sus propiedades mecánicas •Inversión alta para un buen secador	•genera empleo

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos durante el estudio.

El Cuadro 3, que corresponde al proceso ecológico, exhibe comportamientos similares a los del proceso convencional, pero sin manejo de sustancias tóxicas en la siembra y el uso de sustancias menos tóxicas y controladas en la fase de inmunización. Este estudio evidenció que los insumos orgánicos, tal cual se emplean hoy no necesariamente son una solución ambiental, por tal razón es urgente continuar las investigaciones que en estos temas se adelantan, con el fin de mejorar estos componentes en aspectos ambientales y de rentabilidad.

En este proceso, la TIR para la intensidad de explotación de 1600 guaduas es dos puntos menos que en el convencional y su relación beneficio/costo es 1.7. También presenta una asimetría en ingreso para el finquero, lo que puede generar un desestimulo para la introducción de procesos silviculturales. La generación de empleo es similar a la del proceso convencional.

Cuadro 3. Comportamiento del proceso ecológico de producción de guadua en función de los aspectos ambientales, económicos y sociales.

PROCESO ECOLÓGICO	CARACTERÍSTICAS GENERALES	ASPECTO ECOLÓGICO	ASPECTO ECONÓMICO	ASPECTO SOCIAL	
SIEMBRA Y MANTENIMIENTO	preparación del terreno	•disminuye la biodiversidad	•Aumenta los gastos, principalmente a los finqueros	•Genera puestos de trabajo	
	entresacas, limpias y socas	•aumenta la calidad de los rodales y la cantidad de renuevos •Mejora la calidad de la guaduas	•Es más costoso que el proceso convencional •Estabilidad de la producción	•Facilita la labor de los trabajadores	
	Uso de fertilizantes y plaguicidas de origen orgánico como estiércol de diferentes animales de granja y micro organismos descomponedores	•Estabiliza y conserva los servicios ambientales que da la plantación	•Mejora la calidad del producto por lo tanto más posibilidad de mejor venta		
		•Puede generar eutrofización por la cantidad de fertilizantes empleados para llegar a niveles de nitrógeno u otros	•Mejora la productividad		
		•Genera residuos sólidos con los empaques y plásticos para el cultivo aunque en menor cantidad	•Aumenta la cantidad de insumos y de transporte, por lo tanto más gastos		
APROVECHAMIENTO - CORTE	Puede ser de 12% aprox entre 800 a 1000 piezas, 25% 1600 piezas o 50% 3288piezas, lo más común en buenas condiciones es 12%	•Mejora las características del rodal	•el aprovechamiento de 12% y de 25% no genera beneficios para el finquero. Si para el guaduero. El de 50% si genera beneficios económicos a todos	•Genera puestos de trabajo	
	Corte manual y proceso de avinagrado tradicional	•Mejora la cantidad de renuevos	•Necesita de un manejo técnico, lo que incrementa los costos	•Estabilidad económica para familias	
		•Mejora servicios ambientales si no se depasa el 50% (por ley tampoco se puede hacer)	•La TIR del aprovechamiento del 12% es muy baja	•Aprovechamiento de materia prima para uso propio	
		•Perturba el ecosistema, flora y fauna			
INMUNIZACIÓN	Con pentaborato, aprobado por la OMS en porcentajes menores de 5%	•A pesar de ser menos contaminante se h	•Alarga la vida útil del material, por lo tanto genera valor agregado y posibilidades de un mejor mercado	•Riesgos de envenenamiento	
		•Peligro a la salud de los ecosistemas en exceso acidifica los suelos			
		Generación de fuertes olores	•Es menos costosos que el proceso convencional		
SECADO	Con secador por gas propano	•Uso de recurso no renovable	•alarga la vida del producto •Aumenta sus propiedades mecánicas •Inversión alta para un buen secador	•genera empleo	

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos durante el estudio.

El Cuadro 4 presenta el escenario de aprovechamiento de bosque natural. En este caso se observa que si bien la productividad es un 50% más baja que en los otros escenarios, es decir que mientras en los otros procesos usuales de aprovechamiento se pueden obtener entre 1000 y 1600 piezas por hectárea, en este se obtienen entre 500 y 800.

El valor de la TIR para 1600 piezas es de 90%, tres veces mayor que los otros escenarios estudiados, pero su relación beneficio/costo es 1.4, cuatro puntos por debajo de los otros. Sin embargo, esta alta rentabilidad económica se logra a costa del usufructo del capital natural, que a largo plazo conduce a la insostenibilidad en el aprovechamiento del recurso y la consecuente pérdida de los servicios ambientales proporcionados por los guaduales.

En cuanto se refiere a la generación de empleo, este proceso produciría 60 jornales anuales por hectárea explotada, pero, al igual que en los otros casos, este trabajo no es estable y depende exclusivamente de la demanda.

Por último, en este tipo de explotación, el proceso de secado empleado no es el más eficiente, debido a los gastos energéticos y económicos.

Cuadro 4. Comportamiento del proceso convencional de producción de guadua en función de los aspectos ambientales, económicos y sociales.

BOSQUE NATURAL	CARACTERÍSTICAS GENERALES	ASPECTO ECOLÓGICO	ASPECTO ECONÓMICO	ASPECTO SOCIAL
APROVECHAMIENTO	Puede ser de entre 500 a 800 piezas calculando un máximo de 1600 piezas	• Los renuevos son menos, pero se mejora con el aprovechamiento	• Al no contar con mantenimiento previo se dificultan los trabajos y se incrementan los costos	• Se dificultan los trabajos, haciéndolos más riesgosos
	Corte manual y proceso de avinagrado tradicional	• El aprovechamiento mejora la calidad del rodal	• Las guaduas no son de buena calidad	• Se generan empleos poco estables
	No tiene procesos de siembra ni de mantenimiento	• Se estabilizan los servicios ambientales	• La productividad de estos rodales es muy baja 50% menos que los otros	
		Si la rentabilidad económica es alta puede incentivar el no uso de silvicultura y una sobre explotación del bosque	Alta rentabilidad económica en el aprovechamiento de 800 y 1600 piezas	
INMUNIZACIÓN	Con pentaborato, aprobado por la OMS en porcentajes menores de 5%	• A pesar de ser menos contaminante se h	• Alarga la vida útil del material, por lo tanto genera valor agregado y posibilidades de un mejor mercado	• Riesgos de envenenamiento
		• Peligro a la salud de los ecosistemas en exceso acidifica los suelos	• Es menos costosos que el proceso convencional	
		• Generación de fuertes olores		
SECADO	Eléctrico	• No es un proceso eficiente	• Altos costos y más demorado	

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos durante el estudio.

El Cuadro 5 muestra el comportamiento del transporte en los procesos estudiados. Allí se observa que los costos del transporte se incrementan por el mal estado de las vías, principalmente las que conectan los centros de producción con los centros de acopio, y estos con el destino final, depósitos, construcciones, etc. La dificultad de explotación del recurso en las plantaciones o bosques hace que el trabajo sea peligroso y costoso.

Cuadro 5 Comportamiento del transporte en función de los aspectos ambientales, económicos y sociales.

TRANSPORTE	• En general para todos los procesos	• Emisiones al aire, daños a vías	• En camión no es eficiente por la capacidad del camión y lo que está permitido cargar	• En mula y coterros, se genera empleo pero no en buenas condiciones
	• Se hace inicialmente por coterros y mulas y más adelante en camiones de 9 toneladas		• El mal estado de las carreteras, principalmente en poblaciones de cundinamarca, genera daños en los vehículos, demasiado tiempo de viaje y gastos de ineficiencia	

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos durante el estudio.

## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

El estudio comparado de los aspectos ecológicos, económicos y sociales para tres escenarios de explotación de la guadua, permitió concluir que:

- Proceso convencional

- a) La renovabilidad del recurso se alcanza siempre y cuando la intensidad de explotación no exceda el 50% y la frecuencia de aprovechamiento esté entre 18 y 24 meses, y se haga manejo silvicultural. La baja demanda evita la escasez del recurso.

- b) Las sustancias tóxicas empleadas en las actividades de siembra e inmunización no cumplen con los principios de productos verdes establecidos por el Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. La inmunización se hace periódicamente.

- c) El análisis de rentabilidad económica muestra que: si la intensidad de aprovechamiento es del 12% la rentabilidad obtenida es baja (8%) más baja que el porcentaje de descuento anual, por lo que evidencia que no es rentable; si la intensidad de aprovechamiento es del 25% la rentabilidad mejora (29%), y para una la intensidad de 50% es excelente (50%).

- d) La rentabilidad muestra cierta asimetría, pues no todos los involucrados en el proceso de producción obtienen ganancias en proporción a su inversión; así, por ejemplo, los dueños de las fincas no alcanzan el punto de equilibrio con la venta de 1600 piezas por hectárea en proyección a 10 años, mientras los guadueros si obtienen altas ganancias, lo que conduce a una desincentivación de la inversión.

- e) Desde la perspectiva social la obtención de guadua para comercializar genera un número de empleos no constante (70 jornales anuales por hectárea) y bajo unas condiciones de trabajo con riesgos para la salud.

- f) Los indicadores analizados -ecológicos, económicos y sociales- demuestran que la producción de guadua por este proceso no es sostenible.

- Proceso ecológico

- a) La renovabilidad del recurso se alcanza siempre y cuando la intensidad de explotación no exceda el 50% y la frecuencia de aprovechamiento esté entre 18 y 24 meses, y se haga manejo silvicultural.

b) Impactos ambientales: Satisface los principios de productos verdes que promueve el Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial<sup>63</sup>, dado que:

- Las sustancias utilizadas durante las actividades de siembra e inmunización son menos peligrosas y su aplicación está aprobada por la OMS. Usa fertilizantes a base de estiércol, aunque no suficientemente eficientes. ni son productos controlados, generan problemas de eutrofización y malestar en los vecinos. El Borax presenta problemas de ecotoxicidad.
- Utiliza energía más eficiente (gas propano), pero no es un recurso renovable
- Presta servicios ambientales como: captura de CO<sub>2</sub>, estabilización del manejo del agua, protección de los terrenos contra de la erosión.

c) La rentabilidad económica resulta ser del mismo orden que en el proceso convencional. Si la intensidad de aprovechamiento es del 12% la rentabilidad obtenida es baja (5%) y, por lo tanto, sería necesario explotar más hectáreas para estabilizar la producción; si la intensidad es del 25% la rentabilidad mejora (27%), y para una la intensidad de 50% es excelente (48%). La razón beneficio/costo es de 1.7 para 1600 piezas de guadua aprovechada.

d) Existe asimetría en las ganancias obtenidas, pues ni para una intensidad de aprovechamiento del 50% el finquero obtiene ingresos superiores a la inversión realizada en la siembra en la primera cosecha, logra su punto de equilibrio al año 14 para un aprovechamiento de 1600 piezas. El guaduero siempre obtiene ganancias, lo que conduce a una desincentivación de la inversión en silvicultura y procesos de siembra.

e) Desde la perspectiva social la obtención de guadua por procesos ecológicos se comporta de manera semejante a los procesos convencionales, con excepción de los riesgos para la salud de los trabajadores y los usuarios de la guadua, que son menores.

- Presenta algunos indicadores de sostenibilidad favorables, (renovabilidad del recurso, uso de sustancias de baja toxicidad que alargan vida del producto, biodegradable sin impacto) pero económicamente es una entrada complementaria

---

<sup>63</sup> Plan Estratégico Nacional de Mercados Verdes; 2003.Colombia “Productos provenientes de la biodiversidad. Tiene que ver con los productos ecológicos y naturales. Estos se obtienen por procesos agropecuarios que buscan una óptima producción por medio de técnicas y tecnologías que minimicen el impacto al medio ambiente, como es el caso de:

- No uso de productos químicos como herbicidas, fertilizantes, fungicidas e insecticidas.
- No uso de prácticas agrícolas perjudiciales como monocultivos, sobreexplotación, etc.
- Reciclaje de recursos renovables, sin contaminar aguas, suelos, ecosistemas y aire.
- Velar por la calidad de vida de los productores y trabajadores rurales.”

y aun existe inconvenientes biofísicos, por lo tanto no tiene aún las características para establecer que sea un proceso sostenible

- Proceso de bosque natural

- a) No presenta problemas ambientales significativos.

- b) La rentabilidad económica del proceso es muy alta<sup>64</sup>, para una intensidad de aprovechamiento de 1600 piezas por hectárea la TIR es de 3.1 y 3.3 veces mayor que para los procesos productivos convencionales y ecológicos, respectivamente. Hay que tomar en cuenta que en 10 años no se hace gran inversión inicial y se obtienen 7 cosechas mientras que los otros procesos solo aprovechan tres cortes.

- c) Es muy probable que se presente una sobre explotación del recurso, ocasionando, a largo plazo, efectos colaterales como la pérdida de los servicios ambientales que proporcionan los bosques de guadua.

- d) Una intensidad de aprovechamiento baja (500 piezas por hectárea) no es rentable para el guaduero y para el finquero en todos los casos es más rentable que dedique el terreno a otra actividad.

- e) Los indicadores económicos son muy buenos pero altamente dependientes de la comercialización. De modo que si esta falla (que es lo que está ocurriendo ahora como indican los expertos de la CARDER y los empresarios) no se llega a las metas de ganancias económicas y por lo tanto no se genera bienestar social.

## Recomendaciones

El Análisis DOFA<sup>65</sup> (Gráfico 6) permite proponer una serie de recomendaciones a nivel del desarrollo de políticas relacionadas con las diferentes etapas involucradas en el proceso ecológico de producción de la guadua, como las que se describen a continuación:

---

<sup>64</sup> Debido a su baja inversión económica inicial (aprovechamiento de bosque en estado libre en muchos de los casos)

<sup>65</sup> La matriz DOFA es un instrumento de análisis que se emplea para identificar las debilidades, fortalezas, oportunidades y amenazas del objeto a estudiar, bien sea un negocio, proyecto, objeto, etc. Estas características corresponden a condiciones internas (debilidades y fortalezas) y externas (oportunidades y amenazas) y, una vez se identifiquen las relevantes al estudio requerido se cruzan como variables con el fin de identificar primero una realidad de las condiciones y luego proponer acciones estratégicas para un mejoramiento o una permanencia dentro del medio de análisis.

- a) Diseño e implementación de políticas de comercialización del producto, que apoyen la producción y el uso de productos ambientalmente más amigables.
- b) Políticas de promoción del empleo de la guadua como material de construcción en distintos proyectos de carácter gubernamental y privado.
- c) Diseñar una política que contemple incentivos económicos orientados a la producción y comercialización de la guadua, considerando la reducción de las tasas de interés y la adjudicación de subsidios a los productores que utilicen procesos ecológicos<sup>66</sup> y a los usuarios de los productos obtenidos por este sistema<sup>67</sup>.
- d) Promoción de investigaciones aplicadas al desarrollo de productos cuya materia prima sea la guadua y de todos aquellos productos y procesos relacionados con las diversas etapas de su ciclo de producción (fertilizantes, inmunizantes, etc.).
- e) Fomentar asociaciones para la investigación y adquisición de tecnología para la producción de guadua.

El estudio cuidadoso de medidas económicas de tal manera que no se de la asimetría en los beneficios, con el fin de no desincentivar la mejor producción, ni se suban los precios de tal forma que desincentive la compra.

Evidenciar las ventajas de sustituir materiales como el acero al carbón por la guadua, en contextos, usos y diseños específicos. (ver anexo 3)

Es posible continuar o complementar el tema de este trabajo de tesis en varias áreas:

- a- La valoración de los servicios ambientales que presta la guadua, enfatizando con los cálculos de capturas de CO<sub>2</sub> con el fin de verificar las posibilidades de proponer estos cultivos para certificados de Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL).
- b- Completar el análisis de todo el ciclo de vida del producto tomando como ejemplo un proceso constructivo y un caso de fin de vida útil.

---

<sup>66</sup> La mala distribución de los beneficios obtenidos que puede desincentivar a los dueños de las fincas, si se elevan los precios de la guadua, desincentiva la compra por lo tanto también se pierde.

<sup>67</sup> Los constructores y los propietarios que decidieron hacer sus viviendas o edificios con estos materiales.

- c- Es posible hacer una investigación más profunda sobre la comercialización de la guadua, tomando en cuenta las nuevas disposiciones constructivas (Norma Sismo Resistente 2010) y la presión de los nuevos mercados de pisos, paneles, vigas y columnas laminadas. Y confrontar estos datos para buscar nuevas posibilidades y mejorar las pautas hacia una sostenibilidad económica y social.
- d- Evaluaciones de impacto social, donde se pueda evidenciar el riesgo a la salud humana en cada uno de los pasos y con cada uno de los componentes empleados a lo largo del ciclo de vida, así como el componente de generación de empleo estable.

En el estudio económico realizado se evidenció que para este tipo de análisis es más conveniente el uso del análisis beneficio costo, da una mejor relación de la posible sostenibilidad económica de la producción de guadua como material de construcción.

Gráfico 6 Análisis DOFA de la extracción de guadua para la construcción por proceso ecológico

		OPORTUNIDADES	AMENAZAS
		•A nivel mundial se están indagando nuevos procesos y productos para aprovechar este material de manera sostenible	•Alta competitividad sobre todo Oriental por calidad y precio
		•Fuerza en los mercados verdes	•Políticas débiles
		•Los apoyos a manejos silviculturales	•No hay compromiso institucional
			Tasas de aprovechamiento que desincentivan.
		•El gobierno está dispuesto a impulsar productos de la biodiversidad	•Crisis económica que afecta la construcción
DEBILIDADES	•Material aún con muchos problemas de resistencia y fragilidad	Fomentar más estudios e investigaciones que lleven a mejorar la calidad del material, innovar en procesos para dar solución a los inconvenientes de resistencia	Se debe hacer investigación fuerte en el manejo y producción del material, generar innovación en procesos y posiblemente generar nuevos materiales con la guadua como base, apoyado por instituciones y políticas gubernamentales que apoye estas iniciativas.
	•Poco desarrollo tecnológico	Más estudios e investigaciones para mejorar procesos para volverlos más eficientes y competitivos. Trabajo en equipo con otros países adecuando conocimientos a las especificaciones locales	Aumentar desarrollo tecnológico en diferentes estamentos e instituciones, y reforzar grupos de investigación aplicada.
	•Poca estabilidad en las ventas	Fortalecer políticas de comercialización, impulsar los productos verdes y de la biodiversidad usandolos en las instituciones	Desde las instituciones y gobierno construir en este material como ejemplo y apoyo.
	•O son demasiados los pedidos y no se puede cumplir por falta de tecnología y organización o no hay pedidos	Organizar grupos y agremiaciones donde si existen grandes compras se pueda responder con asociaciones, y se puedan compartir tecnologías.	
	•El material acaba con muchas herramientas que no estan diseñadas para su uso	Adaptar o crear nuevas tecnologías que resistan la abrasión de la guadua, o ingeniarse nuevos procesos	
	•Pocas entradas por lo que no se decide en invertir	Aprovechar financiamiento y apoyo a empresas de entidades como camara de comercio, SENA y otras	
	•Los pedidos no son constantes y las especificaciones altas	Fortalecer políticas de comercialización, impulsar los productos verdes y de la biodiversidad usandolos en las instituciones, pero mejorando calidad por medio de investigación y experimentación.	Mejorar calidad y exigencias nacionales e internacionales
	Mala distribución de los beneficios	Hacer unos mejores cálculos con respecto a los ingresos de los finqueros que invierten en cultivos y reciben poca ganancia	
	Los procesos convencionales presentan problemas de impacto ambiental y daños a la salud humana	Promover los procesos que benefician al ambiente y a la economía de los finqueros y guadueros, experimentar con otros procesos diferentes	Mayores valores agregados con prácticas ambientales, se deben mejorar
	el 12% de explotación la tasa de retorno es baja principalmente en el bosque natural	Fomentar una mejor redistribución de las ganancias,	
•Mala comercialización	Fortalecimiento en las relaciones con los construcciones y comunicando nuevos hallazgos y logros	Apoyo de instituciones a mercados internos y conseguir alianzas para mejor comercialización	
FORTALEZAS	•La guadua Colombiana contiene alto contenido de silice que la hace muy resistente para construcción	Aumentar el apoyo a la investigación aplicada y experimentación con el material y la maquinaria para que sea más eficiente	Establecer cuales son los procesos más eficientes y eficazes para producción y valorización de la guadua y evidenciar sus ventajas frente a la competencia
	•Se puede plantar en varios pisos térmicos	Impulso a las prácticas silviculturales de esta planta en los departamentos más propicios	
	•Material para venta y para uso propio	Promover el uso de la construcción con estos materiales comenzando con las casas propias, promover formas particulares constructivas, ensayandolas en sus propias casas para que sirvan como muestra	
	•Relativamente bajos costos	Promocionar el bajo costo y la alta resistencia	Puede ser una solución para buenas viviendas de interés social, nacional e internacional
	•Producto renovable	Promocionar la renovabilidad del recurso y sus cualidades ecologicas.	
	•Manejo de procesos con bajos impactos ambientales	Promocionar con indicadores o datos el bajo impacto ambiental	

Fuente: elaboración del autor.

## BIBLIOGRAFÍA

1. AGUILERA, Federico. Alcántara, Vincent. De la economía ambiental a la economía ecológica. 1994
2. ARBELÁEZ Arce, Anacilia. Evaluación de las investigaciones sobre el recurso guadua (guadua *Angustifolia* ) realizadas en Colombia. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Departamento de Bibliotecas Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ). Medellín. 2001.
3. AZQUETA, Diego, Introducción a la Economía Ambiental. Editorial McGraw Hill. 2002
4. BERMEJO, Roberto. Economía sostenible. Principios, conceptos e instrumentos. Editorial Bakeaz. 2001.
5. BERMEJO, Roberto. La gran transición hacia la sostenibilidad. Principios y estrategias de economía sostenible. Editorial Catarata. 2005.
6. BERTALANFFY, Ludwig von. Teoría general de sistemas. Fondo de cultura económica. 1968.
7. CAMARGO, J.C., García, J. H. Morales. Cambios en la productividad de rodales naturales. Ponencia VI Seminario Internacional del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogota. 2003.
8. COMISIÓN DE LA COMUNIDAD EUROPEA REUNIDA EN BRUSELAS. Libro verde. 2001
9. CONSOLI. SETAC.1993
10. CORPOCALDAS - Cámara de Comercio de Manizales. Micro clúster de la Guadua. Manizales, Caldas. 2002.
11. CORRALES, Ignacio, GUERRA, Armando, LÓPEZ, Pedro, GONZÁLES, Marilu. Tecnología para la fertilización alternativa de frutales de mayor importancia económica en Cuba. Universidad Camagüey. Instituto de suelos. 2000
12. CRUZ Z, H. La Guadua nuestro bambú. Corporación Autónoma Regional del Quindío y Centro Nacional para el Estudio del Bambú y la Guadua. Armenia, Colombia. 293p. 1.994.
13. DALY, Herman, Cobb, John. Parar el Bien común. Fondo de Cultura Económica. 1997.

14. ESPINAL G., Carlos Federico. La cadena de la Guadua en Colombia. Una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Observatorio Agrocadenas Colombia, Documento de trabajo # 65. 2005.
15. ESPINOSA, Diana Carolina. La cadena de la guadua en Colombia. Ministerio de agricultura y desarrollo rural. 2004
16. GALLOPIN, Gilberto. Sostenibilidad y desarrollo sostenible: un enfoque sistémico. CEPAL. 2003
17. GARMENDIA, Alfonso, SALVADOR, Adela, CRESPO, Cristina. Evaluación de impacto ambiental. Pearson Educación S.A. Madrid. 2005
18. GIRALDO, E. y SABOGAL, A. Una alternativa sostenible: La guadua, técnicas de cultivo y manejo. Corporación Autónoma Regional del Quindío, CRQ, Quindío, 1999.
19. GOEDKOOOP, Mark et al. Manual for designers y The ecoindicator methodology. PRé Consultants. B.V.2000.
20. GOMEZ-Gómez, Carlos M. Análisis costo beneficio y el medio ambiente. Instituto latinoamericano y del caribe de planificación económica y social-ILPES. 1994
21. Guía de Apoyo a Empresas verdes. Serie Economía y finanzas para el medio ambiente. Ministerio del Ambiente, vivienda y desarrollo territorial. 2004
22. HELD, Christian El mercado de la guadua en Alemania. Universidad Tecnológica de Pereira. 2002
23. HELD, Christian e Iván Darío Manzano. La Cadena productiva de la guadua en el Eje Cafetero Colombiano. 2002.
24. HELD, Cristian. Análisis del Sistema de Producción a Consumo. Informe final. Universidad Tecnológica de Pereira. UPT- GTZ. Alemana. 2002.
25. HIDALGO LÓPEZ, Oscar. Nuevas técnicas de construcción en Bambú, 1978.
26. ICONTEC. Sistema de Gestión de Seguridad y salud ocupacional y otros documentos complementarios. 2009.
27. La caña guadua. Sociedad Colombiana de Bambú en [www.sica.gov.ec](http://www.sica.gov.ec)

28. LONDOÑO, Ximena. Sociedad Colombiana de Bambú. Ventajas comparativas de la guadua. Ponencia para el Simposio sobre Usos y Servicios del Bambú/Guadua. Armenia. 2001.
29. LONDOÑO, Ximena. The American Bamboos with Emphasis in the Genus Guadua. Instituto Vallecaucano de Investigaciones Científicas- INCIVA. Cali, Colombia.
30. MEJÍA, Noelia et. al. Diagnóstico y matriz del acuerdo marco nacional de competitividad. Diciembre. Cali-Colombia. s2004
31. MEJÍA, Noelia. Cadena productiva de la guadua: organización de la Cadena, caracterización de eslabones, actores y procesos. Gobernación del Quindío. Secretaría de Desarrollo Económico, Rural y Ambiental. Colombia. Consejo Consultivo Quindío. Armenia 2004.
32. MINISTERIO DE AGRICULTURA. Agro cadenas colombianas. Estadísticas cadena de la guadua en Colombia. 2008.
33. Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Plan Estratégico Nacional de Mercados Verdes. 2002.
34. MONTROYA, Jorge. Secado solar y convencional de la guadua Angustifolia. UTP. Simposio Internacional en Guadua. Pereira. 2004.
35. MORALES, Tito. "Modelos de tratamiento silvicultural para la optimización de la rentabilidad financiera en el manejo y aprovechamiento sostenible de la guadua, región eje cafetero" Tesis de maestría Universidad Tecnológica de Pereira. 2004
36. MORENO Rubén Darío y CASTAÑO Francisco. Guadua para todos. Cultivo y aprovechamiento. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - CARDER - GTZ - CORTOLIMA - CORPOCALDAS - CVC - CRQ. Proyecto Manejo Sostenible de Bosques de Colombia. 2004
37. Norma técnica ISO 14040, 14041, 14042
38. Norma Unificada de la Guadua. Proyecto Manejo sostenible de bosques en Colombia. Ministerio del Medio Ambiente, GTZ, CORPOCALDAS, CQR, CARDER, CORTOLIMA, CVC. 2003.
39. MORALES, Tito. Evaluación comparativa de la rentabilidad en aprovechamientos de Guadua angustifolia . Una aproximación hacia el aprovechamiento rentable sostenible. Ponencia Seminario Internacional de la Guadua. Armenia. 2004

40. PROEXPORT COLOMBIA. Estudio de mercado, Exportación de Pisos en guadua para la Unión Europea. Bogotá, Colombia. 2001.
41. SAAVEDRA, Juan Felipe, VARGAS, Olga Rocío. Estimación de impacto ambiental del cultivo de Caña de azúcar utilizando la metodología del análisis del ciclo de vida. Revista Ingeniería Uniandes. 2000
42. Scientia et Technica Año XI, No 28, Octubre de 2005. U.T.P 216
43. STAMM, Jorg. Procesamiento industrial de Guadua, el marco económico y técnico para reforestar el Valle geográfico del Cauca, artículo para el simposio internacional de la guadua. Pereira. 2004
44. United Nations Guidelines for Consumer Protection. 1985. Obtenido del artículo "Tracking progress: Implementing sustainable consumption policies". UNEP. BENTLEY, Malthew. En "A global review of implementation of the UN Guidelines for consumer protection". 2002.
45. VOGTLÄNDER, Joost G. The model of the Eco-costs / Value Ratio. A new LCA based decision support tool. Universidad Técnica de Delf. 2001
46. VAN HOOFF Bart, MONROY, Néstor, SAER Alex. Producción más limpia, paradigma de gestión ambiental. Editorial alfa omega, universidad de los Andes. 2008.
47. VAN HOOFF Bart. Ecoindicadores para la industria colombiana. Tesis de Maestría. Universidad de los Andes. Bogotá . 1998.
48. □ NTC 1767: Normas para maderas, preservativos y pentaclorofenoles.
49. □ NTC 2500: Normas para el uso de la madera en la construcción.
50. □ NTC 2673: Normas para maderas, laminados decorativos de alta presión.
51. □ NTC 5310: Norma para Preservación y Secado, de la Guadua *Angustifolia* .
52. □ NTC 54903: Norma para Cosecha y postcosecha de la Guadua *Angustifolia* .
53. NTC OHSAS18001 y 18002. Sistema de Gestión en Seguridad y salud ocupacional.
54. NTC 3701 Higiene y seguridad
55. GTC 45 Guía para el diagnóstico de condiciones de trabajo o panorama de factores de riesgo, su identificación y valoración.

RESOLUCIÓN N° 1184. Aprovechamiento de la guadua

56. GOBERNANZA FORESTAL. Norma unificada para el manejo y aprovechamiento de la guadua. Unión europea. 2009

[www.gadua.biz](http://www.gadua.biz)

[www.ecobamboo.net](http://www.ecobamboo.net)

[www.agrocadenas.gov.co](http://www.agrocadenas.gov.co)

[www.fao.org/DOCREP/05/Y4640E/y4640e07.htm](http://www.fao.org/DOCREP/05/Y4640E/y4640e07.htm)

Guía para la construcción de puentes. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de ciencias Ambientales.

[Http://ambiental.utp.edu.co/gadua/puentesindex.htm](http://ambiental.utp.edu.co/gadua/puentesindex.htm)

[www.invar.int/spanish/everview.htm](http://www.invar.int/spanish/everview.htm)

[www.simapro.com](http://www.simapro.com)

[www.ecoit.com](http://www.ecoit.com)

<http://www.gaduabamboo.com/la-gadua-angustifolia.html#ixzz0tJo117Rm>

## ANEXO 1

### FORMATOS PARA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

Las matrices que se emplearon para la evaluación de impacto ambiental son:

1. Matriz de Causa – efecto – impacto. Modificación de la matriz empleada por el ICONTEC descrita en el curso de Gestión Ambiental 2001. Módulo de Planeación Ambiental para evaluación de impactos ambientales. Se complementa con el modelo de daños, empleado en el manual para diseñadores de los Ecoindicadores 99, (Goedkoop: 99).
2. Matriz de significancia. Modificación de la matriz empleada por el ICONTEC descrita en el curso de Gestión Ambiental 2001. Módulo de Planeación Ambiental para evaluación de impactos ambientales. Significancia en sentido de que tan significativo es el impacto.
3. Modificación de la Matriz causa- efecto de Leopold aplicando el método de Delphi<sup>68</sup> con variaciones. En esta se cruzan las acciones de las actividades o procesos con los factores ambientales afectados.

El desarrollo de las dos últimas matrices se realizó valorando los impactos por un enjuiciamiento sobre los efectos (Garmendia, et al, 2005), para la matriz de significancia se aplicó un *simple enjuiciamiento*.

Para realizar los enjuiciamientos fue necesario considerar la clasificación de impactos, de acuerdo a como lo cita Garmendia (2005) del Real Decreto 1131/1988 del 30 de septiembre donde diferencia el impacto como: **compatible** (recuperación inmediata al cese de la actividad, no precisa medidas correctoras), **moderado** (requiere cierto tiempo para la recuperación, y no necesita medidas correctoras o muy leves), **severo** ( requiere medidas correctoras o protectoras y precisa un periodo de tiempo dilatado) y **crítico** (pérdida permanente de la calidad de las condiciones ambientales).

Este Real Decreto 1131/1988 del 30 de septiembre también indica que se debe tener en cuenta para ayudar a definir la valoración cualitativa por medio de los siguientes atributos

---

<sup>68</sup> El método Delphi se desarrolló en los años 50 en el Centro de Investigaciones Estadounidense RAND Corporation, por Olaf Helmer y Theodore J. Gordon para realizar predicciones de catástrofes nucleares. Este instrumento se realiza con la consulta a expertos para asignar ponderaciones. Se ha empleado para varios fines entre ellos la valoración de aspectos.

- **Signo:** si es positivo, es decir sirve para mejorar el ambiente o si es negativo y degrada el medio
- **Intensidad:** según la destrucción del ambiente sea total (destruye todo), alta, media o baja;
- **Extensión:** según la extensión de la zona afectada: puntual cuando es un lugar concreto, parcial o local cuando es mayor, regional o a una gran parte del medio -impacto extremo- o a todo –total que puede ser global. Hay impactos con un impacto puntual, pero en un lugar crítico.
- **Acumulación:** impacto latente que se manifiesta al cabo del tiempo, se va acumulando el efecto Simple, acumulativo y sinérgico (actúa con otros).
- **Persistencia.** Inmediata, cuando es solo un momento, a corto plazo o fugaz si dura menos de 1 año; medio plazo o temporal dura de 1 a 3 años, largo plazo o pertinaz si dura de 4 a diez años. O permanente.
- **Recuperación o reversibilidad.** Según sea más o menos fácil de reparar o eliminar el efecto. Irrecuperables, reversibles, mitigables, recuperables.
- **Periodicidad.** Distingue si el impacto es continuo, discontinuo, irregular (bastante crítico) y periódico. que, de vez en cuando, desprende sustancias contaminantes o periódico o irregular como los incendios forestales.
- **Potencia del efecto, que tan significativo** extensión del impacto, magnitud y complejidad, si es transfronterizo, probabilidad del impacto, duración, frecuencia y reversibilidad.

Para la construcción de las matrices se hicieron observaciones (ver en la siguiente página ficha de observaciones y preguntas), entrevistas semiestructuradas y encuestas personalizadas a los especialistas. En este caso se realizaron a investigadores sobre el tema de la guadua, finqueros, guadueros, empresarios de la guadua, agrónomos y técnicos.

Para la matriz Causa-Efecto se les mostró la matriz a 6 entrevistados (ver matriz de ejemplo) y se procedió a llenarla de manera individual. Se dio la opción de llenarla por medio de colores o números lo que lo hizo más trabajable y permitió una mejor visualización global de las respuestas. Para ello se estableció una escala de importancia definida, determinada por: No Aplica, impacto alto negativo (5 o rojo), medio negativo (4 o naranja), bajo negativo (3 o amarillo), bajo positivo (2 o verde claro) y alto positivo (1 o verde oscuro). Posteriormente se realizó la comparación de resultados y se obtuvo una matriz definitiva, que es la que se muestra en el trabajo.



FICHA DE ANALISIS OBTENCIÓN DE GUADUA PROCESO ECOLOGICO						
FECHA						
UNIDAD FUNCIONAL:	1 hectarea de bosque de guadua cultivado					
APROVECHAMIENTO	1500 GUADUAS					
CONDICIONES DE HUMEDAD						
TEMPERATURA	17					
ORIGEN	eje cafetero					
CEPA	BASA		SOBREBASA			
Tipo de producción	plantación ecológica					
CARACTERÍSTICAS:	se hace el estudio de un lote de 1 hectarea.					
PROCESOS	PRODUCTO	EQUIPO EMPLEADO	ENERGÍA	TIEMPO	MATERIAL	RESIDUO
REPRODUCCIÓN Y PROPAGACIÓN						
Preparación terreno	banco de propagación, chusquines para vivero 95% de lo sembrado	herramientas manuales de agricultura, sistema de riego, vivero para mantener humedad y temperatura	humana	4 meses para obtener primer chusquin, en vivero 10 días en invernadero, 5 días en sombra y un mes mas en vivero (3 a 5 meses)	bolsas para chusquines, Gravilla o piedra suelta, tierra, materia orgánica, agua	plasticos de los chusquines, materia orgánica
Nivelación, trazado, ahoyada,						
fertilización con gallinaza, porqueriza, materia orgánica	tierra fertilizada para la siembra				gallinaza, porqueriza, pentaborato	
SIEMBRA de los chusquines para obtención de plántulas de guadua,	plantas de guadua	herramientas manuales de agricultura, sistema de riego	humana	3 meses	materia orgánica, gallinaza	
PERIODO DE ESTABLECIMIENTO HASTA APARICIÓN DE TALLOS COMERCIALES						
DESARROLLO socas, limpias, desganche y entresacas		machete y tijeras podadoras	humana	5 O 6 años		
SELECCIÓN GUADUA	determinar cortes de guaduas	cintas	humana	18 mantenimientos en 6 años cada uno de		Material orgánico
APROVECHAMIENTO - AVINAGRADO	1000 troncos sin ramas separados por cepas, basa y sobrebasa	machete y tijeras podadoras	humana	15 días	combustible	materia orgánica
TRANSPORTE por mula		mulas y ataduras	animal	30 días		liquidos de sabia
LIMPIEZA LÍQUENES	troncos limpios		humana			
AHUECADO	troncos de 3 metros ahuecados	varilla de hierro 4 m	humana	1 semana		viruta
INMUNIZACIÓN pentaborato	troncos inmunizados	piscina de inmersión	humana	1 semana	borax, ácido bórico, otros naturales	
ESCURRIDO						liquidos efluentes
SECADO CAMARA gas	troncos secos 12% humedad	camara de secado, sistema computarizado de control de temperaturas y humedad	gas natural, electricidad	1 semana	gas natural	escoria de carbón
SELECCIÓN	guaduas calificadas según pedido					
TRANSPORTE CAMIÓN DE 50			combustible di	1 día		emisiones

Ejemplo de sección de ficha procesada.

ASPECTOS AMBIENTALES		ACTIVIDADES																			
SISTEMA	SUBSISTEMA	COMPONENTE	PROPAGACIÓN / Preparación terreno Nivelación, trazado, ahoyada, fertilización	SIEMBRA / abonos y fertilizantes orgánicos	DESARROLLO / socas, limpias, desganche y entresacas	APROVECHAMIENTO - CORTE POR MACHETE	AVINAGRADO	TRANSPORTE / por mula	SELECCIÓN GUADUA	LIMPIEZA LÍQUENES	AHUECADO	INMUNIZACIÓN POR PENTABORATO	ESCURRIDO	SECADO POR CAMARA DE GAS	SELECCIÓN	TRANSPORTE CAMION 50	CONSTRUCCIÓN	MANTENIMIENTO	DESUSO		
FISICO	SOSTENIMIENTO O INTERCAMBIO BIO	ATMOSFERA																			
		EDAFORA																			
		HIDROSFERA																			
	BIOTICO	FLORA (macro-micro)																			
FAUNA (macro-micro)																					
SOCIO-ECONOMICO-CULTURAL	PERCEPTUAL	UNIDADES DE PAISAJE																			
	SOCIO-CULTURAL	TERRITORIO																			
		CULTURA																			
		INFRAESTRUCTURA																			
		TALENTO HUMANO																			
	ECONOMICO	ECONOMIA																			
		POBLACION																			
CONVENCIONES																					
		ALTO NEGATIVO																			
		MEDIO NEGATIVO																			
		BAJO NEGATIVO																			
		MEDIO POSITIVO																			
		ALTO POSITIVO																			
		NA	NO APLICA																		

Matriz global Causa-Efecto de identificación y valoración de impacto ambiental, con modificaciones del método de Leopold con importancia definida (esta fue empleada con los expertos encuestados).

Ejemplo de encuesta realizada a los empresarios y :  
 guadua.

ENCUESTA FINCAS GUADUERAS Y EMPRESAS  
 Empresa Entrevistado

FECHA: 01/09/2008

Cómo solicitan la guadua Los Compradores					
tamaño					
Cantidad					
Calidad					
Características					
Como se consigue en el mercado					
Presentación comercial	Unidad	Costo			
Costo de venta como productor					
Daños que presenta la guadua que impiden su aprovechamiento					
Aprovechamiento %					
Rechazos %					
Desperdicios %					
Accidentes por uso del material					
Tiempo de vida útil					
Costo de la mano de obra calificada					
Tiempo de trabajo					
Costo de la guadua para la construcción					
Cantidad de guadua que se vende y que se emplea					
Recursos energéticos utilizados, costos ya sea por encargos o por mes teniendo en cuenta la cantidad de producción					
Para los procesos que maneja en su empresa especificar					
Procesos	cantidad operarios	tiempo	tipo maquina o herramienta	suministros	desperdicios
seguir si es necesario					
Cuanto material se vende por mes o año					
A quién se vende?					
Daños que se presentan en la construcción y en los productos que se sacan					

## ANEXO 2

### TABLAS DE COSTOS Y GANANCIAS

En este anexo se presentan la tabla de costos, directos e indirectos, para los procesos y subprocesos para la producción de guadua. Así mismo se muestra una proyección de ganancias a 10 años de los procesos productivos de la guadua

Tabla 1 Sección de cuadro de costos para el proceso ecológico.

<b>PLANTACIÓN PROCESO ECOLOGICO</b>				
Densidad de plantación: 400 Matas/Ha (Distancia de siembra 4 * 4 metros). Se incorpora transporte a Bogotá para venta en deposito o trabajo en esta zona. siembra con materia organica, inmunización con pentaborato, secado con camara de gas				
<b>ESTABLECIMIENTO DE UNA HECTAREA DE GUADUA (400 GUADUAS) 1 AÑO</b>				
<b>COSTOS 2009</b>				
<b>Categoría de Inversión</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>V/Unitario (\$)</b>	<b>V/Total (\$)</b>
<b>1. Costos Directos</b>				
<b>1.1 Mano de Obra</b>				
Preparación terreno	Jornal	15	25.000	375.000
Trazado	Jornal	3	25.000	75.000
Plateo y ahoyado	Jornal	16	25.000	400.000
Transporte plántulas (menor)	Jornal	3	25.000	75.000
Siembra	Jornal	6	25.000	150.000
Control fitosanitario	Jornal	3	25.000	75.000
Aplicación fertilizantes organico	Jornal	6	25.000	150.000
Replante	Jornal	2	25.000	50.000
Limpias (dos por año)	Jornal	8	25.000	200.000
Adecuación de caminos	Jornal	1	25.000	25.000
Protección incendios	Jornal	1	25.000	25.000
<b>Subtotal mano de obra</b>	<b>Jornal</b>	<b>64</b>		<b>1.600.000</b>
<b>1.2 Insumos</b>				
Plántulas	Plántulas	400	700	280.000
Fertilizantegallinaza, porquina	Kg	3000	133	399.000
Plasticos	kg	4	3.500	14.000
Calfos	Kg	300	140	42.000
fitosanitarios	Kg	1000	15	14.500
Borax	Kg	5	4.000	20.000
	Kg			
<b>Subtotal insumos</b>				<b>769.500</b>
<b>Total Costos Directos (1.1 + 1.2)</b>				<b>2.369.500</b>
<b>2. Costos Indirectos</b>				
Herramientas (5% de mano de obra)				80.000
Transporte insumos (15% del costo de insumos)				115.425
Asistencia Técnica				1.700.000
<b>Total Costos Indirectos</b>				<b>1.895.425</b>
<b>Total Costos Directos e Indirectos</b>				<b>4.264.925</b>

Tabla 2 Costo ganancias del proceso convencional con proyección a 10 años. Incluye relación ganancias finqueros y guadueros.

CONVENCIONAL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTALES	finquero	guaduoero
COSTOS SIEMBRA	-4.794.500,0										-4.794.500,0	-4.794.500,0	
COSTOS MANTENIMIENTO		-1.040.170,0	-1.144.187,0	-1.258.605,7	-1.384.466,3	-1.522.912,9	-1.675.204,2	-1.842.724,6	-2.026.997,1	-2.229.696,8	-14.124.964,5	-14.124.964,5	
COSTOS APROVECHAMIENTO						-11.412.800,0		-12.554.080,0		-13.809.488,0	-37.776.368,0		-64.984.568,0
INGRESOS VENTA 3280 GUADUAS /HA						42.744.000,0		47.018.400,0		51.720.240,0	141.482.640,0	27.208.200,0	141.482.640,0
<b>TOTAL</b>	-4.794.500,0	-1.040.170,0	-1.144.187,0	-1.258.605,7	-1.384.466,3	29.808.287,1	-1.675.204,2	32.621.595,4	-2.026.997,1	35.681.055,2	<b>84.786.807,5</b>	<b>8.288.735,5</b>	<b>76.498.072,0</b>
TIR	50%												
COSTOS SIEMBRA	-4.794.500,0										-4.794.500,0	-4.794.500,0	
COSTOS MANTENIMIENTO		-1.040.170,0	-1.144.187,0	-1.258.605,7	-1.384.466,3	-1.522.912,9	-1.675.204,2	-1.842.724,6	-2.026.997,1	-2.229.696,8	-14.124.964,5	-14.124.964,5	
COSTOS APROVECHAMIENTO						-5.706.400,0		-6.277.040,0		-6.904.744,0	-18.888.184,0		-32.128.184,0
INGRESOS VENTA 1600 GUADUAS /HA						20.800.000,0		22.880.000,0		25.168.000,0	68.848.000,0	13.240.000,0	68.848.000,0
<b>TOTAL</b>	-4.794.500,0	-1.040.170,0	-1.144.187,0	-1.258.605,7	-1.384.466,3	13.570.687,1	-1.675.204,2	14.760.235,4	-2.026.997,1	16.033.559,2	<b>31.040.351,5</b>	<b>-5.679.464,5</b>	<b>36.719.816,0</b>
TIR	29%												
COSTOS SIEMBRA	-4.794.500,0										-4.794.500,0	-4.794.500,0	
COSTOS MANTENIMIENTO		-1.040.170,0	-1.144.187,0	-1.258.605,7	-1.384.466,3	-1.522.912,9	-1.675.204,2	-1.842.724,6	-2.026.997,1	-2.229.696,8	-14.124.964,5	-14.124.964,5	
COSTOS APROVECHAMIENTO						-5.706.400,0		-6.277.040,0		-6.904.744,0	-18.888.184,0		-27.163.184,0
INGRESOS VENTA 1000 GUADUAS/ HA						13.000.000,0		14.300.000,0		15.730.000,0	43.030.000,0	8.275.000,0	43.030.000,0
<b>TOTAL</b>	-4.794.500,0	-1.040.170,0	-1.144.187,0	-1.258.605,7	-1.384.466,3	5.770.687,1	-1.675.204,2	6.180.235,4	-2.026.997,1	6.595.559,2	<b>5.222.351,5</b>	<b>-10.644.464,5</b>	<b>15.866.816,0</b>
TIR	8%												

## ANEXO 3

### RELACIÓN CONSTRUCCIÓN EN GUADUA Y CONSTRUCCIÓN EN ACERO

Se comparan las características ambientales de dos estructuras de cobertizo, una realizada en guadua y la otra en acero estructural

Cobertizo de 400x450x 300cm con techo a dos aguas.

Componentes:

4 postes, vigas de amarre y estructura para techo con vigas paralelas.

#### **Costos de guadua**

220 m de guadua según mediciones a la estructura in situ<sup>69</sup>. (Adicionando 20% desperdicio según expertos)

Son 55 piezas de guadua de 4m, \$ 13.000 es el precio de pieza de guadua tratada. El costo de material sin herrajes ni mano de obra es \$ 715.000. 36% del costo en acero

Densidad aproximada de la guadua 1

#### **Costos de acero estructural**

Perfiles de acero en C de 15x5 de 3" (35 m x \$ 69.500 6m), perfil rectangular de 5x5 de 3" (119mx \$ 93.300 6m), varilla 3/8 (18mx\$5.900 6m). Metros aproximados 154m, 30% menos material.

Costo del material \$ 1'967.500

Densidad aproximada del acero 7.6

Según el cuadro comparativo la guadua tendría más características favorables al medio ambiente y a la economía.

Si bien los estudios estructurales indican la gran resistencia estructural de la guadua (Hidalgo, 1978) (llamada como el acero vegetal), su imposibilidad de

---

<sup>69</sup> Cobertizo en guadua realizado en el patio de los talleres del SINDU en la Universidad Nacional. 2009.

estandarizar piezas de excelente calidad lo hacen un material poco viable para grandes estructuras, presenta dificultades principalmente el medio urbano.

En medio rural y cerca a suministros de materia prima resultaría ideal por la versatilidad en la construcción y economía. Su relativa corta vida útil generaría condiciones de trabajo para comunidades y al ser biodegradable el material no genera problemas acumulativos en los vertederos.

En condiciones especiales es posible pensar en la sustitución del material, dando un beneficio económico, ambiental y social.

Cuadro comparativo de características ambientales de la guadua y el acero.

	GUADUA	ACERO
Renovabilidad recurso	Renovable a corto plazo	No renovable Reciclable con costos ambientales y económicos
Contaminación H2O	Baja. Por inmunización y fertilizantes	Por sustancias toxicas, percolación
Cont Aire	Baja. Olores por inmunización y secado	Alta por fundición y material particulado explotación
Cont suelo	Material biodegradable, Materia Orgánica nutrientes	Escoria. Mochila ecológica mayor
Eco toxicidad	Baja por inmunización	Alta por sustancias peligrosas
Toxicidad humana	Baja, inmunización	Sustancias toxica en fundición. Soldadura. Vapores metálicos
Gasto energético	Bajo	Alto en fundición y soldadura
Suelo	Silvicultura protege ecosistema. Residuos sólidos biodegradables	Arrasa suelo, erosión. Residuos sólidos.
Agua	Guadua da servicios ambientales, alto beneficio agua	En riesgo
Largo vida útil	15 a 50 años según construcción.	Más de 100 y más según construcción
Gastos económicos	36% del acero	
Transporte	Lugares de difícil acceso, carga más liviana, más volumen	Almacenamiento más eficiente, mejores trayectos entre ciudades
Comercialización	Poca salida	Estabilidad
Ecoindicador 99 <sup>70</sup>	6.6 milipuntos (asumido como madera reforestada)	76 milipuntos

<sup>70</sup> Son datos de referencia de la tabla de Ecoindicadores 99. Si bien son para la comunidad europea, evidencian un comportamiento positivo o negativo de un material, proceso o uso energético.

## ANEXO 4

Realizar a profundidad el análisis del ciclo de vida del un producto o servicio suele ser largo, dispendioso, de alta incertidumbre y costoso, por ello se emplean programas como el SIMA PRO, Eco-it, Umberto, los cuales permiten una comparación de los procesos y materiales con los mismos parámetros de evaluación y unidad de puntaje.

En el caso de los programas basados en los ecoindicadores<sup>71</sup> su unidad de medida es el milipunto, el cual es un número que indica el impacto ambiental de dicho material o proceso y proviene de los datos obtenidos en los Análisis de Ciclo de Vida (de acuerdo a las metodologías empleadas por los investigadores de los programas modelados). Cuanto mayor es el indicador, mayor es el impacto ambiental.

Los parámetros de evaluación se basan en tres campos básicos de impacto que son: Daños a los ecosistemas, daños a la salud humana y escasez de recursos naturales, y sobre estos puntos se analizan los siguientes impactos: Ecotoxicidad, acidificación, eutrofización, calentamiento global, daños a la capa de ozono, smog, efectos cancerígenos, efectos respiratorios por material orgánico o inorgánico, disminución recursos orgánicos e inorgánicos (erosión y usos de suelo, fauna, flora), radiación.

Sin embargo, para este trabajo no es fiable el uso de estas herramientas puesto que los datos de los programas referencian los impactos en procesos y materiales europeos. Es posible generar algunas modificaciones al programa con valoraciones aplicadas a nuestro contexto, hecho que se ha intentado hacer sin buenos resultados tal como lo demuestra la tesis de maestría del ingeniero Bart van Hoof<sup>72</sup>.(1998). Es por ello que a modo de ejemplo se corrieron datos en dos programas, pero no se incluyen dentro del análisis central

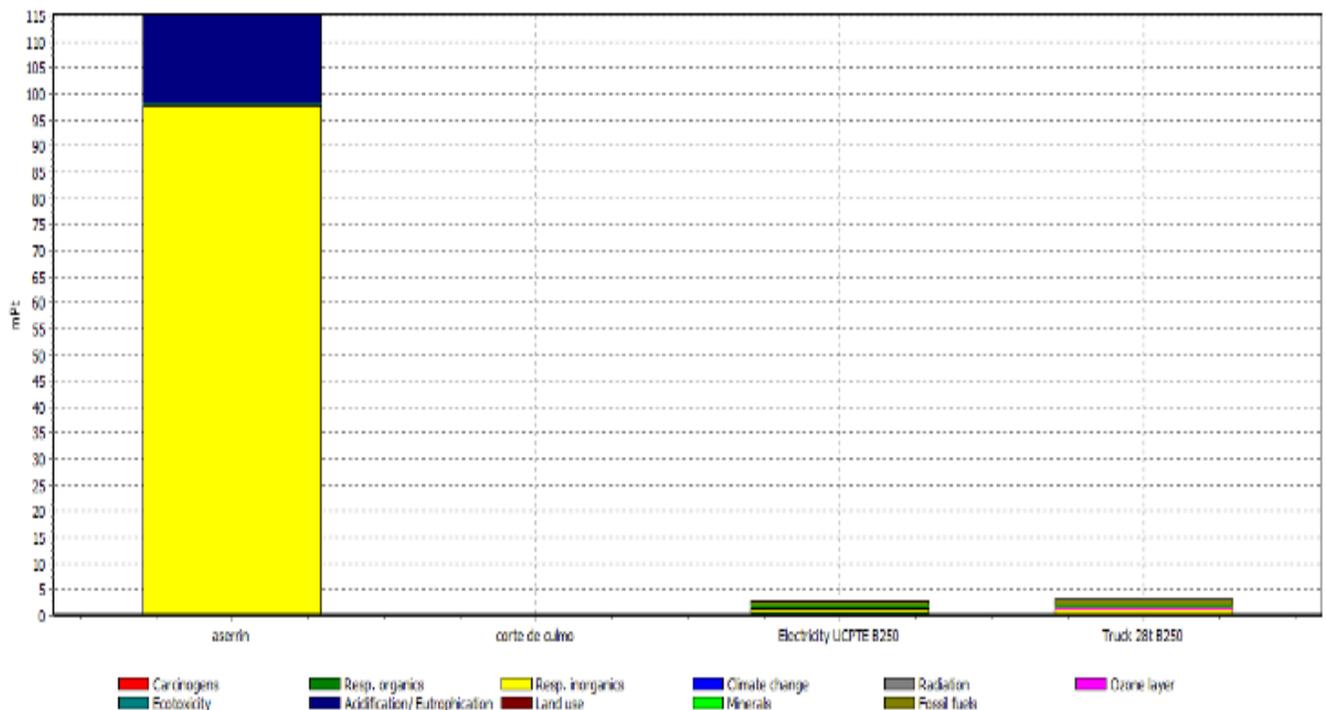
---

<sup>71</sup> Metodología creada por los holandeses en 1995 con transformaciones suizas en 1999 implementada en el análisis ambiental, la cual genera un parámetro de comparación o de evaluación que da pautas para determinar acciones para un mejoramiento de las características ambientales del producto. Fue creada por los ingenieros. Mark GOEDKOOOP, Suzanne Eftting y Marcel Collignon.

Manual for designers and the ecoindicator methodology. PRé Consultants. B.V.2000

<sup>72</sup> Ecoindicadores para la industria colombiana. Allí se trata de construir indicadores para ser adaptados a nuestro medio, sin embargo la baja cantidad de expertos en diferentes temas no logra que los datos sean fiables.

El gráfico 1 representa de la evaluación de impacto ambiental del aprovechamiento de una hectárea de bosque natural de guadua obtenida por el software Sima pro 7.1 el cual funciona con el método Ecoindicador 99 de Pré Consultants. En este gráfico se evidencia que el factor que más impacta es la gran cantidad de material particulado que se obtiene del proceso de laminado de los culmos, afectando la respiración con material orgánico e inorgánico y la generación de eutrofización en las fuentes de agua, los otros son el uso de energía y el transporte.



Analizando 1 kg (aserrín); Método: Eco-indicador 99 (h) V2.06 / Europe El 99 H(A) / puntuación única

**Gráfico 1** Evaluación de impacto ambiental del aprovechamiento de una hectárea de guadua de bosque natural, según software Simapro7.1.

El gráfico 2 corresponde al grafico y cuadro obtenido del programa Eco-it, éste también mide ecoindicadores bajo el método Ecoindicador 99 de Pré Consultants. Aquí se ilustran unos resultados del proceso convencional y evidencia que el mayor impacto se presenta en la fase de aprovechamiento, su mayor puntaje negativo ambiental se obtiene del proceso de secado por carbón.

**Grafico 2** Imagen de computador, programa Eco-it bajo método Ecoindicador 99. Proceso convencional.

