

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

**“Oferta y demanda de biomasa forestal en el área de influencia de la empresa  
Biomass Costa Rica, Guanacaste”**

---

Tesis para optar por el título de  
Ingeniería Forestal  
con el grado académico de licenciatura

Alonso Ulloa Leitón

**Cartago, Diciembre, 2014**



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA



ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

“Oferta y demanda de biomasa forestal en el área de influencia de la empresa  
Biomass Costa Rica, Guanacaste”

---

Tesis para optar por el título de  
Ingeniería Forestal  
con el grado académico de licenciatura

Alonso Ulloa Leitón

**Cartago, Diciembre, 2014**

## RESUMEN

El concepto de biomasa forestal, son a aquellos materiales que se desprenden en los aprovechamientos madereros y no son extraídos por no ser convertibles en subproductos, pero pueden ser utilizados como combustible (Velázquez, 2006). Esta materia prima representa un alto interés para las industrias para abaratar los costos de producción.

El objetivo de este estudio fue evaluar la situación actual del uso de la biomasa forestal en el área de influencia de la empresa Biomass Costa Rica, en la provincia de Guanacaste. Se contó con el registro de las empresas de Guanacaste que emplean calderas a partir de una base de datos de otro proyecto. Se muestreó el 30% del total de las empresas, es decir 10 empresas y se le aplicó una encuesta. Se determinó la demanda potencial de las astillas de madera, mediante el consumo actual de los diferentes combustibles empleados; además se comparó el costo actual del combustible y el costo potencial si se empleara esta materia. El uso de astillas de madera es más rentable que usar búnker, cascarilla de arroz, diésel y gas LP. En cuanto al bagazo de caña, este es más rentable que las astillas.

Se determinó la oferta de biomasa forestal para la especie *Tectonagrandis* (teca) a partir de los Pagos de Servicios Ambientales en Sistemas Agroforestales (PSA SAF) registrados entre los años 2009-2013 de Fondo Nacional para el Financiamiento Forestal (FONAFIFO). El volumen estimado de biomasa forestal para teca a los 20 años es de 6,700.94 ton/año.

Los resultados del estudio sugieren que el uso de las astillas de madera es un producto más rentable que otros combustibles. Además la oferta disponible en los SAF es una fuente de materia prima constante que permite el abastecimiento de la demanda.

**Palabras clave:** biomasa forestal, astillas de madera, caldera, Guanacaste.

## ABSTRACT

Forest biomass concept, are those materials that emerge from timber harvesting and are not extracted because they are not convertible into sub-products, but can be used as fuel (Velázquez, 2006). This raw material represents a high interest for industries to cheapen production costs.

The objective of this study was to evaluate the current situation of forest biomass usage in the area of influence of the company Biomass Costa Rica, in the province of Guanacaste. This study counted with a record of companies in Guanacaste employing boilers obtained from a database from another project. A 30% of all companies were sampled. Ten companies were sampled and a survey was applied. The potential demand for wooden chips was determined by the current consumption of the different fuels used; plus the actual cost of fuel was compared to the potential cost if this material is employed. The use of wooden chips is more profitable than using bunker, rice hulls, diesel and LPG. As for the cane bagasse, this is more profitable than chips.

Forest biomass supply for *Tectonagrandis* (teak) was determined from the Payments for Environmental Services in Agroforestry (PSA SAF) recorded between the years 2009-2013 of the National Forestry Financing Fund (FONAFIFO). The estimated volume of forest biomass for teak at 20 years is 6700.94 ton / year.

This study results suggest that the use of wooden chips is a more profitable product than other fuels. Besides the supply available in the SAF is a source of constant supply of raw material demand.

**Keywords:** forest biomass, wood chips, kettle, Guanacaste.

## ACREDITACIÓN

Esta tesis fue aceptada por el Tribunal evaluador de la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica y aprobada por el mismo como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura.

Miembros del Tribunal Evaluador



---

**Diego Camacho Comejo. MBA**  
Director de tesis  
Escuela de Ingeniería Forestal, ITCR



---

**Dagoberto Arias Aguilar, Ph.D.**  
Lector de tesis  
Escuela de Ingeniería Forestal, ITCR



---

**Carlos Salas Coto**  
Lector de tesis  
Biomass CR S.A



---

**Alfonso Ulloa Leitón**  
Estudiante  
Escuela de Ingeniería Forestal, ITCR

## **DEDICATORIA**

*“Dedico este trabajo a mis padres, cuyo apoyo ha sido incondicional a lo largo de mi carrera universitaria. Y especialmente a Dios, por darme la oportunidad de enseñarme el camino que debo seguir.”*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco primeramente a Dios por todas las oportunidades que me ha dado para poder estudiar, por las bendiciones que me ha regalado a lo largo de mis estudios, y por poner en mi camino aquellas personas que me han enseñado lecciones valiosas para la vida.

También, agradezco a mis padres porque gracias a ellos he podido salir adelante en mis estudios universitarios, y también a mis hermanos por el apoyo que siempre me han dado.

Se agradece a la empresa Biomass Costa Rica por los aportes económicos y la oportunidad de desarrollar el tema de tesis, también por el apoyo de mi director de tesis Diego Camacho Cornejo, MBA del Instituto Tecnológico de Costa Rica, a FONAFIFO por el aporte de información al proyecto; y finalmente al MICIT el cual ha brindado apoyo económico para desarrollar este proyecto.

<b>RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>2</b>
<b>ACREDITACIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>4</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS.....</b>	<b>8</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>9</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS.....</b>	<b>11</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>12</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>14</b>
<b>3. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>15</b>
<b>3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....</b>	<b>15</b>
<b>3.2 USO DE COMBUSTIBLES EN LAS INDUSTRIAS.....</b>	<b>16</b>
<b>3.3 USO DE LA BIOMASA FORESTAL.....</b>	<b>20</b>
<b>3.4 CICLO PRODUCTIVO DE LA BIOMASA FORESTAL.....</b>	<b>22</b>
<b>3.5 MERCADEO.....</b>	<b>24</b>
<b>4. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>26</b>
<b>4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EMPRESA BIOMASS COSTA RICA.....</b>	<b>26</b>
<b>4.2 DEMANDA POTENCIAL DE LA BIOMASA FORESTAL, EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA EMPRESA.....</b>	<b>27</b>



4.2.1	Encuesta aplicada .....	28
4.2.2	Cálculo del consumo potencial de astillas de madera .....	28
4.2.3	Análisis de las encuestas aplicadas .....	29
<b>4.3</b>	<b>OFERTA POTENCIAL DE BIOMASA FORESTAL EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA EMPRESA.....</b>	<b>29</b>
4.3.1	Oferta de biomasa forestal a partir de teca .....	30
<b>4.4.</b>	<b>PROPUESTA DE COMERCIALIZACIÓN DE LA BIOMASA FORESTAL A PARTIR DE LA DEMANDA POTENCIAL ACTUAL Y OFERTA DISPONIBLE. ....</b>	<b>31</b>
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>32</b>
<b>5.1</b>	<b>USO DE COMBUSTIBLES .....</b>	<b>32</b>
<b>5.2</b>	<b>USO DE CALDERAS .....</b>	<b>33</b>
5.2.1	Marcas de calderas registradas en el muestreo .....	36
<b>5.3.</b>	<b>MERCADO POTENCIAL DE LA BIOMASA FORESTAL .....</b>	<b>39</b>
5.3.1	Oferta de biomasa forestal a partir de los Pagos de Servicios Ambientales en Sistemas agroforestales.....	43
<b>5.4</b>	<b>PROPUESTA DE COMERCIALIZACIÓN DE LA BIOMASA FORESTAL A PARTIR DE LA DEMANDA POTENCIAL ACTUAL Y OFERTA DISPONIBLE. ....</b>	<b>49</b>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>51</b>
<b>7.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>53</b>
<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>55</b>
<b>9.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>61</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Densidades de los combustibles registrados en el muestreo de las empresas en Guanacaste, Costa Rica.....	17
<b>Cuadro 2.</b> Energía que pueden producir los combustibles muestreados. ....	18
<b>Cuadro 3.</b> Combustibles utilizados de las empresas totales y evaluadas en Guanacaste, Costa Rica.....	32
<b>Cuadro 4.</b> Combustibles utilizados en las calderas de las empresas muestreadas en Guanacaste, Costa Rica.....	34
<b>Cuadro 5.</b> Calderas muestreadas que emplean biomasa como combustible en Guanacaste, Costa Rica.....	35
<b>Cuadro 6.</b> Calderas de las empresas evaluadas en Guanacaste, Costa Rica	37
<b>Cuadro 7.</b> Uso potencial de las astillas de madera en las empresas interesadas muestreadas en Guanacaste, Costa Rica.....	42
<b>Cuadro 8.</b> Especies disponibles en los PSA SAF periodo 2009-2013 en Guanacaste Costa Rica. ....	43
<b>Cuadro 9.</b> Biomasa forestal de residuos de plantaciones disponible en los PSA SAF periodo 2009-2013 de la especie <i>Tectona grandis</i> , Guanacaste, Costa Rica.....	47
<b>Cuadro 10.</b> Clientes potenciales para la empresa Biomass Costa Rica, Guanacaste.....	49
<b>Cuadro 11.</b> Capacidad de abastecimiento de los PSA SAF de la especie teca para la empresa Biomass Costa Rica, Guanacaste.....	50

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación de la Región Chorotega.....	16
<b>Figura 2.</b> Residuos de biomasa forestal que se procesan para la producción de astillas de madera. ....	22
<b>Figura 3.</b> Ciclo productivo de la biomasa forestal.....	23
<b>Figura 4.</b> Astilladoras en funcionamiento de la empresa Biomass Costa Rica, Guanacaste.....	24
<b>Figura 5.</b> Ubicación de la empresa Biomass Costa Rica y de las empresas cliente, Guanacaste, Costa Rica. ....	26
<b>Figura 6.</b> Patio de acopio para los residuos y astillas de madera de la empresa Biomass Costa Rica, Guanacaste.....	27
<b>Figura 7.</b> Combustibles utilizados en las empresas en Guanacaste, Costa Rica. ....	33
<b>Figura 8.</b> Porcentaje de combustibles empleados en las calderas en las empresas muestreadas, Guanacaste, Costa Rica. ....	35
<b>Figura 9.</b> Porcentaje de calderas muestreadas que emplean biomasa como combustible en Guanacaste, Costa Rica .....	36
<b>Figura 10.</b> Calderas actuales en las empresas muestreadas en Guanacaste, Costa Rica.....	38
<b>Figura 11.</b> Calderas de las empresas muestreadas en Guanacaste, Costa Rica.....	39
<b>Figura 12.</b> Especies registradas en los PSA SAF periodo 2009-2013 en Guanacaste, Costa Rica.....	44

**Figura 13.**PSA SAF vigentes 2009-2013 en Guanacaste, Costa Rica. .... 45

**Figura 14.** Biomasa forestal disponible de la especie teca en los PSA SAF periodo 2009-2013, en Guanacaste, Costa Rica..... 48

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Empresas contactadas en Guanacaste, Costa Rica. ....	61
<b>Anexo 2.</b> Encuesta aplicada a las empresas contactadas Guanacaste, Costa Rica. ....	62
<b>Anexo 3.</b> Datos generales de las empresas muestreadas (primera parte de la encuesta), Guanacaste, Costa Rica. ....	63
<b>Anexo 4.</b> Calderas actuales de las empresas muestreadas (segunda parte) en Guanacaste, Costa Rica .....	64
<b>Anexo 5.</b> Experiencias anteriores del uso de calderas en las empresas muestreadas (tercer parte) en Guanacaste, Costa Rica. ....	65
<b>Anexo 6.</b> Potencial de cambiar el sistema de producción a biomasa con astillas en las empresas muestreadas (cuarta parte) en Guanacaste, Costa Rica. ....	66
<b>Anexo 7.</b> Características de las calderas de las empresas muestreadas en Guanacaste, Costa Rica.....	67
<b>Anexo 8.</b> Proyección de crecimiento para plantaciones de teca.....	68
<b>Anexo 9.</b> Productos forestales de teca en las diferentes clases diamétricas. .	69

## INTRODUCCIÓN

Desde el descubrimiento del fuego, la biomasa forestal ha acompañado al hombre suministrándole energía para calentarse, alimentarse y también para iluminar sus pasos; esta dependencia de esta materia, ha durado miles de años, en concreto hasta la segunda mitad del siglo XIX (Rico, 2007). Además, permitió el avance tecnológico en diferentes ámbitos, fue el primer combustible empleado para cocinar, calentar el hogar, hacer cerámica, para la producción de metales y alimentar las máquinas de vapor (Secretaría de energía, 2008). Esta materia ha sido trascendental en la historia del ser humano, para la satisfacción de sus diferentes necesidades.

En la transformación de la materia prima (madera en troza) en producto final (madera aserrada y secada), según datos de la organización Food and Agriculture Organization (FAO), en promedio las industrias forestales, sólo el 40% se transforma en producto final, es decir que un 60 por ciento del árbol queda en los diferentes procesos de producción (FAO, 1991). Por esta razón, es muy importante darle uso racional a toda esta materia “residual” que queda en el campo; ya sea a través de un procesamiento de astillado, lo cual optimiza el uso de la madera; minimizando los desperdicios.

En Costa Rica, el aumento de la demanda de energía eléctrica, así como la existencia limitada de recursos energéticos posibles de utilizar, han conducido a un aumento del costo de la electricidad y a una escasez progresiva de este recurso (Muñoz, 2007). Se debe buscar opciones de producción de energía eléctrica más baratas y de fácil acceso para que, las empresas puedan disminuir sus costos en la manufactura de sus productos y por lo tanto aumentar su rendimiento productivo. La producción de astillas de madera para combustión y producción de energía a partir de biomasa forestal, se convierte en una herramienta que podría permitir a las empresas disminuir sus costos en la producción.

En Costa Rica de acuerdo con datos del *Plan de expansión de la generación eléctrica periodo 2014-2035* del (ICE, 2014), el sistema eléctrico a diciembre del 2012 tenía una capacidad instalada efectiva de 2 682 MW, de los cuales un 66 % corresponde a plantas hidroeléctricas, un 20% a plantas térmicas, un 7% a plantas geotérmicas, un 5% a plantas eólicas y un 2% a biomasa. Este contexto refleja la realidad en que se encuentra el uso actual de la biomasa como fuente de energía renovable.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo General**

Evaluar la situación actual del uso de la biomasa forestal en el área de influencia de la empresa Biomass Costa Rica, en la provincia de Guanacaste.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Determinar la demanda potencial de la biomasa forestal, en el área de influencia de la empresa.
- Definir la oferta potencial de biomasa forestal a partir de los Proyectos de SAF de FONAFIFO en el área de influencia de la empresa.
- Establecer una propuesta de comercialización de la biomasa forestal a partir de la demanda potencial actual y oferta disponible.



### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 Descripción del área de estudio

El área de estudio se encuentra en la provincia de Guanacaste ubicada en la región Chorotega del territorio nacional de Costa Rica (figura 1). Presenta un relieve variado, que se puede subdividir en cuatro zonas (Alvarado, 2003):

- Faldas occidentales de la Cordillera de Guanacaste.
- Llanuras del río Tempisque y sector oriental del Golfo de Nicoya.
- Región montañosa de Nicoya.
- Costas y área insular.

En cuanto al clima, esta zona se caracteriza por presentar una larga estación seca invernal, modesto monto de precipitaciones. El clima varía de acuerdo a factores como el relieve, altura entre otros; en las faldas occidentales de la cordillera de Guanacaste hay un clima más templado, con lluvias abundantes. En las llanuras del río Tempisque el clima es de fuertes temperaturas, hasta 35°C según la época del año; y lluvias determinadas por el monzón del oeste, se alternan con largos períodos de sequía. Y en la Península de Nicoya el clima es fuertemente influenciado por el mar, con una pluviosidad de 1.200 mm por año (Alvarado, 2003).

La provincia de Guanacaste, se caracteriza por las actividades económicas tales como la agricultura extensiva de arroz, caña de azúcar, ganadería, producción forestal, acuicultura, turismo entre otras. Lo cual permite un dinamismo en la economía de la región. Por ejemplo la producción de caña de azúcar en esta región del país, representa la mayor parte del total a nivel nacional, debido a los factores geográficos y climáticos anteriormente

mencionados, lo cual permite el desarrollo óptimo de este cultivo(Bermúdez & Chaves, 2013).



**Figura 1.** Ubicación de la Región Chorotega.Fuente: (Alfaro, 2011)

### 3.2 Uso de combustibles en las industrias

La producción de energía permite el desarrollo y funcionamiento de las industrias en los diferentes sectores de la economía. En la naturaleza existen numerosas fuentes de energía renovable, tales como la radiación del sol, el agua de ríos y pantanos, las olas del mar, el viento o el calor de la tierra y otras. Además existen otras fuentes de energía que no son renovables como los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) y el uranio (energía nuclear)(Coakley, y otros, 2010).

Una de las formas de producir energía es a partir del uso de calderas, el cual es un dispositivo que está diseñado para generar vapor saturado. Este vapor

saturado se genera a través de una transferencia de energía (en forma de calor) en la cual el fluido, originalmente en estado líquido, se calienta y cambia de estado. La transferencia de calor se efectúa mediante un proceso de combustión que ocurre en el interior de la caldera, elevando progresivamente su presión y temperatura. La presión no puede aumentar de manera desmesurada, ya que debe permanecer constante por lo que se controla mediante el escape de gases de combustión, y la salida del vapor formado (Bonilla, Carranza, Castillo, Aguirre, & Casasola, 2009).

Por lo tanto es importante conocer las características de los combustibles más comunes en las industrias; para obtener una visión clara de las ventajas y desventajas de emplear estos en las calderas. En el cuadro 1 se tiene el valor de las densidades de los combustibles registrados en el estudio.

**Cuadro 1.** Densidades de los combustibles registrados en el muestreo de las empresas en Guanacaste, Costa Rica.

<b>Combustible</b>	<b>Densidad</b>	<b>Unidad</b>
Búnker	0.9366	g/ml
Diésel	0.8433	g/ml
Gas LP	0.5330	g/ml
Leña	0.3700	ton/m <sup>3</sup>

Fuente: (RECOPE, 2011) y (Biomass Costa Rica, 2014)

Otra de las características muy importantes es el poder calorífico que tienen los combustibles, ya que permite realizar comparaciones de estos con las astillas de madera. Este concepto hace referencia a la cantidad de energía desprendida por una unidad de combustible en su combustión completa, para

sus condiciones determinadas de presión y temperatura de los productos que reaccionan y de los productos resultantes (residuos)(Domínguez, 2013).

**Cuadro 2.** Energía que pueden producir los combustibles muestreados.

<b>Combustible</b>	<b>Unidad</b>	<b>Poder calorífico (KWh/unidad)</b>
Búnker	Litro	11,45
Gas LP	Litro	7,09
Astillas madera (35% contenido humedad)	Kilogramo	3,2
Diésel	Litro	11,1
Bagazo de caña húmedo	Kilogramo	2,97
Cascarilla de arroz	Kilogramo	3,83

Fuente: (SEAI, 2014) y (Packer, 2011)

A continuación se detallan algunas características y usos de los siguientes combustibles:

- Búnker
- Diésel
- Gas LP
- Bagazo de caña de azúcar
- Astillas de madera
- Cascarilla de arroz.

Búnker (fueloil No. 6):

De acuerdo con (EcoPetrol, s.f) este combustible es también conocido como fueloil No. 6, está elaborado a partir de productos residuales que se obtienen de los procesos de refinación del petróleo.

Según (Parra, 2003) este combustible tiene un amplio rango de usos, algunos de los principales son la calefacción doméstica, generación de calor en procesos industriales, generación de vapor en centrales de producción de energía eléctrica y como combustibles de motores de barco. La principal característica de este combustible es su alto poder calorífico, es por esta razón que se emplean para la generación de vapor.

### Diésel térmico:

De acuerdo a lo que reporta (RECOPE, 2011), uno de sus principales características es que presenta un nivel de azufre superior al diésel automotriz, establecido en fracción de masa de azufre 0,50%, tiene una viscosidad más alta y se compone de fracciones más pesadas. Por ser un combustible más pesado que el diésel automotriz brinda un mayor contenido energético, permitiendo así a las industrias producir energía eléctrica.

### Gas LP (LPG):

El Gas Licuado de Petróleo (LPG) es la mezcla de gases condensables provenientes del proceso de refinación del petróleo. El mismo es inodoro e incoloro, pero se le adiciona un odorizante (un metil mercaptano) que le otorga un olor pestilente para posibilitar su identificación en caso de fugas. A nivel industrial, se utiliza en hornos de alta temperatura que requiere combustibles que dejen poco residuo. Asimismo Se puede generar energía eléctrica mediante la utilización de un alternador en los sectores doméstico y agrícola(RECOPE, 2011).

### Bagazo de caña de azúcar

El bagazo es el producto que queda de la caña después de ser molida en los trapiches que extraen su jugo para la elaboración del azúcar y se emplea fundamentalmente como combustible en las calderas generadoras del vapor necesario para el accionamiento de las máquinas térmicas y para los procesos de calentamiento, concentración, cocimiento, secado, destilación de alcohol y otros. La cantidad de bagazo depende de su humedad, fibra de la caña y del tipo de cosecha y es aproximadamente el 30% de la caña molida(Agüero, Pisa, Agüero, & Torres, 2004). La importancia de esta materia es que se aprovechan los mismos residuos y se abaratan los costos de producción.

### Astillas de madera

Las astillas son pequeñas piezas de madera que pueden ser derivadas de una amplia variedad de materias primas tales como residuos madereros (a partir de aprovechamientos forestales, madera de raleos, troncos y raíces o desechos de madera) (Hotel Energy Solutions, s.f). Se emplean para calefacción doméstica, producción de energía a partir de su combustión, para decoraciones de jardines, como abono en plantaciones, entre otros.

### Cascarilla de arroz

Del proceso de industrialización del arroz en sí, se desprende un residuo: la cascarilla del arroz, que por sus características de baja humedad podría convertirse en un combustible potencial. Este es un residuo que se puede emplear para secar el arroz por medio de hornos de quemado utilizando los gases para secado (Barahona & Núñez, 2014).

## **3.3 Uso de la biomasa forestal**

El concepto de biomasa se refiere al conjunto de sustancias orgánicas presentes en un hábitat. Las formas en que se presenta son muy variables, pero no sólo en la forma, sino en los usos primarios que se le puedan dar (Varela, 2013).

La biomasa forestal es toda aquella materia del árbol que no se aprovecha en el producto final es decir son los residuos de los diferentes procesos forestales (FOCER, 2002). Otro autor menciona que el concepto de biomasa forestal son todos aquellos materiales que se desprenden en los aprovechamientos madereros y no son extraídos habitualmente por no ser convertibles en subproductos pero que pueden ser utilizados como combustible orgánico (Velázquez, 2006).

De acuerdo con (López & Codina, 2010) algunas de las características principales de la biomasa forestal son (figura 2):

- Material heterogéneo.
- Elevado contenido de humedad.
- Poco valor agregado.
- Dispersión sobre el terreno

Por otra parte, esta materia prima tiene diferentes aplicaciones como por ejemplo:

- Producción de calor.
- Producción de electricidad.
- Se emplea para abaratar los costos de producción en las industrias.

La obtención de biomasa forestal, puede ser procedente de prácticas silvícolas podas y raleos (ENCE, S.A, 2010); también del aprovechamiento de residuos en las industrias de aserrío de madera, de las cuales se extrae aserrín, virutas, costillas de las trozas aserradas, madera con algún tipo de defecto (figura 2); y finalmente se puede obtener a partir de cultivos exclusivos para este propósito, en donde el ciclo productivo es a corto plazo (IDAE, 2007).

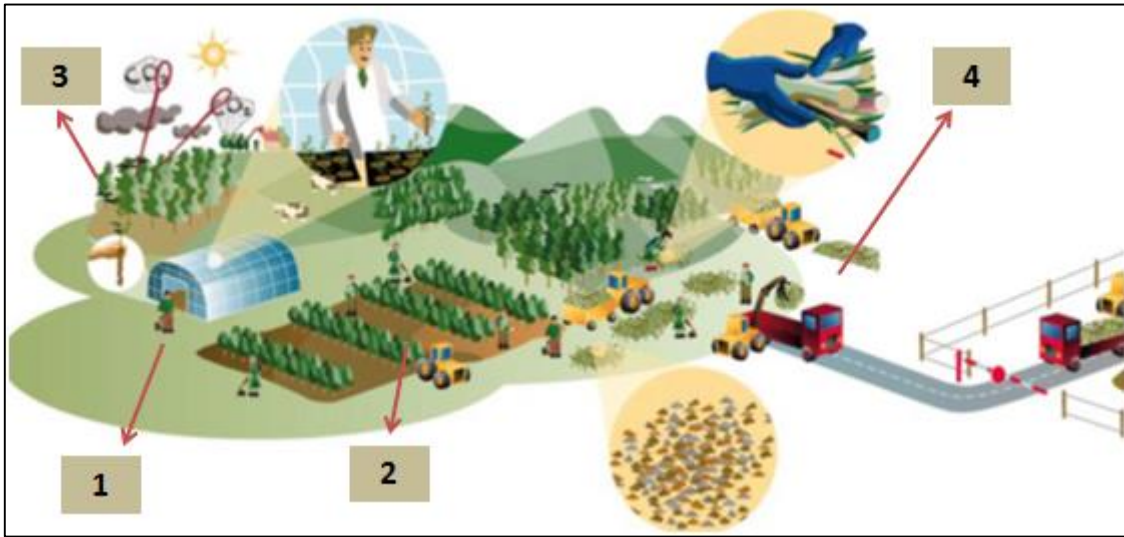


**Figura 2.** Residuos de biomasa forestal que se procesan para la producción de astillas de madera. 1. Residuos de raleos apilados en el patio de acopio. 2. Astillas de madera producidas a partir de residuos de plantaciones forestales. 3. Residuos dispersos en la plantación forestal. 4. “Costillas” de las trozas procesadas. Fuente: (*Biomass Costa Rica, 2014*)

### **3.4 Ciclo productivo de la biomasa forestal**

En cuanto al ciclo productivo, como se muestra en la figura 3, es un proceso dinámico en el tiempo, su producción dependerá del objetivo final de la plantación y las técnicas de producción dependerán del entorno en que se desarrolle. De esta forma se aplica la tecnología que mejor se adapte a las condiciones para maximizar la producción y minimizar los costos operativos.





**Figura 3.** Ciclo productivo de la biomasa forestal. 1. Producción de plántulas para la plantación forestal. 2. Establecimiento de la plantación forestal. 3. Crecimiento de la plantación mediante el proceso fotosintético. 4. Aprovechamiento y procesamiento de los residuos de la plantación en campo. Fuente: (ENCE, S.A, 2010).

El proceso de transformación de la biomasa forestal en astillas, se realiza con máquinas que están diseñadas para el ataque a materiales blandos, generalmente árboles, madera o productos de madera que no contienen elementos duros, reduce la madera sólida a partículas mediante un mecanismo de corte con cuchillas, las cuales están montadas sobre elementos rotatorios con velocidades angulares relativamente altas (Tolosana, Laina, Martínez, & Ambrosio, 2009), en la figura 4 se observa la maquinaria especializada para esta tarea. El producto obtenido permite a muchas empresas, reducir los costos del consumo energético para la producción, mediante la combustión de estas astillas (Muñoz, 2007).



**Figura 4.** Astilladoras en funcionamiento de la empresa Biomass Costa Rica, Guanacaste. Fuente: (Biomass Costa Rica, 2014)

### **3.5 Mercadeo**

El comportamiento del mercado es conformado por los compradores y vendedores potenciales del producto o servicio que se vaya a elaborar según el proyecto; la estructura del mercado y el tipo de ambiente competitivo donde operan los oferentes y compradores de un producto (Sapag & Sapag, 2003). Por lo tanto los compradores potenciales en este caso son las industrias interesadas en reducir los costos de producción mediante la implementación de las astillas de madera en las calderas.

El objetivo general de una empresa es el de obtener las mayores ganancias al menor costo posible; es decir maximizar la producción al mínimo costo. Los costos se clasifican en fijos y variables. Los fijos son aquellos que no cambian con el nivel de producción; mientras que los variables son aquellos que sí cambian con el nivel de la producción (Rosales, 2011). Por lo tanto:

$$\text{Costo total} = \text{costo fijo} + \text{costo variable}$$

Existen otros conceptos fundamentales que se abarcó en el estudio y el cual permitió analizar la información recolectada. Son los siguientes:

**Egreso:** son los costos o gastos necesarios para desarrollar las actividades comerciales de una empresa (Hernández, 2006).

**Ingreso:** los ingresos son incrementos del patrimonio neto, distintos de las aportaciones de fondos a la entidad por parte de los propietarios, como consecuencia de las actividades económicas de venta de bienes o prestación de servicios o como consecuencia de las variaciones en el valor de los activos y pasivos que deben reconocerse contablemente. Es decir los ingresos se materializan en incrementos en el valor de los activos o disminución del valor de sus pasivos (o combinación de los dos) (Alcarría, 2008).

**Demanda:** es la sumatoria de las cantidades de un bien o servicio demandados por periodos por los consumidores que lo necesite a un precio determinado (Hernández, 2006).

Se denomina demanda de un bien a la cantidad del mismo que se desea adquirir por periodo el grupo de sujetos que lo necesita a un precio determinado; este surge del plan económico del sujeto en el que se conjuga el deseo de comprar, la capacidad de hacerlo y la decisión de pagar un precio determinado (Lidon, 1998)

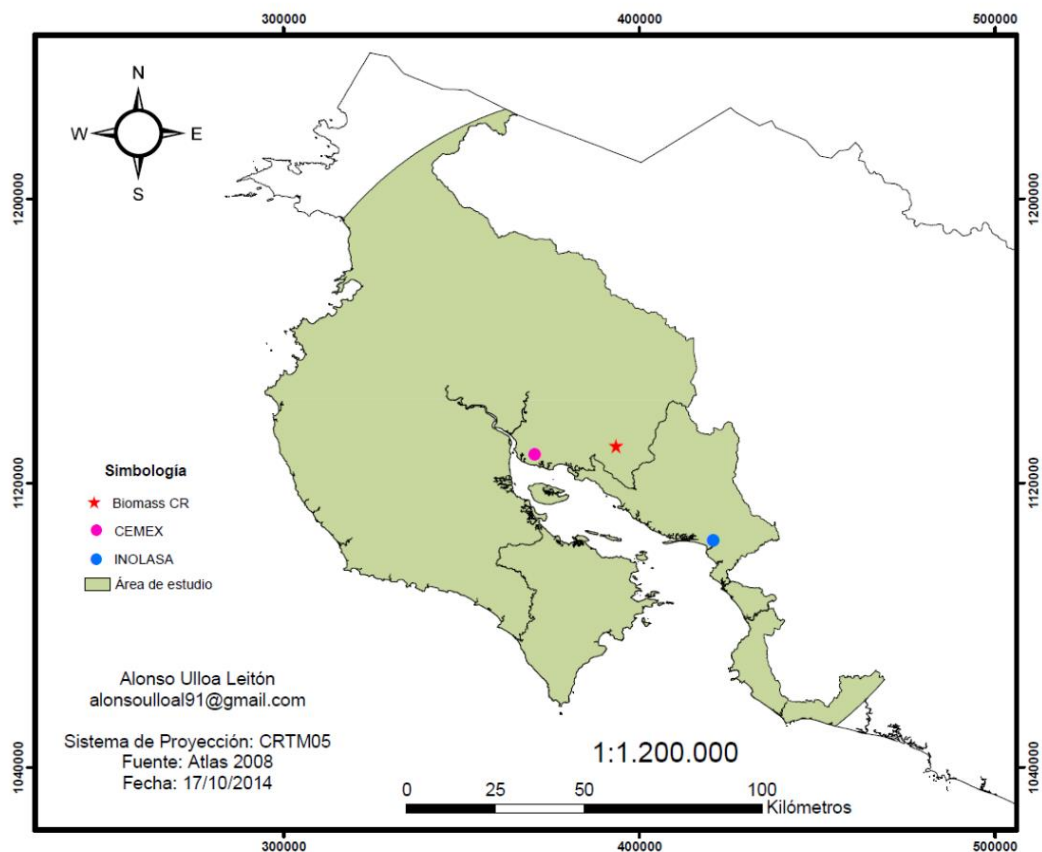
**Oferta:** el término oferta se puede definir como el número de unidades de un determinado bien o servicio que los vendedores están dispuestos a vender a determinados precios (Sapag & Sapag, 2003).

**Precio:** es la cantidad de dinero, u otros elementos de utilidad, que se necesita para adquirir un producto, por ello, se puede decir que el precio puede llegar a implicar algo más que dinero durante un trueque (cambio de bienes o servicios por otros productos) (Stanton, Etzel, & Walker, 2004). Además sólo una de las herramientas de la mezcla de *marketing* que una empresa utiliza para alcanzar sus objetivos de mercadeo. Las decisiones sobre precios se debe coordinar con las decisiones del diseño de productos, distribución y promoción para formar un programa de mercadeo coherente y eficaz (Kothler & Armstrong, 2003).

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 Descripción general de la empresa Biomass Costa Rica.

La empresa Biomass Costa Rica, se ubica en la provincia de Guanacaste, Cantón de Abangares, distrito San Juan en Costa Rica. Se dedica a la producción de astillas de madera a partir de residuos de plantaciones forestales. La empresa cuenta con un patio de producción tanto para recibir la materia prima como para su posterior transformación, y una oficina para las operaciones administrativas. Los principales clientes son las empresas CEMEX ubicada en Guanacaste, cantón de Abangares, distrito Colorado; e INOLASA ubicada en Puntarenas, en el cantón de Puntarenas, distrito Barranca (figura 4 y 5).



**Figura 5.**Ubicación de la empresa Biomass Costa Rica y de las empresas cliente, Guanacaste, Costa Rica.



**Figura 6.** Patio de acopio para los residuos y astillas de madera de la empresa Biomass Costa Rica, Guanacaste. Fuente: (Biomass Costa Rica, 2014)

#### **4.2 Demanda potencial de la biomasa forestal, en el área de influencia de la empresa.**

La demanda potencial se determinó a partir de un muestreo de las empresas existentes en la zona de Guanacaste (se incluyó INOLASA en el estudio por ser un importante cliente para la empresa actualmente, y se consideró parte de la provincia de Guanacaste). Este muestreo se realizó a partir de una base de datos existente en donde informa el nombre de las empresas, sus ubicaciones, número de calderas existentes, y tipo de combustibles empleados por estas. En el anexo 1 se encuentran el total de las empresas dentro del área de influencia.

Se definió un radio de influencia de la empresa de 100 km, en este se ubicaron los cantones que estaban dentro y se excluyeron los demás, con el objetivo de descartar empresas que estaban fuera del área de influencia. Las empresas que están dentro de estos cantones, se les contactó para aplicar una encuesta

ya sea vía electrónica o bien visita directa. Del total de las empresas que se encuentran dentro de este radio, se definió un 30% de muestreo para poder abarcar la mayor cantidad de sectores industriales de la zona (tipos de combustibles, número de calderas y actividades de las empresas).

#### **4.2.1 Encuesta aplicada**

La encuesta que se le aplicó a las empresas (anexo 2) consta de 4 partes, la primera es sobre la información general de la empresa, fecha y hora en que se aplicó, nombre y ubicación de la empresa, información del personal que suministró la información (anexo 3).

La segunda parte de la encuesta se enfocó en los equipos actuales de la empresa, es decir el tipo de calderas que actualmente están en funcionamiento, la marca respectiva, el tipo de combustible que se emplea, y su consumo actual de este, y algunas observaciones adicionales (anexo 4).

En cuanto a la tercer parte de la encuesta, se determinó las experiencias anteriores ya sea con otras calderas que tenían, tipos de combustibles que dejaron de emplear, o bien el consumo que requerían estos equipos (anexo 5). Finalmente en la cuarta parte, se necesitó determinar el interés potencial de las empresas por cambiar de un sistema de calderas a otro de manera que puedan consumir las astillas de madera. De esta forma se determina el consumo potencial de astillas y su respectivo costo (anexo 6).

#### **4.2.2 Cálculo del consumo potencial de astillas de madera**

La información sobre el consumo de combustibles obtenida de las encuestas, se homogenizó en ton/día o bien litros/día. En el anexo 4 se encuentran en ton/día, este cálculo se logró mediante la densidad de los combustibles registrados y el potencial energético de estos (cuadro 1 y 2 respectivamente). Se determinó los Kilowatts hora (KWh) que pueden producir de acuerdo a esa cantidad dada; es decir este valor representa la demanda potencial actual de

energía para que estas industrias puedan operar normalmente. Este valor de KWh, se calculó de la siguiente forma:

1. Consumo actual (KWh/día):

$$\frac{\text{Combustible (unidad)}}{\text{día}} * \frac{\text{KWh combustible}}{\text{Unidad}}$$

2. Consumo potencial de astillas (ton/día):

$$\frac{\text{KWh}}{\text{día}} * \frac{1\text{Kg Astillas}}{3.2\text{ KWh}} * \frac{1\text{ ton Astillas}}{1000\text{ Kg Astillas}}$$

#### **4.2.3 Análisis de las encuestas aplicadas**

Las encuestas aplicadas a las empresas contactadas, se analizaron a través de cuadros de resumen donde se tienen los respectivos porcentajes para cada dato, y también se realizó gráficos para observar y comparar los diferentes datos de los cuadros. De esta manera se optimizó la información recolectada de la aplicación de las encuestas.

#### **4.3 Oferta potencial de biomasa forestal en el área de influencia de la empresa.**

La oferta potencial de biomasa forestal se determinó mediante los Pagos de Servicios ambientales en Sistemas Agroforestales (PSA SAF) vigentes para el periodo 2009-2013. La información fue suministrada en formato shape directamente de la oficina central del Fondo Nacional para el Financiamiento Forestal (FONAFIFO) y de las oficinas subregionales de los cantones de Cañas y Nicoya. Esta incluye información sobre el beneficiario, contrato, árboles en el PSA, modalidad agroforestal y especie registrada. Se clasificaron las especies y se hizo la sumatoria de los individuos registrados.

#### 4.3.1 Oferta de biomasa forestal a partir de teca.

La información acerca de las especies registradas en los PSA SAF permitió determinar el potencial de oferta para la especie teca (*Tectonagrandis*). La cantidad de biomasa disponible de esta especie, se determinó a partir de la siguiente fórmula planteada por (Quitóran, 2010):

$$BA = 0.1184 * dap^{2.53}$$

Donde:

BA= Biomasa verde de árboles vivos (kg)

Dap= Diámetro a la altura del pecho

0.1184= Constante

El volumen total de biomasa forestal se calculó mediante proyecciones del diámetro esperado de la teca a diferentes edades (anexo 8). Conforme el individuo crece los porcentajes de producto disponible cambian con las clases diamétricas; por lo que se empleó un porcentaje para descartar el producto final (madera para aserrío) de la biomasa para astillar (leña) disponible en ese momento (anexo 9). Es decir del total de la biomasa forestal (incluyendo las trozas comerciales) un porcentaje terminará siendo producto final y otro porcentaje quedará en campo (biomasa residual). Por lo tanto, a la fórmula anteriormente planteada se le multiplicó el valor obtenido por el porcentaje respectivo de leña, sería:

$$BA \text{ disponible} = \frac{BA}{1000} * \frac{N}{P} * \% \text{ leña}$$

Donde:

BA= Biomasa verde de árboles vivos (kg)

N= número árboles

P= periodo del PSA SAF en años

% leña= Porcentaje de leña esperado en la clase diamétrica

El número total de árboles de teca por año se consideró constante para la proyección de la biomasa forestal en esta especie.



#### **4.4. Propuesta de comercialización de la biomasa forestal a partir de la demanda potencial actual y oferta disponible.**

La propuesta de comercialización se planteó a partir de los datos obtenidos en la demanda potencial calculada y la oferta de biomasa a partir de los PSA SAF en Guanacaste. Este es una estimación de lo que podrían consumir las empresas diariamente, y con los datos de la biomasa forestal disponible, se determinó el porcentaje que puede abastecer la demanda potencial.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Uso de combustibles

Los diferentes combustibles que se emplean en las industrias ubicadas en la provincia de Guanacaste, se muestran en el cuadro 3. El búnker es el que presenta mayor uso con un 23 % del total; contrariamente a la madera, leña y cascarilla de arroz con un 3% cada una.

Para el caso de las astillas de madera, representan un 10% del total; es decir que de las 30 empresas identificadas, solamente 3 industrias utilizan este tipo de combustible (cuadro 3).

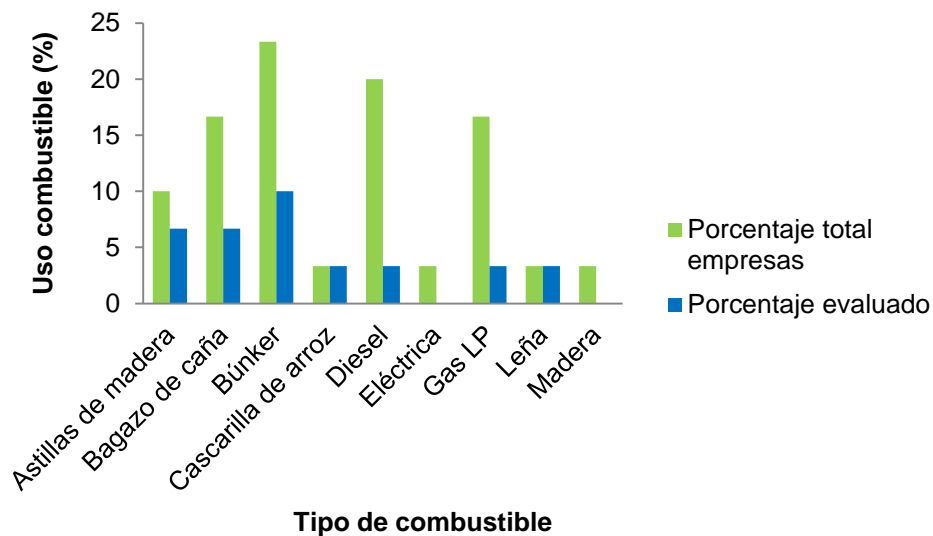
Las empresas evaluadas representan un 37% del total de las industrias identificadas. Esta evaluación abarcó los diferentes tipos de combustibles utilizados, excepto para tipo eléctrica y madera.

**Cuadro 3.** Combustibles utilizados de las empresas totales y evaluadas en Guanacaste, Costa Rica.

Combustible	Total empresas	Porcentaje total empresas	Empresas evaluadas	Porcentaje evaluado
Astillas de madera	3	10	2	7
Bagazo de caña	5	17	2	7
Búnker	7	23	3	10
Cascarilla de arroz	1	3	1	3
Diésel	6	20	1	3
Eléctrica	1	3	0	0
Gas LP	5	17	1	3
Leña	1	3	1	3
Madera	1	3	0	0
Total empresas con tipo combustible registrado	<b>30</b>	<b>100</b>	<b>10</b>	<b>37</b>

Fuente: Base de datos (Arias, 2014)

En la figura 7 se muestra gráficamente el porcentaje de combustibles utilizados total y evaluado respectivamente. La tendencia del uso de combustibles para ambas, es proporcional, donde el de mayor consumo es búnker y la de menor consumo es madera, leña y cascarilla de arroz.



**Figura 7.** Combustibles utilizados en las empresas en Guanacaste, Costa Rica.

## 5.2 Uso de calderas

El número de calderas presentes en las empresas analizadas, permitió determinar el tipo de combustible que requieren de mayor demanda actualmente. En el cuadro 4, se tiene que las calderas muestreadas con mayor frecuencia fueron las que utilizan búnker, seguido por el bagazo de caña; y las menos frecuentes son las que emplean cascarilla de arroz, madera, coquito y astillas de madera, respectivamente.

Los factores que influyen en el tipo de calderas dentro de las empresas son la accesibilidad y rentabilidad del combustible, el cual determina el tipo de caldera a emplear por las industrias. El bagazo de caña por ejemplo es uno de los combustibles que por sus características rentables es el más utilizados por las industrias azucareras, ya que se aprovecha el residuo del proceso productivo del azúcar, por lo que las calderas son abastecidas por los mismos, lo cual genera ahorro de combustible (en cuanto al costo de abastecimiento) y ventajas competitivas para la empresa.

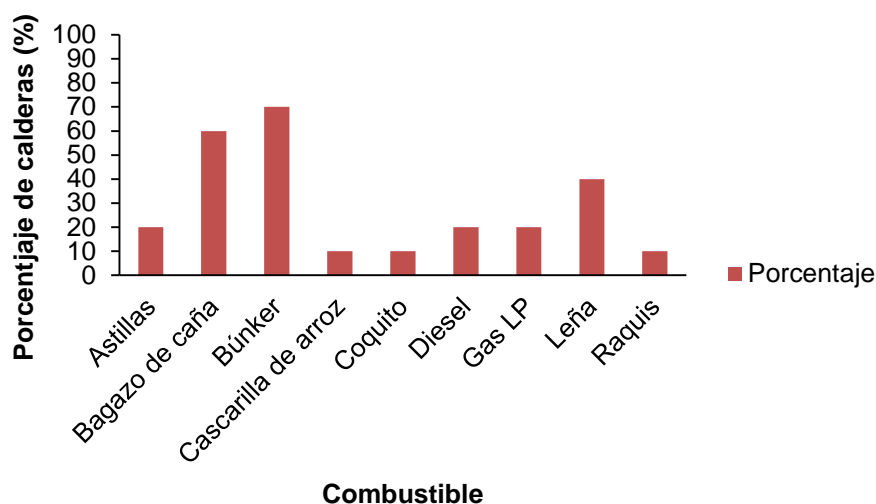
**Cuadro 4.** Combustibles utilizados en las calderas de las empresas muestreadas en Guanacaste, Costa Rica.

<b>Combustible</b>	<b>Número de calderas</b>	<b>Porcentaje</b>
Astillas	2,00	7,69
Bagazo de caña	6,00	23,08
Búnker	7,00	26,92
Cascarilla de arroz	1,00	3,85
Coquito	1,00	3,85
Diesel	2,00	7,69
Gas LP	2,00	7,69
Leña	4,00	15,38
Raquis	1,00	3,85
<b>Total</b>	<b>26,00</b>	<b>100</b>

Fuente:(Arias, 2014)

En la figura 8 se muestra los porcentajes respectivos de los tipos de combustibles empleados por las empresas muestreadas. El búnker es el más empleado en las calderas con 26,9% del total de las calderas; y los menos comunes son la cascarilla de arroz, raquis, coquito y raquis con 3.8% del total respectivamente.

Guanacaste es la región que actualmente tiene mayor área cultivada con caña, el cual representa un 54,51% del total de área de cultivos a nivel nacional (Bermúdez & Chaves, 2013); por lo que el bagazo de caña representa una fuente importante de combustible para los ingenios. Además se observa que el uso del bagazo de caña como combustible representa un 23,1% del total muestreado, superado solo por el búnker con un 26.9%.



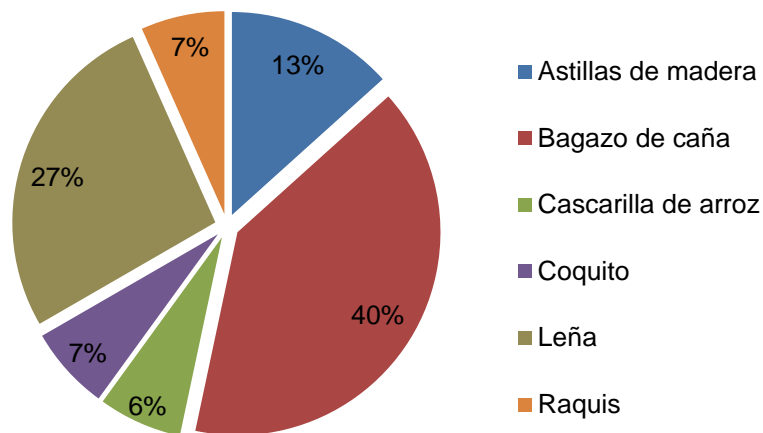
**Figura 8.** Porcentaje de combustibles empleados en las calderas en las empresas muestreadas, Guanacaste, Costa Rica.

El uso de la biomasa en las calderas muestreadas representa un 57,69%, es decir que de las 26 calderas muestreadas, 15 emplean cualquier tipo de biomasa, como se muestra en el cuadro 5. En la figura 9, el bagazo de caña es el combustible más común con un 40% del total de las empresas muestreadas que emplean biomasa, seguido por la leña con un 26,7% y luego por las astillas de madera con un 13,3%.

**Cuadro 5.** Calderas muestreadas que emplean biomasa como combustible en Guanacaste, Costa Rica.

Combustible	Número de calderas	Porcentaje de calderas (%)
Astillas de madera	2.0	13.3
Bagazo de caña	6.0	40.0
Cascarilla de arroz	1.0	6.7
Coquito	1.0	6.7
Leña	4.0	26.7
Raquis	1.0	6.7
Total	15.0	100.0

Fuente:(Arias, 2014)



**Figura 9.** Porcentaje de calderas muestreadas que emplean biomasa como combustible en Guanacaste, Costa Rica

Se hace la observación que algunas calderas pueden utilizar una combinación de diferentes tipos de biomasa.

### 5.2.1 Marcas de calderas registradas en el muestreo

La marca de caldera más común que se encontró en el estudio, fue *Cleaver Brooks*, en el cuadro 6 se observa que representa un 35% de las calderas de las empresas evaluadas, el tipo de combustible que requiere para su funcionamiento es el búnker. Este tipo de combustible fue el que se registró con mayor frecuencia en las industrias muestreadas.

Las empresas azucareras que consumen bagazo de caña como combustible, utilizan diferentes marcas de calderas como *American SugarEng., Babcock and Wilcox, Combustionengineering, HBP, Nebraska y Petra*; para un total de 6 calderas evaluadas, es decir un 30% del total de número de calderas de las empresas evaluadas.

En cuanto a las que consumen biomasa forestal específicamente como astillas de madera y leña, estas representan un 10% y un 20% respectivamente, para un total del 30% de las calderas evaluadas. Para las empresas que emplean

las astillas de madera, utilizan las marcas *Nebraska* y *HBP*, sin embargo como se muestra en el cuadro 6, estas calderas funcionan en combinación con el bagazo de caña; de acuerdo con los datos recolectados. Las astillas de madera se emplean como complemento cuando se necesita realizar el arranque de las calderas; debido a que se consume mayor cantidad de biomasa; también se emplea por el poder calorífico el cual es mayor que el bagazo de caña y permite un mayor rendimiento para el arranque de esta (cuadro 2).

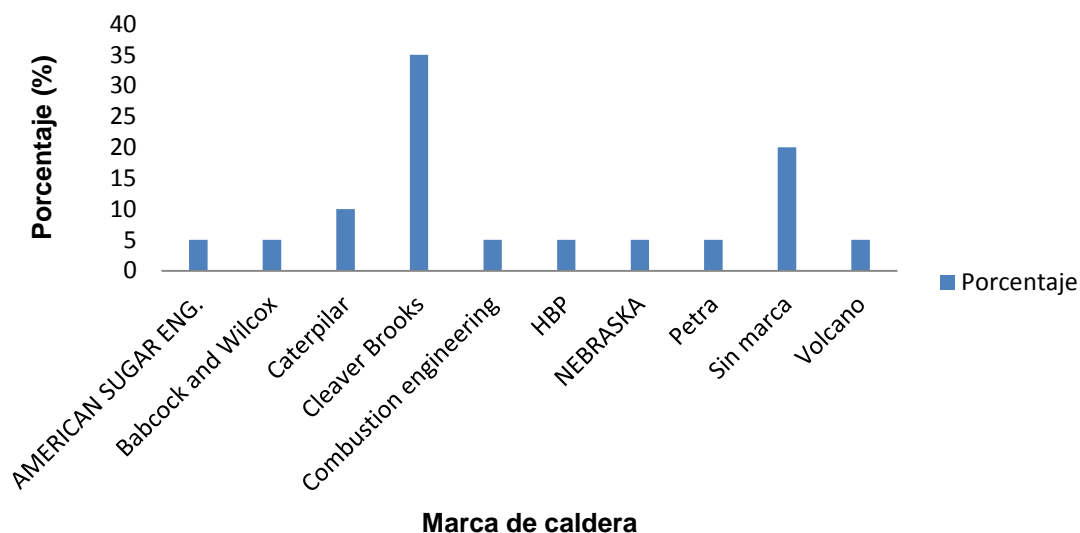
Para el caso de la leña, estas calderas funcionan con residuos de plantaciones y aserraderos, sin ningún tratamiento previo al uso; el tipo de caldera que emplea esta materia es de tipo horno, se registraron 4 hornos sin marca, es decir fueron construidos por la misma empresa (figura 10).

**Cuadro 6.** Calderas de las empresas evaluadas en Guanacaste, Costa Rica

Marca	Combustible	Porcentaje (%)	Número de calderas
<i>American SugarEng.</i>	Bagazo de caña	5	1
<i>Babcock and Wilcox</i>	Bagazo de caña	5	1
<i>Caterpillar</i>	Diésel	10	2
<i>Cleaver Brooks</i>	Búnker	35	7
<i>Combustionengineering</i>	Bagazo de caña	5	1
<i>HBP</i>	Bagazo de caña y astillas de madera	5	1
<i>Nebraska</i>	Bagazo de caña y astillas de madera	5	1
<i>Petra</i>	Bagazo de caña, coquito, raquis	5	1
<i>Sin marca</i>	Leña	20	4
<i>Volcano</i>	Cascarilla de arroz	5	1
<i>York Shipley</i>	Gas LP	10	2
Total		100	20

La marca de caldera más frecuente fue la *Cleaver Brooks* como se muestra gráficamente en la figura 10. Seguidamente por la que es *Sin marca*, y en las demás marcas como *American SugarEng.*, *Babcock and Wilcox*, *HBP*, *Nebraska* y *Petra* se muestrearon una por empresa, pero estas tienen en común el tipo de combustible que es el bagazo de caña, y estas dos últimas además del bagazo de caña utilizan astillas de madera. Por otra parte, las que

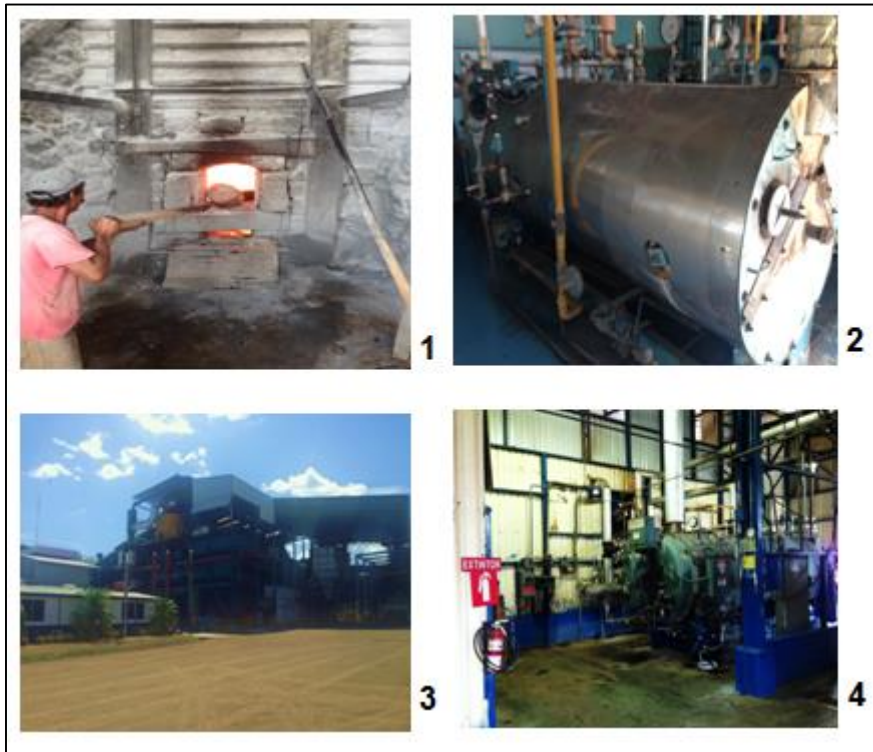
registraron 2 calderas por marca como la *Caterpillar* y *York Shipley* utilizan diésel y gas LP respectivamente. La caldera *Volcano* es la única que emplea cascarilla de arroz, representa un 5% de las calderas muestreadas.



**Figura 10.** Calderas actuales en las empresas muestreadas en Guanacaste, Costa Rica.

En la figura 11 se observan las diferentes calderas muestreadas en las empresas, en la primer imagen son los hornos de leña que funcionan para procesar la piedra caliza en la producción de cemento (de forma artesanal); en la imagen dos, se tiene la caldera marca *York Shipley* que funciona con gas LP en el Hospital La Anexión. En la tercer imagen se aprecia el tamaño de las calderas en la empresa Azucarera El Viejo, las marcas son *Babcock and Wilcoxy Combustionengineering*; finalmente en la imagen cuatro la caldera es de la marca *Cleaver Brooks* la cual consume búnker, ésta es en la empresa Aquacorporación Internacional. Estas industrias a pesar de que se dedican a actividades diferentes, reflejan claramente la importancia del uso de los combustibles en los procesos de producción.





**Figura 11.** Calderas de las empresas muestreadas en Guanacaste, Costa Rica. 1. Horno de leña en Calizas Nicoyanas. 2. Caldera de Gas LP en el Hospital La Anexión. 3. Caldera de bagazo de caña en Azucarera El Viejo. 4. Caldera de búnker en Aquacorporación Internacional. Fuente: (Rojas, 2014).

### 5.3. Mercado potencial de la biomasa forestal

El uso de la biomasa forestal en las empresas evaluadas es de un 30% donde se incluye la leña con un 20% y las astillas de madera que corresponde a un 10%. Estos porcentajes es la situación actual del uso de esta materia prima; sin embargo existen algunas empresas que tienen ese potencial de cambiar el uso de combustibles de búnker, o diésel por las astillas de madera. Entre las empresas que cuentan con este potencial son las que respondieron “sí” a la pregunta de la encuesta del anexo 6. Un 50% de las empresas encuestadas respondieron al “sí” y el 50% restante respondió “no”.

Los argumentos de las empresas que respondieron “no” son los siguientes:

- No se dispone de espacio suficiente y de infraestructura adecuada para el almacenamiento de las astillas de madera. En el caso del Hospital La Anexión esta es la razón principal por la que no pueden usar esta materia prima.
- Las astillas de madera son sustituidas por el uso de residuos de los cultivos de las empresas o bien por otro tipo de cultivo para satisfacer la demanda de la misma. En la Compañía Arrocera, se emplea la cascarilla de arroz como combustible, por lo tanto el uso de las astillas es sustituido por este; además implementarán cultivos con la especie *Pennisetumpurpureum* (conocida como “King grass”) el cual se empleará para las calderas nuevas que se están construyendo dentro de la misma empresa. Otro caso ejemplar es el de los ingenios, donde se emplea el bagazo de caña como combustible principal.
- Las calderas existentes no pueden emplear astillas de madera debido al diseño que tienen estas. En Calizas Nicoyanas, el combustible empleado es leña; no se puede implementar el uso de las astillas porque el diseño que posee actualmente no se adapta para el recibimiento de esta materia (figura 11).

Para los casos de CEMEX y Del Oro S.A, estas empresas emplean astillas de madera como combustible, por lo tanto no están interesadas en cambiar el sistema de producción, ya que sus calderas ya están adaptadas para recibir esta materia prima.

La comparación económica y volumétrica del uso de astillas de madera con respecto a otros combustibles es importante, ya que refleja el potencial económico real de esta materia si se implementara en las empresas que emplean actualmente otros tipos de combustibles (Cuadro7).

En el cuadro 7 se observa que para los combustibles como el búnker, diésel y gas LP, es más rentable si se empleara las astillas de madera como combustible.

En la empresa Aquacorporación Internacional, emplean 1.15 ton diarias de búnker, sin embargo si se empleara las astillas de madera, para abastecer la demanda actual de esta empresa, se tendría que emplear 4.4 ton diarias de astillas de madera, lo cual se ahorraría ₡315061.96/diarios. Para el caso de INOLASA que emplea búnker, el costo actual del combustible es de ₡15,508,392.06/día, con el uso de las astillas el costo potencial para la empresa es prácticamente un tercio de lo que le cuesta actualmente, es decir ₡4,846,353.66/día; con un ahorro de ₡10,662,038.40.

El uso del bagazo de caña como combustible en calderas, representa un ahorro económico para los ingenios, ya que es un subproducto del proceso industrial de la caña (esto sólo durante la época del año en que se cosecha), lo cual hace que los costos de producción se minimicen. Por lo tanto las astillas de madera como combustible debe ser utilizado en conjunto con el bagazo para poder abastecer el déficit en las épocas del año en que no se cosecha la caña. Es decir emplear las astillas como complemento.

**Cuadro 7.** Uso potencial de las astillas de madera en las empresas interesadas muestreadas en Guanacaste, Costa Rica.

Empresa	Combustible actual	Consumo actual (ton/día)	Costo actual (¢/día)	Consumo potencial astillas (ton/día)	Costo astillas (¢/día)	Ahorro en colones (Costo actual - Costo potencial)
Aquacorporación Internacional	Búnker	1.15	¢458,097.51	4.40	¢143,035.55	¢315,061.96
Biomar S.A	Búnker	4.40	¢1,723,279.88	16.56	¢538,069.49	¢1,185,210.39
Calizas Nicoyana	Leña	8.80	¢600,000.00	11.00	¢357,500.00	¢242,500.00
CEMEX	Astillas	17.13		0.00	¢0.00	¢0.00
Compañía Arrocera Industrial S.A	Diésel	10.12	¢7,322,520.00	41.63	¢1,352,812.50	¢5,969,707.50
	Cascarilla de arroz	48.00	¢1,200,000.00	57.45	¢1,867,125.00	-¢667,125.00
Del Oro S.A	Astillas	50.00	¢600,000.00	0.00	¢0.00	¢600,000.00
El Viejo	Bagazo de caña	2,160.00	¢30,240,000.00	2,004.75	¢65,154,375.00	-¢34,914,375.00
Hospital La Anexión	Gas LP	1,070.02	¢246,575.34	2.37	¢77,049.78	¢169,525.56
Ingenio Taboga	Bagazo de caña	1,200.00	¢16,800,000.00	1,113.75	¢36,196,875.00	-¢19,396,875.00
INOLASA	Búnker	39.00	¢15,508,392.06	149.12	¢4,846,353.66	¢10,662,038.40

### 5.3.1 Oferta de biomasa forestal a partir de los Pagos de Servicios Ambientales en Sistemas agroforestales.

En el cuadro 8 se tienen los árboles que se encuentran bajo sistema PSA SAF en Guanacaste, en donde se detallan las especies y el número de árboles. Esta información representa la oferta actual de biomasa forestal disponible para ser transformada en astillas de madera.

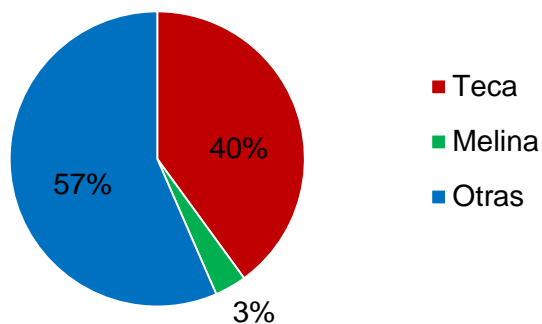
**Cuadro 8.** Especies disponibles en los PSA SAF periodo 2009-2013 en Guanacaste Costa Rica.

Nombre Común	Nombre científico	Número de árboles	Porcentaje
Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	1,047.00	1.08
Cenízaro	<i>Samanea saman</i>	2,713.00	2.79
Copalchi	<i>Croton niveus</i>	7,168.00	7.38
Cortéz amarillo	<i>Tabebuia ochracea</i>	1,963.00	2.02
Eucalipto	<i>Eucaliptus sp</i>	2,333.00	2.40
Gallinazo	<i>Schizolobium parahyba.</i>	2,000.00	2.06
Guachipelin	<i>Diphysa americana</i>	2,215.00	2.28
Guanacaste	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	1,464.00	1.51
Guapinol	<i>Hymenaea courbaril</i>	1,549.00	1.60
Guayaquil	<i>Pseudosamanea guachapele</i>	714.00	0.74
Madero negro	<i>Gliricidia sepium</i>	5,766.00	5.94
Melina	<i>Gmelina arborea</i>	3,370.00	3.47
Pochote	<i>Bombacopsis quinata</i>	1,251.00	1.29
Roble sabana	<i>Tabebuia rosea</i>	1,249.00	1.29
Teca	<i>Tectona grandis</i>	38,817.00	39.98
Tirrá	<i>Ulmus mexicana</i>	500.00	0.51
Tubu	<i>Montanoa dumicola</i>	3,668.00	3.78
Sin registro		19,303.00	19.88
<b>Total</b>		<b>97,090.00</b>	<b>100.00</b>

Fuente: (FONAFIFO, 2009-2013)

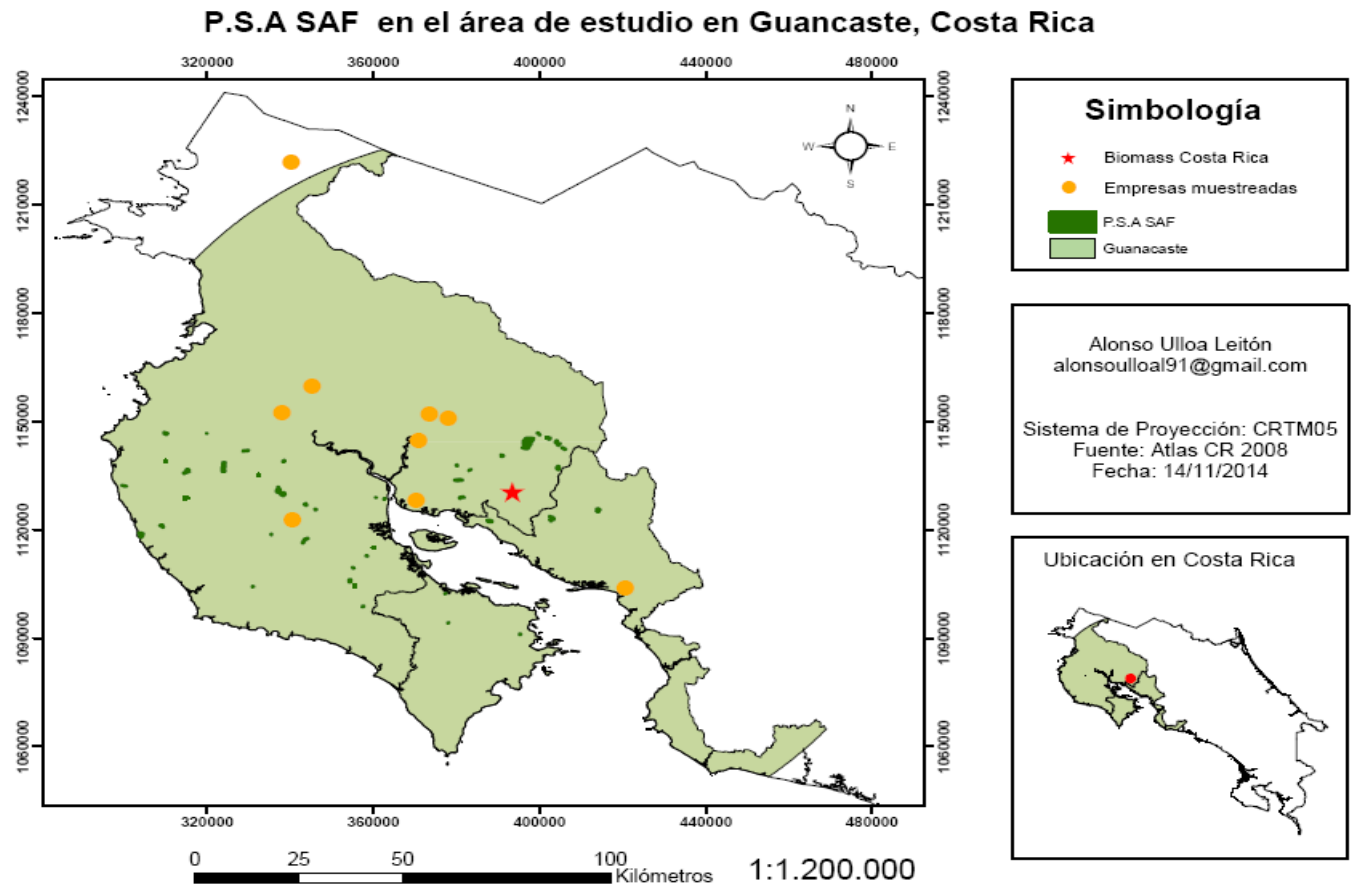
En la figura 12, se observa que la especie que presenta mayor potencial para abastecer este mercado, es la teca (*Tectonagrandis*) ya que esta representa un 39.98% del total de árboles, y además es una especie que se siembra

comercialmente para la producción de madera; por lo tanto sirve como fuente continua para biomasa forestal.



**Figura 12.** Especies registradas en los PSA SAF periodo 2009-2013 en Guanacaste, Costa Rica. Fuente: (FONAFIFO, 2009-2013)

En la figura 13, se tiene la distribución de los PSA SAF en la provincia de Guanacaste, y también las empresas que se muestrearon. Se observa que los PSA SAF están relativamente cerca de algunas de las empresas muestreadas, lo cual brinda una ventaja para la comercialización de la materia prima



**Figura 13.** PSA SAF vigentes 2009-2013 en Guanacaste, Costa Rica. Fuente: (FONAFIFO, 2009-2013)

La especie de interés para mantener una constante producción de biomasa forestal es *Tectonagrandis*(teca), la cual es una especie que se reforesta constantemente debido al valor comercial de la madera. Se estimó el volumen para diferentes edades de las plantaciones mediante los diámetros proyectados (anexo 8) desde el año 1 hasta el año 20.

El total de biomasa forestal disponible (cuadro 9) a los 3.99, 7.99, 11.99 y 20 años de edad en las plantaciones de teca son 382.11ton,4,093.97ton, 5,615.80ton y 6,700.94 ton respectivamente, esta producción de biomasa forestal es por año. Se observa claramente como en esos años seleccionados como años de raleo y cosecha final, el incremento del volumen es significativo conforme la producción forestal se acerca a los 20 años, esto se debe a que se va acumulando la biomasa de los árboles más jóvenes más la biomasa de los de mayor edad.

La máxima producción de biomasa esperada a partir de los PSA SAF es cuando las plantaciones alcanzan los 20 años de edad es decir un equivalente a 6,700.94ton anualmente.

Esta estimación es una proyección de lo que podría llegar a producir solamente la teca si se sigue sembrando constantemente los 9,704.25 árboles por año. Por lo tanto, se debe considerar para el aprovechamiento las demás especies que se encuentran bajo el sistema SAF, para optimizar la producción de biomasa forestal en la provincia de Guanacaste.



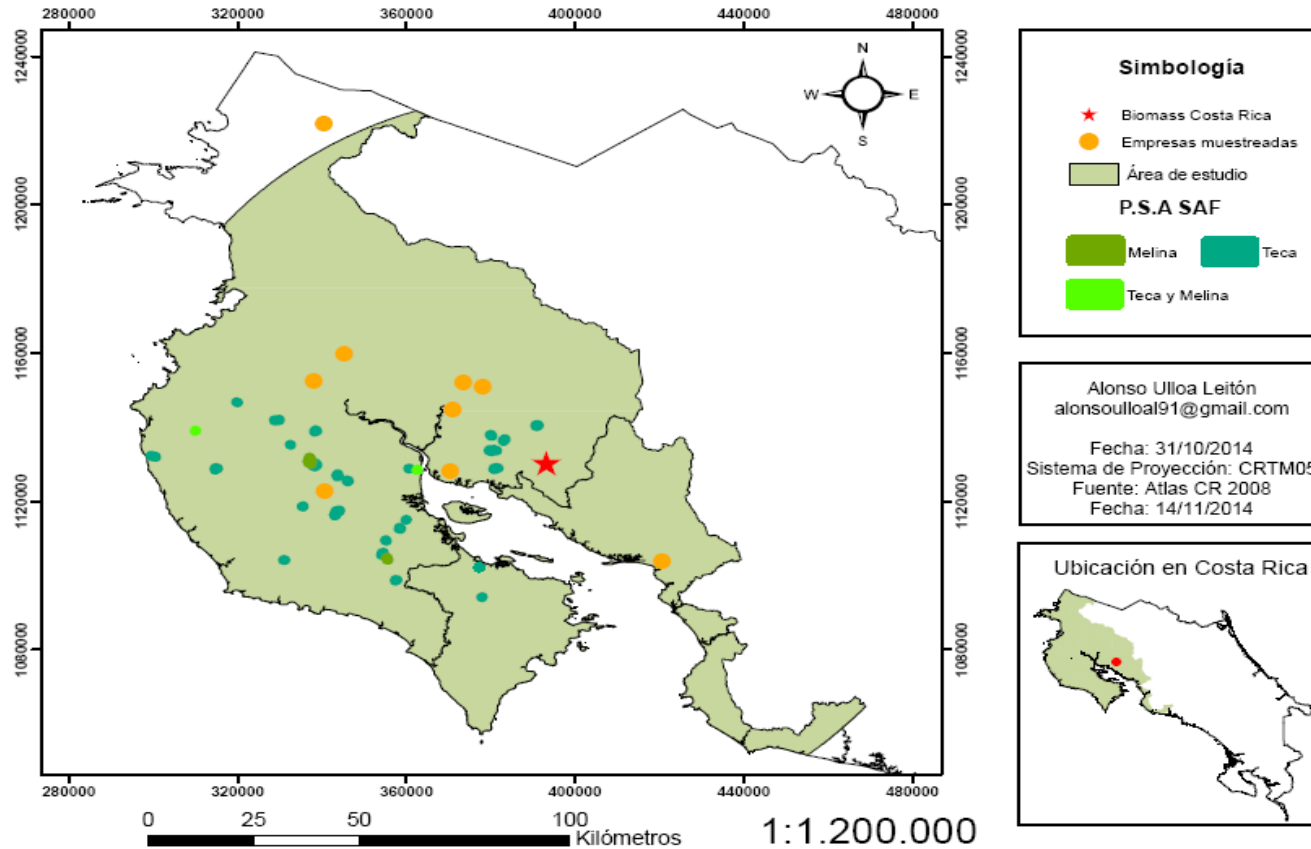
**Cuadro 9.** Biomasa forestal de residuos de plantaciones disponible en los PSA SAF periodo 2009-2013 de la especie *Tectonagrandis*, Guanacaste, Costa Rica.

Año	Diámetro (cm)	Número arboles por año	Biomasa disponible (ton/año)	Acumulado disponible (ton/año)
1	0.60	9,704.25	0.32	0.32
2	2.70	9,704.25	14.18	14.50
3	5.70	9,704.25	93.90	108.40
3.99	8.70	9,704.25	273.71	382.11
4	9.70	9,704.25	360.45	742.56
5	12.90	9,704.25	356.66	1,099.22
6	15.60	9,704.25	576.85	1,676.07
7	17.80	9,704.25	281.31	1,957.38
7.99	19.60	9,704.25	2,136.59	4,093.97
8	21.20	9,704.25	297.06	4,391.04
9	22.70	9,704.25	353.15	4,744.19
10	23.90	9,704.25	402.31	5,146.50
11.99	25.40	9,704.25	469.30	5,615.80
12	29.20	9,704.25	415.90	6,031.70
14	30.20	9,704.25	159.47	6,191.17
16	30.70	9,704.25	166.23	6,357.40
18	31.00	9,704.25	170.37	6,527.77
20.00	31.20	9,704.25	173.17	6,700.94

Fuente: (Camino & Pierre, 2013)

En la figura 14 se observa la distribución de los PSA SAF en teca vigentes para el periodo 2009-2013, y las empresas muestreadas en la provincia de Guanacaste, Costa Rica. En el mapa aparece la especie melina ya que se consideró en un inicio como fuente de biomasa forestal sin embargo como representa tan solo el 3% de los árboles registrados en los PSA SAF el aporte de esta especie es poco; por lo que se debería incentivar la producción de esta, ya que es una especie de gran importancia comercial en el mercado nacional.

### Oferta de biomasa forestal para las empresas muestreadas, Guanacaste, Costa Rica



**Figura 14.** Biomasa forestal disponible de la especie teca en los PSA SAF periodo 2009-2013, en Guanacaste, Costa Rica. Fuente: (FONAFIFO, 2009-2013)

#### 5.4 Propuesta de comercialización de la biomasa forestal a partir de la demanda potencial actual y oferta disponible.

De acuerdo a la demanda potencial calculada en el cuadro 7, se obtuvo que 7 de las 10 empresas muestreadas, son potenciales clientes para la empresa Biomass Costa Rica. En el cuadro 10 se observa que el total de toneladas diarias que se requieren en astillas de madera son 282.20 ton, lo que equivale a 8,436.00 ton/ mes. Este valor representa la demanda potencial real actual si las empresas emplearan este combustible en las calderas.

**Cuadro 10.** Clientes potenciales para la empresa Biomass Costa Rica, Guanacaste.

<b>Empresa Cliente</b>	<b>Consumo potencial astillas (ton/día)</b>	<b>Consumo potencial astillas (ton/mes)</b>
Aquacorporación Internacional	4.40	132.00
BiomarAquacorporation	16.56	496.80
CEMEX	17.13	513.90
Compañía Arrocera Industrial S.A	41.63	1,248.90
Del Oro S.A	50.00	1,500.00
Hospital La Anexión	2.37	71.10
INOLASA	149.12	4,473.60
Total	282.20	8,436.30

En el cuadro 11, se tienen los datos de la oferta de biomasa forestal de la especie teca procedente de los PSA SAF en Guanacaste; y se observa que con los individuos a los 3.99 años de edad, la demanda de la empresa podrá ser suplida en un 3.04%, es decir que se requiere de otras fuentes de materia prima para poder abastecer a la empresa. Para los árboles de 7.99 años de edad el abastecimiento disponible es del 32.59%, hay un incremento considerable respecto al primer raleo planteado. En el año 11.99 se espera un abastecimiento de 44.1% de la demanda de la empresa. Finalmente en el año 20 en la cosecha final de estos individuos, la oferta potencial de biomasa con esta especie es de un 53.34% de la demanda total de la empresa

**Cuadro 11.** Capacidad de abastecimiento de los PSA SAF de la especie teca para la empresa Biomass Costa Rica, Guanacaste.

<b>Edad (años)</b>	<b>Acumulado disponible (ton/año)</b>	<b>Porcentaje de abastecimiento para la empresa (%)</b>
3.99	382.11	3.04
7.99	4,093.97	32.59
11.99	5,615.80	44.71
20.00	6,700.94	53.34

## **6. CONCLUSIONES**

### **6.1. Uso de combustibles**

Los combustibles más utilizados por las industrias en Guanacaste, es el búnker con un 23% del total de las empresas registradas y el bagazo de caña con un 17%. Respecto al uso de la biomasa como combustible, el bagazo es el más utilizado.

El mayor número de calderas son las que emplean búnker como combustible, seguido por las industrias azucareras que emplean bagazo de caña. La marca de caldera más común encontrada en el estudio en las fue la *CleaverBrooks*, la cual consume búnker.

### **6.2. Mercado potencial de biomasa forestal**

Los combustibles más caros para el funcionamiento de las calderas son el búnker, diésel, gas LP y cascarilla de arroz. En cuanto a los más económicos están el bagazo de caña (específicamente de los ingenios) y las astillas de madera respectivamente.

El cambiar cualquier combustible (búnker, diésel, gas LP y cascarilla de arroz) por astillas de madera, implica usar mayor cantidad de volumen por día (ton/día); es decir se utilizarían más toneladas diarias de astillas que si se usaran los combustibles anteriormente mencionados.

La demanda potencial actual de astillas de madera es de 282.20 ton/día, si las empresas cambiaran de combustible más las empresas que actualmente consumen astillas de madera.

Uno de los factores que puede limitar el cambiar de un combustible por astillas de madera en las empresas, es el espacio disponible para almacenar las astillas ya que requiere de infraestructura para su adecuado almacenaje y posterior uso.

### **6.3. Oferta actual de biomasa forestal**

La especie *Tectonagrandis*(teca) es un buen candidato para el abastecimiento constante de biomasa forestal. Además es la que se presentó con mayor número de árboles registrados en el PSA SAF de FONAFIFO con un 40% del total de árboles registrados.

El volumen acumulado de biomasa forestal para teca en SAF a los 20 años es de 6,700.94 ton/año.

### **6.4 Dinámica de mercadeo de la biomasa forestal**

La oferta actual de biomasa forestal en los SAF, no es suficiente para abastecer la demanda potencial de las empresas. El máximo porcentaje que puede ser suplido es 53.34% de la demanda total.

## 7. RECOMENDACIONES

Las diferentes industrias deben valorar el gran potencial económico y ambiental que tiene la biomasa forestal para la producción de energía. También las industrias del sector forestal deberían fomentar el aprovechamiento de residuos forestales y el establecimiento de plantaciones para este fin específico con una especie que se adapte a las necesidades potenciales del mercado y a las condiciones del sitio. Además de que sería una nueva fuente de ingresos constante a lo largo del crecimiento de la plantación; es decir que estos “residuos” son en realidad un producto más en la cadena de producción de madera.

Para tener un dato más real de la oferta de biomasa forestal, se debería contar con una base de datos de los diámetros de los árboles registrados en los PSA SAF de FONAFIFO, o por lo menos datos de las edades de las plantaciones o un diámetro promedio por plantación. Para tener un panorama de lo que realmente hay disponible. Además que estos datos servirán como fuente de información para proyectos de investigación futuros, permitiendo así entrelazar la teoría con la práctica de forma más coordinada y precisa.

Para el abastecimiento constante de biomasa forestal, es necesario promover el desarrollo de nuevas fuentes de materia prima como lo son las plantaciones bioenergéticas, el aprovechamiento de los residuos de las plantaciones forestales y aserraderos, o bien el aprovechamiento de los bosques secundarios.

Implementar el consumo de las astillas de madera como combustible principal en las industrias, provoca beneficios económicos (dinamización de la economía de la región), sociales (genera empleo en zonas rurales) y ambientales (es un combustible de recurso renovable y optimiza el aprovechamiento de los residuos forestales en las distintas etapas de la cadena de producción).

La biomasa forestal es una herramienta que permitirá al país llegar a la meta de la C-Neutralidad. Sin embargo es indispensable el apoyo que tenga el gobierno para fomentar políticas sobre el consumo de ésta como combustible principal en los diferentes sectores industriales.



## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Agüero, A., Pisa, J., Agüero, C., & Torres, A. (Julio de 2004). Poder Calorífico del Bagazo de Caña de Azúcar. *Revista CET*, 13(24).
- Alcarría, J. (2008). *Contabilidad financiera I* (1 ed.). Comunidad Valenciana, España: UJI.
- Alfaro, L. (2011). *Región Chorotega Abordaje de la Planificación Regional*. Recuperado el 23 de Noviembre de 2014, de MIDEPLAN: [http://documentos.mideplan.go.cr/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/9c9b1e4d-3e82-4e4c-bd09-709bdfb02bca/Region\\_%20Chorotega.pdf](http://documentos.mideplan.go.cr/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/9c9b1e4d-3e82-4e4c-bd09-709bdfb02bca/Region_%20Chorotega.pdf)
- Alvarado, R. (2003). *Regiones y Cantones de Costa Rica*. Recuperado el Noviembre de 23 de 2014, de IFAM: <http://www.ifam.go.cr/docs/regiones-cantones.pdf>
- Barahona, J., & Núñez, A. (Noviembre de 2014). Generación de Electricidad a Partir de la cascarilla de arroz. *Revista PetroQuimex*(72), 40.
- Bermúdez , L., & Chaves, M. (2013). *Resultados agroindustriales finales de la ZAFRA 2012-2013*. Costa Rica. Recuperado el 4 de Noviembre de 2014, de <http://www.laica.co.cr/media/docs/estadisticas/Zafra2012-2013.pdf>
- Bonilla, J., Carranza, M., Castillo, M., Aguirre, K., & Casasola, J. (Julio de 2009). Termodinámica de equipos industriales: eficiencia energética de una caldera. *Revista electrónica ingeniería y ciencia*(13), 19.
- Cabrera, M., Cornejo, J., Vera, A., Ordás, I., Tolosana, E., Ambrosio, Y., . . . Garraza, J. (2011). Evaluación del potencial de energía de la biomasa. Madrid, España. Recuperado el 28 de Octubre de 2014, de [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_11227\\_e14\\_biomasa\\_A\\_8d51bf1c.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11227_e14_biomasa_A_8d51bf1c.pdf)

- Camino, d., & Pierre, J. (2013). *Las plantaciones de teca en América Latina: mitos y realidades* (Serie técnica. Informe técnico; no. 397 ed.). Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Coakley, T., Duffy, N., Freiburger, S., Fresner, J., Houben, J., Kern, H., . . . Raupenstrauch, H. (2010). *Uso de la energía en el sector industrial: manual para estudiantes*. IUSES. Recuperado el 24 de Noviembre de 2014, de [http://www.iuses.eu/materiali/e/MANUALES\\_PARA\\_ESTUDIANTES/Manual\\_industria.pdf](http://www.iuses.eu/materiali/e/MANUALES_PARA_ESTUDIANTES/Manual_industria.pdf)
- Domínguez, J. (2013). *Jornada sobre calderas eficientes en procesos industriales: concepto de combustión y combustibles*. Madrid, España: Gas Natural Distribución SDG, SA. Recuperado el 28 de Noviembre de 2014, de [http://www.fenercom.com/pages/pdf/formacion/13-01-23\\_Jornada%20calderas%20industriales/01-Conceptos-de-combustion-y-combustibles-GAS-NATURAL-SDG-fenercom-2013](http://www.fenercom.com/pages/pdf/formacion/13-01-23_Jornada%20calderas%20industriales/01-Conceptos-de-combustion-y-combustibles-GAS-NATURAL-SDG-fenercom-2013)
- EcoPetrol. (s.f). *Combustóleo (fuel oil No. 6)*. Recuperado el 26 de Noviembre de 2014, de [http://www.ecopetrol.com.co/especiales/Catalogo\\_de\\_Productos/pdf/Ecopetrol%20Combustoleo%20VSM-01.pdf](http://www.ecopetrol.com.co/especiales/Catalogo_de_Productos/pdf/Ecopetrol%20Combustoleo%20VSM-01.pdf)
- ENCE, S.A. (2010). *El valor de la biomasa forestal*. España. Recuperado el 27 de Octubre de 2014, de [http://www.ence.es/pdf/Biomasa\\_forestal.pdf](http://www.ence.es/pdf/Biomasa_forestal.pdf)
- Energy PIA Group S.A. (s.f). Recuperado el 10 de Octubre de 2014, de [http://www.energypiagroup.com/pdf/ficha\\_tecnica\\_fuel\\_oil.pdf](http://www.energypiagroup.com/pdf/ficha_tecnica_fuel_oil.pdf)
- FAO. (1991). *Conservación de energía en las industrias mecánicas forestales*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación.

- FOCER. (2002). Manuales sobre energía renovable: Biomasa. (1). San José, Costa Rica. Recuperado el 27 de Octubre de 2014, de <file:///C:/Users/labfor/Documents/BIOMASA.pdf>
- FONAFIFO. (2009-2013). Pagos de Servicios Ambientales en Sistemas Agroforestales. *Digital*. Guanacaste, Costa Rica: FONAFIFO.
- Hernández, G. (2006). *Diccionario de economía* (1 ed.). Medellín, Colombia: EduCC.
- Hotel Energy Solutions. (s.n). Soluciones de Energía Renovable Sistemas de calefacción por biomasa –astillas de madera y pellets-. Hotel Energy Solutions. Recuperado el 26 de Noviembre de 2014, de <http://dtxtq4w60xqpw.cloudfront.net/sites/all/files/docpdf/1-solucionesdeenergiarenovable.pdf>
- ICE. (2014). Plan de expansion de la generacion electrica periodo 2014-2035. San José, Costa Rica.
- IDAE. (2007). Energía de la biomasa. Madrid, España. Recuperado el 28 de Octubre de 2014, de [http://www.energiasrenovables.ciemat.es/adjuntos\\_documentos/Biomasa.pdf](http://www.energiasrenovables.ciemat.es/adjuntos_documentos/Biomasa.pdf)
- Kothler, P., & Armstrong, G. (2003). *Fundamentos de marketing* (6 ed.). Pearson educación.
- Lidon, J. (1998). *Conceptos básicos de economía*. Valencia, España: UPV.
- López, I., & Codina, M. (2010). Estudio de las características de la astilla forestal y buenas prácticas para su aplicación energética. Catalunya, España: INTRADER. Recuperado el 26 de Noviembre de 2014, de <http://afib.ctfc.cat/wp->

content/uploads/2013/05/Estudio\_pilas\_astilla\_buenas\_practicas\_INTRA  
DER\_CTFC.pdf

López, I., & Mireia, C. (2010). *Estudio de las características de la astilla forestal y buenas prácticas para su aplicación energética*. Catalunya, España: INTRADER.

Mora, F., & Hernández, W. (2007). Estimación del volumen comercial por productopara rodales de teca en el Pacífico de Costa Rica. *Agronomía costarricense*, 31(1), 106.

Muñoz, B. (2007). *Panorama energético y la conservación de la energía eléctrica en Costa Rica*. (ICE, Ed.) Recuperado el 01 de Abril de 2014, de [cientec:  
http://www.cientec.or.cr/exploraciones/ponencias2007/BernalMunoz.pdf](http://www.cientec.or.cr/exploraciones/ponencias2007/BernalMunoz.pdf)

Oyhantçabal, W. (21 y 22 de Febrero de 2005). *Biomasa forestal para producción de energía en Uruguay: una visión desde la oferta*. (U. d. Climático-MGAP., Ed.) Recuperado el 17 de 04 de 2014, de [http://iram.com.ar/Eventos/OPET\\_OLA/Ponencias/session3/forestal%20oyhantcabal.pdf](http://iram.com.ar/Eventos/OPET_OLA/Ponencias/session3/forestal%20oyhantcabal.pdf)

Packer, N. (2011). *A Beginner's Guide to Energy and Power*. Universidad de Staffordshire, U.K. Recuperado el 6 de Octubre de 2014, de <http://www.rets-project.eu/UserFiles/File/pdf/respedia/A-Beginners-Guide-to-Energy-and-Power-EN.pdf>

Parra, E. (2003). *Petróleo y gas natural: industria, mercado y precios*. Madrid, España: Ediciones Akal S.A.

Quitoran, G. (2010). *Determinación del potencial de captura de Carbono en cinco especies forestales de dos años de edad: cedro, caoba, bolaina, teca y capirona en la localidad de Alianza San Martín 2009*. Tesis, UNSM, Moyobamba.

Quitoran, G. (2010). Determinación del potencial de captura de carbono en cinco especies forestales de dos años de edad, cedro nativo, (*Cedrela odorata*) caoba (*Swietenia macrophylla*.) bolaina, (*Guazuma crinita*) teca, (*Tectona grandis*) y capirona (*Calycophyllum sprucearum*) en I. Moyobamba, Perú: UNSM. Recuperado el 24 de Noviembre de 2014, de <http://tesis.unsm.edu.pe/jspui/bitstream/11458/348/1/Gerald%20Felipe%20Quitoran%20D%C3%A1vila.pdf>

RECOPE. (2011). *Manual de productos 2011*. Recuperado el 15 de Octubre de 2014, de [https://www.recope.go.cr/wp-content/uploads/2013/07/Manual\\_Productos.pdf](https://www.recope.go.cr/wp-content/uploads/2013/07/Manual_Productos.pdf)

Rico, J. (2007). *Energía de la biomasa*. Madrid, España: IDAE.

Rojas, W. (2014). *Biomass Costa Rica*.

Rosales, J. (2011). *Elementos de microeconomía* (1 ed.). San José, Costa Rica: EUNED.

Sage, L., & Quirós, R. (2001). *Mercadeo e industrialización de madera proveniente de plantaciones forestales*. Recuperado el 18 de Noviembre de 2014, de [http://www.sirefor.go.cr/Documentos/Reforestacion/2001\\_Sage\\_Quiros\\_proyeccion\\_volumen\\_teca\\_melina\\_2001.pdf](http://www.sirefor.go.cr/Documentos/Reforestacion/2001_Sage_Quiros_proyeccion_volumen_teca_melina_2001.pdf)

Sapag, N., & Sapag, R. (2003). *Preparación y evaluación de proyectos* (4 ed.). D.F, México: McGraw-Hill Interamericana.

SEAI. (2014). *Domestic fuels comparison of energy costs*. Irlanda. Recuperado el 6 de Octubre de 2014, de [http://www.seai.ie/Publications/Statistics\\_Publications/Fuel\\_Cost\\_Comparison/Domestic-Fuel-Cost-Comparisons.pdf](http://www.seai.ie/Publications/Statistics_Publications/Fuel_Cost_Comparison/Domestic-Fuel-Cost-Comparisons.pdf)

Secretaría de energía. (2008). *Energías renovables 2008 - energía biomasa*. Capital Federal, Buenos Aires, Argentina.

Stanton, W., Etzel, M., & Walker, B. (2004). *Fundamentos de marketing* (13 ed.). México: Mc Graw-Hill Interamericana.

Tolosana, E., Laina, R., Martínez, R., & Ambrosio, Y. (2009). *Aprovechamiento de biomasa forestal: Maquinaria, sistemas de recogida, rendimientos y costes. Experiencias reales*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado el 26 de abril de 2014, de [http://www.forestales.net/archivos/jornadas/Yolanda\\_Ambrosio.pdf](http://www.forestales.net/archivos/jornadas/Yolanda_Ambrosio.pdf)

Varela, D. (2013). Obtenido de [http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/17764/PFC\\_Daniel\\_Varela\\_Anton.pdf?sequence=1](http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/17764/PFC_Daniel_Varela_Anton.pdf?sequence=1)

Velázquez, B. (2006). Situación de los sistemas de aprovechamiento de los residuos forestales para su utilización energética. *Ecosistemas*, XV(001), 2,4.

## 9. ANEXOS

### Anexo 1. Empresas contactadas en Guanacaste, Costa Rica.

Empresa	Contacto	
	Sí	No
Acuacorporación Internacional	x	
Azucarero el viejo	x	
Azucarero Guanacaste		x
BiomarAquacorporation	x	
Calizas nicoyanas	x	
CATSA S.A		x
CEMEX	x	
Compañía Arrocería Industrial S.A	x	
Coonaprosal S.A		x
Coopepenin R.L.		x
Del Oro S.A	x	
Desarrollos Hoteleros Guanacasteca		x
Fomento Ganadero S.A		x
Ganadera industrial(GISA)		x
Grupo Istmo Papagayo, S.A.		x
Hospital Anexión de Nicoya	x	
Hospital Enrique Baltodano		x
Hotel Real de Pinilla		x
Hotelera Playa Flamingo		x
Ingenio Taboga S.A	x	
INOLASA	x	
Inversiones Achaca		x
Natural Aloe		x
Nuevo Hotel Boyeros S.A		x
Panamericanwoods		x
Procesadora de Carne Centroamericana		x
Recauchadora Guanacaste S.A		x
Servicios de alcohol S.A		x
SF Hotelera Guanacaste S.A		x
Suplementos Liq. de C.A. Sulca		x
Tecnología en Polimeros S.A		x

Fuente: (Arias, 2014)

**Anexo 2.** Encuesta aplicada a las empresas contactadas Guanacaste, Costa Rica.

**Encuesta para el diagnóstico del consumo, procedencia y potencial uso de material bioenergética.**

La presente encuesta forma parte de un trabajo de graduación para el programa de licenciatura del Instituto Tecnológico de Costa Rica, que busca realizar un diagnóstico del uso actual y procedencia del material bioenergético utilizado en las empresas del Pacífico Norte y Zona Norte de Costa Rica. Asimismo, pretende proyectar el uso, producción futura y la rentabilidad para las empresas.

Nº Encuesta:		Encuesta a Industrias consumidoras de material bioenergético en el Pacífico Norte y Zona norte de Costa Rica					
Tipo de encuesta:		Fecha: / /			Hora:		
<b>1. Datos generales</b>							
Nombre de la industria:				Coordenadas			
Nombre del dueño / Razón social:				X		Y	
Nombre del entrevistado:							
Puesto:				Experiencia: años			
Dirección:	Provincia: Guanacaste		Cantón:		Distrito:		
	Otras señas:						
Actividad que se dedica la industria: Producción de tilepis							
<b>2. Equipos de generación térmica y consumo de combustibles</b>							
Tipo	Valor \$	Unidades	Marca	Combustible	Unidades	Consumo	Observaciones
<b>3. Experiencias y proyectos con biomasa y energía de residuos en la planta</b>							
Fuente	Tipo	Volumen	Año	Valoración	Observaciones		
<b>4. Están interesados en el cambio del sistema de producción para de la combustión de astillas de madera</b>				SI:		NO:	



**Anexo 3.** Datos generales de las empresas muestreadas (primera parte de la encuesta), Guanacaste, Costa Rica.

Empresa	Actividad de la empresa	Provincia	Cantón	Distrito	Fecha de aplicación	Hora de aplicación	Nombre del entrevistado	Puesto	Forma de aplicación	
									Digital	Visita
Aquacorporación Internacional	Producción de tilapia	Guanacaste	Cañas		28/08/2014	14:38	Gerardo Badilla	Gerente de mantenimiento		x
BiomarAquacorporationProducts SA	Alimentos para la acuicultura	Guanacaste	Cañas		27/08/2014	10:48	Carlos Molina Loría	Jefe de mantenimiento	x	
Calizas Nicoyana	Procesamiento de piedra caliza	Guanacaste	Nicoya		31/07/2014	14:00	Reinaldo	Encargado de las calderas		x
CEMEX	Producción de cemento	Guanacaste	Nicoya						x	
Compañía Arrocera Industrial S.A	Producción de arroz	Guanacaste	Liberia	Central	1/9/2014	7:00	Arnoldo Espinoza	Gerente de Planta de la Arrocera	x	x
Del Oro S.A.	Procesamiento de fruta	Guanacaste	La Cruz	Garita	6/8/2014	15:00	Raúl Jiménez	Jefe de mantenimiento		x
El Viejo	Producción de azúcar	Guanacaste	Carrillo		5/8/2014	14:00	Ulises Osegueda	Jefe de mantenimiento		X
Hospital La Anexión	Salud pública	Guanacaste	Nicoya		31/07/2014	10:00	Juan José Flores	Jefe de mantenimiento		x
Ingenio Taboga	Producción de azúcar, alcohol, y electricidad	Guanacaste	Cañas	Bebedero	29/07/2014	14:20	Warner Gonzáles	Jefe de mantenimiento		x
INOLASA	Producción de aceite	Puntarenas	Barranca		25/08/2014	15:00	Danilo Castillo	Gerente de operaciones		x

#### Anexo 4. Calderas actuales de las empresas muestreadas (segunda parte) en Guanacaste, Costa Rica

Empresa	Tipo	Unidades	Marca	Combustible	Unidades	Consumo	Consumo (ton/día)	Precio (¢) al año 2014	Costo (¢/día)	Observaciones
Aquacorporación Internacional	Caldera	2	Cleaverbrooks	Búnker	Litros /día	1,230.00	1.15	¢372.44	¢458,097.51	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ubicadas en la "finca de harina"</li> <li>Tanques de búnker son de 14000 Litros</li> <li>1 vez al año mantenimiento</li> </ul>
BiomarAquacorporationProducts SA	Caldera	1	Clever Brooks	Búnker	Litros/día	4,627.00	4.33	¢372.44	¢1,723,279.88	
Calizas Nicoyana	Horno	4	Sin marca	Leña	m3/día	24	8.8	¢3,500.00(¢/m3 estereo)	¢84,000.00	<ul style="list-style-type: none"> <li>Residuos de aserraderos: costillas</li> <li>Residuos de plantaciones: leña</li> </ul>
CEMEX	Caldera									
Del Oro S.A	Caldera	2	Cleaverbrooks	Astillas	ton/día	50	50	¢12,000.00 (¢/ton)	¢600,000.00	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se emplea para producir vapor de agua</li> <li>El contenido de humedad de las astillas es de 25%</li> </ul>
El viejo	Caldera	1	Babcock and Wilcox	Bagazo de caña	ton/hora	90	2,160.00	¢14,000.00(¢/ton)	¢30,240,000.00	Se emplea para producir vapor de agua
		1	Combustionengineering							
Compañía Arrocera Industrial S.A	Caldera	1	Volcano	Cascarilla de arroz	ton/hora	2	48	¢25,000.00 (¢/ ton)	¢1,200,000.00	
		2	Caterpillar	Diesel	Litros/día	12000	10.12	¢610.21	¢7,322,520.00	
Hospital La Anexión	Caldera	2	York Shipley	Gas LP	colones/año	90,000,000.00	1,070.02	¢230.44	¢246,575.34	Se emplea para lavandería y cocina
Ingenio Taboga	Caldera	3	NEBRASKA	Bagazo de caña, astillas de madera	ton/hora	50	1,200.00	¢14,000.00 (¢/ton)	¢16,800,000.00	Lo emplean como complemento para el arranque de las calderas.
			AMERICAN SUGAR ENG.							
			HBP							
INOLASA	Caldera	1	Petra	Coquito, astillas, raquis, bagazo	ton/día	145	145	¢15,990.00	¢2,318,550.00	Producción de vapor de agua
		2	Clever Brooks	Búnker	ton/día	39	39	¢372.44	¢15,508,392.06	

**Anexo 5.** Experiencias anteriores del uso de calderas en las empresas muestreadas (tercer parte) en Guanacaste, Costa Rica.

Empresa	Fuente	Tipo	Volumen	Año	Observaciones
Compañía Arrocera Industrial S.A	Cascarilla arroz	termoeléctrica	12,500 ton/año	2007	1,5 mw
Del Oro S.A	Astillas	Caldera	30 a 70 ton/día	2011-presente	Se emplean astillas debido a los costos de producción
El Viejo	Aserrín y astillas	Caldera			No emplean más biomasa forestal debido a los costos de transporte
Ingenio Taboga	Bagazo de caña	Caldera			Se emplea para alimentar constantemente las calderas en funcionamiento
INOLASA	Biomasa	Coquito	20 a 25 mil ton/año		
	Astillas	Caldera			Se emplea en conjunto con el bagazo para arrancar las calderas, y cuando no hay suficiente abastecimiento de bagazo
	Aserrín	Caldera			No es el mejor combustible porque venía contaminado con residuos de industrias para alimentarlas
	Biomasa	Astillas de madera	2000 ton/año		
	Biomasa	Raquis	15500 ton/año		
	Biomasa	Bagazo	7000 ton/año		
	Combustible	Búnker		38-40 ton/día	

**Anexo 6.** Potencial de cambiar el sistema de producción a biomasa con astillas en las empresas muestreadas (cuarta parte) en Guanacaste, Costa Rica.

Empresa	¿Están interesados en el cambio del sistema de producción para la combustión de astillas de madera?	
	Sí	No
Aquacorporación Internacional	X	
BiomarAquacorporationProducts SA	X	
Calizas Nicoyana		X
CEMEX		X
Compañía Arrocera Industrial S.A		X
Del Oro S.A		X
El Viejo	X	
Hospital La Anexión		X
Ingenio Taboga	X	
INOLASA	X	

**Anexo 7.** Características de las calderas de las empresas muestreadas en Guanacaste, Costa Rica.

<b>Empresa</b>	<b>Marca</b>	<b>Combustible</b>
BiomarAquacorporationProducts SA	Cleaver Brooks	Búnker
Calizas Nicoyana	Sin marca	Leña
Del Oro S.A	Cleaverbrooks	Astillas
El viejo	Babcock and Wilcox	Bagazo de caña
	Combustionengineering	
Hospital La Anexión	York Shipley	Gas LP
Ingenio Taboga	NEBRASKA	Bagazo de caña, astillas de madera
	AMERICAN SUGAR ENG.	
	HBP	
INOLASA	Petra	Coquito, astillas, raquis, bagazo
	Clever Brooks	Búnker
Aquacorporación Internacional	Cleaverbrooks	Búnker
Compañía Arrocera Industrial S.A	Caterpillar	Diesel
CEMEX		Astillas

**Anexo 8.** Proyección de crecimiento para plantaciones de teca.

**Recuadro 7.1**

**Resumen para quienes toman decisiones**

En la tabla siguiente se presenta tres escenarios de crecimiento calculados mediante la base de datos y herramienta Minga, los cuales consideran la realización de tres raleos a los 4, 8 y 12 años. La variación inicial, hasta el año 3, del número de árboles por hectárea obedece a una mortalidad inicial estimada.

**Escenarios de crecimiento de plantaciones de teca\***

Edad (años)	No. (árbo/ha)	Conservador				Promedio				Optimista			
		Hd (m)	D (cm)	Vtc (m <sup>2</sup> /ha)	Vex	Hd (m)	D (cm)	Vtc (m <sup>2</sup> /ha)	Vex	Hd (m)	D (cm)	Vtc (m <sup>2</sup> /ha)	Vex
1	1111	0,2	0,6	0,0		0,2	0,6	0,0		0,3	0,7	0,0	
2	1030	1,6	2,5	0,3		1,7	2,7	0,4		1,9	3,0	0,5	
3	1000	4,2	5,2	3,2		4,5	5,7	4,1		4,8	6,2	5,2	
3,99	1000	7,4	8,0	13,5	3,4	8,0	8,7	17,2	4,4	8,5	9,5	21,6	5,5
4	600	7,4	8,9	10,0		8,0	9,7	12,8		8,6	10,5	16,1	
5	600	10,7	11,8	25,5		11,6	12,9	32,6		12,4	13,9	40,9	
6	600	13,8	14,3	48,1		14,9	15,6	61,3		15,9	16,9	77,1	
7	600	16,5	16,4	74,8		17,7	17,8	95,4		19,0	19,3	119,9	
7,99	600	18,6	18,0	102,0	21,8	20,1	19,6	130,1	27,8	21,5	21,2	163,6	35,0
8	400	18,6	19,5	80,2		20,1	21,2	102,3		21,5	23,0	128,6	
9	400	20,4	20,9	100,5		21,9	22,7	128,1		23,5	24,6	161,0	
10	400	21,7	21,9	118,3		23,4	23,9	150,8		25,1	25,8	189,6	
11,99	400	23,6	23,3	145,2	49,3	25,4	25,4	185,2	62,9	27,2	27,5	232,8	79,1
12	200	23,6	26,8	95,9		25,4	29,2	122,3		27,2	31,6	153,7	
14	200	24,7	27,7	107,2		26,6	30,2	136,7		28,5	32,7	171,8	
16	200	25,3	28,2	113,8		27,2	30,7	145,2		29,1	33,3	182,5	
18	200	25,6	28,5	117,7		27,6	31,0	150,0		29,5	33,6	188,6	
20	200	25,8	28,7	119,8		27,8	31,2	152,8		29,7	33,8	192,0	
22	200	25,9	28,8	121,0		27,9	31,3	154,3		29,9	33,9	193,9	
25	200	25,9	28,8	121,8	121,8	27,9	31,4	155,4	155,4	29,9	34,0	195,3	195,3
<b>Total</b>					<b>196,5</b>				<b>250,5</b>				<b>314,9</b>

\* Ver descripción de variables y unidades en el Cuadro 7.3.

Fuente:(Camino & Pierre, 2013)

## Anexo 9. Productos forestales de teca en las diferentes clases diamétricas.

Cuadro 1. Despiece comercial (m<sup>3</sup>) para rodales de teca (*Tectona grandis*) en el Pacífico de Costa Rica.

Clase diamétrica (cm)	Número de árboles	Volumen comercial con corteza								
		Volumen total comercial	Aserrío grueso (dap ≥ 30 cm)		Aserrío delgado (dap <30 cm ≥ 15 cm)		Postes (dap <15 cm ≥ 10 cm)		Leña (dap <10 cm ≥ 5 cm)	
		(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	%	(m <sup>3</sup> )	%	(m <sup>3</sup> )	%	(m <sup>3</sup> )	%
5,0 - 9,99	9	0,0301							0,0301	100,0
10,0 - 14,99	62	0,1153					0,0598	51,9	0,0555	48,1
15,0 - 19,99	117	0,2479			0,0911	36,7	0,1153	46,5	0,0416	16,8
20,0 - 24,99	154	0,2983			0,1766	59,2	0,0876	29,4	0,0341	11,4
25,0 - 29,99	156	0,4896			0,3820	78,0	0,0729	14,9	0,0347	7,1
30,0 - 34,99	151	1,0226	0,2691	26,3	0,6596	64,5	0,0685	6,7	0,0254	2,5
35,0 - 39,99	194	1,1425	0,4363	38,2	0,6231	54,5	0,0568	5,0	0,0264	2,3
40,0 - 44,99	156	1,6151	0,7570	46,9	0,7796	48,3	0,0562	3,5	0,0223	1,4
45,0 - 50,00	52	1,9097	1,1108	58,2	0,7216	37,8	0,0623	3,3	0,0151	0,8

Fuente: (Mora & Hernández, 2007)