



Instituto Tecnológico de Costa Rica



# **INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**

ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE BIOMASA FORESTAL  
RESIDUAL DENTRO DE UN ÁREA DE 20 KILÓMETROS DE RADIO  
DESDE LA EMPRESA BIOMASS INTERNACIONAL DE COSTA  
RICA, ABANGARES, GUANACASTE, COSTA RICA.

TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIADO EN INGENIERÍA FORESTAL

MAINOR ALBERTO RODRÍGUEZ SOLANO

CARTAGO, COSTA RICA

Diciembre, 2014

**POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE BIOMASA FORESTAL RESIDUAL DENTRO DE UN ÁREA DE 20 KILÓMETROS DE RADIO DESDE LA EMPRESA BIOMASS INTERNACIONAL DE COSTA RICA, ABANGARES, GUANACASTE, COSTA RICA.**

**Resumen**

El presente estudio se realizó en Abangares, Cañas y en plantaciones forestales de teca (*Tectona grandis*) y melina (*Gmelina arborea*) en los cantones de Hojancha y Nandayure, Guanacaste, Costa Rica. El objetivo general fue determinar la producción potencial de biomasa forestal en un radio de 20 Km de la empresa Biomass Internacional de Costa Rica y desarrollar modelos alométricos que relacionen el diámetro a la altura del pecho (dap) con el volumen Smalian comercial y el peso de residuos aprovechables en plantaciones de teca y melina como uno de los objetivos específicos. En la metodología se utilizaron programas de información satelital como Quantum Gis 2.4 o Google Earth para localizar sitios productores y el programa estadístico SAS para generar las ecuaciones de predicción de residuos. Se detectó un total de 5611.55 hectáreas de sitios productores, de los cuales el: 44% del territorio son plantaciones forestales, el 31% charrales arbolados mientras que los potreros arbolados constituyen el 25%. La producción total de biomasa por tipo de cobertura se estimó en lo siguiente: 10992.96 toneladas de biomasa corresponden a áreas de potrero arbolado, 96584.62 toneladas a charral arbolado y un total de 43423.66 toneladas de biomasa provenientes de plantaciones forestales. En cuanto a la predicción de peso seco de residuos se generaron 3 ecuaciones para melina de 5 a 35 cm de y 3 ecuaciones para árboles de teca de diámetros de 5 a 15 cm. Se proporciona la sugerencia de la ecuación preliminar que se usó para efectos del presente trabajo. Se concluye que la mayoría del área de producción se concentra dentro de 10 kilómetros de radio desde la empresa Biomass y que las plantaciones forestales representan la mayoría del área del área dentro de este radio.

**Palabras clave:** Biomasa residual, biomasa forestal dendro energía, teca, melina, Abangares, residuos forestales, astillas de madera, predicción de biomasa.

**ECONOMIC POTENTIAL OF RESIDUAL FOREST BIOMASS IN AN AREA OF  
20 KILOMETERS OF RADIUS FROM BIOMASS INTERNATIONAL  
COMPANY OF COSTA RICA , ABANGARES , GUANACASTE , COSTA RICA .**

**Summary**

This study was conducted in Abangares , Cañas and plantations of teak ( *Tectona grandis* ) and melina ( *Gmelina arborea* ) in the cantons of Hojancha and Nandayure , Guanacaste, Costa Rica . The overall objective was to determine the potential production of forest biomass within 20 Km of the company Biomass and develop allometric models that relate the diameter at breast height ( dbh ) under the trade Smalian volume and weight of usable waste in plantations teak and melina as one of the specific objectives. The methodology of satellite programs as Quantum Gis 2.4 or Google Earth producers were used to locate sites and the SAS statistical program to generate prediction equations waste. A total of 5611.55 hectares of producing sites, of which detected 44 % of the territory are forest plantations, 31% wooded thickets while the wooded pastures constitute 25 %. The total biomass production by type of coverage was estimated as follows: 10992.96 tons of biomass are areas of woodland pasture, wooded thickets 96584.62 tonnes to a total of 43423.66 tonnes of biomass from forest plantations. Regarding the prediction of dry weight of waste gmelina 3 equations for 5 to 35 cm of dbh trees 3 equations and teak tree diameters of 5 to 15 cm dbh trees were generated The suggestion of the preliminary equation was used for the purpose of this work is provided. We conclude that most of the production area is concentrated within 10 kilometers radius from the company Biomass and forest plantations account for most of the area of the area within this radius .

Keywords: residual biomass, forest biomass energy dendro , teak, melina , Abangares , forest residues , wood chips, biomass prediction .

Esta tesis de graduación ha sido 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.

POTENCIAL ECONÓMICO DE LA BIOMASA FORESTAL RESIDUAL DENTRO DE UN ÁREA DE 20 KILÓMETROS DE RADIO DESDE LA EMPRESA BIOMASS INTERNACIONAL DE COSTA RICA, ABANGARES, GUANACASTE, COSTA RICA.

Miembros del tribunal




---

Dagoberto Arias PhD.  
Escuela de Ingeniería Forestal, ITCR.  
Director de tesis



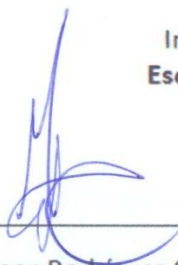
---

Ing. Carlos Salas Coto  
Biomass C.R. S.A.  
Lector de tesis



---

Ing. Diego Camacho Cornejo MBA  
Escuela de Ingeniería Forestal, ITCR.  
Lector de tesis



---

Mainor Rodríguez Solano  
Estudiante  
Escuela de Ingeniería Forestal, ITCR.

## **DEDICATORIA**

A mis padres por todo el esfuerzo que les significó mis años universitarios y todo el apoyo brindado durante este tiempo y a mis hermanos para que este logro les sirva de motivación para luchar y alcanzar sus metas personales.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a todos los profesores que contribuyeron de buena manera en mi formación universitaria y a los que lo hicieron de mala forma, porque eso me hizo apreciar la educación de calidad. Agradezco a los profesores y amigos que me

acompañaron y guiaron durante la elaboración de esta tesis; William Rojas, Diego Camacho, Dagoberto Arias y Alonso Ulloa. A toda mi familia, amigos y compañeros por mostrarme siempre su apoyo incondicional.

Se agradece a la empresa Biomass C.R. por los aportes económicos y la oportunidad de desarrollar el tema de tesis.

Se reconoce el apoyo al proyecto: “Impulso tecnológico para la producción de biomasa” por la ayuda económica para desarrollar el trabajo de tesis. Este proyecto es financiado por el MICITT.

## ÍNDICE GENERAL

Resumen.....	ii
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTOS.....	v
ÍNDICE DE CUADROS .....	8
ÍNDICE DE FIGURAS .....	9
INDICE DE ANEXOS .....	10
1. INTRODUCCIÓN.....	11
2. OBJETIVOS .....	13
3. MARCO TEÓRICO.....	14
4. METODOLOGÍA.....	18
4.1. Descripción del sitio .....	18
4.2. Desarrollo de la ecuación de predicción de peso de biomasa forestal residual en función del diámetro der árbol en plantaciones de ( <i>Tectona grandis</i> ) teca y ( <i>Gmelina arbórea</i> ) melina. ....	18
4.3. Elaboración y valoración de la ecuación de volumen.....	24
4.4. Identificación de propiedades con tipos de cobertura de interés dentro del área de estudio .....	25
4.5. Predicción de biomasa forestal disponible .....	28
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
5.1. Modelo de predicción del peso residuos en función del diámetro der árbol.....	29
5.2. Área total de potenciales sitios productores de biomasa forestal y distribución de la cobertura.....	34
5.2.1. Ubicación de terrenos de mayor importancia y rutas óptimas para su intervención .....	38
5.3. Disponibilidad de biomasa forestal .....	42
5.4. Predicción de beneficios económicos a obtener en fincas de mayor potencial ...	44
6. CONCLUSIONES .....	46
7. RECOMENDACIONES .....	47
8. REFERENCIAS .....	48
9. ANEXOS .....	52

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Información de plantaciones forestales evaluadas para la elaboración de un modelo de predicción del peso seco de residuos en función del dap.....	29
Cuadro 2. Tipos de coberturas de interés para Biomass C.R.....	25
Cuadro 3. Modelos para la determinación del peso seco de residuos en función del diámetro a la altura del pecho, para 24 árboles de <i>Gmelina arborea</i> (melina) en la zona de Abangares y la península de Nicoya en Guanacaste, Costa Rica.....	30
Cuadro 4. Modelos para la determinación del peso seco de residuos en función del diámetro a la altura del pecho, para 10 árboles de <i>Tectona grandis</i> (teca) en la zona de Abangares y la península de Nicoya en Guanacaste, Costa Rica.....	31
Cuadro 5. Área total por tipo de cobertura de interés para Biomass C.R. en un radio de 20 km desde su centro de procesamiento en Abangares, Guanacaste. ....	35
Cuadro 6. Área en hectáreas de todos los tipos de coberturas rentables para Biomass C.R. identificadas en el área muestreada. ....	36
Cuadro 7. Distancia en metros de cada ruta propuesta y área total en hectáreas de cada finca destino con su respectivo tipo de cobertura. ....	40
Cuadro 8. Rendimiento promedio en toneladas de peso verde por hectárea según tipo de cobertura de interés comercial para Biomass C.R.Fuente: Biomass C.R.....	42
Cuadro 9. Dap promedio por clase diamétrica, Edad por clase diamétrica e Incremento Medio Anual de 30 árboles de melina y 40 árboles de teca evaluados en la zona de Abangares y la península de Nicoya, Guanacaste, Costa Rica. ....	33
Cuadro 10. Rendimiento diamétrico esperado para plantaciones de teca y melina función del IMA registrado por 30 árboles de melina y 40 de teca en la zona de Abangares y la península de Nicoya, Guanacaste, Costa Rica. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Cuadro 11. Rendimiento esperado en toneladas totales por cada tipo de cobertura en un radio de 20 kilómetros de radio desde las instalaciones de la empresa Biomass C.R. en Abangares, Guanacaste Costa Rica. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Cuadro 12. Rendimiento esperado en toneladas totales para las fincas de mayor tamaño en un radio de 10 kilómetros de radio desde las instalaciones de la empresa Biomass C.R. en Abangares, Guanacaste Costa Rica. ....	44
Cuadro 13. Peso seco esperado en kilogramos de biomasa forestal residual en función del DAP para árboles de melina entre los 4 y los 15 años y para árboles jóvenes de teca de entre de 4 a 6 años en la zona de Abangares y la península de Nicoya, Guanacaste, Costa Rica. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Cuadro 14. Rendimiento en toneladas y beneficios económicos a obtener por fincas de mayor tamaño en el área de estudio de 10 km de radio desde Biomass C.R. Abangares, Guanacaste, Costa Rica. ....	45



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de distribución de plantaciones forestales evaluadas para la elaboración de un modelo de predicción de residuos en función del dap del árbol. Fuente: Elaboración propia.....	19
Figura 2. Esquema de mediciones diamétricas realizadas a diferentes alturas del fuste de los árboles. Fuente: elaboración propia.....	20
Figura 3. Medición de diámetro a diferentes alturas en un árbol de <i>Gmelina arborea</i> (melina). .....	21
Figura 4. Astilladora Vermeer BC 1800 propiedad de Biomass C.R. ....	22
Figura 5. Residuo típico de plantaciones de <i>Tectona grandis</i> (teca) de categoría diamétrica R2. ....	23
Figura 6. Medición de peso verde de los residuos de árboles R2 en plantaciones de <i>Gmelina arborea</i> (melina) con una balanza colgante. ....	23
Figura 7. Medición de peso verde con una balanza colgante de los residuos de árboles R2 en plantaciones de <i>Tectona grandis</i> (teca). ....	24
Figura 8. Área de estudio de disponibilidad de biomasa para la empresa Biomass Costa Rica. Fuente: Elaboración propia.....	26
Figura 9. Área descartada por altas pendientes y presencia de bosques maduros. Fuente, elaboración propia con ayuda de Quantum Gis 2.4 - Google Physical. ....	27
Figura 10. Diferenciación satelital de tres tipos de cobertura de interés para Biomass C.R. Fuente: elaboración propia con la ayuda de Google Earth. ....	28
Figura 11. Gráfico de dispersión dap vs peso verde de residuos en plantaciones de melina ( <i>Gmelina arborea</i> ) en Abangares y la zona de la península de Nicoya, Guanacaste, Costa Rica.....	31
Figura 12. Distribución porcentual del área por tipo de cobertura de interés para Biomass C.R. en un radio de 20 km desde su centro de procesamiento en Abangares, Guanacaste. ....	35
Figura 13. Ubicación de sitios productores de biomasa forestal residual en un radio de 20 kilómetros de la empresa Biomass C.R. en Abangares, Guanacaste, Costa Rica. ....	37
Figura 14. Ruta óptima sugerida para cada finca de área considerable dentro de un radio de 10 kilómetros desde las instalaciones de Biomass C.R. Abangares, Guanacaste, Costa Rica. Fuente: datos de campo - Google Earth. ....	40
Figura 15. Ubicación y área en hectáreas de las propiedades dentro de un rango de 10 km desde las instalaciones de Biomass C.R., en Abangares, Guanacaste, Costa Rica. ....	41

## INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Ubicación de sitios productores de biomasa forestal residual en áreas de radio de 10 km y 20 km desde las instalaciones de la empresa Biomass C.R. Guanacaste, Costa Rica. ....	52
Anexo 2. Ubicación de sitios productores de biomasa forestal residual en áreas de radio de 10 km y 20 km desde las instalaciones de la empresa Biomass C.R. Guanacaste, Costa Rica. ....	53
Anexo 3. Ruta óptima sugerida para cada finca de área considerable dentro de un radio de 10 kilómetros desde las instalaciones de Biomass C.R. Abangares, Guanacaste, Costa Rica. Fuente: datos de campo - Google Earth .....	54
Anexo 4. Ubicación y área en hectáreas de las propiedades dentro de un rango de 10 km desde las instalaciones de Biomass C.R, en Abangares, Guanacaste, Costa Rica. ....	55

## 1. INTRODUCCIÓN

La actividad forestal en los países en vías de desarrollo se basa en la explotación de los bosques naturales y de plantaciones forestales de especies de crecimiento rápido (Horta, 2002).

La silvicultura de plantaciones es una técnica mundialmente extendida y tiene como propósito; “producir la mayor cantidad posible de bienes y servicios útiles a la sociedad por generaciones tras generaciones de hombres y de árboles” (Espina y Muñoz, 2000, p. 14). En los últimos años se ha producido un aumento continuo en las superficies de plantaciones forestales establecidas en América Latina, con el fin de abastecer la madera necesaria para enfrentar la reducción de los bosques naturales especialmente en los trópicos y subtrópicos (Palmborg, 2000).

El principal enfoque de la silvicultura de plantaciones tradicional es la obtención de madera sólida para aserrío, de modo que se subutiliza gran parte del volumen del árbol, en los procesos de transformación y aserrío de la madera en los cuales se genera una enorme cantidad de residuos (Pang y Li, 2006).

Algunos autores como Lesme y Oliva, (2003) afirman que el volumen de residuos generado por la industria forestal es superior al volumen de madera elaborada, de modo que el aprovechamiento de los residuos de dichas plantaciones representa una importante opción de negocios y más importante aún, una fuente renovable de energía. Rubio, Prades y López (1997) mencionaron que la implementación de tecnologías de combustión limpia posibilita la utilización rentable de los residuos de la industria forestal como biocombustibles, en la producción de energía térmica y eléctrica.

Estudios mundiales sugieren que la demanda de bioenergía se aumentará significativamente para el 2050. Lee y Lazarus (2013) Con el fin de reducir a la mitad las energías relacionadas con emisiones de CO<sub>2</sub> en ese año la Agencia Internacional de la Energía ha sugerido que la bioenergía utilizada debe triplicarse.

AIE (2010) y una excelente opción para generar esta bioenergía son las plantaciones forestales.

La principal y mejor opción para la producción de bioenergía son las plantaciones dendroenergéticas, ya que su fin no es producir celulosa ni madera y sus derivados sino biomasa, es decir, transformarse en materia prima para producir bioenergía orientada al consumo industrial o doméstico (Baettig, Yáñez y Albornoz, 2010). En contraste con esto en el país existen muy pocas hectáreas dedicadas a este tipo de cultivos, de igual forma autores como Varmola *et al* (2005) concluyen que las estadísticas sobre el desarrollo de estas plantaciones varían en gran medida entre países y regiones, por lo cual esta modalidad de producción no se muestra actualmente como una opción viable en nuestro país, consecuentemente la producción tradicional de madera rolliza emerge como el mercado a explotar en el aprovechamiento de residuos para generación de energía.

En Costa Rica, según Rojas (2005), las especies más reforestadas en las regiones bajas del país son; la teca (*Tectona grandis*) y la melina (*Gmelina arborea*) y la provincia de Guanacaste es una de las zonas con mayor área reforestada para estas dos especies, por lo tanto es una región que posee alto potencial en la producción de biomasa, consecuentemente existen en esta zona empresas dedicadas a la transformación y comercialización de biomasa. La estimación de los reservorios de materia prima se convierte entonces, en una parte esencial del proceso de aprovechamiento y mercadeo de la biomasa.

Horta, (2002) además de Barbosa y Silva, (1997), concuerdan al mencionar que: en la determinación del volumen de estos residuos se utilizan numerosos conceptos y coeficientes, que estiman la relación entre la cantidad de subproducto y el producto principal cosechado, como lo son: el coeficiente de residuos y el coeficiente de disponibilidad; ellos varían con las prácticas culturales y las peculiaridades climáticas de cada región.

El objetivo general de este trabajo es estimar la cantidad de biomasa forestal residual en plantaciones forestales dentro del núcleo productivo de la empresa Biomass y tiene como objetivo específico generar modelos alométricos que relacionen los parámetros del rodal y de árboles individuales con el volumen aprovechable Smalian y el peso de residuos aprovechables.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

- Determinar la producción potencial de biomasa forestal en un radio de 20 km de la empresa Biomass, Guanacaste, Costa Rica.
- **2.2. Objetivos específicos**
- Desarrollar modelos alométricos que relacionen el diámetro a la altura del pecho con el peso de residuos aprovechables en plantaciones forestales de (*Tectona grandis*) teca y (*Gmelina arborea*) melina.
- Identificar los sitios potenciales productores de biomasa forestal en un radio de 20 km desde las instalaciones de Biomass Internacional de Costa Rica S.A.
- Diseñar una propuesta de tabla de rendimiento de biomasa forestal para teca y melina dentro el área de estudio a partir del modelo alométrico generado.

### **3. MARCO TEÓRICO**

#### **Biomasa forestal**

Algunos autores como Velázquez (2006) denominan “Biomasa” a la materia orgánica no fosilizada, originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía aunque puede tener otros usos industriales. Por su parte Nogués García y Rezeau (2010) afirman en su publicación Energías renovables, que la biomasa forestal es aquella que se extrae de una masa forestal, siendo el motivo de la intervención el aprovechamiento energético.

Según Gracia (2014) la biomasa es definida por el Comité Europeo de Estandarización, como el conjunto de materia orgánica de origen vegetal, animal o procedente de la transformación natural o artificial de la misma, susceptible de aprovechamiento energético. Se excluye aquellos materiales que han sido incorporados en formaciones geológicas sufriendo un proceso de mineralización, como el carbón, el petróleo y el gas, cuya formación y composición hace miles de años no es comparable con el balance neutro del uso directo de la biomasa en las emisiones de dióxido de carbono.

#### **Biomasa forestal residual**

La biomasa forestal residual o secundaria, también llamada residuos forestales, consiste en los restos del árbol (ramas, hojas y fustes defectuosos no extraídos en el aprovechamiento industrial) que quedan sobre la superficie del campo después de una intervención. Nogués, García y Rezeau 2010. Aunque la biomasa residual puede generarse también en procesos productivos a la cadena de aprovechamiento del bosque-industria como aserraderos, ebanisterías o industria de enchapado. (Velázquez, 2006)

## **Dendroenergía**

La dendroenergía es la energía que se obtiene de la madera, generalmente por medio de la combustión y la gasificación. Actualmente la madera sigue siendo la fuente de energía renovable más importante que, por sí sola, proporciona más del 9% del suministro total de energía primaria a nivel mundial. (FAO, 2013)

## **Cultivos energéticos**

Son cultivos realizados con la finalidad de producir biomasa transformable en biocombustible. Se encuentran en este grupo el maíz, raps, girasol y plantaciones dendroenergéticas (Fredes, 2014).

## **Procesos de conversión energética de la biomasa**

Generalmente comprenden procesos termoquímicos, e implican una descomposición térmica de los componentes de la biomasa, con oxidación de los mismos y liberación de energía en forma de calor, para el caso de la combustión, o la obtención de combustibles intermedios como ocurre en la gasificación y pirolisis (Fredes, 2014).

## **Balance neutro de emisiones de CO<sub>2</sub>**

La combustión de biomasa es considerada, según el protocolo de Kyoto, como neutral en emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Esto se debe a que la cantidad de CO<sub>2</sub> emitida durante la quema de un combustible biomásico fue captada previamente por las plantas durante su crecimiento, formando un flujo de circulación natural entre la atmósfera y la vegetación (Fredes, 2014).

## **Leña**

La leña corresponde a una porción de madera en bruto de troncos, ramas y otras partes de árboles y arbustos, utilizada como combustible sólido. Incluye toda la madera obtenida de los bosques, o de cualquier especie leñosa, tanto forestal como agrícola, que conserva la composición original de la madera y su formato. (Fredes, 2014).

## **Proceso de chipeado o astillamiento**

Consiste en la transformación de la masa forestal, ya sea ramas o fustes en astillas o “chips” mediante máquinas trituradoras de madera conocidas como chipeadoras.

### **Humedad**

Corresponde a la cantidad de agua absorbida en un sólido., la cual generalmente es expresada como un porcentaje de la masa del objeto en estado anhidro (conocido como base seca), o como la proporción de agua sobre la masa total del cuerpo (base húmeda) (Fredes, 2014).

### **Densidad**

Expresa la relación entre la masa de un cuerpo y el volumen que ocupa. Para el caso de la madera, dado que es un material poroso, se conocen distintas formas de expresar la densidad dependiendo del grado de humedad que posea el cuerpo, considerando el volumen interno de los espacios vacíos que contiene (Fredes, 2014).

## **Bosque secundario**

Tierra con vegetación leñosa de carácter sucesional secundaria que se desarrolla una vez que la vegetación original ha sido eliminada por actividades humanas y/o fenómenos naturales, con una superficie mínima de 0.5 hectáreas, y con una densidad no menor a 500 árboles por hectárea de todas las especies, con diámetro mínimo a la altura del pecho de 5 cm. (Principios e indicadores para manejo de bosque en Costa Rica, MINAE, 1999)

## **Charral arbolado**

Un charral arbolado para efectos de este estudio es un ecosistema con las características anteriormente descritas pero con menos de 500 árboles por hectárea y en ocasiones terrenos con áreas menores a 0.5 hectáreas por lo tanto



no se considera bosque secundario y su explotación forestal sin las implicaciones legales que el bosque secundario demanda.

### **Plantación forestal**

Una plantación forestal comercial es el establecimiento y manejo de especies forestales en terrenos de uso agropecuario o terrenos que han perdido su vegetación forestal natural con el objetivo de producir materias primas maderables y no maderables para su industrialización y/o comercialización. (CONAFOR 2014).

### **Sistemas de información geográfica (SIG)**

Un sistema de información es una poderosa herramienta útil para cartografía informática y análisis espacial, el programa proporciona funcionalidad para capturar, almacenar, consultar, analizar y visualizar información geográfica. (Ortíz, Soto y Tapia, 2011)

### **Regresión y correlación entre variables**

Los análisis de regresión y correlación muestran como determinar tanto la naturaleza como la fuerza de una relación entre dos variables. De esta forma se puede pronosticar con cierta precisión el valor de una variable difícil de medir basándose en observaciones anteriores de ésta y otras variables. En el análisis de regresión se desarrolla una ecuación de estimación, esto es una fórmula matemática que relaciona las variables conocidas con la variable desconocida. El análisis de correlación permite estudiar el grado de relación que existe entre las variables (Levin y Rubin, 2004).

## **4. METODOLOGÍA**

### **4.1. Descripción del sitio**

El presente estudio se realizó en el cantón de Abangares y sitios circundantes, en la provincia de Guanacaste en el pacífico norte de Costa Rica, sus coordenadas medias según datos del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) están dadas por 10°15'12" latitud norte y 84°59'51" longitud oeste. La precipitación media anual es de 2385 mm, la temperatura máxima y mínima media son de 30°C y 23° respectivamente, presenta un promedio de 99 días con lluvias y un periodo seco de 4 meses (IMN, 1996). El tipo de ecosistema de Abangares se clasifica como Bosque seco tropical, transición bosque húmedo (Holdridge, 1987) y reporta una biotemperatura media anual de 24°C (IMN, 1996). La ubicación exacta del área de estudio se muestra en la figura 1.

### **4.2. Desarrollo de la ecuación de predicción de peso de biomasa forestal residual en función del diámetro del árbol en plantaciones de (*Tectona grandis*) teca y (*Gmelina arborea*) melina.**

#### **4.2.1. Variables**

El tamaño de la muestra con que se trabajó es el propuesto por Philip (1983) quien sugiere tomar una muestra inicial de árboles (entre 20 y 30); para luego ampliarla si es necesario, en este caso se utilizó una muestra de 30 individuos para melina (*Gmelina arborea*) y 40 individuos de teca (*Tectona grandis*) debido al mercado actual y la mayoría de plantaciones en la región de estudio y circundantes. Las plantaciones de teca evaluadas se encuentran en el cantón de Hojancha y las plantaciones de melina muestreadas se ubican en los cantones de Abangares y Nandayure, la elección de dichas propiedades se realizó por facilidad de contactar con los propietarios y el rendimiento diamétrico de las mismas. El cuadro 2 muestra la información detallada de las plantaciones. La ubicación cartográfica de dichas plantaciones se muestra en la figura 5.

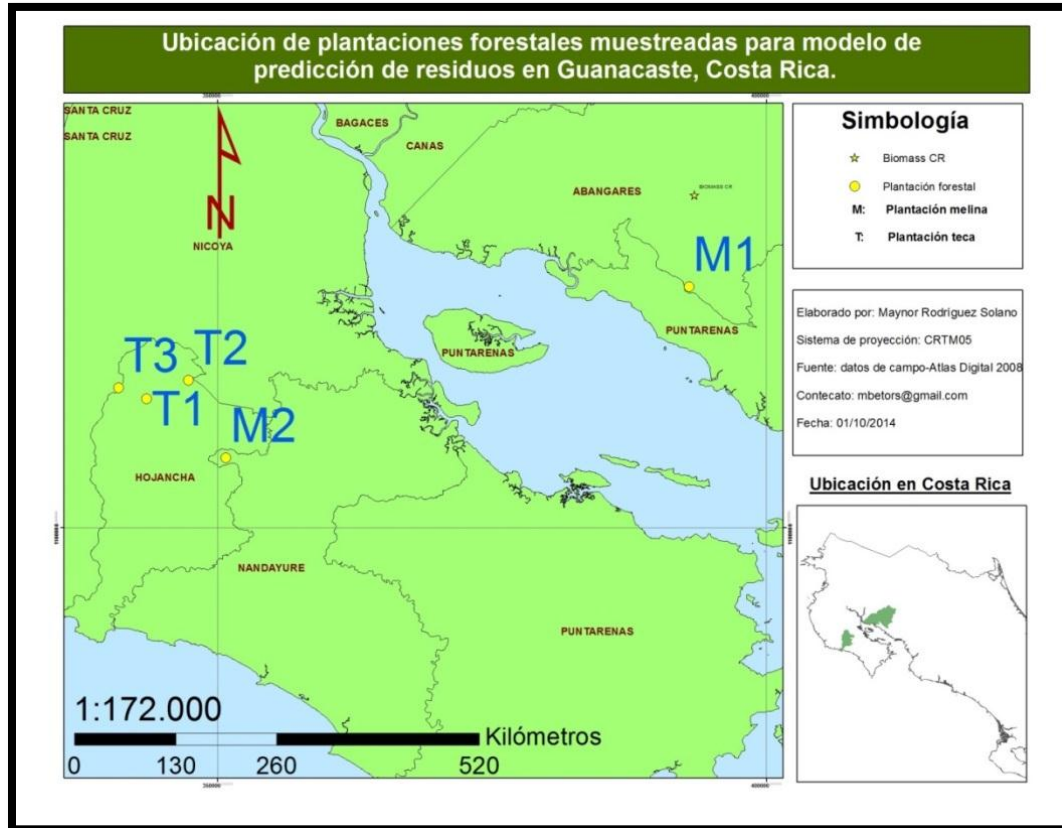


Figura 1. Mapa de distribución de plantaciones forestales evaluadas para la elaboración de un modelo de predicción de residuos en función del dap del árbol. Fuente: Elaboración propia

La escogencia de los árboles se hizo según indica Ortiz (2005), el cual sugiere que ésta debe ser selectiva y asegurar el mismo número de árboles para cada clase diamétrica. Se utilizaron tres clases diamétricas; Raleo 1 (R1) de 5 a 15.9 cm de DAP, Raleo 2 (R2) de 16 a 25.9 cm y Cosecha final (CF) de 26 a 35cm o más, cada clase es de 10 individuos a excepción de la clase R2 de teca, donde se midieron 20 individuos. La clase diamétrica R1 para teca consideró 100% del peso del árbol como residuos, debido a que árboles de dichas dimensiones no son comerciales en otra presentación.

Se cortaron todos los árboles y para cada uno se determinó su volumen por medio de mediciones de diámetro (D) cada 2.5m, desde la base del árbol hasta su altura comercial (Hc) la cual fue determinada según las indicaciones de cada productor visitado, además el diámetro a la altura del pecho (dap). Con esos datos se determinó: área basimétrica (m<sup>2</sup>) g:  $\pi/4 * ((D_1 + D_2)/2)^2$  y el volumen total

del fuste será la suma de los volúmenes de cada sección de fuste cubitados mediante la fórmula de Smalian,  $(\text{diámetro menor} + \text{diámetro mayor})/2 * \text{Largo de la pieza}$ . A continuación se muestra un esquema de las mediciones hechas a diferentes alturas en el fuste del árbol y la forma en que se realiza la medición.

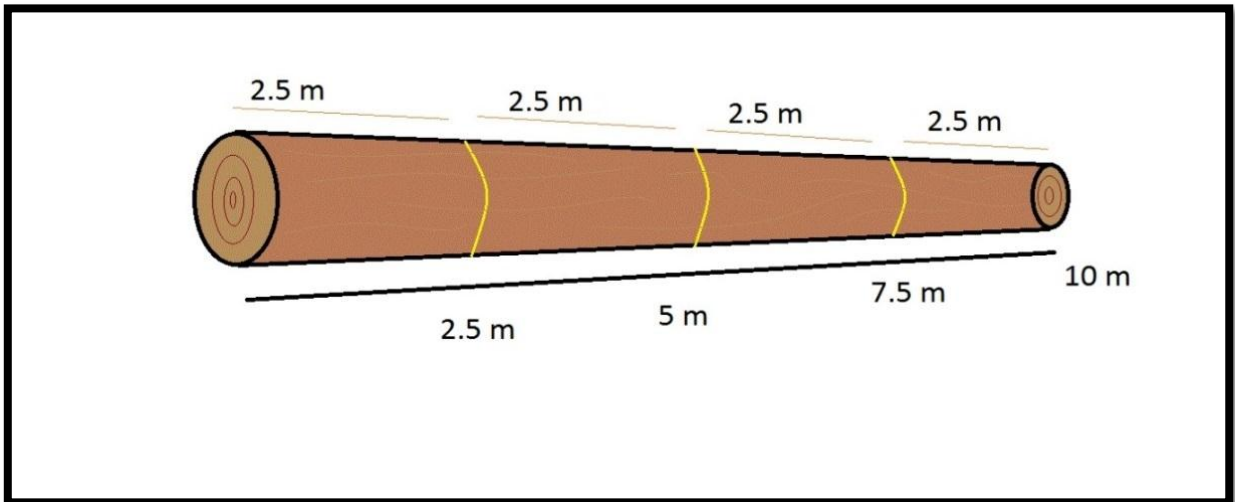


Figura 2. Esquema de mediciones diamétricas realizadas a diferentes alturas del fuste de los árboles. Fuente: elaboración propia



Figura 3. Medición de diámetro a diferentes alturas en un árbol de *Gmelina arborea* (melina).

#### 4.2.2. Medición de biomasa

La medición y selección de las ramas que se midieron se hizo en función de las máquinas de la empresa Biomass, astilladoras Vermeer BC 1800 (en la figura 7 se muestra una imagen de ésta máquina) por lo que las ramas menores a 5 cm de diámetro no fueron consideradas. Se determinaron como residuos todas las ramas mayores a 5 cm de diámetro que se encontraran por arriba de la altura comercial, determinada por cada productor visitado.



Figura 4. Astilladora Vermeer BC 1800 propiedad de Biomass C.R.

Se tomaron los datos de peso fresco de ramas con una balanza tipo colgante de 50 Kg de capacidad. Debido al límite de capacidad de la balanza, la forma de algunas ramas además del tamaño los residuos debieron cortarse hasta lograr medidas adecuadas para su peso (la figura 8 muestra un ejemplo del tipo de residuos típicos de la categoría R2). La forma en que se realizó el peso de cada rama se muestra en las figuras 7 y 8.

Se determinó el contenido de humedad de la madera mediante una muestra verde de cada árbol, éstas se pesaron y se colocaron a una temperatura de 100°C durante 30 horas hasta llegar a peso constante. Se volvieron a pesar y se anotó la diferencia con respecto al peso seco. El porcentaje de biomasa seca de cada muestra se obtuvo de la siguiente ecuación: %Biomasa seca:  $((\text{Peso verde} - \text{Peso Seco}) / \text{Peso seco}) * 100$ .



Figura 5. Residuo típico de plantaciones de *Tectona grandis* (teca) de categoría diamétrica R2.



Figura 6. Medición de peso verde de los residuos de árboles R2 en plantaciones de *Gmelina arborea* (melina) con una balanza colgante.



Figura 7. Medición de peso verde con una balanza colgante de los residuos de árboles R2 en plantaciones de *Tectona grandis* (teca).

#### 4.3. Elaboración y valoración de la ecuación de volumen

Para elaborar las ecuaciones de predicción de biomasa residual, se estructuró una base de datos con toda la información disponible. Se utilizaron los modelos matemáticos más empleados para relacionar, en este caso el diámetro con la biomasa de los residuos. Estos modelos matemáticos están descritos en Arias (2004).

Adicionalmente también se utilizaron modelos de dos y tres variables independientes que relacionaran diámetro, altura, relación altura. diámetro para buscar ecuaciones con el mejor grado de ajuste.

La elaboración de la ecuación de predicción se hizo por medio del programa estadístico SAS, con el cual se valoraron todos los modelos tomando como valor de referencia para su elección el  $R^2$  no lineal y el cuadrado medio del error. Se evaluaron más de 30 modelos y se eligieron las 3 ecuaciones con las mejores características y en cada caso se sugiere preliminarmente el uso de una ecuación para efectos de las estimaciones de biomasa total.



#### 4.4. Identificación de propiedades con tipos de cobertura de interés dentro del área de estudio

- Se determinaron 20 kilómetros como distancia máxima rentable para la recolección de biomasa desde el centro de procesamiento, ubicado en El Coyote de Abangares, esto según estudios propios de la empresa. Consecuentemente se analizó el área circundante al centro de operaciones de Biomass, en un radio de 20 km. Se establecieron 3 tipos de coberturas de interés para Biomass, las cuales se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 1. Tipos de coberturas de interés para Biomass C.R.

Tipo de cobertura	Características
<b>Charral arbolado</b>	Ecosistemas secundarios que por ley no se consideran bosque y se pueden aprovechar
<b>Potrero arbolado</b>	Pastizales con árboles aprovechables en densidades considerables
<b>Plantación forestal</b>	Plantaciones de especies como teca, melina, pochote y cualquier otra plantación maderable

La identificación de los sitios potenciales productores de biomasa se efectuó por medio de análisis de imágenes satelitales con los programas Google Earth y Quantum Gis Chugiak 2.4, para el análisis de dichas zonas se descartó la zona marítima además de la región de Monteverde y áreas aledañas, las cuales son básicamente laderas con pendientes mayores a 30%, lo que significa elevados costos de extracción, que repercute en poca rentabilidad (comunicación personal con los ingenieros de la empresa). Se evaluó la cercanía con ríos o presencia de zonas de protección considerables, los cuales se descartaron inmediatamente de acuerdo a la Ley Forestal 7575. Se corroboró la información satelital mediante giras de reconocimiento, en las cuales se visitaron los sitios y se tomó un punto en cada sitio además de anotar su tipo de cobertura.

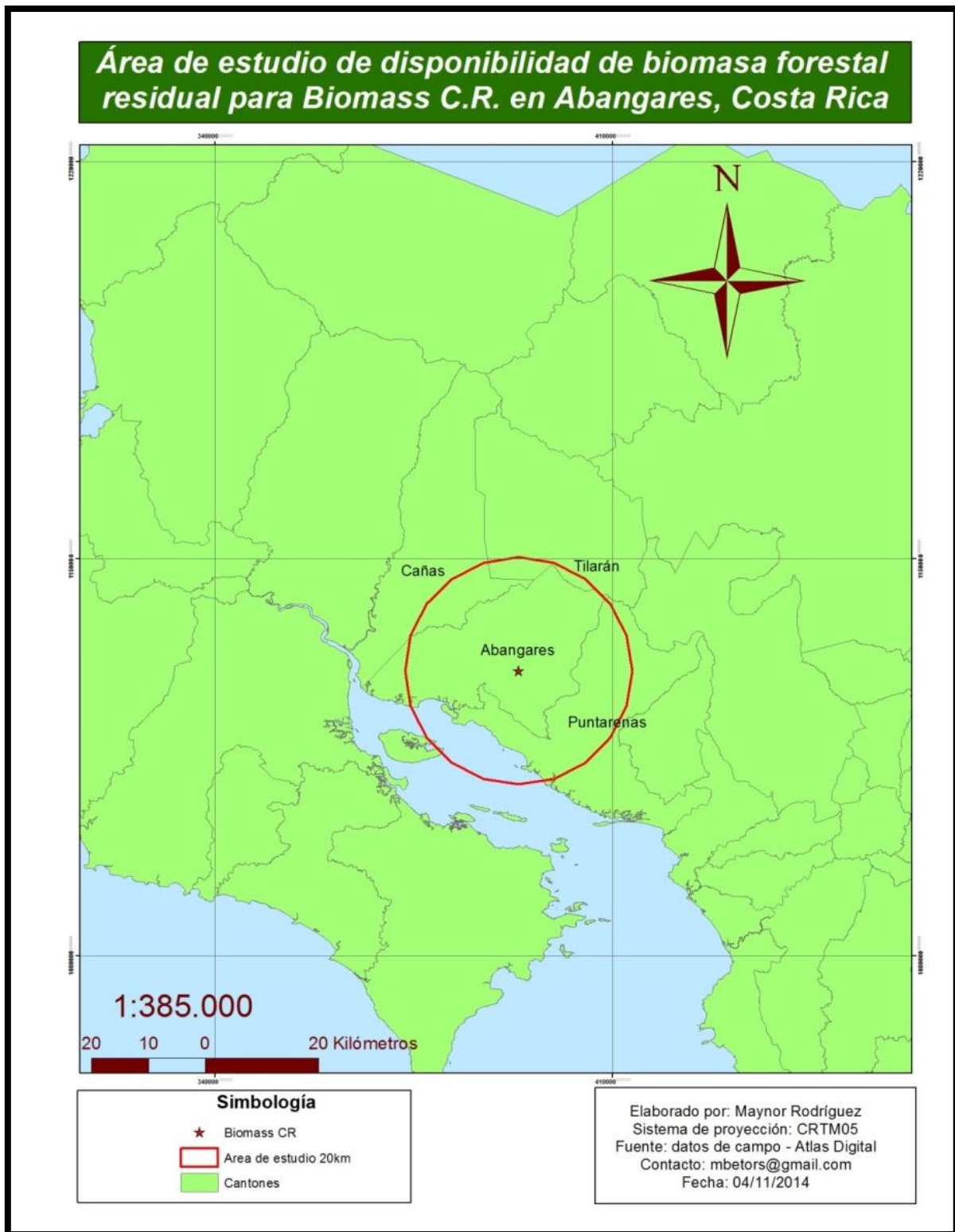


Figura 8. Área de estudio de disponibilidad de biomasa para la empresa Biomass Costa Rica. Fuente: Elaboración propia.



Figura 9. Área descartada por altas pendientes y presencia de bosques maduros. Fuente, elaboración propia con ayuda de Quantum Gis 2.4 - Google Physical.

El área de cada zona se determinó mediante reconocimiento visual con imágenes satelitales empleando el programa Quantum GIS 2.4. Para cada zona se dibujó un polígono rodeando la zona “boscosa” o arbolada que cumpliera los requisitos de topografía y cantidad de zonas de protección, de modo que se generó una capa (shape) con información del área y tipo de cobertura. Los límites de cada polígono se definieron basándose en la densidad y distribución de los árboles. En la figura 3 se muestra un ejemplo de la diferenciación de coberturas. El área de cada polígono se calculó utilizando el programa Quantum Gis 2.4.



Figura 10. Diferenciación satelital de tres tipos de cobertura de interés para Biomass C.R. Fuente: elaboración propia con la ayuda de Google Earth.

#### 4.5. Predicción de biomasa forestal disponible

La producción media de los sitios evaluados se calculó con datos de rendimiento reportados por Biomass C.R. los mismos se muestran en el cuadro 6. No se recopiló información de rodal en las plantaciones visitadas, por lo tanto se generó una tabla de rendimiento diamétrico esperado en función del IMA de las plantaciones evaluadas, esta tabla complementada con el modelo de predicción de residuos se utilizó para generar una predicción de materia prima. Tabla de IMA y rendimiento diamétrico esperado se muestran en el cuadro 8 y 9 respectivamente.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Modelo de predicción del peso residuos en función del diámetro der árbol

El cuadro 6 muestra la información sobre las plantaciones evaluadas para la generación de los modelos de predicción de peso de residuos aprovechables en plantaciones de teca y melina. Se eligieron las plantaciones en cantones como Hojancha y Nandayure debido a que en la zona de estudio no se observaron operaciones de aprovechamiento de dichas especies.

Cuadro 2. Información de plantaciones forestales evaluadas para la elaboración de un modelo de predicción del peso seco de residuos en función del dap.

Plantación	Especie	Tamaño de muestra	Clase diamétrica	Propietario
T1	Teca	10	5 - 15cm	Lorena Solano
T2	Teca	10	15 - 25cm	CACH
T3	Teca	20	15 - 35cm	Edwin Paniagua
M1	Melina	20	5 - 25cm	Joaquín Obregón
M2	Melina	10	25 - 35cm	Eduardo Sibaja
Dirección				
T1	Costado Oeste, patio de trozas del aserradero del CACH, Hojancha Guanacaste			
T2	Matina, calle al antiguo basurero, Hojancha Guanacaste			
T3	San Gerardo de Hojancha, camino a Caimital de Nicoya			
M1	La ensenada, Abangares, Guanacaste			
M2	500 metros al norte de la entrada de Rio Oro, Nandayure, Guanacaste			

Se determinó para cada especie, 3 modelos de predicción de peso seco de residuos en función del diámetro del árbol, los cuales se muestran los cuadros 3 y 4. Los modelos propuestos para teca se realizaron en función de los 10 árboles de menores dimensiones (de 5 a 15cm de DAP) debido a que no se logró observar un patrón reconocible en la distribución de los árboles en un gráfico de dispersión dap vs Peso seco de residuos, por lo tanto fue imposible adjudicar una curva de mejor ajuste para estos árboles.

Los modelos de predicción de residuos para melina si comprende en su campo de acción las tres clases diamétricas evaluadas: árboles de 5 a 15 cm de DAP, de 15 a 25 cm y de 25 a 30 cm, aunque fue necesario la exclusión de 6 árboles debido a comportamiento no concordante con el resto de la muestra, por lo tanto el modelo se generó con 24 árboles en total.

Cuadro 3. Modelos para la determinación del peso seco de residuos en función del diámetro a la altura del pecho, para 24 árboles de *Gmelina arborea* (melina) en la zona de Abangares y la península de Nicoya en Guanacaste, Costa Rica.

Ecuación	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	Cuadrado medio del error
1. <b>Peso seco= <math>\alpha^{(\beta*dap)}</math></b>	5,4	0,07		100,54
2. <b>Peso seco= <math>10^{\alpha*dap^{\beta}}</math></b>	-0,29	1,28		120,73
3. <b>Peso seco= <math>\left(\alpha * \frac{dap}{(dap+1)}\right) + \beta * dap</math></b>	-0,24	1,24		123,1
4 <b>Peso seco= <math>\frac{\alpha}{(1+\beta^{(-\gamma*dap)})}</math></b>	14327107862	2750392929	0,07	105,37

Se probaron al menos 30 modelos que han sido reportados en la literatura, siendo los de mejor ajuste los de la tabla anterior. De todos los modelos el que resultó con un menor cuadrado medio del error fue el modelo exponencial (1) y es el que se recomienda su uso para efectos de las estimaciones de la biomasa seca para árboles de melina con dimensiones del dap entre 5 y 35 cm de diámetro, para la región de Abangares – Cañas y la península de Nicoya en Guanacaste. Se nota un cuadrado medio del error alto para todos los modelos evaluados, esto debido a la elevada variabilidad entre la biomasa de residuos de los individuos evaluados. Estos modelos en definitiva tienen que ser mejorados incluyendo una muestra mucho mayor de individuos e incorporando variables propias del rodal

Cuadro 4. Modelos para la determinación del peso seco de residuos en función del diámetro a la altura del pecho, para 10 árboles de *Tectona grandis* (teca) en la zona de Abangares y la península de Nicoya en Guanacaste, Costa Rica.

Ecuación	$\alpha$	$\beta$	Cuadrado medio del error
1. <b>Peso seco= <math>\alpha(\beta*dap)</math></b>	7,35	0,16	85,51
2. <b>Peso seco= <math>10\left(\alpha+\beta*\left(\frac{1}{dap}\right)\right)</math></b>	2,58	-9,53	110,07
3. <b>Peso seco= <math>\left(\frac{\alpha*\beta}{(dap+1)}\right) + \beta * dap</math></b>	-54,91	9,2	103,08

La determinación de los modelos que se muestran en el cuadro 4 se realizó en función de 10 árboles jóvenes de teca, de 5 a 15 cm de diámetro debido a que los datos no muestran una tendencia de dispersión clara en las categorías R2 y R3 (de 16 a 25 cm y de 26 a 35 cm o más), los gráficos de dispersión para ambas especies se muestra en las figuras 11 y 12. Igualmente los árboles de dichas dimensiones representan una fracción importante de la población que se elimina que en el primer raleo en plantaciones forestales de teca, que normalmente se realiza a la edad de 4 a 5 años, y el diámetro promedio de plantaciones de teca en un escenario promedio es de 12.9 cm. de Camino (2013)

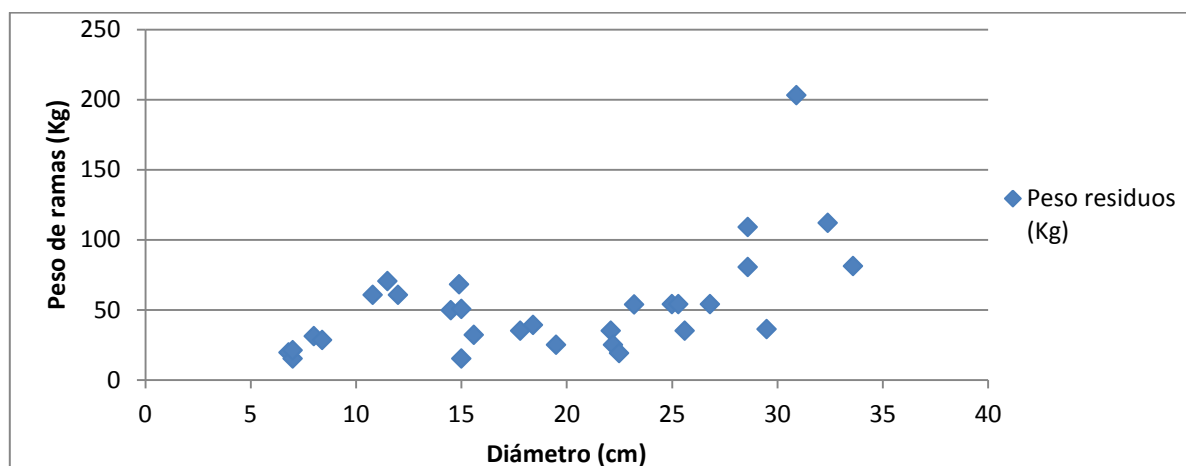


Figura 11. Gráfico de dispersión dap vs peso verde de residuos en plantaciones de melina (*Gmelina arborea*) en Abangares y la zona de la península de Nicoya, Guanacaste, Costa Rica.

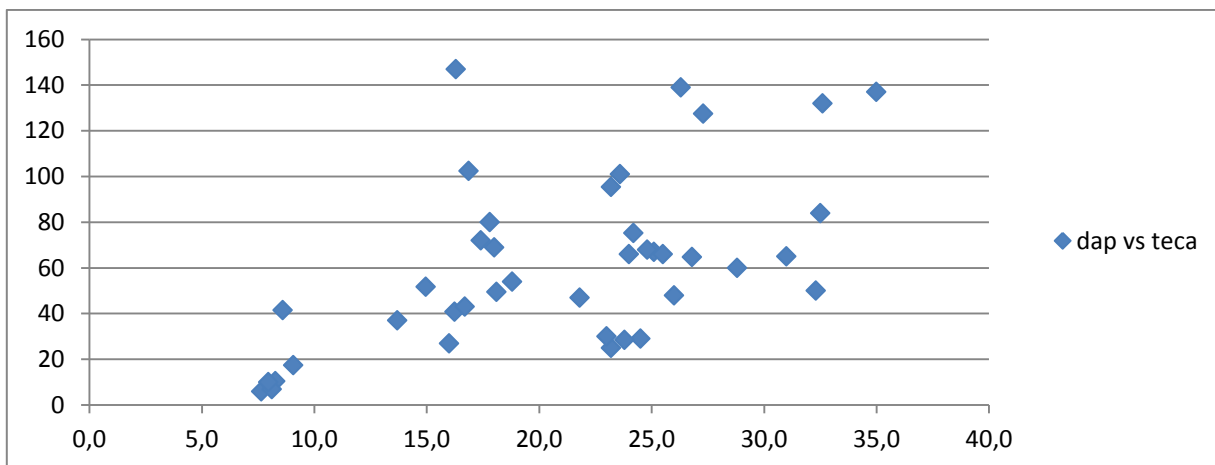


Figura 12. Gráfico de dispersión dap vs peso verde de residuos en plantaciones de teca (*Tectona grandis*) en Abangares y la zona de la península de Nicoya, Guanacaste, Costa Rica

Generalmente árboles de estas dimensiones no tienen buena comercialización, por lo tanto se pueden adquirir directamente con los productores a precios bajos. Las operaciones de aprovechamiento de biomasa forestal residual ofrece ciertas ventajas en comparación de otros tipos de cobertura como charrales o potreros arbolados, debido a:

1. La homogeneidad de la biomasa: los árboles presentan un diámetro pequeño, por lo cual se puede manejar sin necesidad de introducir maquinaria pesada como tractores o cargadores.
2. La densidad de las plantaciones: las densidades comúnmente utilizadas en plantaciones comerciales de teca son 3x3 y 4x4 metros, lo que significan 1111 o 625 árboles por hectárea respectivamente. De Camino (2013) considerando que el primer raleo que se realiza es de 30% de la población o más, se obtendrían 333 o 187 árboles por hectárea respectivamente.
3. Predicción de rendimiento: es posible inferir en peso seco de biomasa que se obtendrá por hectárea en una plantación, gracias a las ecuaciones anteriormente descritas, lo que permitirá generar un flujo de producción planificación y con información disponible para la toma de decisiones.

El cuadro 5 muestra la tabla de IMA para teca y melina, la información sobre rendimiento diamétrico esperado se encuentra en el cuadro 6.



Cuadro 5. Dap promedio por clase diamétrica, Edad por clase diamétrica e Incremento Medio Anual de 30 árboles de melina y 40 árboles de teca evaluados en la zona de Abangares y la península de Nicoya, Guanacaste, Costa Rica.

Clase	dap promedio melina	Edad melina	Dap promedio teca	Edad teca	IMA melina	IMA teca
R1	10,09	4	9,1	5	2,52	1,82
R2	19,13	8	21,11	9,5	2,39	2,22
CF	28,63	9	29,68	19	3,18	1,56
				<b>promedio</b>	2,698287	1,72

De Camino y Morales (2013) menciona en su libro *Las plantaciones de teca en América Latina: Mitos y realidades*, que se considera como un IMA bajo un valor de 2.23 cm/año, por lo que el diámetro promedio reportado en la tabla IMA generada se considera un valor conservador para efectos de cálculos de rendimiento.

Cuadro 6. Peso seco y verde esperado en kilogramos de biomasa forestal residual en función del dap para árboles de melina (*Gmelina arborea*) entre los 4 y los 15 en la zona de Abangares y la península de Nicoya, Guanacaste, Costa Rica

Edad	Diámetro esperado (cm)	Residuos seco (kg)	Residuos verde (kg)
4	10,79	3,57	5,63
5	13,49	4,92	7,74
6	16,19	6,76	10,65
7	18,89	9,30	14,65
8	21,59	12,79	20,14
9	24,28	17,57	27,67
10	26,98	24,17	38,06
11	29,68	33,24	52,35
12	32,38	45,71	72,00
13	35,08	62,87	99,03
14	37,78	86,47	136,20
15	40,47	118,80	187,10

Cuadro 7. Peso seco y verde esperado en kilogramos de biomasa forestal residual en función del dap para árboles de teca (*Tectona grandis*) entre los 4 y los 15 en la zona de Abangares y la península de Nicoya, Guanacaste, Costa Rica

Edad	Diámetro esperado	Peso seco de residuos (kg/árbol)	Peso verde de residuos (kg/árbol)
4	6,88	8,9869	12,5726
5	8,6	15,5601	21,7685
6	10,32	26,941	37,6905

Las tablas anteriores muestran el peso seco de residuos que se espera obtener de árboles en plantaciones forestales en las edades indicadas. Igualmente se incluye el peso verde biomasa a obtener, ya que la empresa comercializa generalmente material en condiciones de elevados contenidos de humedad. Esta información permite realizar estimaciones precisas sobre poblaciones de individuos procedentes de raleos en plantaciones de teca y en el caso de melina también residuos procedentes de operaciones de la cosecha final.

## 5.2. Área total de potenciales sitios productores de biomasa forestal y distribución de la cobertura

En el cuadro 8 se muestran las hectáreas totales de cada tipo de cobertura así como el total de hectáreas de interés para Biomass CR presentes en el radio de 20 kilómetros desde las instalaciones de su planta de procesamiento en El Coyote, de Abangares; Guanacaste, Costa Rica. Se excluyó la zona marítima dentro del círculo de estudio, por lo que el área efectiva de estudio fue de 11207.4 hectáreas.

Como se observa en el cuadro 8 se determinó que existe un total de 5611.55 hectáreas, las cuales se consideran rentables siguiendo los criterios de distancia desde el centro de operaciones, topografía del terreno, áreas de protección y tipo de cobertura según la ley forestal 7575. La mayor parte del área de interés está ocupada por plantaciones forestales, en su mayoría de teca, del mismo modo se identificaron zonas de charral arbolado y potrero arbolado en menor proporción pero con áreas totales considerables. El 44% del territorio de interés para Biomass C.R. son plantaciones forestal, el 31% charrales arbolados o bosques secundarios

jóvenes mientras que los potreros arbolados constituyen el 25% de dicha área, la descripción gráfica se muestra en la figura 11.

Cuadro 8. Área total por tipo de cobertura de interés para Biomass C.R. en un radio de 20 km desde su centro de procesamiento en Abangares, Guanacaste.

<b>Cobertura</b>	<b>Área total (ha)</b>
<b>Charral arbolado</b>	1756,084
<b>Plantación forestal</b>	2481,352
<b>Potrero arbolado</b>	1374,120
<b>Total</b>	<b>5611,556</b>

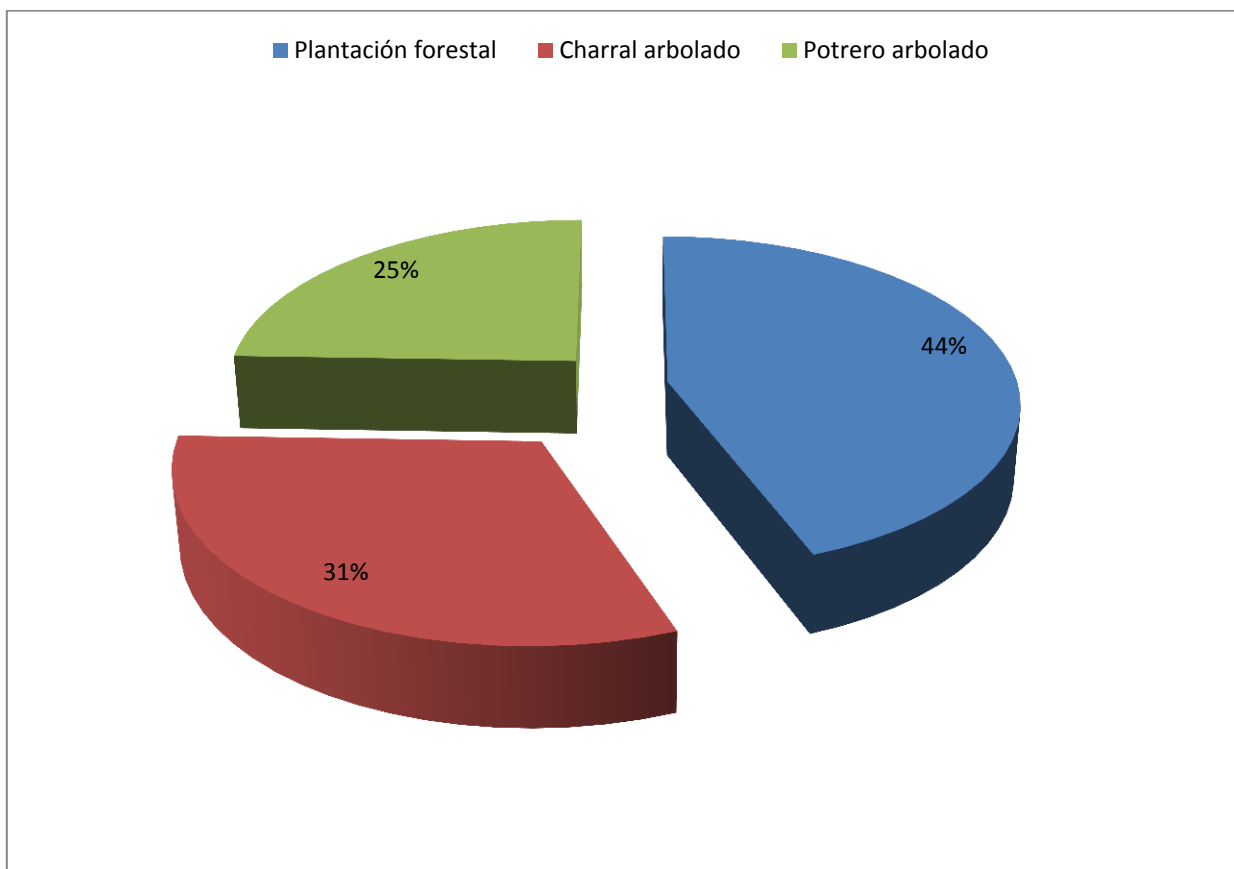


Figura 13. Distribución porcentual del área por tipo de cobertura de interés para Biomass C.R. en un radio de 20 km desde su centro de procesamiento en Abangares, Guanacaste.

Se encontraron 3 especies reforestadas en la zona muestreada, entre los cuales se observan mayoritariamente cultivos de teca (*Tectona grandis*), además de plantaciones de melina (*Gmelina arborea*) y secciones muy pequeñas plantadas con pochote (*Bombacopsis quinata*).

Se utilizó información del mapa de tipos de bosque de Costa Rica 2013, disponible en SIREFOR (Sistema de Información de los Recursos Forestales), dicho mapa cuantifica el área de plantaciones forestales, con lo cual se obtuvo información (shapes) de las plantaciones localizadas en el área de estudio, mas no así la especie de éstas. Consecuentemente las plantaciones del mapa de SIREFOR se clasificaron por separado pero se consideraron al sumar el área total de las plantaciones forestales presentes. El área total de cada tipo de plantación y cobertura se muestra en el cuadro 9. La ubicación de dichas zonas se muestra en la figura 12.

Cuadro 9. Área en hectáreas de todos los tipos de coberturas rentables para Biomass C.R. identificadas en el área muestreada.

<b>Cobertura</b>	<b>Área total (ha)</b>
<b>Potrero arbolado</b>	1374,12
<b>Charral arbolado</b>	1756,084
<b>Plantación Forestal melina</b>	54,264
<b>Plantación Forestal teca</b>	492,251
<b>Plantación Forestal pochote</b>	1,848
<b>Plantaciones SIREFOR</b>	1932,989
<b>Total</b>	<b>5.611,56</b>

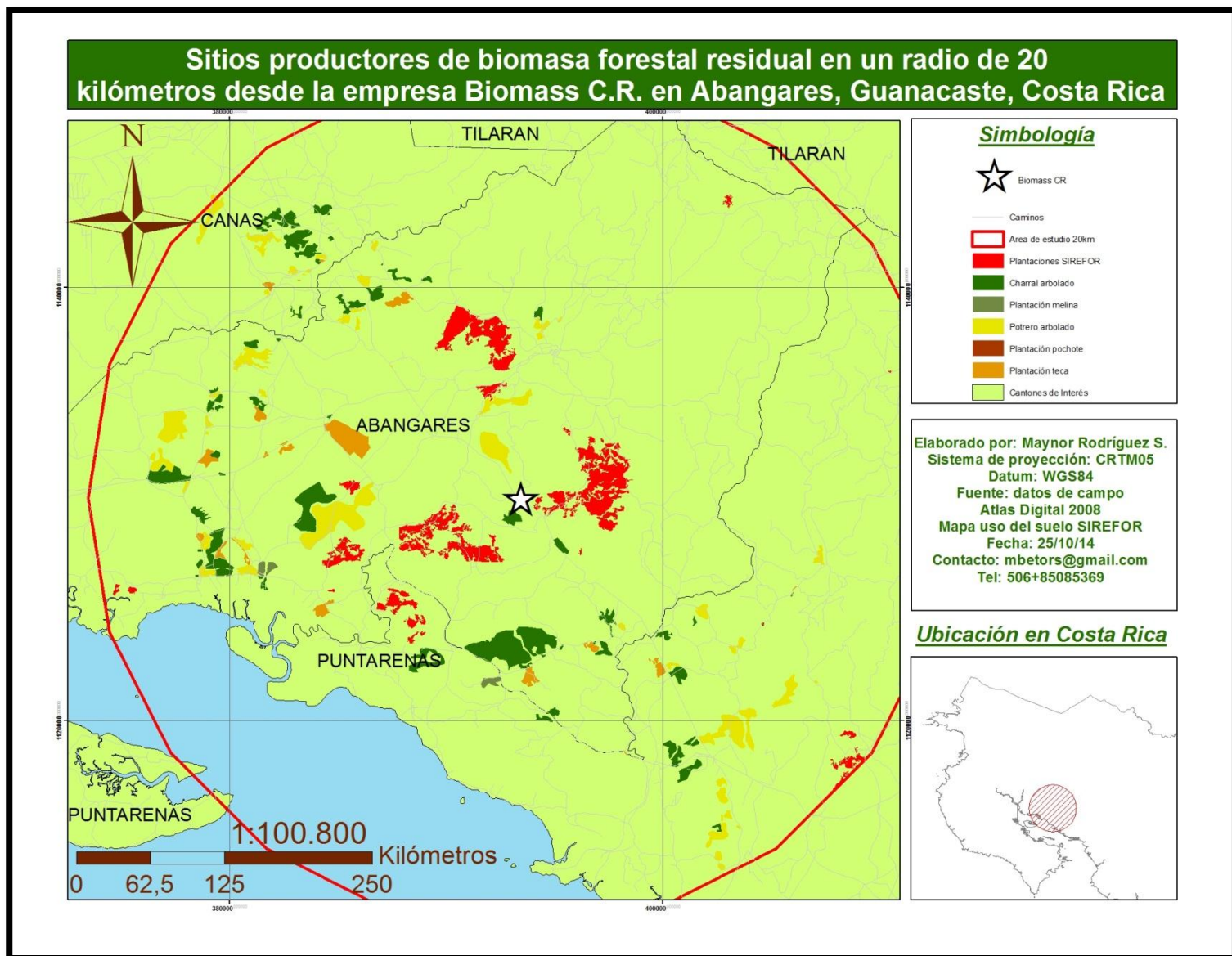


Figura 14. Ubicación de sitios productores de biomasa forestal residual en un radio de 20 kilómetros de la empresa Biomass C.R. en Abangares, Guanacaste, Costa Rica.

### **5.2.1. Ubicación de terrenos de mayor importancia y rutas óptimas para su intervención**

Las propiedades de mayor área se encontraron en las cercanías de la empresa, específicamente, dentro de un radio de 10 km desde Biomass C.R. estos terrenos son los que representan mayores beneficios económicos, debido a su cercanía con el centro de operaciones y el área total de dichas propiedades.

Como se observa en la figura 12, las plantaciones forestales, constituyen el tipo de cobertura dominante en la zona de estudio de 10 km de radio. Las plantaciones forestales identificadas por medio de la información de SIREFOR, concentran la mayoría del área, aunque dicha información no precisaba la especie de éstas plantaciones, las giras de campo indican que la mayoría de éstas son de teca.

Las plantaciones de SIREFOR se sitúan de la siguiente manera: al este una plantación de 626.3 hectáreas a 4.2 kilómetros, al sur oeste una plantación de 384.26 hectáreas a 6.2 kilómetros y al norte una propiedad de 404.78 hectáreas. Se localizó también una plantación de teca de 200 hectáreas situada a 12.1 km al noroeste de la empresa. Ver figura 14.

Se situaron dos áreas de charral arbolado importantes al sur de la empresa, estas fincas de 292 y 154 hectáreas, estas se encuentran a 14.8 kilómetros de Biomass, del mismo modo se identificaron 196 hectáreas de terreno con cobertura forestal aprovechable al oeste de Biomass, a una distancia de 11.5 km, siendo éstos los sitios más representativos de este tipo de cobertura.

Las áreas de potrero arbolado más importantes dentro del rango de los 10 kilómetros se encuentran al norte y al oeste del plantel de la empresa. Al norte se sitúan dos propiedades de 137 y 83 hectáreas, a 2.8 y 5 kilómetros respectivamente, mientras que la propiedad del oeste se encuentra ubicada a 11.8 km y posee 378 hectáreas de potrero arbolado. Todas las rutas anteriormente citadas se muestran en la figura 13.

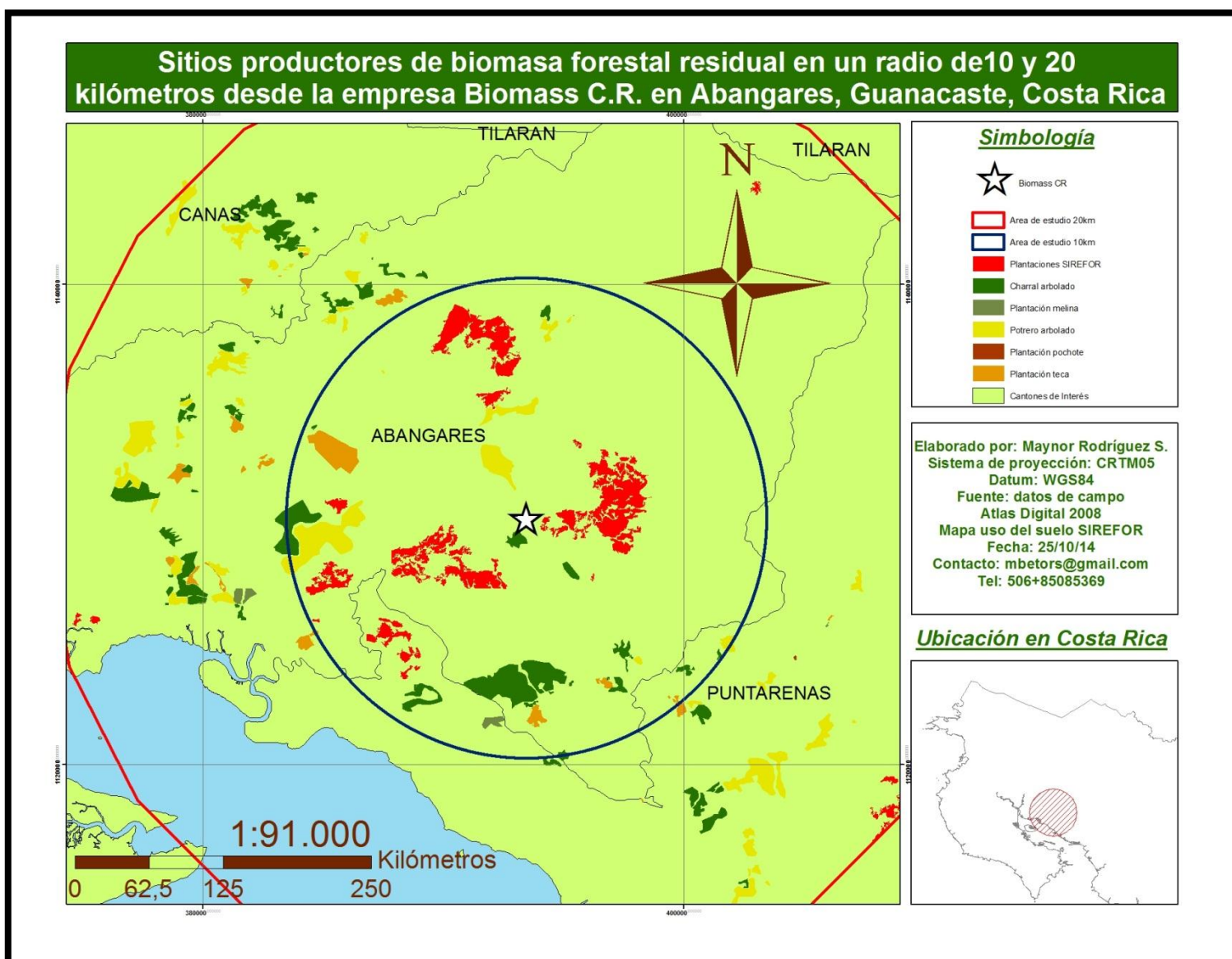


Figura 12. Ubicación de sitios productores de biomasa forestal residual en áreas de radio de 10 km y 20 km desde las instalaciones de la empresa Biomass C.R. Guanacaste, Costa Rica.

Como se observa en la imagen anterior, el círculo azul encierra las propiedades de mayor tamaño en el área de estudio, lo que representa varios beneficios para la empresa, como se mencionó anteriormente.

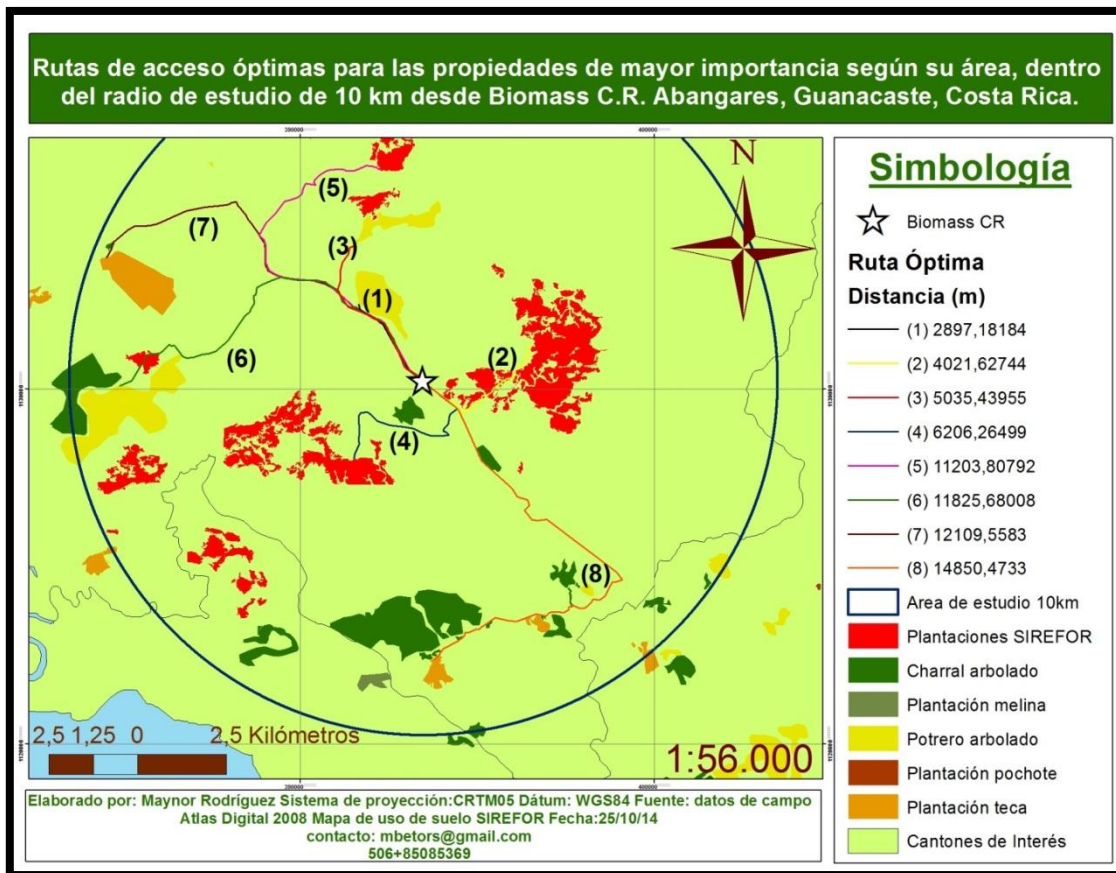


Figura 15. Ruta óptima sugerida para cada finca de área considerable dentro de un radio de 10 kilómetros desde las instalaciones de Biomass C.R. Abangares, Guanacaste, Costa Rica. Fuente: datos de campo - Google Earth.

Cuadro 10. Distancia en metros de cada ruta propuesta y área total en hectáreas de cada finca destino con su respectivo tipo de cobertura.

Ruta	Distancia (m)	Tipo de cobertura de la finca	Área (ha)
1	2897,18	Potrero arbolado	137
2	4021,62	Plantación SIREFOR	626,3
3	5035,43	Potrero arbolado	83
4	6206,28	Plantación SIREFOR	384,26
5	11203,8	Plantación SIREFOR	404,78
6	11825,68	Potrero arbolado / Charral arbolado	378/196
7	12109,55	Plantación Teca	200
8	14850,47	Charral arbolado	448



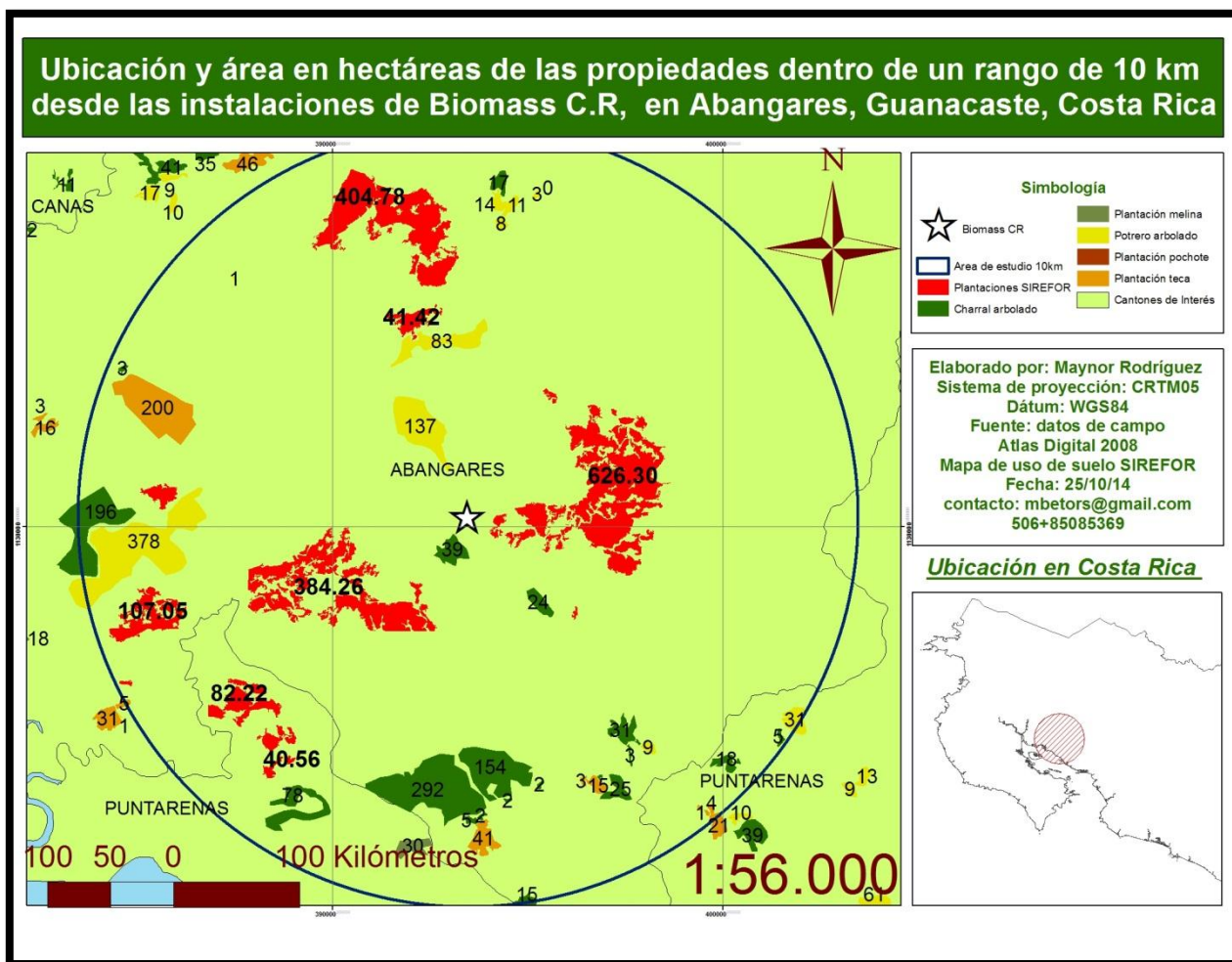


Figura 16. Ubicación y área en hectáreas de las propiedades dentro de un rango de 10 km desde las instalaciones de Biomass C.R, en Abangares, Guanacaste, Costa Rica.

La figura 14 muestra el área de las fincas de mayor tamaño en el radio de acción de 10 kilómetros. El cuadro 10 muestra la información sobre distancia de cada ruta sugerida además del área de cada propiedad de destino. Estos datos sumados a los rangos de producción permitirán estimar la capacidad de producción de dichos sitios. Esta información complementada con la distancia de los sitios productores y las características silviculturales de las plantaciones forestales permitirá a Biomass realizar predicciones de utilidades con un menor sesgo.

### 5.3. Disponibilidad de biomasa forestal

La predicción de la oferta de biomasa forestal se elaboró mediante datos de producción por hectárea reportados por Biomass para los diferentes tipos de cobertura. Debido a que la información suministrada son rangos. Se tomará como valor de referencia el punto medio del rango de producción en raleos forestales, ya que es la menor producción reportada, en comparación con el aprovechamiento final o el manejo de rebrotes, lo anterior para representar un escenario conservador en cuanto a estimación de producción. Se acepta esta medida debido a que no se evaluó la edad de las plantaciones, por lo tanto no es posible prever la disponibilidad de materia prima proveniente de plantaciones forestales en los años siguientes.

Cuadro 11. Rendimiento promedio en toneladas de peso verde por hectárea según tipo de cobertura de interés comercial para Biomass C.R. Fuente: Biomass C.R.

Cobertura	Peso verde (ton/ha)
Aprovechamiento final plantaciones	40-60
Raleo plantaciones	15-20
Manejo rebrotes en plantaciones	30-45
Charral arbolado	40-70
Potrero arbolado	06-10

Cuadro 12. Producción esperada en cada tipo de intervención según estimaciones realizadas con la ecuación de predicción de peso de residuos en función del dap para árboles en plantaciones forestales de melina (*Gmelina arborea*) y teca (*Tectona grandis*)

Melina				
Edad	Diámetro esperado (cm)	Peso verde (kg)/ árbol	Población de raleo (árbol/ha)	Producción esperada por hectárea (kg)
5 (R1)	13,49	7,74	333	2577,4
10 (R2)	26,98	38,06	333	12 673,9
14 (CF)	37,78	136,2	666	90 709,2
Teca				
5 (R1)	8,6	21,7685	333	7 248,91

El cuadro 12 muestra datos de rendimiento de melina concordantes con su rango de producción en raleos forestales, mientras que reportado menores datos para melina, por lo tanto se decide trabajar con el rango reportado por la empresa, para realizar predicciones conservadoras.

Como se observa en el cuadro 11 el charral arbolado representa la sección más importante en producción de biomasa forestal total en toneladas, seguido de las plantaciones forestales identificadas por medio de SIREFOR. El potrero arbolado supera por poco el aporte de las plantaciones de teca, pero con un área mucho mayor, distribuida en el sitio de estudio. Las plantaciones de melina y pochote representan los menores aportes en producción. En total se encuentran disponibles en el área de estudio 151001.24 toneladas de biomasa forestal. El cuadro 14 muestra el rendimiento esperado en las fincas de mayor tamaño dentro del radio de estudio de 10 km. Basándose en 1500 toneladas mensuales como el dato de consumo reportado por Biomass C.R., se realizó un cálculo de tiempo aproximado durante el cual se podrá extraer materia prima en dichas fincas. El tiempo reportado en el siguiente cuadro considera solamente el periodo de chipeado, y excluye el tiempo de corta, troceo y arrastre, por lo tanto el tiempo de trabajo naturalmente se extenderá más que el reportado en el cuadro 13.

El área circundante a la empresa Biomass dentro del radio de 10 kilómetros de radio concentra poco más de un tercio de la producción total del área de estudio, este territorio aporta 54668.45 toneladas de las 151001.24 totales. Se observa en el cuadro 13 que las áreas de charral arbolado son las zonas con los mejores rendimientos productivos, por lo que se consideran los terrenos con prioridad para ser intervenidos junto con las plantaciones identificadas por medio de SIREFOR. De igual forma las plantaciones de teca representan una fracción importante de la producción total.

Cuadro 13. Rendimiento esperado en toneladas totales y tiempo de trabajo según datos de producción de Biomass C.R. para las fincas de mayor tamaño en un radio de 10 kilómetros de radio desde las instalaciones de la empresa Biomass C.R. en Abangares, Guanacaste Costa Rica.

Ruta	Tipo de cobertura	Área (ha)	Rendimiento (toneladas/ha)	Rendimiento (ton totales)	Tiempo de trabajo (meses)
1	Potrero arbolado	137	8	1096	0,7
2	Plantación SIREFOR	626,3	17,5	10960,25	7,3
3	Potrero arbolado	83	8	664	0,4
4	Plantación SIREFOR	384,26	17,5	6724,55	4,5
5	Plantación SIREFOR	404,78	17,5	7083,65	4,7
6	Potrero arbolado / Charral arbolado	378/196	55	3024/10780	2,01/7,18
7	Plantación Teca	200	17,5	3500	2,3
8	Charral arbolado	448	55	24640	16,4

#### 5.4. Predicción de beneficios económicos a obtener en fincas de mayor potencial

Biomass C.R. capta biomasa forestal de dos maneras; instalando campamentos de trabajo temporales, en los cuales se traslada la maquinaria y los colaboradores hasta las fincas que se intervienen, se astilla la madera ahí mismo y se despacha a los clientes o, se recibe la leña en el patio en el Coyote de Abangares, en este lugar se astilla y posteriormente se entrega.

Según datos propios de ingenieros de la empresa, recibir la leña en el plantel implica costos por tonelada astillada mucho más elevado en comparación con la intervención directa en la finca, por lo tanto se adopta la segunda metodología como la opción idónea (los costos mencionados anteriormente contemplan: personal, cargas sociales, alquiler de maquinaria, alimentación, comisiones, impuestos, combustible, seguridad mensajería e inversiones entre otros).

De esta forma se generó una predicción de beneficios económicos a obtener de las fincas de mayor importancia dentro del área de estudio. La información se

muestra en el cuadro 14. Se debe tener en cuenta que los beneficios económicos a recibir varían en función del precio del dólar y que los datos del siguiente cuadro se calcularon con el precio actual del mercado. No se consideró la producción de las plantaciones forestales ya que no se tiene certeza las intervenciones silviculturales que se aplicarán en los próximos años por lo tanto no se conocerá la cantidad exacta de toneladas por hectárea ya que esto varía en función de si es raleo o cosecha final.

Cuadro 14. Rendimiento en toneladas y beneficios económicos a obtener por fincas de mayor tamaño en el área de estudio de 10 km de radio desde Biomass C.R. Abangares, Guanacaste, Costa Rica.

<b>Tipo de cobertura</b>	<b>Ruta</b>	<b>Rendimiento total toneladas</b>	<b>Beneficio económico (₡)</b>
<b>Potrero arbolado</b>	1	1096	11683908
<b>Potrero arbolado</b>	3	664	7078572
<b>Potrero arbolado</b>		3024	32237352
<b>Charral arbolado</b>	6	10780	114920190
<b>Charral arbolado</b>	8	24640	262674720
<b>Variables económicas (₡)</b>			
<b>Costo producción</b>	11625		
<b>Precio promedio de venta</b>	22286		
<b>Beneficio económico</b>	10661		

## 6. CONCLUSIONES

En el área de 20 km alrededor de las instalaciones de la empresa Biomass C.R. en Abangares, Guanacaste, Costa Rica se encuentran **5611,556** hectáreas de potenciales sitios productores de biomasa forestal, los cuales se distribuyen de la siguiente manera: charral arbolado 1756.084 hectáreas, plantaciones forestales 2481.352 hectáreas y 1374.120 hectáreas de potrero arbolado.

La producción total de biomasa forestal por tipo de cobertura según los datos de rendimiento brindados por Biomass C.R. fue la siguiente: potrero arbolado 10992,96 toneladas totales de biomasa, charral arbolado 96584,62 toneladas totales de biomasa y las plantaciones forestales registraron un valor de 43423,66 con un panorama conservador, para un total de 151001,24 toneladas de materia prima disponible.

Las propiedades de mayor interés económico para Biomass C.R. se encuentran dentro del radio de 10 kilómetros alrededor de la empresa ya que representan un tercio de la producción total y se encuentran a poca distancia de las instalaciones de la empresa.

No se logró generar un modelo para predicción de residuos para árboles de teca mayores a 15 cm de diámetro a la altura del pecho.

El área de 20 kilómetros alrededor de la empresa Biomass C.R. representa una oportunidad importante para obtener resultados positivos en la comercialización de astillas de madera.

## 7. RECOMENDACIONES

Aplicar la ecuación desarrollada a lo largo de este trabajo, antes de adquirir residuos de plantaciones forestales de melina o residuos forestales de primeros raleos de plantaciones de teca. De éstas se recomienda utilizar la ecuación que presentó menor cuadrado del error.

Dar prioridad a las propiedades dentro del radio de diez kilómetros alrededor de las instalaciones, ya que presentaron las mejores condiciones de producción y distancia desde la empresa.

Empezar las gestiones de contratos comerciales con las fincas identificadas para asegurar la materia prima. Incursionar en plantaciones dendroenergéticas considerando el potencial de producción de estas y tomando en cuenta que el potencial existente es agotable y se debe negociar. Realizar estudios de factibilidad en la península de Nicoya debido a la densidad de plantaciones forestales en esta zona.

Realizar más estudios para completar la ecuación de predicción de residuos de teca en clases diamétricas mayores. Establecer alianzas estratégicas con empresas responsables de mantenimiento y raleos en plantaciones forestales o bien con madereros de la zona que comercialicen madera de plantaciones en la zona.

Como solución a la falta de información sobre la edad de las plantaciones forestales se sugiere realizar visitas de campo a las fincas con plantaciones forestales de mayor área dentro de la zona de estudio, realizar inventarios con parcelas circulares, ya que éstas han demostrado su eficiencia (menor efecto de borde), facilidad de instalación y costos con respecto a otros tipos de parcelas como mencionan autores como Acka (1993) y Spliter (1996). Se recomienda utilizar 11.28 metros de radio ( $100 \text{ m}^2$ ) con una intensidad de muestreo de 3% como sugiere Murillo (2005). De esta forma se conocerá la edad y diámetro medio de la plantación para estimar la producción esperada de ésta con datos más certeros y así poder establecer relaciones comerciales mucho más estables y confiables tanto con proveedores como con cliente.

## 8. REFERENCIAS

AkcA, A. (1993). Forest inventory Institut fur Foresteinrichtung und Ertragskunde. Universidad de Gottingen, Alemania. 180 p. Consultado en; Murillo O y Camacho P. 1997. Metodología para la evaluación de la calidad de plantaciones forestales recién establecidas. Agronomía Costarricense 21 (2): 189-206p.

Arias, D. (2004) Estudio de las relaciones altura-diámetro para seis especies maderables utilizadas en programas de reforestación en la Zona Sur de Costa Rica. Kurú: Revista Forestal (Costa Rica) 1(2)

Baettig R., Yáñez A. y Albornoz A. (2010). Cultivos dendroenergéticos de híbridos de álamo para la obtención de biocombustibles en Chile: estado del arte. Universidad de Talca, Centro Tecnológico del Álamo. Talca, Chile.

Barboza, L; Silva E. (1997). Tecnologías de Conversión Energética de la biomasa. Serie Sistemas Energético. Editado en Universidad de Amazonas.

CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). (2014). Plantaciones forestales. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México. Documento electrónico disponible en; <http://www.conafor.gob.mx/portal/index.php/temas-forestales/plantaciones>.

Espinosa, M; Muñoz F. (2000). Silvicultura Aplicada I, Apuntes de clase. Manuscrito sin publicar, Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Forestales, Concepción, Chile.



FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2013). Dendroenergía. Consultado en <http://www.fao.org/forestry/energy/es/>.

Fredes N. (2014). Evaluación técnica y económica de una planta de producción de combustible sólido a partir de biomasa forestal de la región de Los Lagos. Tesis de grado. Facultad de ciencias físicas y matemáticas, Universidad de Chile. Santiago, Chile.

Holdridge, L. (1979). Ecología basada en zonas de vida, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. San José, Costa Rica. 216p.

Horta L. (2002). Dendroenergía; Fundamentos y aplicaciones. Agencia Nacional de Energía Eléctrica (ANEEL). 1er Seminario Desarrollo Sostenible Energía y Paz, Agosto 2002.

International Energy Agency. (2010). Energy technology perspectives 2010: Scenarios & strategies to 2050. Paris, France:OECD Publishing.

Lee C. Lazarus M. (2013). Bioenergy projects and sustainable development: wich Project types offer the greatest benefits. Climate and Development Magazine. Stockholm Environment Institute, Seattle. (Estados Unidos).

Lesme, R ; Oliva L. (2003). Factibilidad del empleo de los residuos de la industria de la madera para la obtención de energía eléctrica. Centro de Estudios de Eficiencia Energética, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad de

Oriente. Cuba. Recuperado de

<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar11/HTML/articulo05.htm>

Ley Forestal de Costa Rica N° 7575. (1999). Principio, criterios e indicadores para el manejo sostenible de Bosques Secundario y la certificación forestal en Costa Rica N°27998-MINAE.

Levin R. y Rubin D. (2004). Estadística para administración y economía. Séptima edición. Pearson Educación, México. 928 p.

Nogués F. García D. Rezeau A. Zaragoza. (2010). Energía de la biomasa. Prensas Universitarias de Zaragoza. 557p. (Textos docentes; 173 Energías renovables)

Ortíz, E. (2011). Crecimiento y Rendimiento Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Ortíz E. Soto C. Tapia A. (2011). *Sistemas de Información Geográfica con ArcGis10*. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.

Philip, M. (1938). Measuring trees and forests. Aberdeen Univ. Press. Great Britain.

Pang, S; Li, J. (2006). BIGCC (Biomass Integrated Gasification Combined Cycle) system for New Zealand: An overview and perspective. New Zealand Journal of Forestry 51(2):7-12.

Palmberg, C; Ball J. B. (2000). El estado actual de las plantaciones forestales en América Latina y el Caribe y examen de las actividades relacionadas

con el mejoramiento genético. Servicio de desarrollo de los recursos forestales, dirección de recursos forestales, departamento de montes. Roma, Italia.

Rojas F. (2005). Principales especies forestales en Costa Rica (Nota técnica). *Revista Forestal Mesoamericana Kurú* (Costa Rica) 2(4), p. 5-4

Rubio J., Prades C. & López E. (1996). Industrialización de madera de pequeñas dimensiones y residuos selvícolas. Escuela Técnica superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes, Universidad de Córdoba. España. II Congreso Forestal Español.

Solano, J. Villalobos, R. (1996). Regiones y subregiones climáticas de Costa Rica. Ministerio de Ambiente Y Energía, Instituto Meteorológico Nacional. San José, Costa Rica.

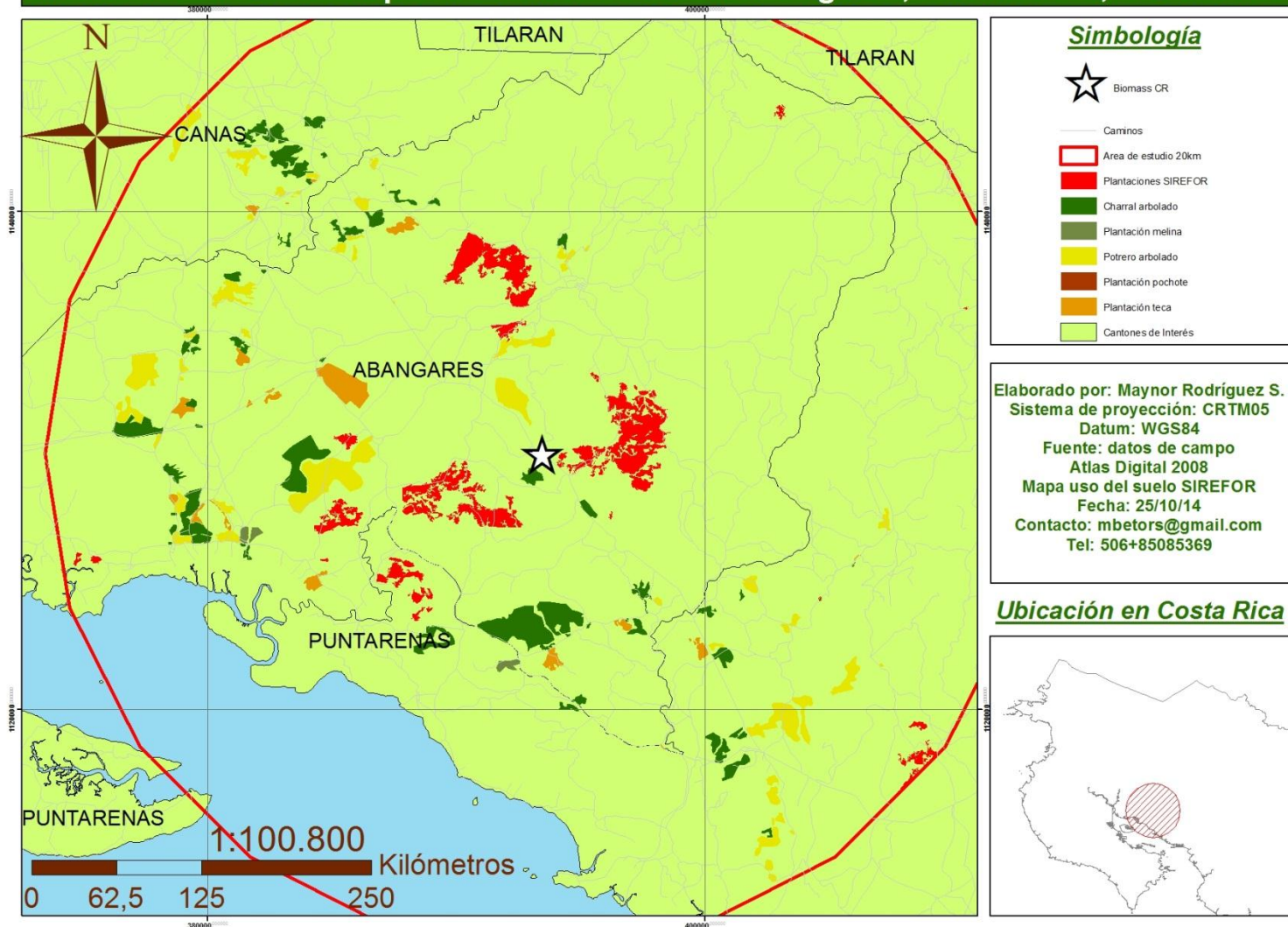
Spitler, P. (1996). Inventario rápido en bosques secundarios de la Región Huetar Norte de Costa Rica. Tesis M.Sc. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Georg-August, Gottingen, Alemania. 75p. Consultado en; Murillo O y Camacho P. 1997. Metodología para la evaluación de la calidad de plantaciones forestales recién establecidas. *Agronomía Costarricense* 21 (2): 189-206p

Varmola M., Guatier D., Lee D., Montagnini F., y Saramaki J. (2005). 7 Funciones diversificadas de los bosques plantados, Mery, G., Alfaro, R., Kanninen, M. and Lobovikov, M. (eds), *Forest in the Global Balance – Changing Paradigm*. Proyecto WFSE.

Velázquez B. (2006). Aprovechamiento de los residuos forestales para uso energético. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. España.

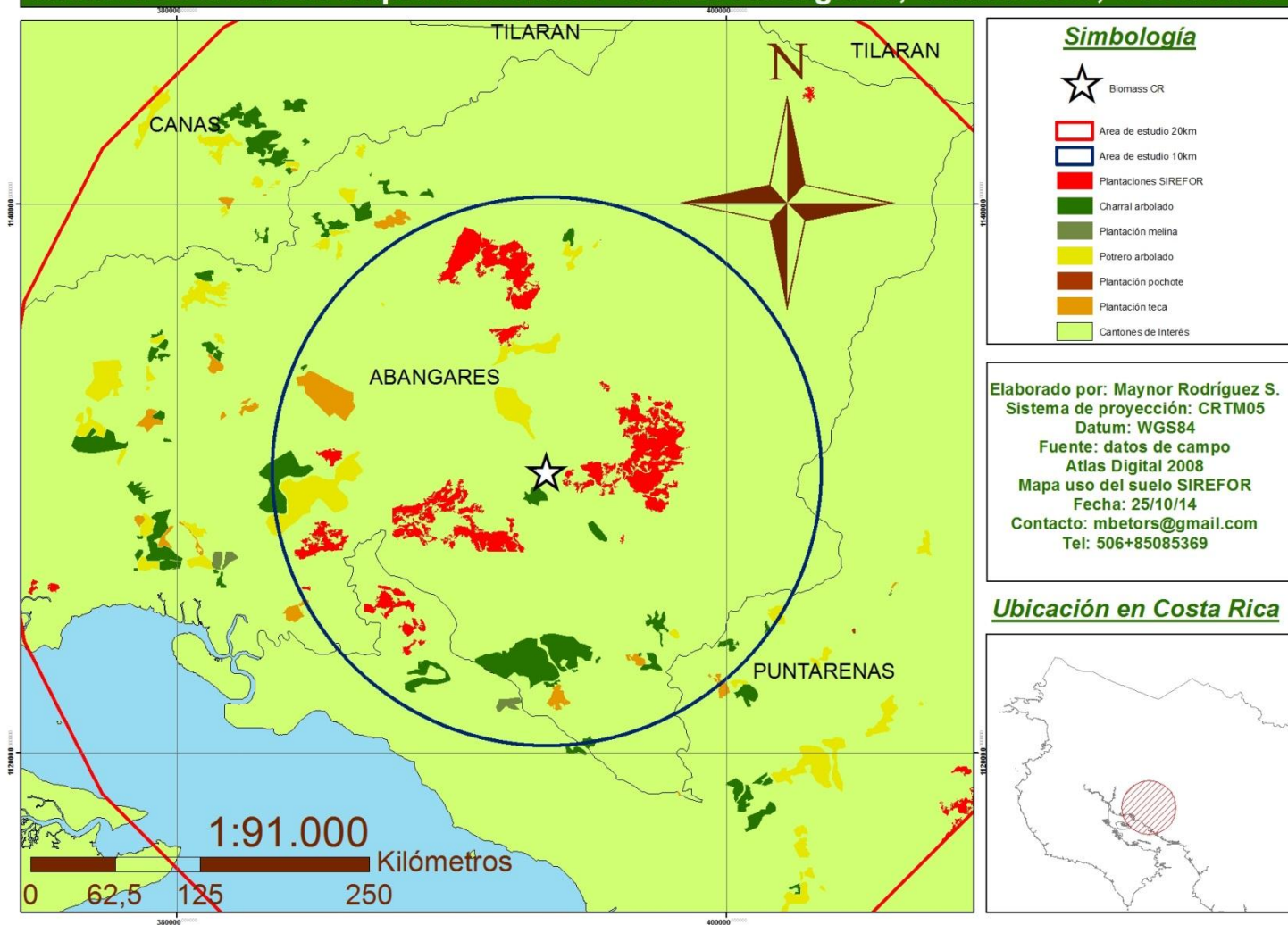
## 9. ANEXOS

### Sitios productores de biomasa forestal residual en un radio de 20 kilómetros desde la empresa Biomass C.R. en Abangares, Guanacaste, Costa Rica



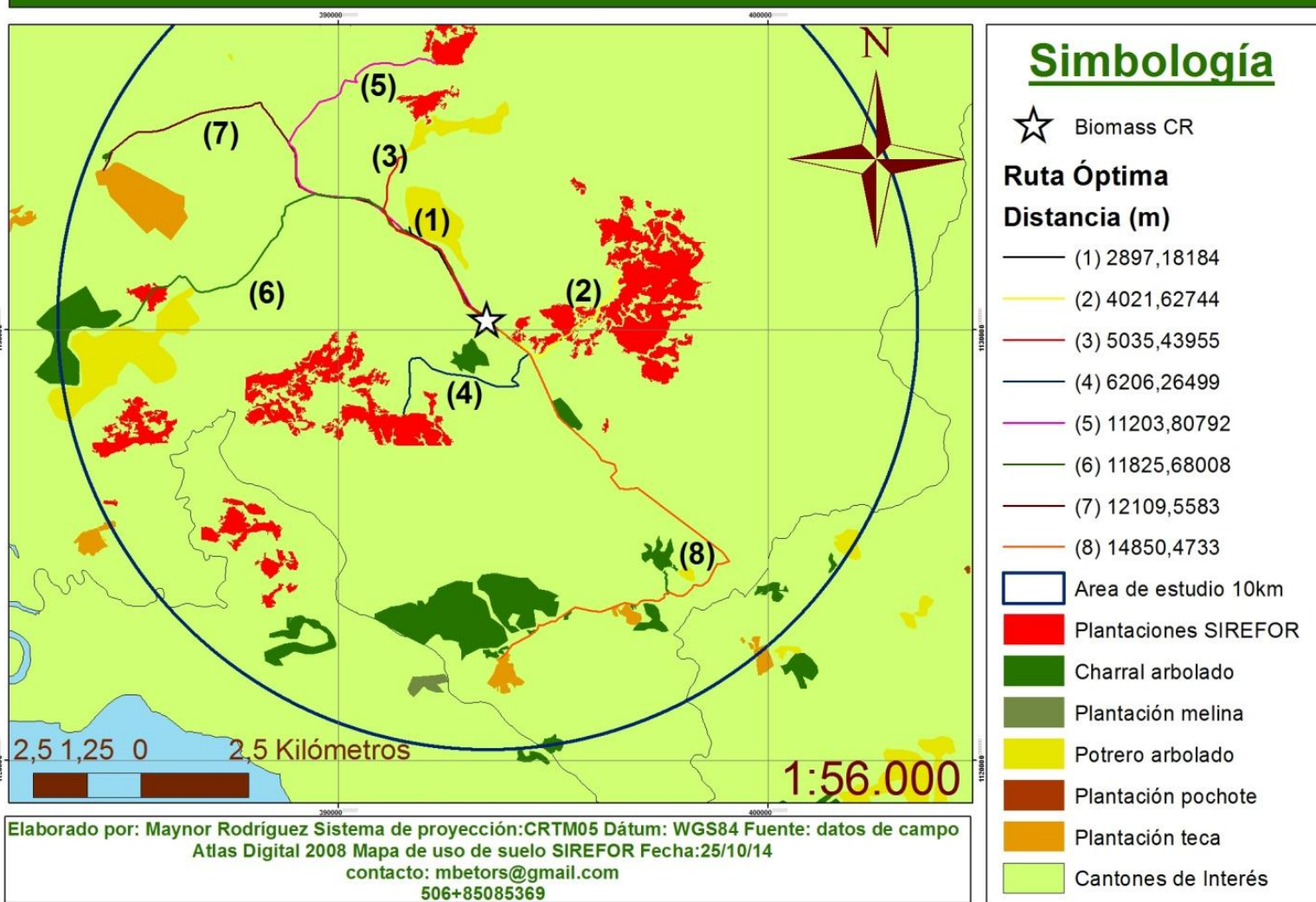
Anexo 1. Ubicación de sitios productores de biomasa forestal residual en áreas de radio de 10 km y 20 km desde las instalaciones de la empresa Biomass C.R. Guanacaste, Costa Rica.

## Sitios productores de biomasa forestal residual en un radio de 10 y 20 kilómetros desde la empresa Biomass C.R. en Abangares, Guanacaste, Costa Rica



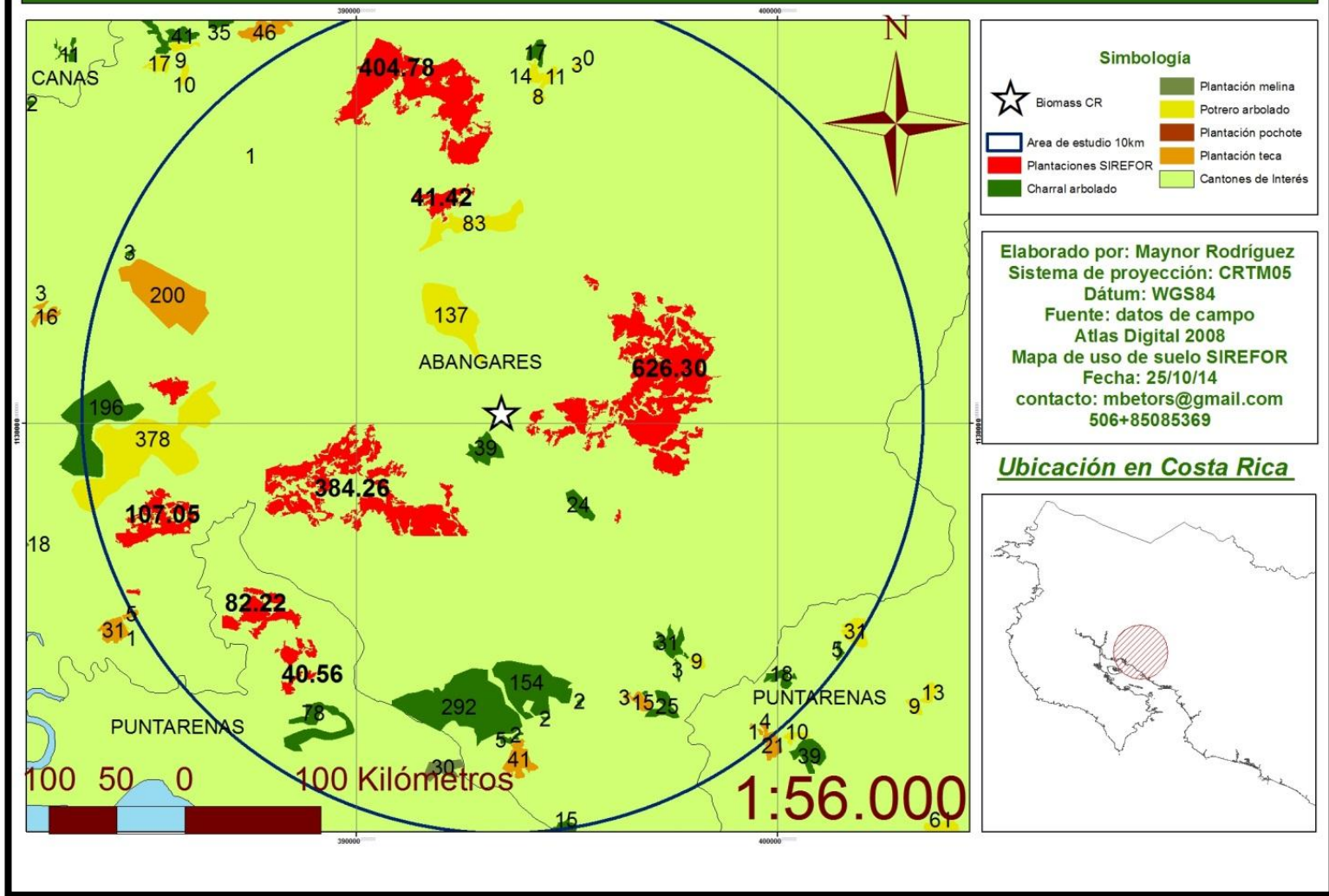
Anexo 2. Ubicación de sitios productores de biomasa forestal residual en áreas de radio de 10 km y 20 km desde las instalaciones de la empresa Biomass C.R. Guanacaste, Costa Rica.

**Rutas de acceso óptimas para las propiedades de mayor importancia según su área, dentro del radio de estudio de 10 km desde Biomass C.R. Abangares, Guanacaste, Costa Rica.**



Anexo 3. Ruta óptima sugerida para cada finca de área considerable dentro de un radio de 10 kilómetros desde las instalaciones de Biomass C.R. Abangares, Guanacaste, Costa Rica. Fuente: datos de campo - Google Earth

## Ubicación y área en hectáreas de las propiedades dentro de un rango de 10 km desde las instalaciones de Biomass C.R, en Abangares, Guanacaste, Costa Rica



Anexo 4. Ubicación y área en hectáreas de las propiedades dentro de un rango de 10 km desde las instalaciones de Biomass C.R, en Abangares, Guanacaste, Costa Rica.