

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

**BIOMASA Y CARBONO EN PLANTACIONES JÓVENES DE LEUCAENA
(*Leucaena leucocephala* Lam.) COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA EN
AZUCARERA TRES VALLES EN SAN JUAN DE FLORES, FRANCISCO
MORAZÁN**

PRESENTADO POR:

GABRIELA ALEJANDRA ORTEGA MEJIA

TESIS

PRESENTADO A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA
COMO REQUISITO PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO DE
LICENCIADA EN RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE



CATACAMAS, OLANCHO

HONDURAS, C.A

JUNIO, 2016

**BIOMASA Y CARBONO EN PLANTACIONES JÓVENES DE LEUCAENA
(*Leucaena leucocephala* Lam.) COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA EN
AZUCARERA TRES VALLES EN SAN JUAN DE FLORES, FRANCISCO
MORAZÁN**

POR:

GABRIELA ALEJANDRA ORTEGA MEJIA

OSCAR FERREIRA CATRILEO M.Sc.

Asesor Principal

**TESIS PRESENTADO A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE
AGRICULTURA COMO REQUISITO PREVIO A LA OBTENCION DEL
TITULO DE**

LICENCIADA EN RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

CATACAMAS, OLANCHO

HONDURAS, C.A

JUNIO, 2016

ACTA DE SUSTENTACIÓN

DEDICATORIA

A **DIOS** Todo poderoso por haberme dado la capacidad de lograr todas mis metas que me han conducido hasta este punto de mi vida donde para poder culminar mi carrera.

A mis padres **CONSTANTINO ORTEGA, Y MARICA MEJIA Y MARÍA TRINIDAD ORTEGA**, por su amor y apoyo incondicional, han sido un ejemplo digno a seguir, sus consejos me han ayudado a lograr muchas metas.

A mi hermana **ONELIA MARIA ORTEGA MEJIA** que siempre ha estado presente al momento de requerir de su apoyo, le agradezco y en verdad deseó poder algún día retribuirle todo en cuanto me han servido.

A **MIS AMIGOS** que con sus consejos y enseñanzas me han servido para desenvolverme con facilidad en muchas labores de campo y clases.

AGRADECIMIENTO

A mi *Alma Mater* la UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA, que me ha enseñado de manera eficaz que para triunfar en la vida hay que basarse en tres pilares fundamentales que son el **ESTUDIO, TRABAJO Y DISCIPLINA**, por ello le estoy sumamente agradecido y ahora me toca a mí engrandecer su nombre con mis actos y triunfos en lo que me quede de vida.

A LA COMPAÑÍA AZUCARERA TRES VALLES Por brindarme la oportunidad, el apoyo logístico y profesional para realizar este estudio de investigación. Agradezco de Manera especial a Ing. Selso Vásquez, Ing. Marcial Guerrero, Ing. Laura Flores y a los integrantes del departamento de BIOMASA Y AMBIENTE por todo el apoyo y logística brindado durante la ejecución de este estudio.

A MIS ASESORES DE LA PPS, por haber sido asesores en este estudio de investigación, agradezco por su apoyo brindado en todo el proceso de realización de esta práctica. Agradezco por la paciencia que ha tenido y compartir sus conocimientos que sirvieron para el desarrollo de mi trabajo final, gracias por todo.

A MIS COMPAÑEROS de la clase JETZODIAM, en especial de la carrera Recursos Naturales y Ambiente sección B, por cada momento compartido, por cada experiencia vivida con ustedes que de una manera u otra formaron y formaran parte de mi vida.

A MIS AMIGOS Alda Maricela Pacheco Bejarano, Suany Valladares, Allan Ramírez, Juan Salinas por todo ese apoyo moral e incondicional durante este proceso de cuatro años, por esas palabras de ánimos y consejos que fueron motivo para tomar mis decisiones.

CONTENIDO

ACTA DE SUSTENTACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
CONTENIDO	vi
LISTADOS DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABLAS	ix
LISTA DE ANEXOS	x
RESUMEN	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
3.1 Objetivo General.....	2
3.2 Objetivos Específicos	2
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	3
4.1 Manejo de rebrotes	4
4.2 Requerimientos ambientales	4
4.3 Plantación forestal	5
4.4 Cultivos energéticos	5
4.5 Biomasa forestal	5
4.5.1 Residuos forestales	6
4.5.2 Algunas características de la biomasa	7
4.5.3 Métodos para calcular biomasa.....	8
4.6 Captura de carbono	9
4.7 Poder calorífico	10
4.8. Generadores de vapor en la industria azucarera	11
4.8.1 Zonas de las calderas.....	11
4.8.2 Combustión	12
4.8.3 Gasificación	12
4.9 Análisis de energía total	12
4.9.1. Método de referencia PARR modelo 1241EB (Poder calórico).....	13

4.9.2. Calorimetría.....	13
V. MATERIALES Y MÉTODO	14
5.1 Ubicación del estudio	14
5.2 Materiales y Equipo.....	15
5.3 Metodología	16
5.3.1 Criterios para la selección de plantaciones.....	16
5.3.2 Reconocimiento de la zona.....	16
5.3.3 Georreferenciación	16
5.3.4 Medición de las parcelas	16
5.3.5 Determinación del volumen de los árboles	17
5.3.5.1 Ecuación para el cálculo del factor de forma (FF)	18
5.3.6 Determinación del volumen del cilindro	19
5.3.7. Metodología para la estimación de la gravedad específica de los árboles a nivel de laboratorio	19
5.3.8. Estimación de biomasa y carbono mediante modelos alométricos	21
5.3.9. Determinación del carbono acumulado en la madera de los árboles.....	21
5.3.10 Determinación del poder calorífico.....	22
5.3.11 Determinación del potencial energético	22
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
6.1 Volumen en m ³ de la <i>Leucaena leucocephala</i> en plantación de estudio	24
6.1.1 Comparación de volumen por parcela en m ³ en el sitio de estudio	24
6.1.2 Diámetro de la altura de base (DAB) por rebrote de la <i>Leucaena leucocephala</i> en estudio	26
6.1.3 Altura total por rebrote de la <i>Leucaena leucocephala</i> en la plantación forestal	28
6.2 Análisis de densidad <i>Leucaena leucocephala</i> en el estudio de investigación	30
6.3 Cuantificación de la biomasa de <i>Leucaena leucocephala</i> en la plantación forestal.....	31
6.4. Carbono acumulado por tratamiento en el estudio de investigación de la <i>Leucaena leucocephala</i> en la plantación forestal	33
6.5 Poder calórico de la <i>Leucaena leucocephala</i> en el estudio de investigación	35
6.5.1 Análisis del poder calórico en la especie de <i>Leucaena leucocephala</i>	35
6.5.1 Potencial energético de la plantación forestal en estudio de investigación	35
VII. CONCLUSIONES	38
VIII RECOMENDACIONES	39
IX. BIBLIOGRAFIA.....	40

LISTADOS DE FIGURAS

Figura 1.	Ubicación geográfica de la Compañía Tres Valles en San Juan de Flores, Francisco Morazán.....	14
Figura 2.	Representación geográfica de las parcelas <i>Leucaena leucocephala</i> en el estudio realizado en Compañía Tres Valles.....	17
Figura 3.	Procedimiento para la medición de volumen en la Compañía Tres Valles.....	18
Figura 4.	Sub muestras para la densidad específica en la plantación de <i>Leucaena leucocephala</i>	20
Figura 5.	Procedimiento para la toma de densidad en el estudio realizado en la Compañía Azucarera Tres Valles.....	21
Figura 6.	Procedimiento para la toma de análisis de poder calórico en el estudio realizado en la Compañía Azucarera Tres Valles.....	23
Figura 7.	Promedio de volumen por tratamiento de estudio realizado en Tres Valles.....	25
Figura 8.	Ajuste de modelo logístico para determinar el promedio de volumen en m ³ en el estudio realizado en Tres Valles.....	26
Figura 9.	Promedio de diámetro a la altura de base por tratamiento en estudio realizado en Tres Valles.....	27
Figura 10.	Ajuste de modelo logístico para comparación de promedio en diámetro tomando en cuenta el número de rebrote en estudio realizado en Tres Valles.....	28
Figura 11.	Promedio de altura por tratamiento en estudio realizado en Tres Valles.....	29
Figura 12.	Ajuste de modelo logístico para comparación de promedio en altura tomando en cuenta el número de rebrote en estudio realizado en Tres Valles.....	30

Figura 13.	Comparación de muestras en análisis de densidad en estudio realizado en Tres Valles.....	31
Figura 14.	Promedio de biomasa por tratamiento en estudio Realizado en Tres Valles.....	32
Figura 15.	Ajuste de modelo logístico para comparación de promedio en biomasa tomando en cuenta el número de rebrote en estudio realizado en Tres Valles.....	33
Figura 16.	Comparación de carbono acumulado por tratamiento en estudio realizado en Tres Valles.....	35
Figura 17.	Proyección de crecimiento y aprovechamiento de leucaena en estudio realizado en Tres Valles.....	36
Figura 18.	Proyección de aprovechamiento de la plantación forestal de Leucaena leucocephala en estudio realizado en Tres Valles.....	37

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Cantidad de rebrotes evaluados en m ³ por tratamiento.....	24
Tabla 2.	Modelo sigmoidales y sus ecuaciones que presentan mejor ajuste.....	34
Tabla 3.	Carbono acumulado por tratamiento.....	34
Tabla 4.	Potencial energético del leucaena (<i>Leucaena leucocephala</i>).....	37

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1.	Formato para el levantamiento de información en campo.....	43
Anexo 2.	Formato de análisis de densidad de muestras de la especie.....	44
Anexo 3.	Resultados de análisis para poder calórico de <i>Leucaena leucocephala</i>	45
Anexo 4.	Toma de datos a nivel de campo en la plantación forestal.....	46
Anexo 5.	Proceso para análisis de densidad de la especie en estudio.....	47
Anexo 6.	Proceso para análisis de poder calórico de la especie en estudio.....	49

ORTEGA MEJIA, G.A. 2016.: Biomasa y carbono en plantaciones jóvenes de leucaena (*Leucaena leucocephala* Lam.) como alternativa energética en Azucarera Tres Valles en San Juan de Flores, Francisco Morazán. Licenciada en Recursos Naturales y Ambiente. 60 pág.

RESUMEN

Este estudio se realizó en la Compañía Azucarera Tres Valles en Cantarranas, Francisco Morazán, Honduras en los meses de noviembre 2015 a febrero de 2016. La investigación consistió en la determinación de biomasa y carbono almacenado en plantaciones jóvenes de *Leucaena leucocephala* a través de su crecimiento, tomando en cuenta el número de rebrotes. Se trabajó en la plantación forestal donde se establecieron 5 parcelas de muestreo; 4 de 400 m² y una de 1026 m² teniendo un área de estudio de 3,026 m². Se midió el diámetro a la altura de la base (cm) y la altura total de todos los rebrotes dentro de las parcelas de muestreo para determinar el volumen de cada árbol. Se georreferenciaron cada una de las parcelas y se realizaron mapas con ArcGIS 10.1[®]. Se determinó la gravedad específica para la especie. Además se realizaron escenarios de rendimiento para proyectar el crecimiento en volumen de los árboles y poder realizar un aprovechamiento sostenible. En la plantación forestal el rebrote que presentó mayor cantidad de biomasa es el tratamiento 4 con un número indeterminado de rebrotes obteniendo una biomasa de 0.0311 kg/m³ /árbol, mientras que el tratamiento 2 con 4 rebrotes presentó los más bajos rendimientos con 0.0092 kg/m³/árbol. La gravedad específica de las muestras varió entre 0.80 g/cm³ y 0.90 g/cm³, resultados característicos en las plantaciones jóvenes de la especie. De acuerdo a los resultados de rendimiento utilizando una mezcla de biomasa de 99 % de bagazo y 1% de leucaena, la plantación tendrá una proyección de aprovechamiento hasta el 2089.

Palabras Claves: Altura, diámetro a la altura de la base, incremento medio anual (IMA) parcelas de muestreo, poder calórico, variables dasométricas y volumen arboreo

I. INTRODUCCIÓN

Las plantaciones de *leucaena leucocephala* Lam. constituyen una opción importante de uso de tierras en el mundo tropical. Las reforestaciones actualmente se establecen con la finalidad del doble propósito: Productor-protector, cumpliendo con muchas de las funciones de los bosques naturales. Si las plantaciones forestales se planifican correctamente, pueden ayudar a estabilizar y mejorar el medio ambiente (Trujillo 2005).

El presente trabajo trata del “análisis de los parámetros para el uso de la biomasa”, debido a la gran demanda de combustibles fósiles que existe actualmente, el ser humano busca una fuente de energía alterna para satisfacer las necesidades básicas, lo cual se ha recurrido a las fuentes alternas de energías llamadas energías renovables, dentro de las cuales se encuentra la biomasa. Por biomasa se entiende el conjunto de materia renovable de origen vegetal, animal o procedente de la transformación natural o artificial de la misma, dentro de los cuales se encuentran los residuos forestales que son utilizados como un combustible en los hornos de combustión.

El almacenamiento de carbono en árboles, es un servicio ambiental que valoriza la incorporación de especies arbóreas en sistemas agroforestales, y se suma así a posibles beneficios para el productor que adopta estos sistemas alternativos, beneficios hídricos en relación con el incremento productivo de pastizal y bosque, y beneficios al nivel de fijación de carbono por medio de “bonos verdes” o “de carbono” (IPCC 2000).

II. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Determinar biomasa y carbono almacenado en plantaciones jóvenes de *Leucaena leucocephala* considerando el número de rebrotes, como una alternativa energética en la Compañía Azucarera Tres Valles en San Juan de Flores, Francisco Morazán

3.2 Objetivos Específicos

- a. Medir las variables dasométricas considerando el número de rebrotes en las plantaciones jóvenes de leucaena en la Compañía Azucarera Tres Valles en San Juan de Flores, Francisco Morazán
- b. Cuantificar la biomasa y el carbono almacenado en plantaciones jóvenes de leucaena en la Compañía Azucarera Tres Valles en San Juan de Flores, Francisco Morazán
- c. Determinar el potencial energético de las plantaciones jóvenes de leucaena en la Compañía Azucarera Tres Valles en San Juan de Flores, Francisco Morazán

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

La leucaena (*Leucaena leucocephala* Lam.) pertenece a la familia Leguminosae y subfamilia Mimosoideae. Es originaria de la América tropical, desde el sur de México en la península de Yucatán hasta Nicaragua, incluyendo Guatemala, Honduras y el Salvador. En la actualidad se encuentra en la mayoría de los países subtropicales, debido a los múltiples usos que se le da está siendo ampliamente investigada y en algunos casos cultivados a nivel experimental y comercial (Trujillo 2005). La leucaena es un árbol perenne, de copa ligeramente abierta y rala, con muchas ramas finas cuando crece aislado. Alcanza alturas deferentes de acuerdo a la variedad; es posible encontrar arboles desde 5 hasta 20 m.

Cuando crece en forma aislada es frecuente encontrar arboles de dos hasta tres ejes, las hojas son alternas bipinadas de 10 a 20 cm de largo con cuatro a nueve pares de pinas y con una glándula al final del último par de pinas. Las flores son blancas y en forma de capitulo con 100 a 180 flores. Los frutos son vainas de 2 cm de largo de color verde cuando están tiernas y se tornan color café cuando maduran, usualmente con 15 a 20 semillas. Las semillas son ligeramente elípticas de cuatro a 20 mm de ancho, de color brillante; según la variedad el número de semillas pueden variar de 18 a 26 mil por kg (Trujillo 2005).

La especie de *Leucaena leucocephala* se le ha detectado una considerable variación en los hábitos de crecimiento; con base a estas variaciones las distintas variedades de la especie han sido clasificadas en tres principales:

- a. Tipo hawaiano: apariencia muy arbustiva, usualmente alcanza hasta 5 m de altura, flores muy temprana y la producción de madera y forraje es muy baja. Es originaria de la península de Yucatán México.

- b. Tipo salvadoreño: arboles de parte relativamente altos que alcanzan hasta 20 m de altura, hojas largas, con fuste y ramas relativamente gruesas. Es altamente productivo y se utiliza para leña, madera y pulpa, es originario de América Central.
- c. Tipo peruano: los arboles pueden alcanzar hasta 15 m de altura, con troncos cortos, y bastantes ramas. El origen no está claramente definido.

4.1 Manejo de rebrotes

La leucaena tiene una alta capacidad de rebrotes; esta característica permite utilizarla para producir distintos productos en periodos relativamente cortos. Su capacidad de combustión como leña y carbón es de excelente calidad tiene un alto poder calorífico de 4200-4600kcal/kg (Guillen y Huezco 1989). Para la producción de leña o tutores para la agricultura, normalmente los coretes se hacen a 30 cm del suelo y los aprovechamientos se pueden realizar cada 12 a 18 meses según el producto deseado y la rapidez de crecimiento. Los mejores resultados en términos de la dimensión de los productos y el rendimiento, se logra cuando manejan dos o tres rebrotes por árbol. La selección puede realizarse después del cuarto mes.

4.2 Requerimientos ambientales

La leucaena se adapta a una serie de sitios con condiciones de climas y suelos bastantes variables. Las condiciones de adaptación varían un poco según la especie, esta especie se adapta muy bien a las tierras bajas casi desde el nivel del mar hasta 800 o 900 msnm. Con respecto a la precipitación la especie crece desde los sitios secos con 600 mm hasta húmedos con 1800 mm de precipitación anual. Esta especie se adapta bien a la temperatura media anual entre los 22 y los 30 °C.

4.3 Plantación forestal

Una plantación forestal consiste en el establecimiento de árboles que conforman una masa boscosa y que tiene un diseño, tamaño y especies definidas para cumplir objetivos específicos como plantación productiva, fuente energética, protección de zonas agrícolas, protección de espejos de agua, corrección de problemas de erosión, plantaciones silvopastoriles, entre otras. Precisamente, ese objetivo es el que también permite determinar la densidad de siembra, los rendimientos y los costos que implicará la plantación, junto con la selección de las especies más adecuadas y su programación para la producción (Trujillo 2005).

4.4 Cultivos energéticos

Son cultivos específicos dedicados exclusivamente a la producción de energía. Estos cultivos a diferencia de los agrícolas tradicionales, tienen como principales características su gran productividad de biomasa y su elevada rusticidad, expresada en términos tales como resistencia a las enfermedades, a la sequía, vigor, precocidad de crecimiento, capacidad de rebrote y adaptación a terrenos marginales. Una condición imprescindible para la viabilidad de este tipo de cultivos es la necesidad de que el balance energético de todo el proceso productivo sea positivo, es decir, que produzcan más calorías de las que se han de consumido en su obtención (Romero 2005).

4.5 Biomasa forestal

Según el Manual de Energía Renovable Biomasa (2002) para la mayoría de la población mundial, las formas más familiares de energía renovable son las que provienen del sol y del viento. Sin embargo existen otras fuentes de biomasa, como leña, carbón, cascarilla de arroz, que proveen un alto porcentaje de la energía consumida en el mundo y tienen potencial para suplir mayores volúmenes (Trujillo 2005).

El término biomasa se refiere a toda la materia orgánica que proviene de árboles, plantas y desechos de animales que pueden ser convertidos en energía o las provenientes de la agricultura del aserradero y de los residuos urbanos. Esta es la fuente de energía renovable más antigua conocida por el ser humano, pues ha sido usada desde que nuestros ancestros descubrieron el secreto del fuego. Desde la prehistoria, la forma más común de utilizar la energía de la biomasa ha sido por medio de la combustión directa: quemándola en hogueras a cielo abierto, en hornos y cocinas artesanales e, incluso, en calderas; convirtiéndola en calor para suplir las necesidades de calefacción, cocción de alimentos, producción de vapor y generación de electricidad.

Los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de procesos más eficientes y limpios para la conversión de biomasa en energía; transformándola, por ejemplo, en combustibles líquidos o gaseosos, los cuáles son más convenientes y eficientes. Así aparte de la combustión directa, se pueden distinguir otros dos tipos de procesos: el termo-químico y el bio-químico. Las fuentes más importantes de biomasa son los campos forestales y agrícolas pues en ellos se producen residuos (rastros) que normalmente son dejados en el campo al consumirse sólo un bajo porcentaje de ellos con fines energéticos.

En la agroindustria, los procesos de secado de granos generan subproductos que son usados para generación de calor en sistemas de combustión directa; tal es el caso del bagazo de caña de azúcar, la cascarilla de café y la de arroz. Por otro lado, los centros urbanos generan grandes cantidades de basura compuestas en gran parte, por materia orgánica que puede ser convertida en energía, después de procesarla adecuadamente (Trujillo 2005).

4.5.1 Residuos forestales

Los residuos de procesos forestales son una importante fuente de biomasa que actualmente es poco explotada en el área centroamericana. Se considera que, de cada árbol extraído para la producción maderera, sólo se aprovecha comercialmente un porcentaje cercano al 20%.

Se estima que un 40% es dejado en el campo, en las ramas y raíces, a pesar de que el potencial energético es mucho mayor y otro 40% en el proceso de aserrío, en forma de astillas, corteza y aserrín. La mayoría de los desechos de aserrío son aprovechados para generación de calor, en sistemas de combustión directa; en algunas industrias se utilizan para la generación de vapor. Los desechos de campo, en algunos casos, son usados como fuente de energía por comunidades aledañas, pero la mayor parte no es aprovechada por el alto costo del transporte.

4.5.2 Algunas características de la biomasa

Para evaluar la factibilidad técnica y económica de un proceso de conversión de biomasa en energía, es necesario considerar ciertos parámetros y condiciones que la caracterizan. Estos que se explican a continuación, determinan el proceso de conversión más adecuado y permiten realizar proyecciones de los beneficios económicos y ambientales esperados.

- a. Tipo de biomasa: Los recursos biomásicos se presentan en diferentes estados físicos que determinan la factibilidad técnica y económica de los procesos de conversión energética que pueden aplicarse a cada tipo en particular. Por ejemplo, los desechos forestales indican el uso de los procesos de combustión directa o procesos termo-químicos; los residuos animales indican el uso de procesos anaeróbicos (bioquímicos), etc.
- b. Composición química y física: Las características químicas y físicas de la biomasa determinan el tipo de combustible o subproducto energético que se puede generar; por ejemplo, los desechos animales producen altas cantidades de metano, mientras que la madera puede producir el denominado “gas pobre”, que es una mezcla rica en monóxido
- c. Carbono (CO). Por otro lado, las características físicas influyen en el tratamiento previo que sea necesario aplicar.
- d. Contenido de humedad (H.R.): El contenido de humedad de la biomasa es la relación de la masa de agua contenida por kilogramo de materia seca.

Para la mayoría de los procesos de conversión energética es imprescindible que la biomasa tenga un contenido de humedad inferior al 30%. Muchas veces, los residuos salen del proceso productivo con un contenido de humedad muy superior, que obliga a implementar operaciones de acondicionamiento, antes de ingresar al proceso de conversión de energía.

- e. Porcentaje de cenizas: El porcentaje de cenizas indica la cantidad de materia sólida no combustible por kilogramo de material. En los procesos que incluyen la combustión de la biomasa, es importante conocer el porcentaje de generación de ceniza y su composición, pues, en algunos casos, ésta puede ser utilizada; por ejemplo, la ceniza de la cascarilla de arroz es un excelente aditivo en la mezcla de concreto o para la fabricación de filtros de carbón activado.
- f. Poder calórico: El contenido calórico por unidad de masa es el parámetro que determina la energía disponible en la biomasa. Su poder calórico está relacionado directamente con su contenido de humedad. Un elevado porcentaje de humedad reduce la eficiencia de la combustión debido a que una gran parte del calor liberado se usa para evaporar el agua y no se aprovecha en la reducción química del material.

4.5.3 Métodos para calcular biomasa

Según Gonzales 2008 existen dos métodos para calcular el contenido de biomasa: el directo y el indirecto.

- a. Método directo: es denominado también método destructivo y consiste en medir los parámetros básicos de un árbol (entre los más importantes el diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total, diámetro de copa y longitud de copa; derribarlo y calcular la biomasa pesando cada uno de los componentes (fuste, ramas y follaje).

- b. Método indirecto: éste método es utilizado cuando existen árboles de grandes dimensiones y en casos en los que se requiere conocer el carbono de un bosque sin necesidad de derribar los árboles. En éste método se cubica y estima el volumen de las trozas con fórmulas dendrometrías; el volumen total del fuste o de las ramas gruesas se obtiene con la suma de estos volúmenes parciales. Se toman muestras de madera del componente del árbol y se pesan en el campo, luego se calcula en el laboratorio los factores de conversión de volumen a peso seco, es decir, la gravedad específica verde y la gravedad específica seca o densidad básica en gramos por centímetro cúbico.

4.6 Captura de carbono

La captura de carbono por parte de las plantas, es realizado en el proceso de la fotosíntesis en la etapa oscura, donde el CO_2 es asimilado por moléculas orgánicas que gracias a reacciones enzimáticas lo convierten en carbono disponible para la planta (Villego 1996), el CO_2 capturado y asimilado hace parte de la composición de materias primas como la glucosa, para formar las estructuras de la planta y es almacenado en los tejidos en forma de biomasa aérea (hojas, ramas, tallos) y subterránea (raíces gruesas y finas) o en el suelo (degradación de biomasa proveniente de la planta o órganos leñoso y no leñosos) en forma de humus estable que aporta CO_2 al entorno (Vallejo *et al.* 2005). Se estima que una tonelada de CO_2 atmosférico, corresponde a 0.27 toneladas de carbono en la biomasa (Ordóñez y Masera 2001).

No obstante la captura de CO_2 es efectuada durante el desarrollo de los árboles solamente, luego con el pasar de los años, en el instante que los árboles han llegado a su madurez total, capturan únicamente pequeñas cantidades de CO_2 necesarias para su respiración y la de los suelos, de esta manera, no es de importancia cuanto carbono el árbol captura inmediatamente, sino cuanto carbono captura durante toda su vida (Agudelo y Guinand 2009).

En el planeta los bosques templados y tropicales son aptos para capturar y conservar más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre, igualmente contribuyen con el 90% del flujo anual de carbono entre la atmósfera y el suelo, así mismo participan en la medición de carbono, parte de una valoración de biomasa del ecosistema forestal, variedad de investigaciones demuestran que en promedio la materia vegetal contiene un 50% de carbono, eliminando la proporción de agua de estos. Todos estos análisis son posibles de efectuar en cualquier ecosistema terrestre forestal y la observación de estos, en relación con determinadas variables ambientales permite el establecer la capacidad de almacenamiento de carbono en los bosques (Vallejo *et al.* 2005).

La importancia de saber y entender el valor de los árboles en relación a la captura de carbono, como consecuencia de problemáticas ambientales como el aumento en los ecosistemas del planeta de las emisiones de gases de tipo invernadero, ha llevado a diferentes investigadores y científicos, a elaborar realizar incomparables estudios sobre la relación entre la captura de carbono y numerosas variables fisiológicas de los árboles, logrando expresar y dando a conocer la captura de carbono en diferentes ecosistemas (Kanninen 2007).

4.7 Poder calorífico

Según Jara (1989) la cantidad de energía en la forma de calor liberada por la combustión de una unidad de masa de la madera. En el Sistema Internacional el poder calorífico es expresado en joule por gramo o kilojoules por quilo, pero puede ser expresado en calorías por gramo o kilocalorías por kilogramo, según Briane y Doat (1985). En potencial calórico de la madera, no obstante las variaciones entre especies no son muy amplias, por lo cual se procederá a calcularlo llevando muestras al laboratorio. Y luego a partir de esas cifras la energía eléctrica en MWh atribuibles a cada especie.

Para Spichiger (2008) es la cantidad de calor que entrega un kilogramo en metro cúbico, de combustible al oxidarse en forma completa, es decir cuando el carbono pase a anhídrido carbónico.

El poder calorífico de un combustible expresa la cantidad de energía liberada durante la combustión completa de una unidad de masa del combustible. El contenido en humedad de la madera cambia el poder calorífico de esta último reduciéndolo. Efectivamente, una parte de la energía liberada durante el proceso de combustión se gasta en la evaporación del agua y en consecuencia no está disponible para ningún uso térmico. La evaporación del agua supone el "consumo" de 2,44 MJ por kilo de agua.

Podemos distinguir entonces entre:

- a. Poder calorífico inferior (PCI): El agua liberada se trata como vapor, es decir, se ha restado la energía térmica necesaria para vaporizar el agua (calor latente de vaporización del agua a 25 °C).
- b. Poder calorífico superior (PCS): El agua en los productos de combustión se trata como un líquido. Si no se especifica, el "poder calorífico" se refiere al poder calorífico inferior.

4.8. Generadores de vapor en la industria azucarera

Para UNEFA (2013) las calderas es un recipiente metálico, cerrado, destinado a producir vapor o calentar agua, mediante la acción del calor a una temperatura superior a la del ambiente y presión mayor que la atmosférica. Generador de vapor: Se llama así al conjunto o sistema formado por una caldera y sus accesorios. En la práctica se habla de "calderas" refiriéndose a todo el conjunto o "generador de vapor". Por tal razón adelante usaremos indistintamente ambos términos.

4.8.1 Zonas de las calderas

En toda caldera se distinguen dos zonas importantes: zona de liberación de calor u hogar o cámara de combustión: Es el lugar donde se quema el combustible.

Puede ser interior o exterior con respecto al recipiente metálico y zona de tubos: Es la zona donde los productos de la combustión (gases o humos) transfieren calor al agua principalmente por convección (gases - agua). Está constituida por tubos dentro de los cuales pueden circular los humos o el agua (UNEFA APURE 2013).

4.8.2 Combustión

Según Toscano (2009) es el más sencillo y más ampliamente utilizado, tanto en el pasado como en el presente. Permite obtener energía térmica ya sea para uso doméstico (cocción, calefacción) o industrial (calor de proceso, vapor mediante una caldera, energía mecánica utilizando el vapor de una maquina). Las tecnologías utilizadas para la combustión directa de la biomasa abarcan un amplio espectro que va desde el sencillo fogón a un fuego abierto, que utilizado en una vasta zonas para la cocción de alimento hasta calderas de alta rendimiento utilizadas en industrias.

4.8.3 Gasificación

Consiste en la quema de biomasa en presencia de oxígeno, en forma controlada, de manera de producir un gas combustible denominado “gas pobre” por su bajo contenido de calor en relación, por ejemplo gas natural. El gas pobre puede quemarse luego en un quemador para obtener energía térmica, en una caldera para producir vapor, o bien ser enfriado y acondicionado para su uso en un motor de combustión interna que produzca a su vez energía mecánica (Toscano 2009).

4.9 Análisis de energía total

La energía total de un sistema termodinámico se puede definir como la suma de cada uno de los tipos de energías que actúan en el sistema. La energía es una magnitud cuya unidad de medida en el Sistema Inglés es el Joule (J).

4.9.1. Método de referencia PARR modelo 1241EB (Poder calórico)

El análisis termo gravimétrico se realiza utilizando un electro balanza CAHN 2000. Para el análisis térmico diferencial, se utilizó el calorímetro adiabático diferencial marca PARR modelo 1241 y master control modelo 1680 con bomba de oxígeno, según el método ANSI/ASTM, D2015-77/1988 (Anexo 3).

Para la determinación del poder calórico se cogió una muestra de 5 gr. de sarmiento de vid y se pulverizó en el laboratorio manualmente por medio de lima, para así, después de varios secados al horno, eliminar completamente el vapor de agua contenida, hasta obtener pastillas completamente secas de 1 gr. de peso. Una de estas pastillas se pesó en una balanza de precisión y acto seguido se depositó en la cápsula de combustión del calorímetro adiabático PARR mencionado anteriormente, obteniéndose los siguientes resultados:

$t_a = 21,217^\circ\text{C}$	$e_3 = 9,8 \text{ Kcal}$
$t_f = 22,997^\circ\text{C}$	$m = 0,99628 \text{ grs}$
$w = 2.413,3 \text{ kcal/kg}$	$H_s \text{ (P.C.S)} = 4.536 \text{ kcal/kg}$
$e_1 = 3,30 \text{ mililitros}$	
$e_2 = 0,02 \% \text{ en S (azufre)}$	

La relación entre los poderes caloríficos superior e inferior es según la definición internacional referida a la atmósfera normal, a 25°C y 1013 bar:

$$PCS = PCI + 5,38 \cdot W = PCI + 5,38 \cdot 10 = 4.536 \text{ kcal / kg}$$

De donde:

$$PCI = 4.483 \text{ kcal/kg} \cong 4500 \text{ kcal / kg}$$

4.9.2. Calorimetría

Calorimetría significa medición del calor. Para poder entender este concepto debemos tener calor que es; temperatura, calor, equivalencia entre kilocalorías y Joule.

V. MATERIALES Y MÉTODO

5.1 Ubicación del estudio

Este estudio se llevó a cabo en la Compañía Azucarera Tres Valles ubicada geográficamente en los $14^{\circ} 10' 0.01''$ O, $86^{\circ} 58' 0.01''$ E en el municipio de San Juan de Flores, Francisco Morazán. Empresa agroindustrial que se dedica a la producción de azúcar, cogeneración de energía eléctrica. Certificada con la norma internacional ISO 9001-2008 con el objetivo de asegurar la mejor calidad de productos a los clientes. Se mantiene un programa de ayuda comunitaria con énfasis en las áreas de salud, educación, entre otras. Se trabaja desde 1998 en un programa forestal mediante el cual se maneja 6,300 hectáreas en la Reserva Biológica El Chile, manejo por el cual se hicieron acreedores al Premio Nacional del Ambiente año 2005 (Figura 1).

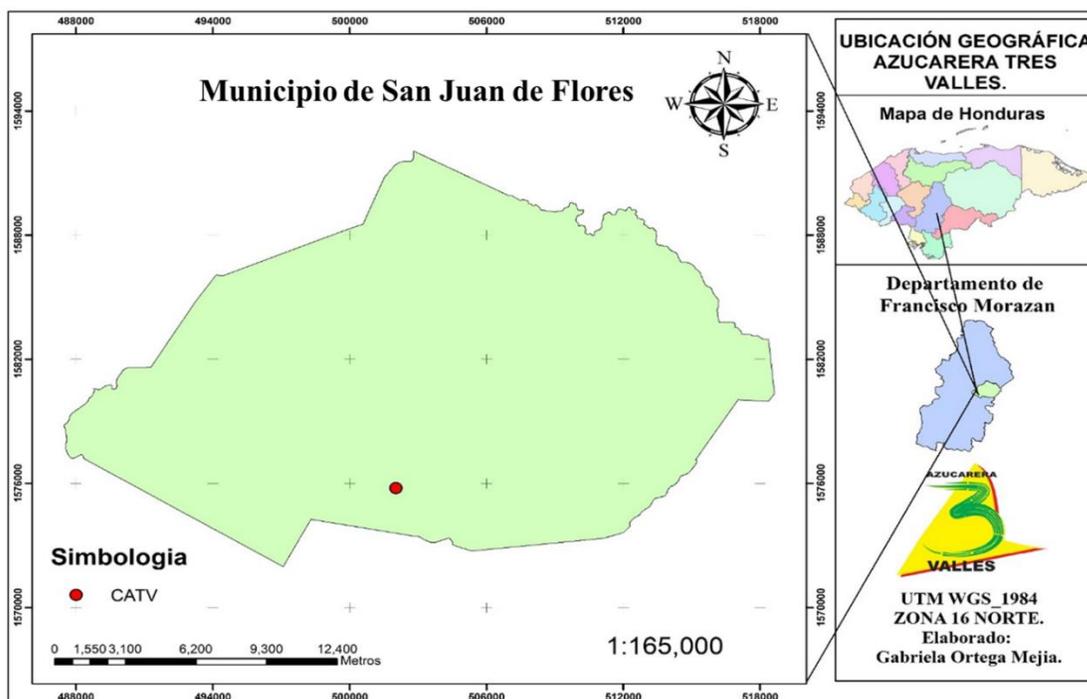


Figura 1. Ubicación geográfica de la Compañía Azucarera Tres Valles en San Juan de Flores Francisco Morazán

Los meses de noviembre y diciembre son los más fríos con temperaturas entre 17 y 18 °C, y el mes de abril es el más caluroso, con temperaturas de 34 y 38 °C. Cuenta con una precipitación pluvial de 1,493mm año y una humedad relativa de 64%. Los meses de junio y julio son los más lluviosos, mientras que noviembre y diciembre son los de menor pluviosidad (Fundación Vida-PRRAC 2009).

5.2 Materiales y Equipo

Para dicha investigación los materiales que se utilizaron en su diferente proceso son:

- a. Para la georreferenciación de las diferentes parcelas temporales de la investigación se utilizó GPS Garmin®, machete para accesibilidad de cada parcela. En el proceso de la medición de las parcelas se hizo uso de cinta diamétrica, y estacas para la demarcación de cada una, cinta vinílica utilizada para la señalización de cada tratamiento a evaluar.
- b. Cinta diamétrica utilizada para medir la altura total de cada rebrote, pie de rey para medir el diámetro a la altura de la base (DAB) de cada rebrote por árbol que se utilizaron como muestra en la investigación.
- c. Para el levantamiento de la información en campo se hizo uso de tablero, libreta de campo, formatos de levantamiento de datos. Para la tabulación de los datos se utilizó Hojas de cálculo de Excel® 2010.
- d. Balanza analítica utilizada para análisis de la densidad de madera recolectada, horno de laboratorio utilizado para el secado de las muestras, probeta utilizada para obtener el volumen de cada muestra. Horno de laboratorio, utilizado para el secado de las muestras, bolsas plásticas para el envío de las pruebas de laboratorio y probeta para prueba de laboratorio de gravedad específica.

5.3 Metodología

5.3.1 Criterios para la selección de plantaciones

Antes de seleccionar las parcelas se tomaron en cuenta algunos criterios indispensables para poder realizar la investigación como: la accesibilidad a cada una de las parcelas de los diferentes tratamientos, disponibilidad de los trabajadores a colaborar con la investigación, similitud entre las parcelas de los diferentes tratamientos.

5.3.2 Reconocimiento de la zona

Tres meses antes del inicio de la toma de los datos, es decir; a inicios del mes de noviembre del año 2015, se realizó una visita de campo a la plantación de la Compañía Azucarera Tres Valles (CATV), junto al personal de la empresa encargado de la parte forestal para conocer el área de estudio.

5.3.3 Georreferenciación

Para la georreferenciación de la plantación se utilizó un GPS marca DNR Garmin®. Se recorrió el área de cada parcela para la delimitación de las mismas, se tomaron puntos en el perímetro de cada una y seguidamente se procedió a la elaboración de los mapas con la ayuda de un software ArcGis 10.1®.

5.3.4 Medición de las parcelas

Se inició con el traslado a la plantación, con la ayuda de las coordenadas X y Y el GPS DNR Garmin® del área de evaluar. La plantación cuenta con un área de 3.08 ha, donde se procedió a la marcación de las 5 parcelas a evaluar se tomaron cuatro puntos a los extremos, de las cuales cuatro parcelas cuentan con una de área de 400 m² y una de 1,426.74 m² en las cuales se distribuyeron los 4 tratamientos.

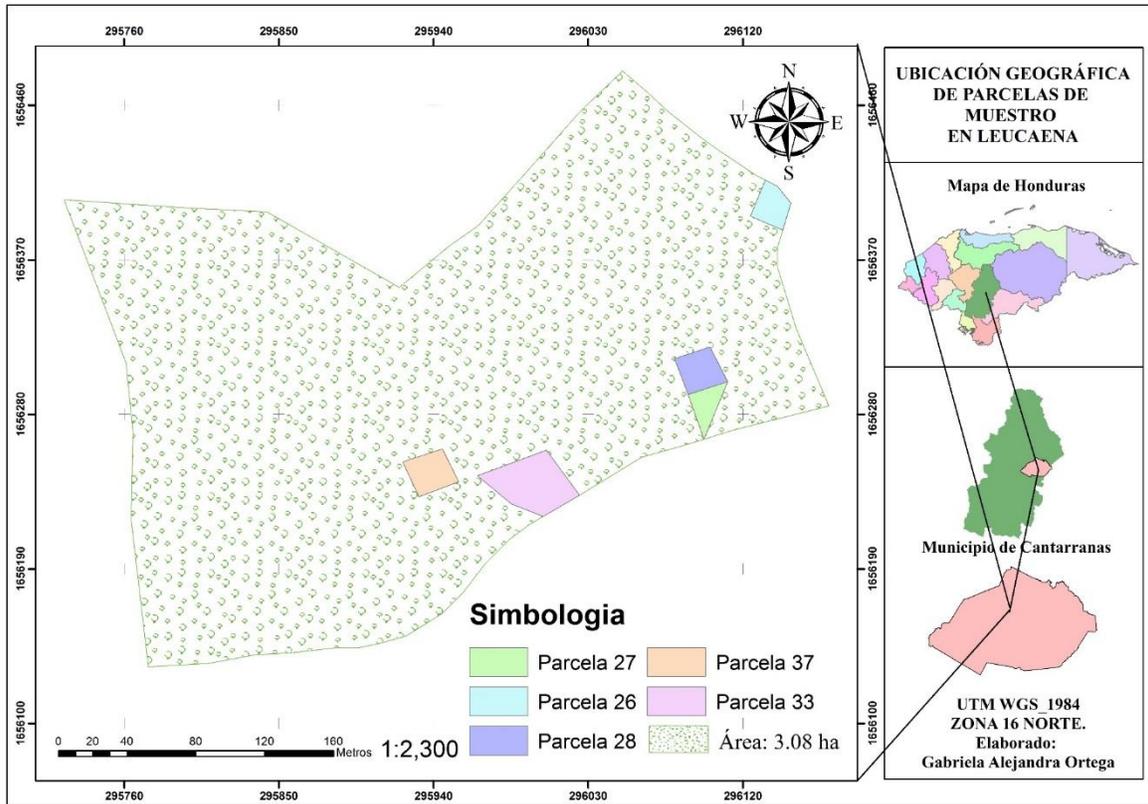


Figura 2. Ubicación de la división de las parcelas de *Leucaena leucocephala* en el estudio realizado en la compañía Tres Valles

5.3.5 Determinación del volumen de los árboles

La metodología que se utilizó para determinar el volumen de los árboles es la utilizada por Sánchez (2005). Los parámetros que se midieron en cada árbol en las parcelas fueron: diámetro a la base (DAB) y altura total de cada rebrote por árbol en los cuatro tratamientos a evaluar (Figura 3).



Figura 3. Procedimiento para la medición de volumen (m^3) en la Compañía Azucarera Tres Valles

Fórmula 1. Fórmula del cono (utilizada en árboles con altura menor a 50 cm; y en la última pieza de los árboles mayores a 50 cm para calcular volumen del cilindro

$$V_{cil} = \pi * r^2 * h$$

Donde:

V = volumen del árbol

$\pi = 3.1416$

$R^2 =$ diámetro del cilindro / 2

H= altura del árbol

5.3.5.1 Ecuación para el cálculo del factor de forma (FF)

Fórmula 2. Determinación del factor de forma

$$FF = \frac{\text{Volumen del árbol}}{\text{Volumen del cilindro}}$$

Donde:

FF = factor de forma

Vol árbol = volumen del árbol en metros cúbicos

Vol cilindro = volumen del cilindro en metros cúbicos

5.3.6 Determinación del volumen del cilindro

Fórmula 3. Fórmula para calcular volumen del árbol

$$\text{Vol.} = \text{vol.}_{\text{cil}} * \text{FF}$$

Donde:

Vol.= volumen del árbol

Vol. cil = volumen del cilindro

FF: factor de forma

5.3.7. Metodología para la estimación de la gravedad específica de los árboles en laboratorio

El proceso de muestreo de los árboles en las parcelas se realizó dentro de 5 parcelas; 4 de 400 m² y una de 1026 m² (3,026 m² de área), dentro la cual se marcaron los árboles en cada una de las parcela, luego se codifico con un número cada árbol para proceder a realizar el método de muestreo al azar. De cada árbol seleccionado se tomó una muestra inicial de 50 centímetros partiendo de la base hacia el ápice del rebrote.

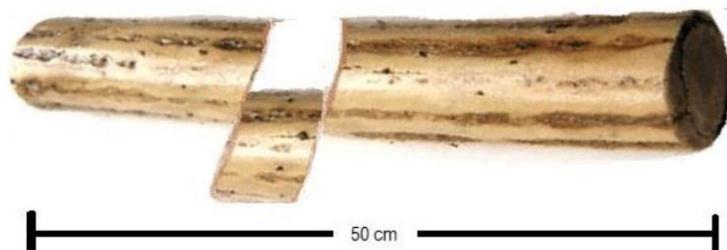


Figura 4. Sub-muestra de madera obtenida de cada árbol para la determinación de gravedad específica en la plantación de *Leucaena leucocephala*

Estas muestras fueron trasladadas al laboratorio en las primeras 8 horas después de haber sido recolectadas en el campo, en bolsas plásticas, cada una identificada con el número de parcela. La muestra se tomó de la parte intermedia de la pieza recolectada. Luego se procedió a pesar cada muestra en la balanza, para finalmente ingresarla al horno y comenzar con su secado a una temperatura constante de 100 grados centígrados. La metodología seguida para la determinación de la gravedad específica fue la descrita por Philip (1994). Se tomaron 4 muestras de madera de 2 cm³ de los árboles muestreados, las cuales fueron pesadas en su estado verde, recién cortadas, aproximadamente a las 8 horas después de haber sido recolectadas en las parcelas.

En el laboratorio se extrajo la sub muestra requerida para la determinación de la gravedad específica, de 2 cm, las muestras se pesaron por segunda vez a las 2 horas después de haber sido introducidas en el horno y luego cada 1 horas, hasta lograr un peso constante en cada una de las muestras. La gravedad específica (GE) se calculó sumergiendo cada muestra de madera en un recipiente graduado, en este caso una probeta, midiendo el volumen de agua desplazada (principio de Arquímedes); subsecuentemente se dividió el peso seco anhidro (en g) entre el volumen de agua desplazada (en cm³), de acuerdo a las nomas (Figura 5).



Figura 5. Proceso para la prueba de análisis de densidad en el estudio realizado en la Compañía Azucarera Tres Valles

5.3.8. Estimación de biomasa y carbono mediante modelos alométricos

La biomasa total de cada individuo se obtuvo mediante la suma de la biomasa de los distintos componentes del árbol. Una vez obtenida la biomasa total de los árboles muestreados se obtuvo, mediante técnicas estadísticas, relaciones directas entre la biomasa total del árbol y las variables del mismo medidas en pie. Para el cálculo de biomasa viva con base en ecuaciones alométricas basta con diseñar un muestreo estadísticamente representativo en el que se midieron las variables independientes de la ecuación alométrica seleccionada. Los datos finales pueden ser presentados por clase diamétrica (Vallejo *et al.* 2007).

Fórmula 4. Fórmula para calcular biomasa forestal

$$B = \text{vol. Arb} * d$$

Donde:

B= biomasa

Vol. Arb= volumen del árbol

D= densidad de la madera

5.3.9. Determinación del carbono acumulado en la madera de los árboles

Para la determinación del carbono acumulado en cada una de las parcelas, se hizo la sumatoria de biomasa de cada uno de los rebotes por árbol en cada una de las parcelas de muestreo. Posteriormente esa biomasa total por parcela por tratamiento se multiplica por la gravedad específica (densidad de la madera) correspondiente a ese número de rebrote. La metodología seguida para la determinación de carbono acumulado fue descrita por Cairns *et al.* 1997 citado por IPCC (2006).

Fórmula 5. Fórmula para calcular carbono acumulado

$$C = b / 2$$

Donde:

C = carbono

B = biomasa

5.3.10 Determinación del poder calorífico

El estudio se realizó en el laboratorio de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, mediante una muestra llamada chip, la cual se obtuvo en campo de la plantación forestal donde se procedió a recolectar las muestras (1/2cm), largo (2 cm) y alto (1/2cm) por cada uno de los tratamientos teniendo así una muestra homogénea de la *Leucaena leucocephala* (Figura 6).

Fórmula 6. Fórmula para calcular el potencial energético

$$PE = (B * IMA) - (B * \%)$$

Donde:

B=Biomasa

IMA= Incremento medio anual

%= porcentaje de biomasa a utilizar

5.3.11 Determinación del potencial energético

Para los efectos de transporte y potencial calorífico de la madera se tuvo en consideración que el material que se recogió en el terreno después de las faenas de manejo pertinentes, el material esencialmente verde, con contenidos de humedad superiores al punto de saturación de las fibras, por lo cual se adoptaron las cifras de peso de madera verde (Figura 6).

Poder calórico



Figura 6. Proceso de toma de datos para análisis de poder calórico en el estudio realizado en Compañía Azucarera en Tres Valles

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Volumen en m³ de la *Leucaena leucocephala* en plantación de estudio

Los resultados obtenidos en las parcelas forestales sometidas a investigación muestran un promedio de volumen de 516.0 m³ en las variables, en 281 árboles evaluado en la plantación forestal de la Compañía Azucarera Tres Valle en San Juan de Flores, Francisco Morazán (Cuadro 1).

Tabla 1. Cantidad de rebrotes evaluados en m³ por tratamiento en estudio realizado en Tres Valles

Tratamientos	N° Rebotes	Cantidad de árboles	Promedio (m ³)
T1	2	70	76.0
T2	4	74	115.1
T3	6	72	114.7
T4	N° indeterminado de rebotes	65	1758.3
Promedio total			516.0

6.1.1 Comparación de volumen por parcela en m³ en el sitio de estudio

Al hacer las comparaciones entre los tratamientos de la investigación se puede observar que el tratamiento que obtuvo mayor rendimiento en promedio de volumen fue el tratamiento 4 con 0.0336 m³ en el área total de 3,026 m² esto se debe a que no existe un control de rebotes obteniendo así un número indeterminado de rebotes por parcela, por el contrario el tratamiento que presentó menor rendimiento de volumen en la misma área total fue el tratamiento 2 con un promedio de 0.0099 m³ esto se debe que cada árbol solo cuenta con 4 rebotes en cada una de las parcelas (Figura 7).

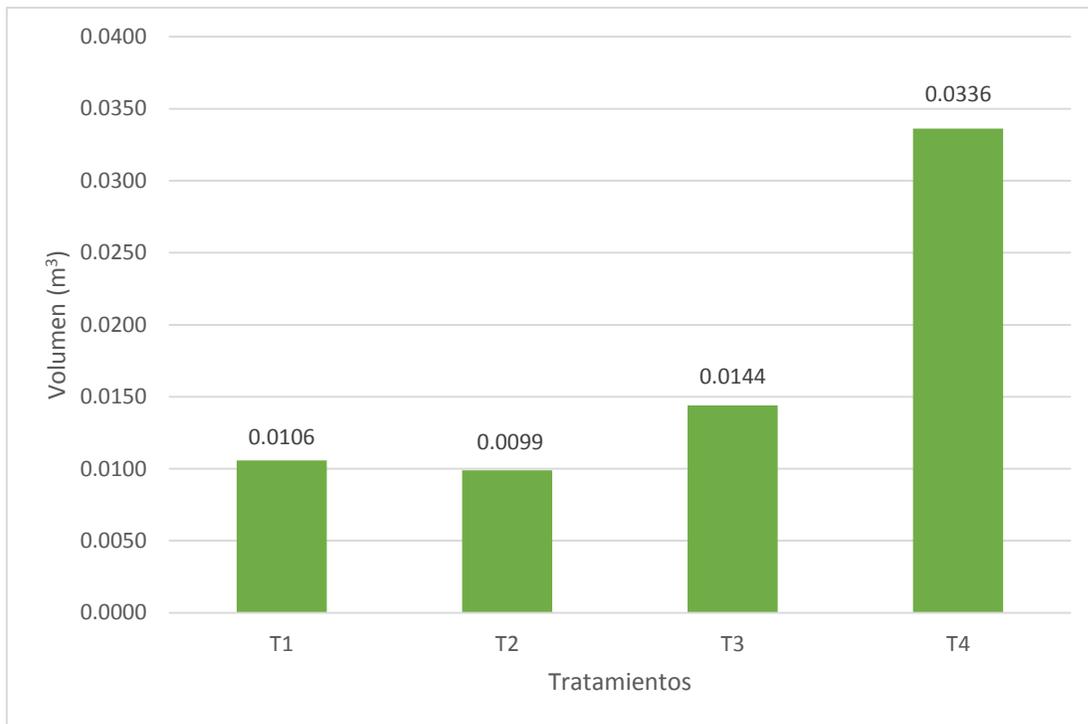


Figura 7. Promedio de volumen por tratamientos en estudio realizado en Tres Valles

Se realizó un ajuste de modelos de regresión para poder predecir el comportamiento de la variable dependiente (Volumen) cuando interactúa con la variable independiente (rebrote). Para la comparación de volumen, el modelo que mejor se ajustó fue el logístico con un coeficiente de relación (r) de 0.51, lo que nos indica el grado de relación existente entre las dos variables, cuando el coeficiente de correlación más se acerca a 1 nos indica una mejor asociación entre las dos variables (Figura 6).

Comparación de volumen dependiendo el número de rebotes:

$$Y = a / (1 + be^{-cx})$$

$$\text{Volumen(m)} = -1.436784778136383E+04 / [1 + (-2.63365370470647 + E+04)(e^{-2.20824286422534E+01}(\text{numero de rebotes}))]$$

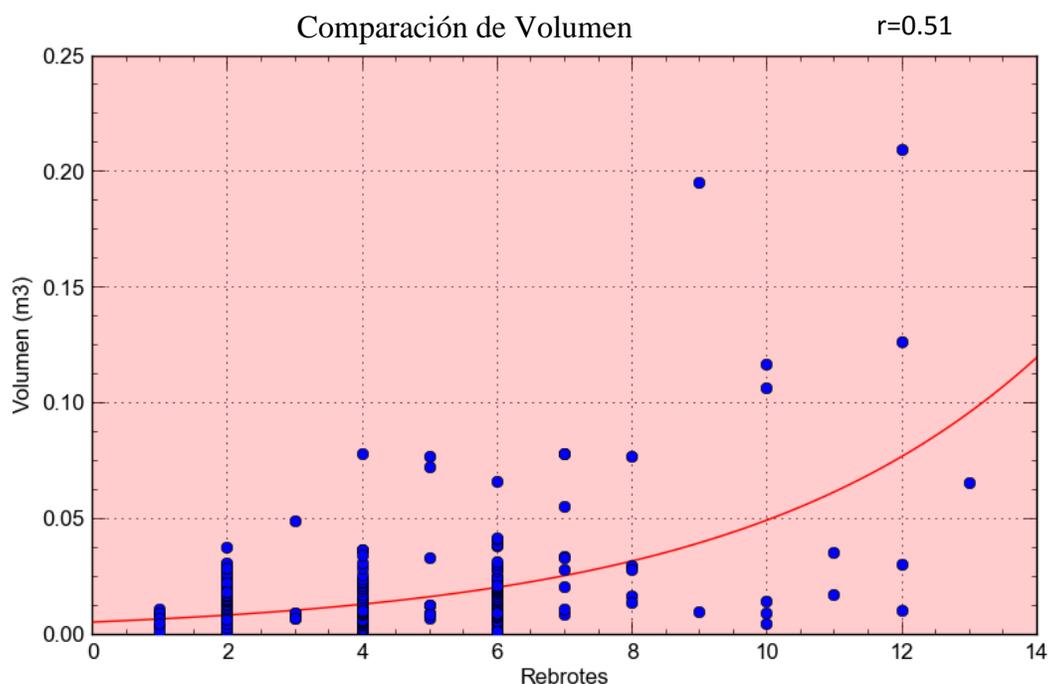


Figura 8. Ajuste de modelo logístico para determinar el promedio de volumen en m³ por número de rebrote en cada tratamiento en estudio realizado en Tres Valles

6.1.2 Diámetro de la altura de base (DAB) por rebrote de la *Leucaena leucocephala* en estudio

Al realizar la comparación de promedios de diámetro de la leucaena, el tratamiento que presentó mayor rendimiento en diámetro fue el tratamiento 4 con un promedio de diámetro de 19.62 cm, por otra parte los tratamientos que representaron menor rendimiento en cuanto a diámetro fue el tratamiento 1 con 10.14 cm, esto se debe a que el tratamiento 1 solo cuenta con 2 rebotes siendo menor los rebotes obtenidos en las parcelas en cambio el tratamiento 4 tiene mayor presencia de rebotes ya que no se realiza un control de los mismos, encontrado un número superior de rebotes por cada una de las parcelas (Figura 9).

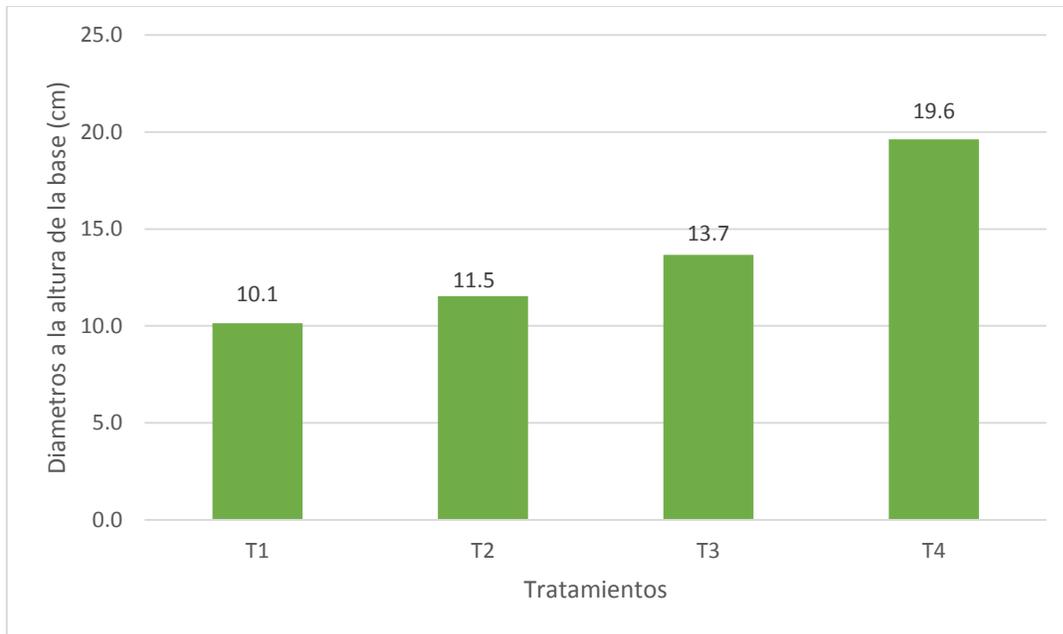


Figura9. Promedio de diámetro a la altura de la base por tratamientos en estudio realizado en Tres Valles

Se realizó un ajuste de modelos de regresión para poder predecir el comportamiento de la variable dependiente (DAB) cuando interactúa con la variable independiente (rebrote). Para la comparación de diámetro el modelo que mejor se ajustó fue el logístico con coeficiente de correlación (r) de 0.51, lo que nos indica el grado de relación existente entre las dos variables, cuando el coeficiente de correlación más se acerca a 1 nos indica una mejor asociación entre las dos variables. Considerando que los tratamientos tomados en cuenta solo fueron tres T1, T2 y T3 ya que por la variabilidad de los datos en el T4 el modelo Logístico no se ajustaba, para que esto suceda debemos tener un coeficiente de correlación cercano a 1 (Figura 10).

Comparación de diámetro dependiendo el número de rebrotes:

$$Y = a / (1 + be^{cx})$$

$$DAB(\text{cm}) = 2.520533965621206E+06 / [(1 + (3.53262969398964E+05)(e)^{-1.677834705600940E-01}(\text{numero de rebrotes})^2]$$

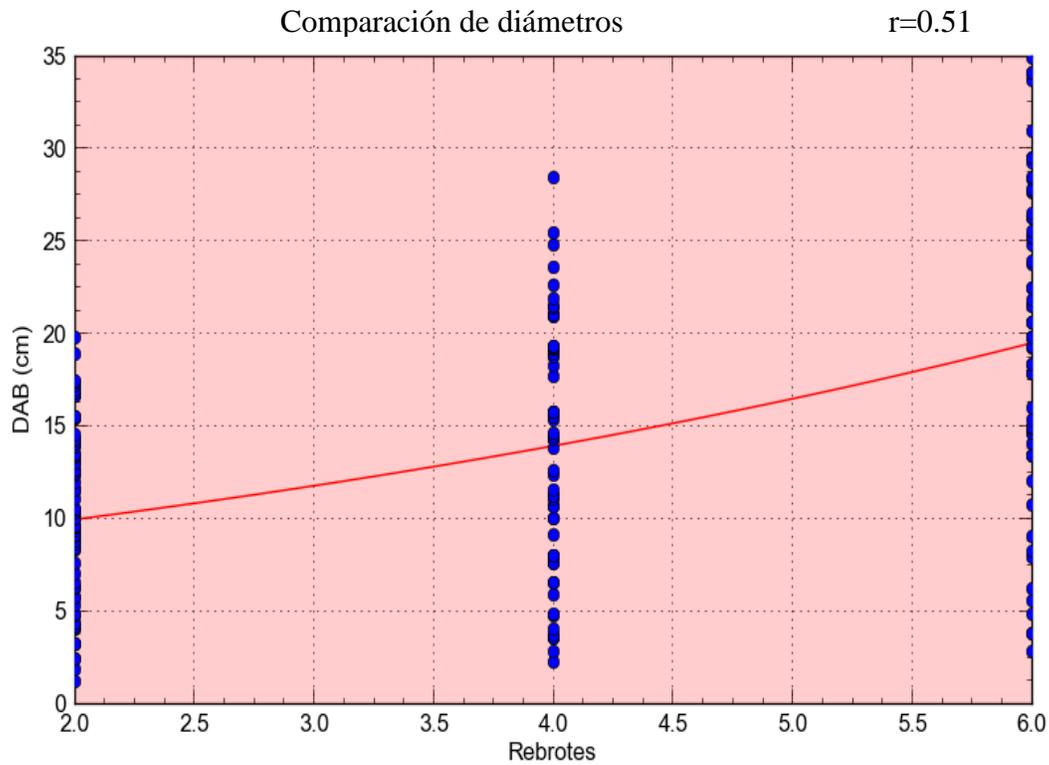


Figura 10. Ajuste de modelo logístico para la comparación de crecimiento en diámetro tomando en cuenta el número de rebotes en estudio realizado en Tres Valles

6.1.3 Altura total por rebrote de la *Leucaena leucocephala* en la plantación forestal

Para la comparación de promedio de altura de la especie forestal leucaena se encontró que el rebrote que representa mayor rendimiento en altura es el tratamiento 4 con una altura promedio de 19.86 m, esto se debe una mayor competencia por absorción de nutrientes en principal de la energía solar lo que produce el crecimiento en su búsqueda, por lo contrario los rebotes que presentar menor rendimiento en altura es el tratamiento 1 con un promedio de 6.90 m de altura (Figura 11).

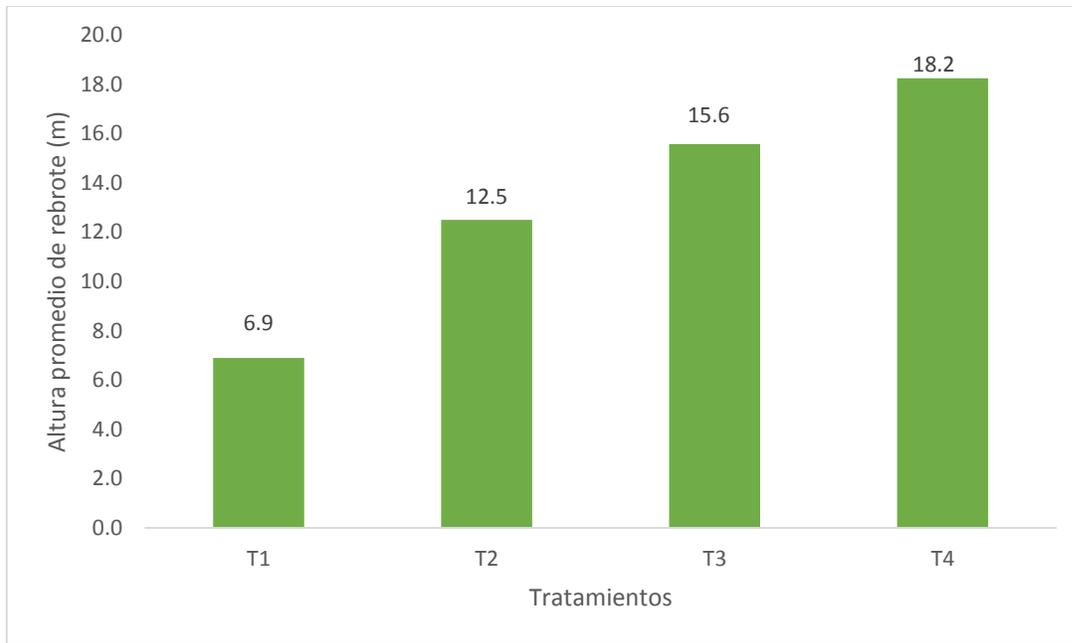


Figura 11. Promedio de altura por tratamientos en el estudio realizado en Tres Valles

Se realizó un ajuste de modelos de regresión para poder predecir el comportamiento de la variable dependiente (altura) cuando interactúa con la variable independiente (rebrote). Para la comparación de altura el modelo que mejor se ajustó fue el logístico con un coeficiente de correlación (r) de 0.68 lo que nos indica el grado de relación existente entre las dos variables, cuando el coeficiente de correlación más se acerca a 1 nos indica una mejor asociación entre las dos variables. Considerando que los tratamientos tomados en cuenta solo fueron tres T1, T2 y T3 ya que por la variabilidad de los datos en el T4 el modelo Logístico no se ajustaba, para que esto suceda debemos tener un coeficiente de correlación cercano a 1 (Figura 12).

Comparación de altura dependiendo el número de rebrotes:

$$Y = a / (1 + be^{cx})$$

$$\text{Altura(m)} = 2.572930654387988E+01 / [1 + (7.030498831139887E+00)(e)^{-4.73589123310900E-01(\text{numero de rebrotes})}]$$

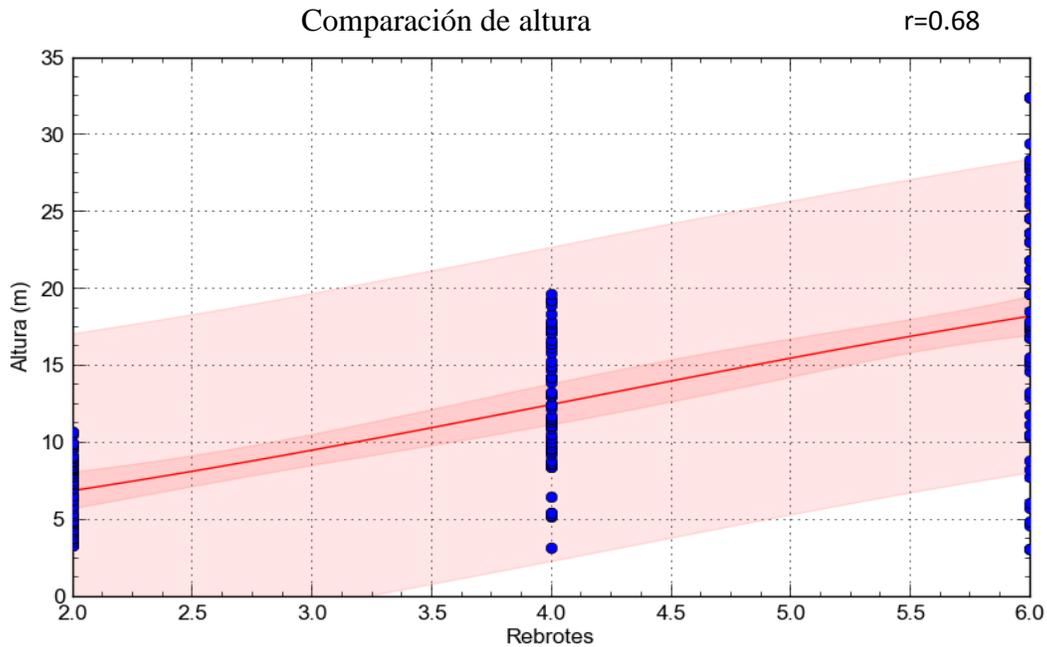


Figura 12. Ajuste de modelo logístico para la comparación de altura por rebrote en los diferentes tratamientos en estudio realizado en Tres Valles

6.2 Análisis de densidad *Leucaena leucocephala*

En el proceso de análisis de la densidad inició con porcentaje altos de humedad, en el desarrollo del análisis esos porcentajes fueron disminuyendo con el tiempo de secado en el horno hasta obtener un promedio de 0.925 g/m^3 , en las cinco muestras realizadas al compararlo con análisis realizado por Aldana (2012) en Costa Rica donde determinó una densidad de 0.74 g/m^3 no se asemejan el factor que puede influir es la manipulación de la muestra desde el momento y tiempo de recolección hasta el manejo y procedimiento en laboratorio (Figura 13).

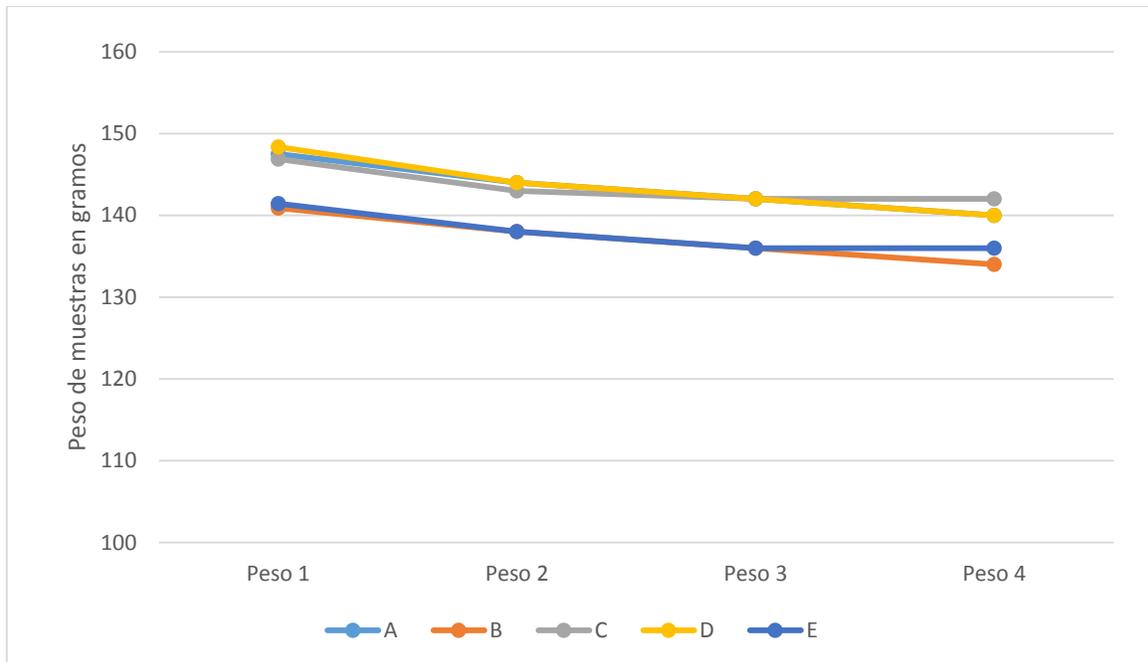


Figura 13. Pesos de las muestras en análisis de densidad en el estudio realizado en Tres Valles

6.3 Cuantificación de la biomasa de *Leucaena leucocephala* en la plantación forestal

De la misma manera se puede observar en la comparación de biomasa obteniendo como resultado que el tratamiento 4 es el de mayor rendimiento con un promedio de 0.0311 kg/m³/árbol con diámetro promedio de 1.97 cm hay mayor presencia de rebrotes dando más volumen por árbol, y encontrando mayor número de rebrotes por parcelas por el contrario el tratamiento con menor rendimiento es el tratamiento 2 con un promedio de 0.092 kg/m³/árbol debido a que los diámetros son respectivamente pequeños y con menor presencia de rebrotes por parcelas evaluadas (Figura 14).

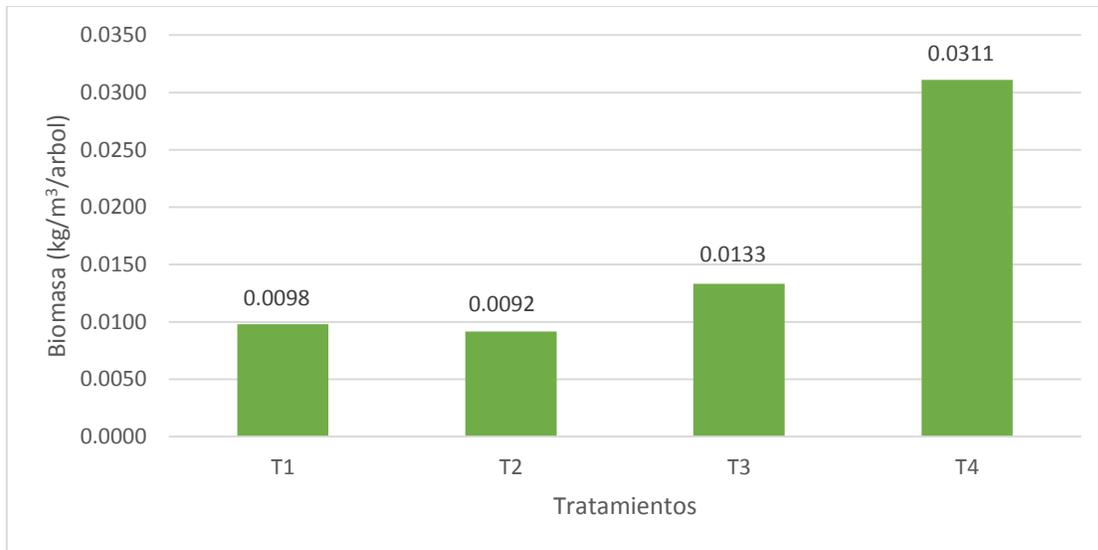


Figura 14. Promedio de biomasa por tratamiento en el estudio realizado en Tres Valles

Se realizó un ajuste de modelos de regresión para poder predecir el comportamiento de la variable dependiente (biomasa) cuando interactúa con la variable independiente (rebrote) (Tabla 2).

Para la comparación de biomasa el modelo que mejor se ajustó fue el logístico con un coeficiente de correlación (r) de 0.51 lo que nos indica el grado de relación existente entre las dos variables, cuando el coeficiente de correlación más se acerca a 1 nos indica una mejor asociación entre las dos variables. Considerando que los tratamientos tomados en cuenta solo fueron tres T1, T2 y T3 ya que por la variabilidad de los datos en el T4 el modelo Logístico no se ajustaba, para que esto suceda debemos tener un coeficiente de correlación cercano a 1 (Figura 15).

Comparación de biomasa dependiendo el número de rebrotes:

$$Y = a / (1 + be^{-cx})$$

$$\text{Biomasa}(\text{kg/m}^3/\text{árbol}) = -1.218529424673896\text{E}+04 / [1 + (-2.414688683821325\text{E}+06)(e)^{-(-2.208247789556538\text{E}-0.1)(\text{numero de rebrotes})}]$$

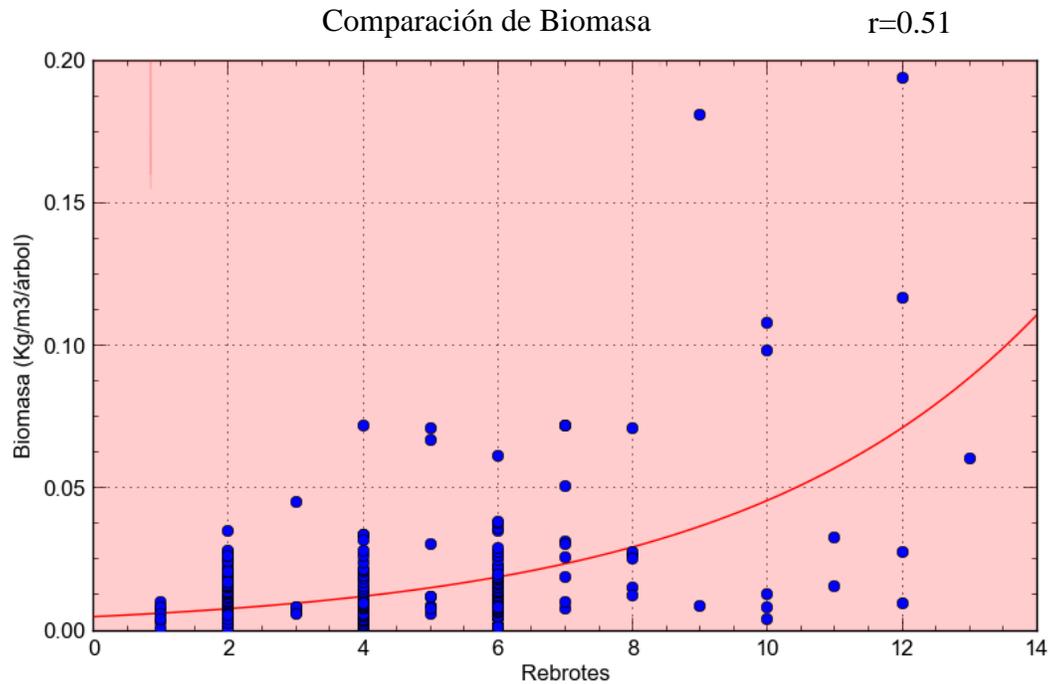


Figura 15. Ajuste de modelo logístico para la comparación de biomasa por rebrote en los diferentes tratamientos en estudio realizado en Tres Valles

6.4. Carbono acumulado por tratamiento en el estudio de investigación de la *Leucaena leucocephala* en la plantación forestal

Los mejores resultados de carbono acumulado en $\text{kg/m}^3/\text{árbol}$ en la plantación forestal los presento el tratamiento 4 con $3.079 \text{ kg}/\text{árbol}$, en este tratamiento se presentó mayor cantidad de número de rebrotes por ende los datos de carbono acumulado resultan mucho más elevados, mientras que los resultados con menor cantidad de carbono acumulado los presentó el tratamiento 2 con $0.265 \text{ kg}/\text{árbol}$, siendo notable la diferencia de carbono entre ambos tratamientos (Tabla 3).

Tabla 2. Modelos sigmoidales y sus ecuaciones que presentaron un mejor ajuste en los parámetros evaluados sometidos al estudio realizado en la Compañía Azucarera Tres Valles

Parámetros evaluados	Ecuación de regresión	r	Error estándar	Modelo sigmoidal
Volumen	$\text{Volumen (m)} = -1.436784778136383\text{E}+04 / [1 + (-2.63365370470647\text{E}+04)(e)^{-2.20824286422534\text{E}+01}(\text{número de rebrotes})]$	0.51	0.0212	Logístico
DAB	$\text{DAB(cm)} = 2.520533965621206\text{E}+06 / [(1 + (3.53262969398964\text{E}+05)(e)^{-1.677834705600940\text{E}-01}(\text{numero de rebrotes})]$	0.51	6.5859	Logístico
Altura	$\text{Altura(m)} = 2.572930654387988\text{E}+01 / [1 + (7.030498831139887\text{E}+00)(e)^{-4.73589123310900\text{E}-01}(\text{numero de rebrotes})]$	0.68	5.1306	Logístico
Biomasa	$\text{Biomasa(kg/m}^3\text{/árbol)} = -1.218529424673896\text{E}+04 / [1 + (-2.414688683821325\text{E}+06)(e)^{-2.208247789556538\text{E}-0.1}(\text{numero de rebrotes})]$	0.51	0.0116	Logístico

Tabla 3. Carbono acumulado por tratamiento en el estudio realizado en 3 Valles

Tratamiento	N° Rebotes	Cantidad de biomasa (kg/m ³ /árbol)	Carbono acumulado (kg/árbol)
T1	2	0.7142	0.357
T2	4	0.5308	0.265
T3	6	0.8387	0.419
T4	N° Indeterminado	6.1584	3.079

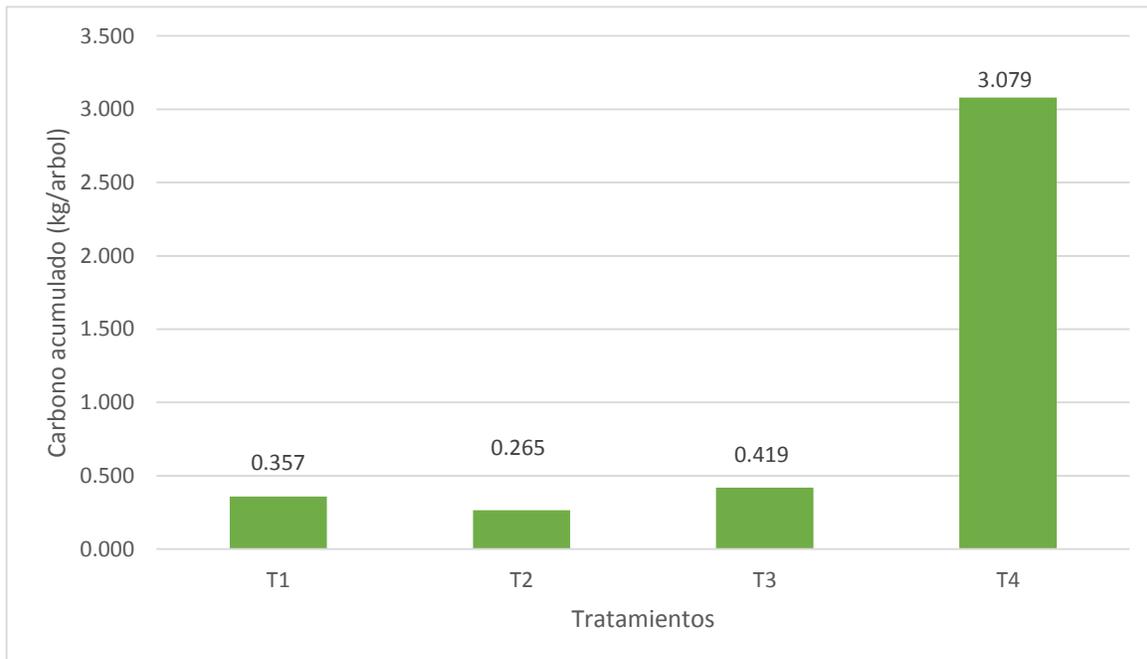


Figura 16. Comparación de carbono acumulado por tratamiento en el estudio realizado en 3 Valles

6.5 Poder calórico de la *Leucaena leucocephala*

6.5.1 Análisis del poder calórico en la especie de *Leucaena leucocephala*

Los resultados obtenidos en el análisis realizado en la Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano es que la especie de *Leucaena Leucocephala* contiene un poder calórico de 517.77 kcal/100g lo que es lo mismo de 5,177.7 kcal/kg de biomasa. Comparado el estudio realizado por Sanchez (2010) donde obtiene un poder calórico para la especie de 4,200 kcal/kg nuestros resultados no se asemejan debido a factores ambientales, tiempo y forma de traslado de muestra al laboratorio o manipulación en el laboratorio por diversas temperaturas (Anexo 3).

6.5.1 Potencial energético de la plantación forestal en estudio de investigación

Para el aprovechamiento de la plantación forestal (*Leucaena leucocephala*) teniendo en cuenta una biomasa de 41,887.83 kg para el año 2016, teniendo en consideración que la plantación tiene un incremento medio anual (IMA) de 0.46 m³/ha/año.

Esto permite realizar una proyección a futuro de la disponibilidad anual de biomasa sin afectar en su totalidad de la plantación forestal, presentando varios escenarios tomando en cuenta la mezcla que se realiza en la compañía para la generación de energía. Como se puede observar realizando una mezcla con un 50% de bagazo de caña y un 50% de leucaena no se aprovecharía de manera sostenible, en cambio si hacemos una mezcla de un 99% de bagazo de caña y un 1% de leucaena tendríamos un rendimiento de biomasa para más de 50 años (Figura 17).

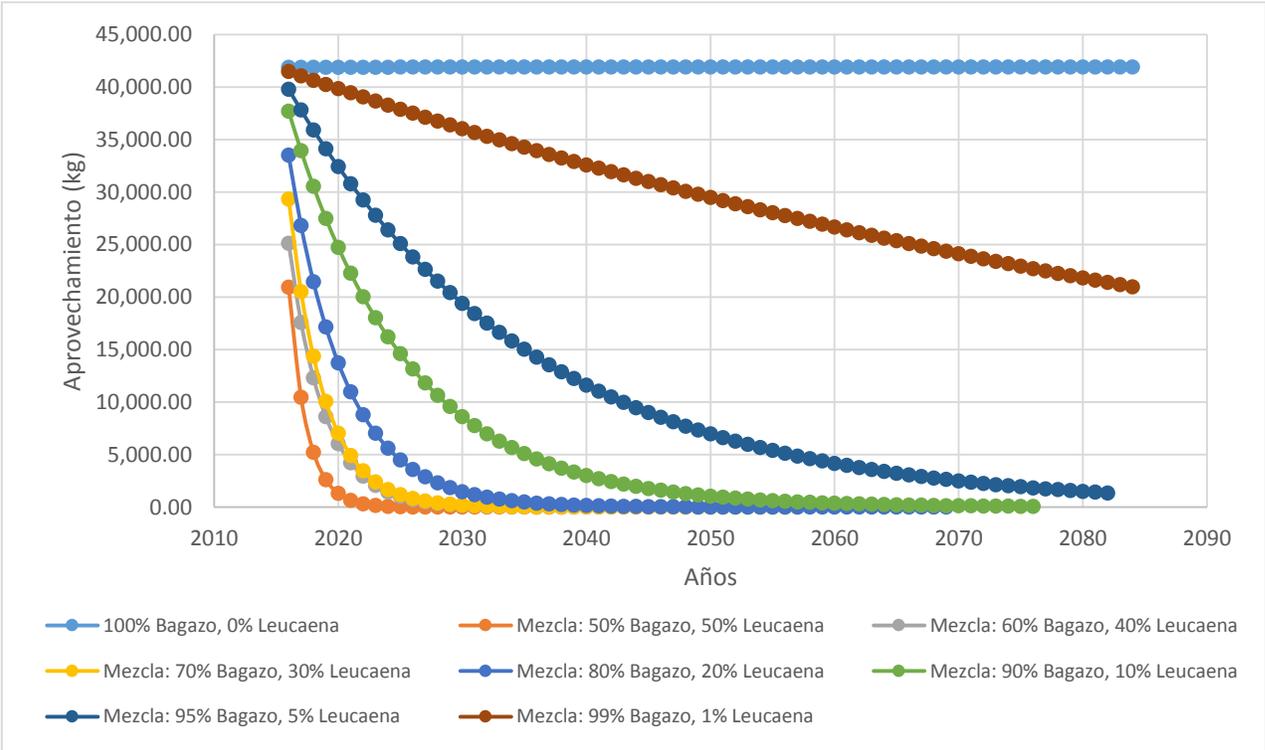


Figura 17. Proyecciones de crecimiento y aprovechamiento de *Leucaena leucocephala* en la Compañía Azucarera Tres Valles

En una mezcla de 50% de la especie de *Leucaena leucocephala* y 50% de bagazo de caña la plantación forestal tendrá una proyección de aprovechamiento hasta el 2034 en producción, si la mezcla es de 10% de leucaena y 90% de bagazo de caña la plantación será sostenible en producción hasta 2070, por otra parte si la mezcla es de 5% de leucaena y 95% de bagazo de caña se tendrá una producción hasta el 2082 de la misma forma haciendo una mezcla de 1% de leucaena y 99 de bagazo de caña la proyección de rentabilidad será hasta el 2089 (Figura 18).

Proyecciones de aprovechamiento de la plantación de *Leucaena leucocephala*

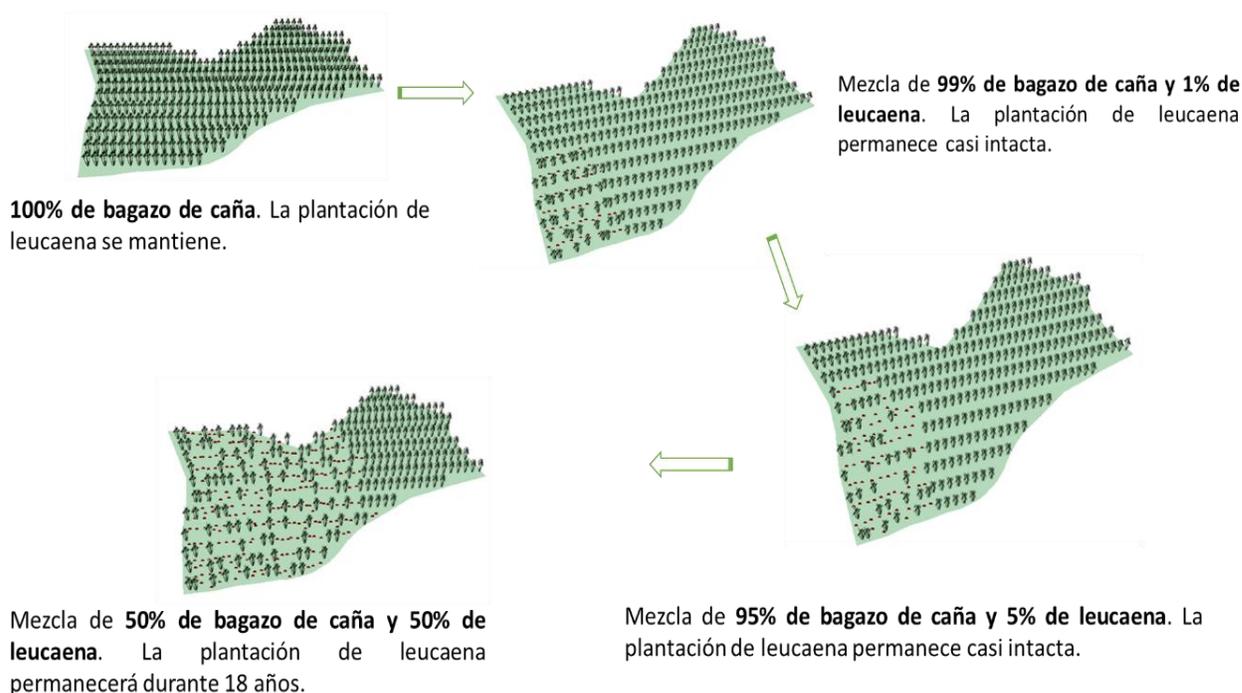


Figura 18. Proyección de aprovechamiento de la plantación forestal de *Leucaena leucocephala* en el estudio realizado en 3 Valles

Según los resultados obtenidos en este estudio nos permite describir el potencial energético con que cuenta la plantación forestal (*Leucaena leucocephala*), donde un kg de biomasa nos genera 0.9 kW.h de energía eléctrica y la empresa cuenta con 41,887.83 kilogramos en las 3.08 ha de la plantación forestal; por lo tanto se estima que 37,699.04 kW.h. Nos produciría el aprovechamiento total de área (Tabla 4).

Tabla 4. Potencial energético de la leucaena (*Leucaena leucocephala*) en 3 Valles

Descripción	Cantidad	Unidad
1 kW.h	3.7	L
1 Kcal	4.1	kJ
1 kW.h	3,600	KJ
Poder calórico <i>Leucaena leucocephala</i>	5,177.7	Kcal/kg
Biomasa anual de <i>Leucaena leucocephala</i>	41,887.8	kg
1 kg	6.0	kW.h
Poder calórico <i>Leucaena leucocephala</i>	21,673.8	kJ
Biomasa anual	252,164.5	kW.h
Precio por energías esperadas	943,095.4	L

VII. CONCLUSIONES

- a. La biomasa proporcionada por la plantación de *Leucaena leucocephala* no cubre la demanda energética de la Compañía Azucarera Tres Valles, si únicamente se considera la leucaena, sin realizar ninguna mezcla con el bagazo de caña de azúcar
- b. Con un número indeterminado de rebrotes de leucaena se obtiene mayor cantidad de biomasa y carbono acumulado por árbol
- c. Para un manejo sostenible de la plantación de *Leucaena leucocephala* es necesaria una mezcla de 1% de biomasa de leucaena y 99% de bagazo de caña
- d. La plantación de *Leucaena leucocephala* no ha contado con el debido mantenimiento silvicultura ni se está utilizando para lo que fue establecida

VIII RECOMENDACIONES

- a. Darle seguimiento al proceso investigativo a la plantación forestal de *Leucaena leucocephala*, a través del monitoreo del crecimiento de diámetros y alturas de los árboles en las parcelas de medición
- b. Es recomendable no hacer un control de rebrotes en la plantación forestal de *Leucaena leucocephala*, ya que de esta manera se obtiene mejores resultados en cuanto biomasa y carbono acumulado por árbol
- c. Se recomienda que para la sostenibilidad de la plantación forestal de *Leucaena leucocephala* se necesita una mezcla de biomasa al 99% de bagazo de caña y un 1% de leucaena
- d. Realizar plantaciones con *Leucaena leucocephala* de acuerdo a la cantidad necesaria y al área disponible en los predios de la empresa

IX. BIBLIOGRAFIA

Agudelo; Guinand, M.2009. Biomasa aérea y contenido de carbono en bosques. Corredor de conservación de Robles. Santiago de Cali. Colombia.

Fernández, J. 2008. Maquinas Térmicas. Poder Calorífico. Universidad Tecnológica Nacional. 22p.

Guillen, L: Huevo, R. 1989. Evaluación de la *Leucaena leucocephala* como sustituto proteico de la harina de la semilla de algodón. Agroforestería. Costa Rica 4: 1-6 p.

IPCC (International Plan Protection Convertion). 2003. Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas para UTCUTS capítulo 4 .(En Línea). Consultado 22 de julio del 2016. Disponible en: <http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/spanish/ch4.pdf>

Kanninen, M. 2007. Secuestro de Carbono en Bosques. El papel de los bosques en el ciclo global del carbono.245p

Lopez, F. 2003. Estimación de Contenido y Captura de Carbono en Biomasa del predio Cerro Grande. Michoacán México. (En Línea). Consultado el 3. De septiembre del 2015. Disponible en: <http://www.ineca.gob.mx/descargas/cclimatico/414.pdf>

Ordoñez, J; Masara, O. 2001. La Captura de Carbono ante el Cambio Climático. Madera y Bosque 7(1):3-12. Xalapa México.

Philip, MS. 1994. Measuring trees and forest. 2nd ed. Cab International. Wallingford, Oxon. 310 p.

Pound, B; Martínez, B. 1983. Leucaena ist cultivation and uses. ODA. CORRIPIO, C POZ, A. República Dominicana. 287 p

Romero Risalde Francisco.2005. Tipos de biomasa, plantación y poda de la vid. Ciuc Real España. 103p

Sánchez Merlo, N. 2005. Acumulación de la biomasa Aérea y su concentración de nutrientes para tres especies latifoliadas del Sistema Quezungual. Tesis Ing. Forestal. Siguatepeque, Honduras ESNACIFOR (Escuela Nacional de Ciencias Forestales) 66 p.

Segura, M; Andrade, H.J. 2008. ¿Cómo estimar rápidamente el carbono almacenado en la biomasa aérea de los sistemas agroforestales indígenas de Talamanca, Costa Rica? Agroforestería en las Américas (CATIE) Vol. 46(97-103)

Sphichiger,J. 2008. Potencial de Biomasa Forestal. Potencial de Generación de Energía por residuos de manejo forestal. Santiago de Chile. 56p.

Toscano Morales L.2009. Análisis de los parámetros y selección de hornos para la combustión de biomasa. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Ingeniero Mecánico. Guayaquil, Ecuador.182p.

Trujillo, E. 2005. Plantaciones Forestales. CATIE. 9 p.

Vallejo, M; Londoño, C; Alvarez, E; Devia, W. 2005. Establecimiento de parcelas permanentes en bosques de Colombia. Biológicos Alexander Van Humboldt. Bogota Colombia. 310 p y 277 p.

Villee, C. 1996. Biología, Mc Graw Hill. 8 ed. México 142-143 p.

ANEXOS

Anexo 1. Formato para el levantamiento de información del DAB, altura/rebote de las diferentes parcelas

Parcela N° _____

Coordenadas: X _____, Y _____

Msnm: _____

Superficie total: _____ m.

N°/Rebotes	Árbol N°1		Árbol N°2		Árbol N°3		Árbol N°4		Árbol N°5	
	DAB	Altura								
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										

N°/Rebotes	Árbol N°6		Árbol N°7		Árbol N°8		Árbol N°9		Árbol N°10	
	DAB	Altura	DAB	Altura	DAB	Altura	DAB	Altura	DAB	Altura
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										

N°/Rebotes	Árbol N°11		Árbol N°12		Árbol N°13		Árbol N°14		Árbol N°15	
	DAB	Altura								
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										

Anexo 2. Formato Análisis densidad de muestras biomasa leucaena (*Leucaena leucocephala*).

No.	Hora	Peso canasta	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso 4	Vol. Recipiente	Vol. Desplazado (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
Pro.									

Anexo 3. Resultados de análisis de poder calórico para la especie de *Leucaena leucocephala*



Agroindustria Alimentaria
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS



Informe de ensayos

LAAZ Reporte 20160211 Gabriela
Ortega.docx
Emitted por: Ing. Luis Asencio

Resultados

I. 20160211 – I: Leucaena Leucocephala – Energía Total (Calorimetría)

Código de la muestra	Análisis	Unidades	Concentración ¹	Límite de cuantificación	Método de Referencia
20160211	Energía Total*	Kcal/100g	517.77	-	ParrModelo 1241EB

¹Concentración promedio

*Valores en base seca

ULTIMA LINEA

Autorizado por:
Juan A. Ruano D. Sc.

Fecha de emisión
2016-03-01

Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano
Valle del Yaguan, San Antonio de Oriente, Francisco Morazán
Apartado postal 93, Teléfono (504) 2287-2000, ext. 2205, Fax (504) 776-6244

Página 2 de 2

Anexo 4. Toma de datos a nivel de campo en la plantación forestal de *Leucaena leucocephala*



Establecimiento de parcelas en estudio



Instrumento utilizado para medición de altura



Toma de diámetro a la altura de base por rebrote



Toma de altura total por rebrote

Anexo 5. Proceso para análisis de densidad de la especie en estudio



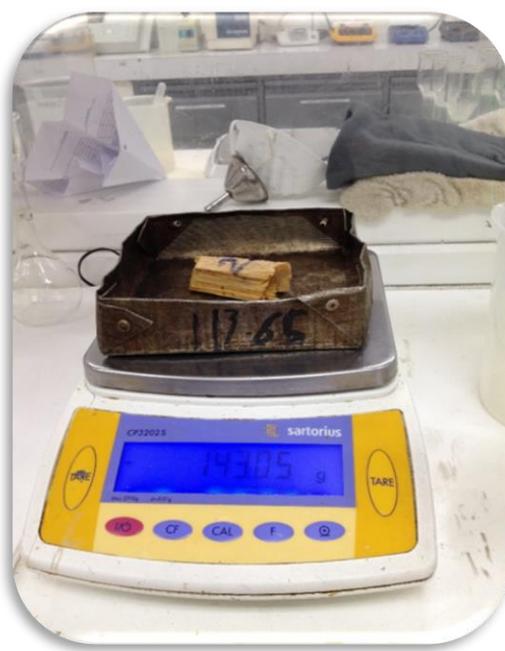
Muestras para análisis de densidad de la especie en estudio



Codificación de las muestras para análisis de densidad de la especie



Secado de las muestras para análisis de densidad de la especie.



Pesado de las muestras para análisis de densidad de la especie.



Determinación de la gravedad específica de cada muestra recolectada



Toma de datos a nivel de laboratorio para análisis de la densidad específica

Anexo 6. Proceso de toma para realización de análisis de poder calórico de la especie de estudio



Preparación de chip para análisis de poder calórico



Muestra de chip para análisis de poder calórico