

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

**POTENCIAL ENERGÉTICO Y RENDIMIENTO DE LA BIOMASA DE PINO
(*Pinus oocarpa* Schiede) EN EL BOSQUE DE LA AZUCARERA TRES VALLES EN
SAN JUAN DE FLORES, FRANCISCO MORAZÁN**

POR:

SUANY MARICELI VALLADARES RODAS

TESIS

**PRESENTADO A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA
COMO REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**

LICENCIADA EN RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE



CATACAMAS

OLANCHO

JUNIO, 2016

**POTENCIAL ENERGÉTICO Y RENDIMIENTO DE LA BIOMASA DE PINO
(*Pinus oocarpa* Schiede) EN EL BOSQUE DE LA AZUCARERA TRES VALLES EN
SAN JUAN DE FLORES, FRANCISCO MORAZÁN**

POR:

SUANY MARICELI VALLADARES RODAS

OSCAR FERREIRA CATRILEO M Sc.

Asesor Principal

**TESIS PRESENTADO A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA
COMO REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**

LICENCIADA EN RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

CATACAMAS, OLANCHO

HONDURAS. C.A.

JUNIO, 2016

DEDICATORIA

A DIOS TODO PODEROSO

Por darme la vida, mi familia y brindarme toda la sabiduría para poder enfrentar los grandes retos que se presentaron en este gran proceso.

A MIS PADRES

Ana Rodas y **Samuel Valladares** por ser ese ejemplo y motivo de superación, que con su mayor esfuerzo han logrado este triunfo que es de ustedes. Desde lo más profundo de mi corazón les digo: les amo por creer en mí, estar en todo momento brindándome amor, palabras de aliento y por nunca haberme dejado caer en mis momentos difíciles.

A MIS HERMANOS

Ana Ruth Valladares, Erick Valladares, Waleska Valladares, Maybell García por ser esas personas de confianza y apoyo; ese brazo que fortaleció muchas etapas de este proceso.

A MIS TIAS

Martha Sánchez y Jackeline Abadie por su valioso apoyo y buenos consejos que cada día me acercaron a la meta.

A MIS SOBRINAS

Fernanda Valladares, Cecilia Valladares, Camila López, Sofía López, Ruth Valladares por ser un gran motivo de inspiración y motivación a seguir adelante. En un futuro ser ejemplo y apoyo para ellas, las amo.

A MI PEQUEÑA FAMILIA

Erick Marcial Guerrero y a mi hijo(a) que está próximo(a) a unirse a nuestras vidas; a ustedes que ahora son parte fundamental en mi vida y han venido a llenarme de mucho cariño, amor y motivo de esfuerzo en este proceso por culminar les amo mucho.

AGRADECIMIENTO

A DIOS

Agradezco a Dios en todo momento por darme sabiduría, fuerzas, fortaleza y paciencia para emprender y obtener con éxitos cada paso en mi vida.

A MI ALMA MATER

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA por permitir mi formación académica y profesional durante estos cuatro años, acogerme como una hija más y permitir culminar mis estudios satisfactoriamente.

A LA COMPAÑÍA AZUCARERA TRES VALLES

Por brindar la oportunidad, el apoyo logístico y profesional para la ejecución de este estudio. Agradezco de Manera especial a Ing. Selso Vásquez, Ing. Marcial Guerrero, Ing. Laura Flores y a los integrantes del departamento de BIOMASA Y AMBIENTE.

A MIS ASESORES DE LA PPS

De forma especial quiero agradecer al M.Sc. Oscar Ferreira por compartir sus grandes conocimientos, por brindarme su apoyo y sabios consejos que me han sido y seguirán siendo de mucho provecho; y a mis asesores secundarios M.Sc. Erlin Escoto y al M.Sc. Josué Matute.

A MIS COMPAÑEROS

A mis compañeros de la clase JETZODIAM, en especial de la carrera Recursos Naturales y Ambiente sección B, que de una manera u otra formaron parte de este proceso.

A MIS AMIGOS

A todos mis amigos que formaron y formarán parte de mi vida por todo ese apoyo moral e incondicional durante estos cuatro años.

CONTENIDO

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
CONTENIDO	v
LISTADO DE CUADROS	vii
LISTADO DE TABLAS	i
LISTADOS DE FIGURAS	i
LISTADO DE ANEXOS	i
RESUMEN	i
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
2.1 General	2
2.2 Específicos	2
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	3
4.1 Bosque.....	3
4.2. Energía	5
4.3. Energía renovable.....	5
4.4 Biomasa.....	6
4.4.1 Cuantificación de biomasa	6
4.4.2. Residuos forestales	7
4.4.3 Métodos para calcular biomasa	8
4.4.4 Rendimiento de Biomasa	8
4.5 Poder calorífico	9
4.7 Las Azucareras	10
4.7.1. La caña de azúcar	10
4.7.2 Bagazo de caña.....	11
4.7.3. Poder Calorífico del bagazo de caña	12
4.8 Análisis de energía total	13
4.8.1. Método de Referencia PARR modelo 1241EB (Poder calórico)	13
V. MATERIALES Y MÉTODOS	15
5.1 Ubicación del estudio.....	15

5.2. Materiales y Equipo	16
5.3 Metodología	17
5.3.1 Reconocimiento de la zona	17
5.3.2 Georreferenciación	18
5.3.3 Medición de las parcelas	18
5.3.4. Identificación de área afectada por gorgojo de pino (<i>Dendroctonus frontalis</i>).....	18
5.3.5. Selección de árboles a intervenir.....	19
5.4 Determinación del volumen de los árboles	19
5.5 Muestreo a nivel de campo para determinar gravedad específica:	21
5.6 Metodología para la estimación de la densidad específica de los árboles a nivel de laboratorio	22
5.7 Determinación del poder calorífico.....	23
5.8. Determinación del potencial energético	23
VI. RESULTADOS Y DISUCIÓN	25
VII. CONCLUSIONES.....	34
VIII. RECOMENDACIONES	35
IX. BIBIOLGRAFÍA	36

LISTADO DE CUADROS

Cuadro 1. Comparación del potencial energético del bagazo de caña con respecto al potencial energético de la biomasa de pino	29
Cuadro 2. Potencial energético del pino (<i>Pinus oocarpa</i>)	33

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Volumen en metros cúbicos de pino (<i>Pinus oocarpa</i>) incluidos en la parcela de muestreo	25
Tabla 2. Volumen en pies tablares de pino (<i>Pinus oocarpa</i>) incluidos en la parcela de muestreo	25
Tabla 3. Análisis de densidad para muestras de pino (<i>Pinus oocarpa</i>).....	27
Tabla 4. Biomasa en toneladas generada por pino (<i>Pinus oocarpa</i>) con altura comercial de 12 metros promedio	28
Tabla 5. Árboles muestreados para proceso de chipeo y rendimiento de pino (<i>Pinus oocarpa</i>)	32
Tabla 6. Descripción del costo que se realiza al procesar un árbol con altura comercial para obtener biomasa de pino (<i>Pinus oocarpa</i>).....	32

LISTADOS DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la Compañía Azucarera Tres Valles San Juan de Flores, Francisco Morazán	16
Figura 2. Reconocimiento del bosque de pino (<i>Pinus oocarpa</i>) de la Compañía Azucarera Tres Valles	17
Figura 3. Georreferenciación del bosque de pino (<i>Pinus oocarpa</i>) de 3 Valles en Cantarranas	18
Figura 4. Distribución de la parcela dentro del bosque de pino de la Compañía en San Juan de Flores	19
Figura 5. Esquema para calcular el volumen del árbol con la fórmula de Smalian (Aguilar 2015).....	20
Figura 6. Esquema de la fórmula del cono utilizada para la última sección de los árboles (Aguilar 2015)	20
Figura 7. Proceso para obtención de datos para volumen de pino (<i>Pinus oocarpa</i>)	21
Figura 8. Sub-muestra de madera obtenida de cada árbol para la determinación de gravedad específica en árboles de pino	22
Figura 9. Proceso para la obtención de la densidad de la madera de pino (<i>Pinus oocarpa</i>) en la Compañía Azucarera en Cantarranas.....	23
Figura 10. Ejemplo de muestra para análisis de poder calorífico (chip)	23
Figura 11. Proceso de análisis de poder calorífico o energía total de pino (<i>Pinus oocarpa</i>)	24
Figura 12. Volumen en metros cúbicos de pino (<i>Pinus oocarpa</i>) con respecto al número de árboles.....	26
Figura 13. Volumen en pies tablares de pino (<i>Pinus oocarpa</i>) con respecto al número de árboles.....	26
Figura 14. Biomasa generada por pino (<i>Pinus oocarpa</i>) en toneladas.....	28

Figura 15. Proyecciones del crecimiento y aprovechamiento para pino (<i>Pinus oocarpa</i>)..	30
Figura 16. Proyección del aprovechamiento del bosque de pino con la utilización de diferentes porcentajes dentro de la mezcla con bagazo de caña en la Compañía.....	31

LISTADO DE ANEXOS

Anexo 1 Formato de levantamiento de datos en campo de investigación.....	40
Anexo 2. Formato Análisis densidad de muestras biomasa de pino (<i>Pinus oocarpa</i>)	41
Anexo 3. Identificación de gorgojo descortezador (<i>Dendroctonus frontalis</i>).....	42
Anexo 4. Instrumentos y medición de parcela y árboles.....	43
Anexo 5. Toma de datos a nivel de campo y chipeo de pino	43
Anexo 6. Muestras de pino y análisis de densidad en el laboratorio de la Compañía Azucarera Tres Valles	43
Anexo 7. Resultado de análisis poder calorífico o energía total para pino (<i>Pinus oocarpa</i>)	43

Valladares Rodas, S M. 2016. Potencial energético y rendimiento de la biomasa de pino (*Pinus oocarpa*) en el bosque de la Azucarera Tres Valles en San Juan de Flores; Francisco Morazán, Honduras. Tesis Lic. RRNN. Universidad Nacional de Agricultura. Catacamas, Honduras. C.A. 59 pág.

RESUMEN

El presente estudio fue realizado en el bosque privado de pino (*Pinus oocarpa*) de la Compañía Azucarera Tres Valles (CATV) ubicada en San Juan de Flores, Francisco Morazán, en donde se evaluó 2.15 hectáreas del bosque y dentro de esta área se identificó 0.72 hectáreas de pino afectada por gorgojo descortezador (*Dendroctonus frontalis*). La investigación se enfocó a la estimación de la biomasa total que generará los árboles de esta área y el potencial energético que se espera de la misma. Para ello se trabajó con una parcela circular de 1000 m² (17.84 m de radio) de la cual se obtuvo una intervención de 11 árboles muestras con una edad promedio de 31 años a los que se les midió el diámetro de altura a la base, diámetro de altura al pecho y altura total para la determinación del volumen, utilizando la fórmula de Smalian de cono de lo cual se obtuvo 138.67 toneladas como resultado. También se realizó un análisis de poder calorífico o energía total a una muestra de pino de 5,641.7 kcal/kg con mejor resultado que el bagazo de caña con 2,195 kcal/kg. De acuerdo con los resultados para la biomasa de pino y tomando en consideración el incremento medio anual de esta especie se estimó el porcentaje de disponibilidad anual para el uso en la generación de energía eléctrica tomando como parte la mezcla con el bagazo de caña considerándola de una manera más sostenible.

Palabras claves: Bagazo de caña, diámetro de altura a la base, diámetro de altura al pecho, energía renovable, poder calorífico

I. INTRODUCCIÓN

La energía juega un papel cardinal en la economía mundial, y las variaciones en los precios de la energía tienen repercusiones significativas en el crecimiento económico, especialmente en el desarrollo de los países importadores de petróleo. Se asiste en la actualidad a cambios fundamentales en relación con los recursos de los que se espera extraer energía en los próximos años. Tales cambios obedecen a tres preocupaciones principales: los altos precios de los combustibles fósiles; los riesgos percibidos que entraña la dependencia de los combustibles fósiles; el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero producidas por los combustibles fósiles.

Este estudio surge como una respuesta a la problemática socio ambiental que nos afecta debido al uso irracional y la dependencia que se ha creado con respecto a las importaciones energéticas, como un medio para mitigar los efectos de la utilización de los combustibles fósiles, ofrecer la oportunidad de reducir los gases de efecto invernadero a la atmósfera y reducir la dependencia. Hoy en día este tipo de información es de gran trascendencia para la sociedad ya que se puede apreciar la gran importancia que tiene el bosque de pino como una alternativa factible para el bienestar y la economía de la población.

Es por esta razón que la Compañía Azucarera Tres Valles se ve comprometida con la sociedad y el ambiente en realizar investigaciones de fuentes alternativas para generar energía y promover el manejo adecuado del recurso bosque bajo normas legales a nivel de país, obteniendo datos del potencial energético y el rendimiento de la biomasa que el pino puede ofrecer.

II. OBJETIVOS

2.1 General

Determinar el potencial energético y el rendimiento de la biomasa generada por el pino (*Pinus oocarpa*) del bosque privado de la Compañía Azucarera Tres Valles en San Juan de Flores, Francisco Morazán

2.2 Específicos

- a. Cuantificar la biomasa de los árboles de pino en el bosque de la Compañía Azucarera Tres Valles en San Juan de Flores, Francisco Morazán

- b. Comparar el potencial energético del bagazo de caña de azúcar con la biomasa de pino, en la Compañía Azucarera Tres Valles en San Juan de Flores, Francisco Morazán

- c. Determinar el rendimiento de la biomasa de pino y proyectar el potencial de la biomasa del pino proveniente del bosque privado de la Compañía Azucarera Tres Valles

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

La biomasa tiene carácter de energía renovable por que los árboles y plantas que han sido convertidos en energía se pueden reemplazar con nuevos árboles u otras plantas ya que su contenido energético procede en última instancia de la energía solar fijada por los vegetales en el proceso fotosintético. Esta energía se libera al romper los enlaces de los compuestos orgánicos en el proceso de combustión, dando como productos finales dióxido de carbono y agua. Por este motivo, los productos procedentes de la biomasa que se utilizan para fines energéticos se denominan biocombustibles, pudiendo ser, según su estado físico, biocombustibles sólidos.

La madera como fuente de energía desempeña funciones múltiples en diferentes regiones del mundo. Muchos países en desarrollo dependen estrechamente de la madera como fuente de energía para preparar y calentar los alimentos, pero los recursos madereros se ven a menudo amenazados por la pérdida de la cubierta vegetal al aumento de la población, a la expansión agrícola y a unas prácticas de ordenamiento forestal insostenibles. Los países industrializados y los países en desarrollo en rápido crecimiento consumen la mayor parte de los combustibles fósiles del mundo y recurren, a escala industrial, cada vez más a la dendroenergía. Algunos de estos países pero no todos han conseguido estabilizar o incrementar su superficie forestal.

4.1 Bosque

Los bosques, como fuentes de servicios ambientales, por su ubicación geográfica y a su vez por el entorno socioeconómico en que se encuentran, cada vez son más vulnerables debido a causas como los incendios forestales, tala ilegal, actividades de tipo antropogénica para la agricultura y la ganadería, que hasta en décadas pasadas su utilización se basaba en prácticas no sostenibles con el manejo de los recursos.

Masera *et al.* (2001) estiman que en México cerca de 20 millones de personas usan la leña como principal fuente energética para uso doméstico, causa importante en la producción de CO₂. Considera que el sector forestal aporta casi el 40% de las emisiones totales de CO₂ y que el sector de generación de energía tiene la contribución más importante. La mitigación del cambio climático exige mantener niveles de CO₂ en la atmósfera por debajo de un cierto rango, que probablemente hayamos superado ya para reducir este nivel, es necesario capturar más CO₂ de la atmósfera y fijarlo en la biosfera mediante sumideros de carbono capaces de absorber más CO₂ del que se emite (Masera 1995).

La madera como fuente de energía desempeña funciones múltiples en diferentes regiones del mundo. Muchos países en desarrollo dependen estrechamente de la madera que es fuente de energía para calentar los ambientes y cocer los alimentos, pero los recursos madereros se ven a menudo amenazados por la pérdida de la cubierta vegetal debida al aumento de la población, a la expansión agrícola y a unas prácticas de ordenación forestal insostenibles. Los países industrializados y los países en desarrollo en rápido crecimiento consumen la mayor parte de los combustibles fósiles del mundo y recurren, a escala industrial, cada vez más a la dendroenergía. Algunos de estos países pero no todos han conseguido estabilizar o incrementar su superficie forestal.

4.1.1. Bosque de pino (*Pinus oocarpa*)

En Honduras se ha mostrado el valor económico de los residuos forestales del aprovechamiento de un bosque de esta especie. En el valle de Comayagua, se utiliza esta especie para leña, postes, tutores para cultivos, maderas de aserrío, sombra, cortinas rompevientos y resina. Para proveerse de estos productos, los finqueros dejan pequeñas reservas de vegetación natural para extraer los productos para su propio consumo y para la venta de excedentes.

Su interés como especie de plantación declino en los años 80, después de que ensayos internacionales de procedencias mostraron la superioridad de procedencias de *P.caribaea* y especialmente de *P.tecunumanii* en muchos de los sitios evaluados. Alcanza su mejor desarrollo de 600 a 1800 msnm, en su ambiente natural las temperaturas son de 13 a 23 °C y las precipitaciones de 650 a 2000 mm, con una época seca de 5-6 meses.

Ocasionalmente se le encuentra en áreas donde la precipitación alcanza los 3000 mm. Es una especie pionera que se adapta a diferentes tipos de suelo, erosionados e infértiles, arenosos, pedregosos y accidentados, de ácidos a neutros (4.5-6.8). Se extiende desde México hasta el noreste de Nicaragua. En Guatemala, Honduras, Nicaragua y El Salvador representa la especie dominante de los bosques de pino. También cabe mencionar que esta especie es el árbol nacional de Honduras (Montesinos 1995).

4.2. Energía

Según Energizar (2015) para la física, la energía es la capacidad potencial que tienen los cuerpos para producir trabajo o calor, y se manifiesta mediante un cambio. Es energía el movimiento continuo del agua de un río, o el calor que desprende el carbón cuando se quema. Desde siempre, el hombre ha utilizado las fuentes de energía a su alcance para hacer un trabajo o para obtener calor. Primero su propia fuerza física o la de los animales domésticos. Luego la energía del viento y del agua. Más tarde llegaría la explotación de los combustibles fósiles-carbón, gas natural, petróleo y energía nuclear. En el futuro es probable que puedan aparecer nuevas fuentes pero, sea como fuere la disponibilidad de energía ha sido siempre esencial para la humanidad.

4.3. Energía renovable

La energía renovable es la esfera más importante del sector de energía debido a su capacidad para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y la contaminación y para aprovechar fuentes de energías locales y descentralizadas, como los recursos eólicos, solares, hidroeléctricos, mareomotrices, geotérmicos y de biomasa.

Estas fuentes renovables son inmunes a la volatilidad de los mercados de combustibles fósiles y, adicionalmente, conllevan el beneficio de estimular el empleo, el desarrollo tecnológico y el crecimiento económico. Es indudable que las energías renovables constituyen un elemento clave de un futuro sostenible (Energizar 2015).

Por esta razón, la energía renovable ha sido uno de los pilares fundamentales de las operaciones del fondo para el Medio Ambiente (FMAM). Durante los últimos 18 años, el FMAM ha demostrado un liderazgo sin par al invertir US\$ 1100 millones en iniciativas de energía renovable en casi 100 países en desarrollo y con economías en transición. El apoyo del FMAM ha sido fundamental para instalar la energía renovable en la agenda de los principales países en desarrollo y economías emergentes.

4.4 Biomasa

Se entiende por biomasa al conjunto de materia orgánica renovable de origen vegetal, animal o procedente de la transformación natural o artificial de la misma. (Toscano Morales 2009). Se trata de la materia orgánica e inorgánica que se produce a partir de un proceso biológico y que puede ser aprovechada y convertida en combustible, mitigando así el uso de combustibles fósiles no renovables como el petróleo. Las formas de biomasa más conocidas y utilizables son los cultivos energéticos (remolacha, caña de azúcar, maíz, jatropha, camelina, etc.) y los residuos de actividades agrícolas, forestales, ganaderas, urbanas, entre otras (Energizar 2015).

4.4.1 Cuantificación de biomasa

La estimación de la biomasa en los bosques es un tema relevante en relación con el problema del calentamiento global del planeta. En años recientemente se ha incrementado el interés por estudiar el papel de los bosques en los ciclos de elementos biogeoquímicos, especialmente del carbono (Dalaney *et ál.* 1997), y su relación con los gases de efecto invernadero.

Se parte del principio de que aproximadamente 50% de la biomasa estimada es carbono y, por tanto, puede ser adicionada a la atmósfera como dióxido de carbono (CO₂) cuando este se corta y quema (Morrissey y Justus 1998).

Existen métodos directos e indirectos para estimar la biomasa aérea de un bosque. El método directo consiste en cortar el árbol y pesar la biomasa directamente. Otra forma es calcular la biomasa aérea de manera indirecta a través de ecuaciones y modelos matemáticos obtenidos por análisis de regresión entre las variables colectadas en terreno y en inventarios forestales (Brown 1997).

Según Vidal *et ál.* (2001) realizaron un estudio sobre la estimación de biomasa en ramas y follaje en bosques naturales de *Pinus caribaea* var. *caribaea* en Cuba, donde estimaron la cantidad de biomasa mediante modelos alométricos con un total de 169 árboles. Los resultados obtenidos indican que el DAP explica el mayor porcentaje de la variabilidad de los datos y está más correlacionado con la cantidad de biomasa de ramas y follaje en árboles con un DAP máximo de 47 cm (65 kg de biomasa en follaje y con 110 kg en ramas). A pesar de que la altura total estuvo relacionada con las variables de follaje y ramas, su aporte a los modelos probados no fue significativo.

4.4.2. 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.

4.4.3 Métodos para calcular biomasa

- 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, 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.

La biomasa total de cada individuo se obtiene mediante la suma de la biomasa de los distintos componentes del árbol. Una vez obtenida la biomasa total de los árboles muestreados se trata de obtener, 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 midan las variables independientes de la ecuación alométrica seleccionada. Los datos finales pueden ser presentados por clase diamétrica (Vallejo *et al.* 2007).

4.4.4 Rendimiento de Biomasa

De acuerdo con Mora *et al.* (1990), para la producción de madera, el establecimiento de plantaciones forestales debe acompañarse de manera obligatoria de un manejo de las mismas con el fin de lograr un mayor rendimiento posible.

El volumen es considerado como una variable indicadora del potencial o de la capacidad de producción de una plantación y es afectado por diferentes variables que deben considerarse en el manejo, tales como la densidad inicial, la calidad de sitio, el diámetro, la altura, la forma del árbol, la edad de la plantación, las intervenciones silviculturales entre otras.

El uso de ecuaciones para calcular el volumen, es una alternativa de amplio uso en el manejo forestal que permite la estimación del mismo con una precisión conocida, mediante modelos matemáticos ajustados a partir de medidas detalladas, tomadas sobre una pequeña muestra representativa de la población, lo que permite simplificar el trabajo de campo.

4.5 Poder calorífico

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.

4.7 Las azucareras

La industria azucarera centroamericana ha tenido un importante dinamismo a lo largo de la última década producto de avances en las tecnologías y prácticas agrícolas impulsadas por el aumento en el mercado local, el mercado internacional y los precios pagados por los países importadores. Sin embargo, el crecimiento no ha sido homogéneo en toda la región, Guatemala, Honduras, El Salvador y Nicaragua tienen distintos aumentos en la producción de azúcar en la última década con 38%, 27%, 16% y 25% respectivamente.

Las azucareras centroamericanas muestran un gran crecimiento en la última década debido al aumento del mercado local e internacional, sin embargo este crecimiento no ha sido homogéneo entre los países de la región. Según la Asociación de Azucareros de Guatemala (ASAZGUA), en Honduras para el año 2011, la Asociación de Productores de Azúcar registró un crecimiento del 28% en la producción de azúcar con respecto al 2000, y cuenta con un total de seis ingenios activos que dominan el sector; dentro de los cuales se incluye la Compañía Azucarera Tres Valles. Los ingenios tienen distintas capacidades de moliendas que rondan desde 3,000 hasta 12,000 toneladas métricas (Sagastume 2012).

4.7.1. La caña de azúcar

El azúcar procedente de la caña es el principal producto agrícola de todo país que incentiva este cultivo, convirtiéndose en el principal objetivo desde la siembra hasta el procesamiento; sin embargo, la industria del azúcar ha estado luchando en la actualidad por muchos retos y problemas. Muchos países como el caso de China, se ha enfrentado a problemas entre los cuales está la entrada de mercados internacionales que conllevan a la generación de productos de valor en base a residuos poco aprovechables en el bagazo, el concentrado de torta y la melaza (Wei *et al.* 2004).

Honduras se posiciona como el país que mejor rendimiento de toneladas métricas de caña por hectárea tiene de los cuatro países evaluados con un promedio de 92 Ton/ha.

Se puede afirmar que la siembra de caña de azúcar ha mantenido un crecimiento promedio anual de 1%, habiendo alcanzado un total de 64,270 hectáreas, lo que significó un 10.4% más en 2011 en comparación al año 2000. Según la Asociación de Productores de Azúcar de Honduras (APAH) el 55% del total del área sembrada corresponde a los ingenios y el 45% restante a productores independientes (Wei *et al.* 2004).

Según los datos de la Asociación de Productores de Azúcar de Honduras, el principal mercado para el azúcar hondureño es el consumo interno, que en promedio demanda el 70% de la producción total anual. Sin embargo es importante destacar que el azúcar crudo nacional es el que mejor precio obtiene a nivel internacional, según datos de la CEPAL, cobrando 577 US\$ por tonelada métrica de azúcar exportada., como principal mercado para Honduras se mantiene Estados Unidos ya que también cuenta con un porcentaje establecido de la demanda gracias a la cuota del Tratado de Libre Comercio, Estados Unidos exportó un total de 19,847 toneladas métricas de azúcar (Sagastume 2012).

4.7.2 Bagazo de caña

El bagazo de la caña de azúcar es el residuo obtenido mediante un proceso de industrialización de productos agropecuarios. Sale de la última unidad de molienda (zafra) y es conducido a las calderas para que sirva como combustible y produzca el vapor de alta presión que se emplea en las turbinas de los molinos para lograr su movimiento, y en los turbogeneradores para producir la energía eléctrica requerida por el ingenio y la energía que se vende en la red pública. Puede emplearse adicionalmente para las fábricas de papel o de tableros aglomerados. Por tal razón, el bagazo está considerado como un recurso energético renovable altamente utilizado en la industria (Garcés y Martínez 2008).

En cuanto a la producción de bagazo de caña, una azúcar para la obtención de azúcar y etanol, no existen indicadores directos de su obtención, utilización o costos debido a la consideración que representa un producto de bajo valor económico.

Además, la rápida producción y destinación de la mayor parte del bagazo hacia combustión en caldera para la obtención de vapor de agua a alta presión y energía eléctrica ha conllevado a pensar a que esta es la mejor forma de su utilización (Contreras *et al.* 2009).

El bagazo de caña representa una fuente alternativa para la extracción de compuestos que poseen una amplia gama de usos y que actualmente no son separados y purificados por el poco conocimiento de los métodos de separación para este material o por los tiempos de separación que evitan la implementación en línea a nivel industrial, por lo cual el bagazo se destina directamente a procesos de combustión y producción de energía en caldera o como materia prima para procesos secundarios de productos a base de fibra o material lignocelulósico como papel, cartón o muebles varios (Garcés y Martínez 2008).

4.7.3. Poder calorífico del bagazo de caña

Actualmente, los biocombustibles son una alternativa más en miras a buscar fuentes de energías sustitutivas que sirvan de transición hacia una nueva tecnología. Cuando el bagazo de caña de azúcar se quema en las calderas, se genera el vapor que necesitan las turbinas para el accionamiento de generadores eléctricos. Es como de esta manera se transforma un combustible renovable en energía eléctrica para el sostenimiento energético de fábricas y en ocasiones, el excedente de energía eléctrica es entregado a la red de distribución pública.

El bagazo es un combustible cuyo componente mayoritario es el agua. La cantidad de agua existente en un biocombustible es la humedad, la cual constituye un factor que afecta de forma decisiva su energía disponible, ya que el poder calorífico del bagazo disminuye a medida que aumente el porcentaje de humedad debido a que parte del calor desprendido durante la combustión del bagazo, tendrá que utilizarse para evaporar el agua proveniente de la humedad de este.

Muchos ingenios azucareros han producido habitualmente energía eléctrica para su propio consumo, total o parcialmente, empleando el bagazo como una fuente de combustible. Además de generar todas sus necesidades de electricidad, usan el exceso de bagazo para producir más electricidad y venderla a las compañías eléctricas públicas. Por otra parte, existen numerosos ingenios azucareros que no cuentan con las instalaciones adecuadas para generar electricidad y no tienen acceso a los mercados apropiados donde vender directamente su propio bagazo (Garcés y Martínez 2008).

4.8 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).

4.8.1. Método de Referencia PARR modelo 1241EB (Poder calórico)

El análisis termogravimétrico se realiza utilizando una electrobalanza 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 7).

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:

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

4.8.2. Calorimetría

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

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Ubicación del estudio

Este estudio se llevó a cabo en la Compañía Azucarera Tres Valles ubicada geográficamente en los 14° 10' 0.01" O, 86° 58' 0.01" E en el municipio de Cantarranas Francisco Morazán, específicamente en la comunidad de San Juan de Flores. 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 hizo acreedores al Premio Nacional del Ambiente año 2005.

Para este estudio se tomaron datos en el bosque privado de pino de la Compañía Azucarera Tres Valle haciendo muestreo según su etapa de maduración en una área de 2.15 hectáreas. Esta zona se encuentra ubicada a una altitud de 642 msnm; con una temperatura promedio de 28° C A 30° C. 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 caloroso, 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 (EACPAC 2009).

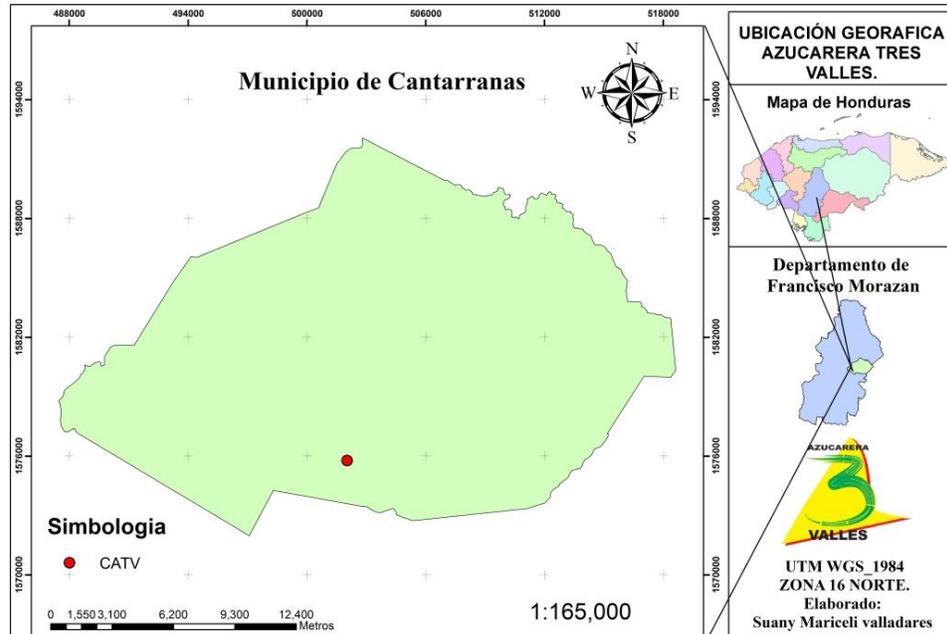


Figura 1. Ubicación de la Compañía Azucarera Tres Valles San Juan de Flores, Francisco Morazán

5.2. Materiales y Equipo

Los materiales que se utilizaron para el desarrollo del estudio son:

- Para la georreferenciación del área de investigación se utilizó GPS Garmin®, machete para accesibilidad del área, cinta diamétrica para la medición de la parcela de muestreo.
- Cinta vinílica utilizada para la señalización de los árboles a intervenir, motosierra para el corte de los árboles a intervenir.
- Cinta diamétrica utilizada para medir la altura comercial y total, pie de rey para medir el diámetro a la altura del pecho (DAP) de los árboles adultos que se utilizaron como muestra en la investigación.

- Tablero, libreta de campo, formatos para levantamiento de datos que se recolectaron; dichos datos fueron tabulados en Hoja de cálculo de Excel® 2010.
- Chipeadora para procesar la madera en chip previo a someterse a prueba.
- Bolsas plásticas para el transporte de las muestras al laboratorio de análisis de la Escuela Agrícola Panamericana EL Zamorano.
- Balanza analítica utilizada para obtener el peso las muestras de madera recolectadas, horno de laboratorio utilizado para el secado de las muestras, probeta utilizada para obtener el volumen de cada muestra.

5.3 Metodología

5.3.1 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 al bosque privado de la Compañía Azucarera Tres Valles (CATV), junto al coordinador del departamento de biomasa y personal de la empresa para conocer el área de estudio.



Figura 2. Reconocimiento del bosque de pino (*Pinus oocarpa*) de la Compañía Azucarera Tres Valles

5.3.2 Georreferenciación

Para la georreferenciación del bosque se utilizó un GPS marca DNR Garmin®. Se recorrió el área para la delimitación de la misma, 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 de georreferenciación.



Figura 3. Georreferenciación del bosque de pino (*Pinus oocarpa*) de 3 Valles en Cantarranas

5.3.3 Medición de las parcelas

El bosque cuenta con un área de 2.15 hectáreas, para la medición de una parcela de muestreo circular de 1000 metros cuadrados con un radio de 17.84 metros para la cual se ubicó el centro de la parcela tomando en consideración el área afectada por plaga, colocando como referencia central una estaca (Figura 4).

5.3.4. Identificación de área afectada por gorgojo de pino (*Dendroctonus frontalis*)

Se realizó una identificación minuciosa dentro del bosque de pino (*Pinus oocarpa*), cuantificando toda el área afectada de 0.72 hectáreas por gorgojo descortezador, la cual fue punto de referencia para la ubicación de parcela a muestrear.

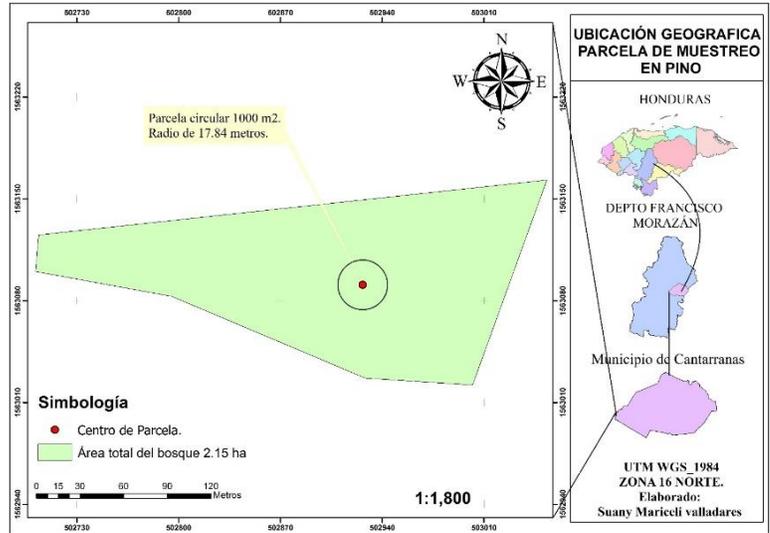


Figura 4. Distribución de la parcela dentro del bosque de pino de la Compañía en San Juan de Flores

5.3.5. Selección de árboles a intervenir

Los árboles a intervenir fueron los que cayeron dentro de la parcela circular de los 1000 metros cuadrados tomando un punto central el cual fue marcado con una estaca, a partir de esta estaca se tomó una distancia 17.84 metros de radio a los extremos, seleccionando los árboles de esta manera.

5.4 Determinación del volumen de los árboles

La metodología que se utilizó para determinar el volumen de los árboles fue la utilizada por Sánchez (2005). Los parámetros a medir en cada árbol y parcela son: diámetro a la base del árbol y el diámetro a los 50 cm. Se les midió el DAP (diámetro de altura al pecho, a 1.3 metros de altura del suelo) y altura total.



Figura 7. Proceso para obtención de datos para volumen de pino (*Pinus oocarpa*)

5.5 Muestreo a nivel de campo para determinar gravedad específica:

Para la determinación de la gravedad o peso específico fue necesario obtener muestras de los árboles de pino a intervenir, luego se codificó con un número cada árbol para proceder a realizar el método de muestreo al azar dentro de la parcela establecida en el bosque de estudio.

De cada árbol seleccionado se tomó una muestra inicial de cada árbol de 50 centímetros partiendo de la base hacia el ápice de la planta. Estas muestras fueron trasladadas al laboratorio en las primeras 2 horas después de haber sido recolectadas en el campo, en bolsas plásticas, cada una identificada con el código de la muestra. Luego, ya en el laboratorio se extrajo la submuestra requerida para la determinación de la gravedad específica, de 2 cm². 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.

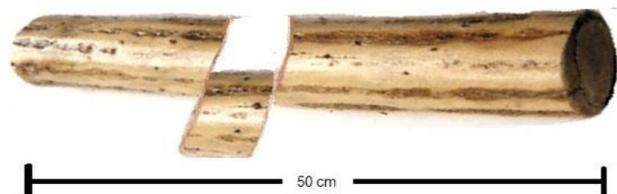


Figura 8. Sub-muestra de madera obtenida de cada árbol para la determinación de gravedad específica en árboles de pino

5.6 Metodología para la estimación de la densidad específica de los árboles a nivel de laboratorio

La metodología seguida para la determinación de biomasa y de la gravedad específica fue la descrita por Philip (1994). Se tomaran 4 muestras de madera de 2 cm² de los árboles, las cuales se pesaron en su estado verde, recién cortadas, aproximadamente a las 2 horas después de haber sido recolectadas en las parcelas. En el laboratorio las muestras fueron pesadas en una balanza analítica y secadas en un horno eléctrico a una temperatura de 100 °C. Las muestras se pesaron por segunda vez a 1 hora después de haber sido introducidas en el horno y luego cada 1 hora, hasta lograr un peso constante en cada una de las muestras.

La gravedad específica se calculará 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 dividirá el peso seco anhidro (en g) entre el volumen de agua desplazada (en cm³), de acuerdo a las normas de ASTM (1978).

Fórmula 3. . Fórmula para calcular biomasa forestal

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

Donde:

B= biomasa

Vol. Arb= volumen del árbol

D= densidad de la madera



Figura 9. Proceso para la obtención de la densidad de la madera de pino (*Pinus oocarpa*) en la Compañía Azucarera en Cantarranas

5.7 Determinación del poder calorífico

El estudio se realizó en el laboratorio de análisis de alimentos de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, mediante una muestra en chip, la cual fue procesada en el plantel de biomasa de la Compañía Azucarera Tres Valles con medidas de ancho ($1/2$ cm), largo (2 cm) y alto ($1/2$ cm) con un peso de 1.362 kg chip de pino.



Figura 10. Ejemplo de muestra para análisis de poder calorífico (chip)

5.8. Determinación del potencial energético

Para los efectos de la determinación del potencial energético se tuvo en consideración la cantidad de biomasa que produce el bosque de pino y el incremento medio anual (IMA) que la especie presenta, en este caso existe un IMA de $7.5 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$ equivalente a $0.016 \text{ ton}/\text{año}$.

Partiendo de estos datos se realizó una proyección del potencial que el pino representa para la empresa y tomando en cuenta el porcentaje que se debe utilizar en la mezcla con bagazo de caña para la generación de energía eléctrica.

Fórmula 4 Fórmulas para determinar el potencial:

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

Donde:

B=Biomasa

IMA= Incremento medio anual

%= porcentaje de biomasa a utilizar



Figura 11. Proceso de análisis de poder calorífico o energía total de pino (*Pinus oocarpa*)

VI. RESULTADOS Y DISUCIÓN

Para la cuantificación de biomasa de los árboles de pino (*Pinus oocarpa*) en el bosque de la Compañía Azucarera Tres Valles en San Juan de Flores, Francisco Morazán fueron seleccionados 150 con una altura comercial de 8 metros de los cuales se obtuvo 41.19 m³ y 8,239.34 pies tablares (Tabla 1 y 2).

Tabla 1. Volumen en metros cúbicos de pino (*Pinus oocarpa*) incluidos en la parcela de muestreo en Tres Valles

No.	Rango	Volumen de pino (m ³)	Número de árboles
1	0.07-0.12	0.59	6
2	0.12-0.17	2.89	19
3	0.17-0.22	3.65	17
4	0.22-0.27	8.69	34
5	0.27-0.32	11.20	37
6	0.32-0.37	7.86	22
7	0.37-0.42	4.45	11
8	0.42-0.47	1.82	4
Total		41.19	150

Tabla 2. Volumen en pies tablares de pino (*Pinus oocarpa*) incluidos en la parcela de muestreo en Tres Valles

No.	Rango	Volumen de pino (Pt)	Número de árboles
1	14.59-24.32	118.57	6
2	24.32-34.05	578.02	19
3	34.05-43.78	731.49	17
4	43.78-53.50	1739.77	34
5	53.50-63.23	2177.73	36
6	63.23-72.96	1637.50	23
7	72.96-82.69	1256.22	15
Total		8,239.34	150

La oscilación de la cantidad de biomasa con respecto al número de árboles existentes, donde se determina que en un rango de 0.44 m^3 existe una cantidad de cuatro árboles y en un rango de 0.29 m^3 existe una cantidad de treinta y siete árboles (Figura 12).

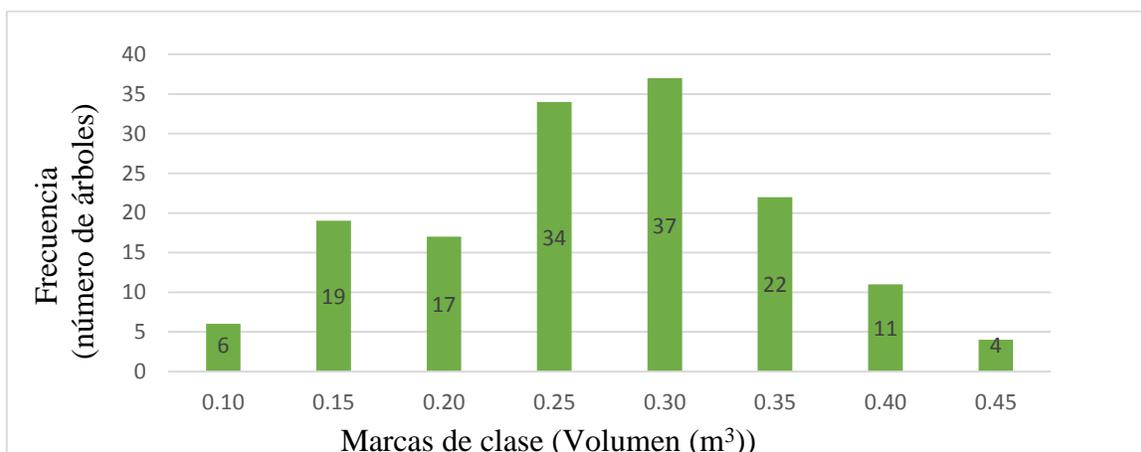


Figura 12. Volumen en metros cúbicos de pino (*Pinus oocarpa*) con respecto al número de árboles en Tres Valles

La oscilación de la cantidad de madera en pies tablares con respecto al número de árboles existentes, donde se determina que en un rango de 19.29 pies tablares existe una cantidad de seis árboles y en un rango de 58.37 pies tablares existe una cantidad de treinta y seis árboles (Figura 13).

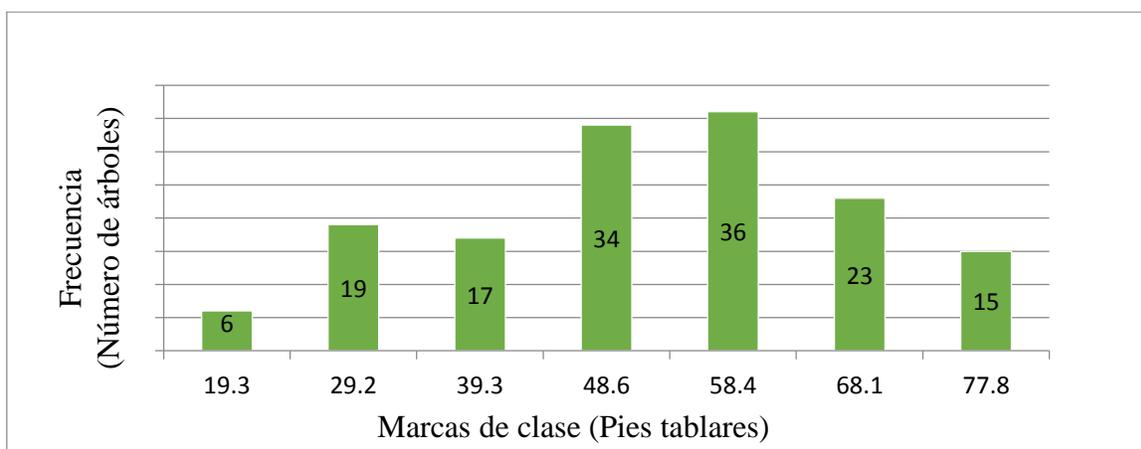


Figura 13. Volumen en pies tablares de pino (*Pinus oocarpa*) con respecto al número de árboles en Tres Valles

Según los resultados obtenidos del análisis para la densidad de cuatro muestras de pino (*Pinus oocarpa*) con una edad promedio de 31 años, proporcionando una densidad promedio de 0.99g/cm³ con un peso final promedio de 15.00 g (Tabla 3).

Tabla 3. Análisis de densidad para muestras de pino (*Pinus oocarpa*) en Tres Valles

Muestra	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso 4	Vol. Desplazado (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
A	16.97	12.93	8.93	6.93	10	0.69
B	29.5	22.45	18.45	16.45	11	1.50
C	37.42	30.61	24.61	22.61	21	1.08
D	26.17	19.99	15.99	13.99	20	0.70
Promedio						0.99

Datos obtenidos por Gutiérrez 2010, en un estudio con respecto a la variación de la densidad de *Pinus oocarpa* en el Estado de Chiapas, México, muestra valores de la densidad de 0.41 a 0.67 g/cm³ con un promedio de 0.56g/cm³ lo cual da lugar a clasificarla la madera como “pesada” de acuerdo con la clasificación de Markwar y Heckt; esto puede deberse a varias características como la adaptabilidad y genética de la especie y en su estudio concluye que: a medida aumenta la altitud y la pendiente disminuye la densidad de la madera de esta especie, esto nos permite decir que según los datos obtenidos en este estudio la altitud y pendiente no se presenta en mayor medida lo cual permite obtener una densidad mayor y clasificando la madera como pesada

Dentro de la parcela circular de muestreo se recolecto datos con la cantidad de 11 árboles obteniendo un diámetro de altura a la base promedio de 0.33 metros, utilizando una altura comercial promedio de 12 metros, de lo cual se tuvo un resultado de 6.45 toneladas de biomasa generada por 1,000 m² de pino teniendo en cuenta que en el proceso de chipeo se pierde de un 5 a 10% de biomasa (Tabla 4).

Tabla 4. Biomasa en toneladas generada por pino (*Pinus oocarpa*) con altura comercial de 12 metros promedio en Tres Valles

No	DAP (m)	Altura (m)	Altura Comercial (m)	Residuo (m)	Peso biomasa (Ton)
1	0.41	20	12	8	0.89
2	0.28	19	12	7	0.49
3	0.32	18	12	6	0.55
4	0.26	14	12	2	0.50
5	0.28	13	12	1	0.51
6	0.45	20	12	8	0.96
7	0.31	14	12	2	0.54
8	0.33	16	12	4	0.49
9	0.34	20	12	8	0.55
10	0.35	16	12	4	0.49
11	0.32	17	12	5	0.48
Total	3.65	187	132	55	6.45

Cantidad de biomasa producida por cada árbol intervenido dentro de la parcela de muestreo, donde se determina en un rango de 0.48 toneladas; siendo el árbol número 11 con menor cantidad de biomasa generada y un rango de 0.96 toneladas siendo el árbol número 6 con la mayor cantidad de biomasa producida (Figura 14)

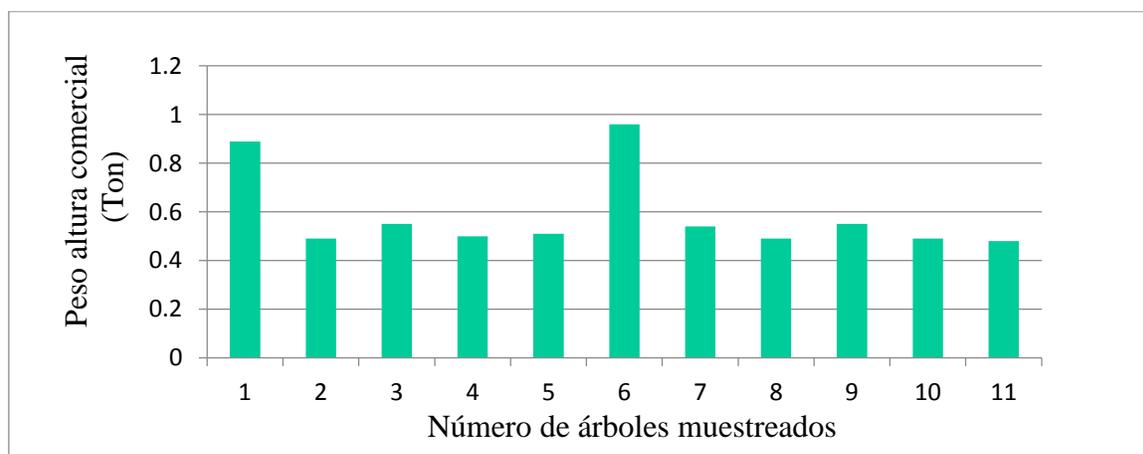


Figura 14. Biomasa generada por pino (*Pinus oocarpa*) en toneladas en Tres Valles

Teniendo en consideración que en una parcela de 1,000 m² se obtuvo 6.45 toneladas de biomasa de pino; tenemos que en una hectárea se produciría aproximadamente 64.5 toneladas

lo cual permite estimar el área total del bosque de pino de la Compañía Azucarera Tres Valles que cuenta con 2.15 hectáreas con un aproximado de 138.67 toneladas de biomasa aprovechables para la generación de energía eléctrica.

El rendimiento y potencial energético del bagazo de caña en la empresa es mucho mayor al proporcionada por la biomasa de pino; esto es debido a la gran demanda de azúcar existente lo cual exige el aumento anual de siembra de caña, por ende se da una mayor disponibilidad del bagazo de caña para generar energía que se utiliza en el procesamiento de la azúcar. Sin embargo es una gran alternativa la utilización total del bagazo de la caña y complementarlo con biomasa de otros residuos madereros (Cuadro 1).

Cuadro 1. Comparación del potencial energético del bagazo de caña con respecto al potencial energético de la biomasa de pino en Tres Valles

	Unidad	Pino	Bagazo
Rendimiento	Ton/ha	64.5	112
Disponibilidad anual	Ton	138.67	185,000
Poder calorífico	kcal/kg	5,641.7	2,195
Generación de energía	kW/año	18,695,712	74,782,848
Disponibilidad de generación	kW/año	92.42	74,782,848

De acuerdo a los datos obtenidos con respecto al rendimiento; la biomasa de pino cuenta con 64.5 toneladas por hectárea y el bagazo con 112 toneladas por hectárea, lo cual permite de una disponibilidad anual de 138.67 toneladas para pino y 185,000 toneladas de bagazo de caña; brindando una generación energética de 18,695,712 kW para pino y 74,782,848 kW Para bagazo al año. Pero cabe mencionar que la disponibilidad anual del bosque de pino es de 92.45 kW por año (Tabla 7) aunque el bosque presenta un incremento anual, este no es lo suficiente para la demanda de energía en el ingenio azucarero y es por esta razón que se brinda una proyección con respecto a la disponibilidad que se tiene (Figura 15).

Aunque el bagazo tenga una mayor disponibilidad es importante mencionar que el poder calorífico es 2,195 kilocalorías por kilogramo siendo menor que el poder calorífico del pino con 5,641.7 kilocalorías por kilogramo (Anexo 7) esto permitiría una mayor combustión por parte del pino para generación de energía.

Para el aprovechamiento del bosque de pino (*Pinus oocarpa*) se tiene que cuenta con una biomasa de 138.67 toneladas para el año 2016, teniendo en consideración que el bosque tiene un incremento medio anual (IMA) de 7.5 m³/ha/año es equivalente a 0.016125 toneladas de biomasa. Esto nos permite realizar una proyección a futuro de la disponibilidad anual de biomasa sin afectar en su totalidad el bosque, presentando varios escenarios tomando en cuenta la mezcla que se realiza en la empresa para la generación de energía. Como se puede observar realizando una mezcla con un 10% de bagazo de caña y un 90% de pino el bosque no se aprovecharía de manera sostenible en cambio si hacemos una mezcla de un 99% de bagazo de caña y un 1% de pino tendríamos un rendimiento de biomasa para más de 40 años siendo este uso de manera racional y sostenible (Figura 15).

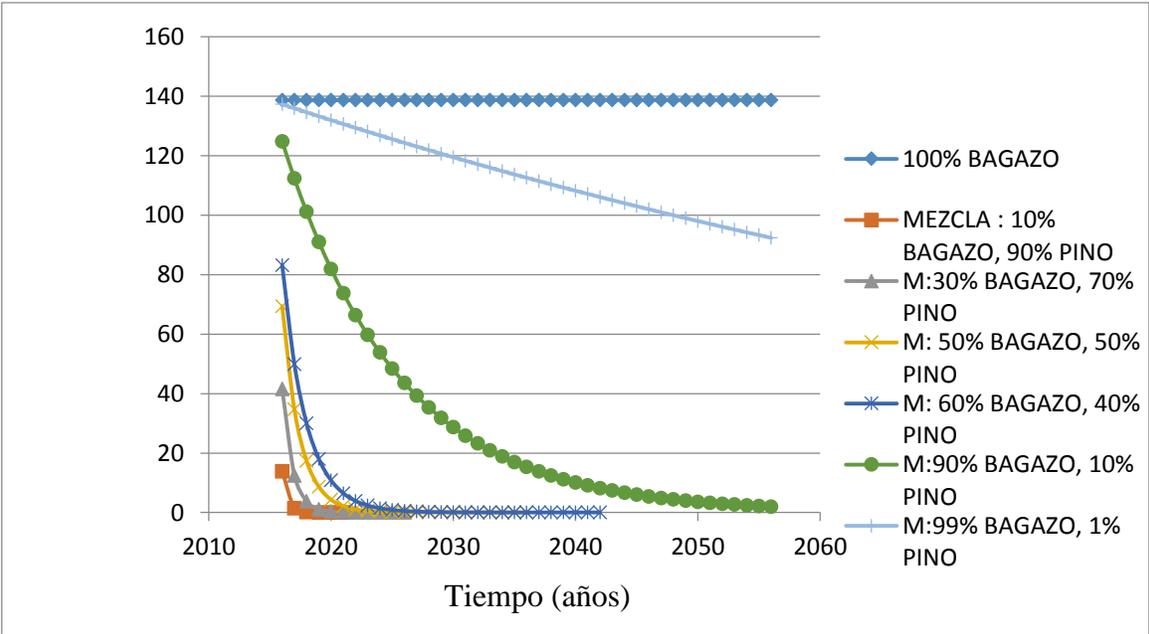


Figura 15. Proyecciones del crecimiento y aprovechamiento para pino (*Pinus oocarpa*) en Tres Valles

Para el 2016 se tiene la disponibilidad total del bosque de pino pero dando utilización en diferentes proporciones como se puede observar en la proyección realizado una mezcla de 1% de pino, 99% de bagazo de caña anualmente se tiene una disponibilidad de biomasa mayor a cuarenta años, una mezcla de 50% pino, 50% bagazo se cuenta con una disponibilidad para cinco años y en caso que se utilizara un 90% pino, 10% bagazo en cuatro años acabaríamos con el bosque de pino en su totalidad.

Proyecciones del aprovechamiento del bosque de pino (*Pinus oocarpa*)

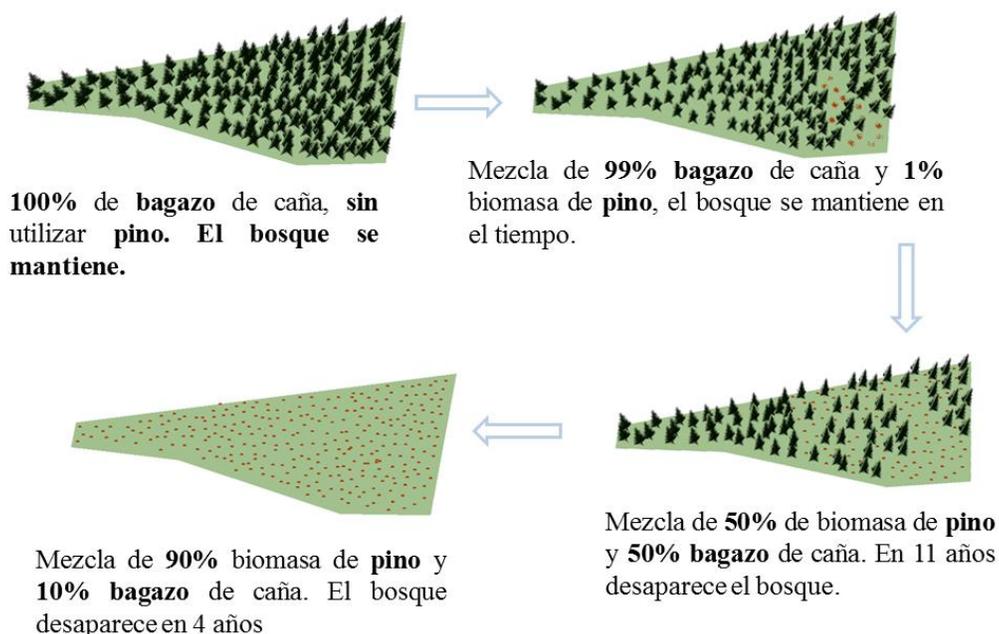


Figura 16. Proyección del aprovechamiento del bosque de pino con la utilización de diferentes porcentajes dentro de la mezcla con bagazo de caña en Tres Valles

Para determinar el rendimiento de la biomasa de pino (*Pinus oocarpa*) se tiene un muestreo de tres árboles con sus respectivas medidas de diámetros con un volumen promedio de 0.75 m³, peso promedio de: 0.67 toneladas de madera en rollo y 0.33 toneladas de broza con un 53.27% de humedad lo cual fue procesada dando como resultado 0.59 toneladas chip de madera en rollo y 0.27 toneladas de chip de broza, teniendo en cuenta que en el proceso de chipeo se da una pérdida de 5 a 10% del producto (Tabla 5).

Tabla 5. Árboles muestreados para proceso de chipeo y rendimiento de pino (*Pinus oocarpa*) en Tres Valles

No.	D ₁ (cm)	D ₂ (cm)	H (m)	Vol.	Broza	Edad	P. Rollo (Ton)	% Humedad	P. Broza (Ton)	Rollo chip (Ton)	Broza chip (Ton)
1	0.40	0.24	12	1.03	8.40	35	0.93	51.25	0.51	0.83	0.40
2	0.33	0.17	12	0.65	7.00	35	0.54	43.87	0.23	0.48	0.17
3	0.31	0.16	12	0.57	5.15	24	0.53	64.68	0.24	0.46	0.24
Prom.	0.35	0.19	12	0.75	6.85	31.33	0.67	53.27	0.33	0.59	0.27

El procesamiento de biomasa de pino (*Pinus oocarpa*) para la generación de energía tiene un alto costo como podemos observar en la siguiente tabla, solo para obtener biomasa de un árbol se consume un total de 824.64 lempiras. Claramente podemos observar que el mayor gasto es el transporte de la madera desde el bosque al plantel de biomasa de la Compañía Azucarera, siendo de tal manera si se cuenta con un medio de transporte más factible y con mayor capacidad de carga disminuye este costo resultando de manera más rentable a la empresa (Tabla 6).

Tabla 6. Descripción del costo que se realiza al procesar un árbol con altura comercial para obtener biomasa de pino (*Pinus oocarpa*) en Tres Valles

Descripción	Unidad de medida	Cantidad	Precio Unitario (L)	Total(L)
Descarga en plantel de biomasa con cargadora frontal	Minutos	0	9.80	-
Combustible chipeadora	Galones	0.66	56.04	36.99
Traslado de madera	Km	40	17.50	700.00
Personal operación chipeadora (4 personas)	hora	0.33	25.57	33.75
Depreciación estimada	Ton.	5.39	10.00	53.90
Total				824.64

Según los resultados obtenidos en este estudio nos permite describir el potencial energético con el que cuenta el bosque de pino (*Pinus oocarpa*), de una tonelada de biomasa nos genera 0.66 kW- de energía eléctrica y la empresa cuenta con 138.67 toneladas en las 2.15 ha de bosque; por lo tanto se estima que 92.45 kW Nos produciría el aprovechamiento total de área (Tabla 6).

Cuadro 2. Potencial energético del pino (*Pinus oocarpa*) en Compañía Azucarera Tres Valles

Descripción	Cantidad	Unidad
Valor de chipeo de 1 m ³	334.89	L
1 m ³	0.27	Ton
Generación de 1 Ton.	0.66	kW
Costo de 1 Ton. De chip	700	L
Biomasa estimada en 2.15 Has.	138.67	Ton
Generación de energía esperada	92.45	kW
Generación según poder calorífico	6.56	kW.h
Precio por 1 kW.h	3.74	L
Precio por energía esperada	345.76	L

VII. CONCLUSIONES

- a. La biomasa proporcionada por el bosque de pino (*Pinus oocarpa*) por sí sola no cubre la demanda energética en la empresa Tres Valle, considerándose únicamente como un componente de la mezcla junto con el bagazo de caña, si no se aumenta el área boscosa

- b. Aunque el pino tiene un mayor poder calorífico, el potencial energético del bagazo de caña en la azucarera Tres Valles es mayor, debido al volumen de caña manejado por la empresa

- c. El uso adecuado de mezclas de bagazo de caña con biomasa de pino es una buena alternativa para mejorar los rendimientos, contribuir en el aspecto energético de la empresa y evitar la deforestación del bosque

VIII. RECOMENDACIONES

- a. A la Compañía Azucarera Tres Valles se le recomienda mantener la alternativa de mezclas del bagazo de caña con biomasa de pino para la generación de energía
- b. Es recomendable no hacer la utilización de la mezcla de 80% bagazo de caña y 20% biomasa de pino como alternativa para generar energía, considerando que el bosque de pino no cumple con la demanda energética de la empresa
- c. Tomar en cuenta la disponibilidad anual del pino, siendo la mezcla de 99% bagazo de caña y 1% de biomasa de pino la más adecuada para cumplir con los requerimientos energéticos de la empresa y tener una sostenibilidad en el bosque de pino
- d. Aumentar el área boscosa y brindar un manejo silvicultural adecuado al área de bosque de pino, propiciando la regeneración natural y el establecimiento de plantaciones de pino

IX. BIBLIOGRAFÍA

Aguilar Medina, JD. 2010. Determinación del carbono acumulado y volumen de la biomasa arbórea en sistemas agroforestales y silvopastoriles en Cuyamel, Olancho, Honduras Tesis Lic. RR.NN. Universidad Nacional de Agricultura. Catacamas, Honduras. C.A. 67 pág.

Anexo 7: Análisis físico-químico de la biomasa utilizada. Consultado el 18 de abril de 2016. Disponible en: https://www.uclm.es/area/ing_rural/Proyectos/JavierRomero/Anexo7.pdf

Barbut Monique Fondo para el medio ambiente mundial 36 pág.

Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forest. Department of Natural Resources and Environmental Sciences. University of Illinois, Urbana, Illinois, USA.

Contreras A. M., Rosa E., Pérez M., Van Langenhove H., Dewulf J. (2009). Comparative Life Cycle Assessment of four alternatives for using by-products of cane sugar production. Journal of Cleaner Production. 17: 772 – 779 pág.

Dalaney, M; Brow, S; Lugo, A; Torres, L; Quintero, N. 1997. The distribution of organic carbon in major components of forest located in five zones of Venezuela. Journal Tropical Ecology 13:697 – 708 pág.

Energizar. 2015. Certificación en energías renovables. Consultado el 13 de septiembre de 2015. Disponible en: www.energizar.or.ar/energizar_desarrollo_tecnologico_biomasa.html

Ferreira R., O. 1990. Manual de inventarios forestales. Elaboración de tablas de volumen. Siguatepeque Honduras. ESNACIFOR (Escuela Nacional de Ciencias Forestales). 99 pág.

Gutiérrez, Benito. 2010. Variación de la densidad de la madera en poblaciones naturales de *Pinus oocarpa* del Estado de Chiapas, México. 78 pág.

Garcés Paz Rosa Virginia y Martínez Silva Sandra Vivian, Estudio del poder calorífico del bagazo de caña de azúcar en la industria azucarera de la zona de Risarald, Colombia. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación (FAO). 2008 Bosques y energía Cuestiones clave, Roma.86 pág.

IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático). 2007. Resumen Técnico. *In* Cambio Climático 2007: Mitigación. Contribución del Grupo de Trabajo III al Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático. B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, L. A. Meyer (eds), Cambridge University Press, Cambridge, UK y NY. 52 pág.

Masera, O. 1995. Desforestación y degradación forestal en México. Documento de trabajo 19.Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada, A.C. Pátzcuaro, Michoacán, México. 50 pág.

Masera, O; Cerón, A; Ordóñez, A. 2001. Forestry mitigation options for Mexico: Finding synergies between national sustainable development priorities and global concerns. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. MX (6): 291-312 pág.

Morrissey, A; Justus, J. 1998. Global Climate Change. Committee for The National Institute for the Environment, Washington D. C.

Montesinos JL. 1995. Pino (*Pinus oocarpa* Schiede). Afiche, Revista Forestal Centroamericana No. 12, CATIE, Turrialba, Costa Rica.

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

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 pág.

Sagastume Chacón, H. N. 2012. Dinámica económica de la industria azucarera centroamericana: el caso de Guatemala, Honduras, El Salvador y Nicaragua. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería en Administración de Agronegocios, Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano, Honduras. 31pág.

Vallejo, A; Rodríguez, P; Martínez, C; Hernández, P; de Jong, B. 2007. Guía para el diseño de proyectos MDL forestal y de bioenergía. CATIE, Turrialba, CR. 253 pág.

Vidal, A; Benítez, JY; Rodríguez, J; Carlos R; Gra, H. 2001. Estimación de la biomasa de copa para árboles en pie de *Pinus caribaea* var *caribaea* en la EFI. La Palma de la provincia de Pinar del Río, Cuba. Quebracho 11. 60-66 pág.

Wei Y., Lu J. J., Sun W. D. (2004). New developments in sugar-based products and cane by-products utilization in China. Sugarcane Technology. 6(4): 281 – 284 pág.

ANEXOS

Anexo 2. Formato Análisis densidad de muestras biomasa de pino (*Pinus oocarpa*)

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. Identificación de gorgojo descortezador (*Dendroctonus frontalis*)



b. Gorgojo descortezador
(*Dendroctonus frontalis*)



a. Identificación corteza afectada
por gorgojo



d. Gorgojo atrapado en resina



c. área de pino afectada en
etapa 3

Anexo 4. Instrumentos y medición de parcela y árboles.



b. Cinta métrica utilizada para medición de parcela circular.

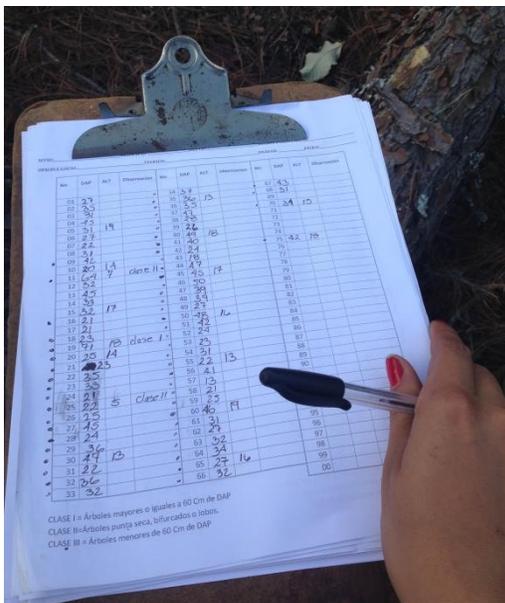


a. Forcípula utilizada para medición de DAB y DAP en pino.



c. Medición de altura comercial y altura total en pino.

Anexo 5. Toma de datos a nivel de campo y chipeco de pino



b. Corte de pino para someter a chipeco según capacidad de máquina.



a. Toma de datos en bosque de pino.



c. Toma de datos y chipeco de pino en plantel de biomasa.

Anexo 6. Muestras de pino y análisis de densidad en el laboratorio de la Compañía Azucarera Tres Valles



a. Muestras de pino para análisis de densidad.



b. Peso de muestras de pino para análisis de densidad.



d. Muestras de pino sometidas en horno a 100 °C.



c. Muestras de pino sumergidas en 500 ml de agua.

Anexo 7. Resultado de análisis poder calorífico o energía total para pino (*Pinus oocarpa*)



Agroindustria Alimentaria
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS



Informe de ensayos

LAAZ Reporte 20160212 Suany Mariceli
Valladares Rodas.docx
Emitido por: Ing. Luis Asencio

Reporte N° 20160212

Fecha de emisión: 01 de Marzo del 2016

Atención a Suany Mariceli Valladares Rodas
Empresa Compañía Azucarera Tres Valles
Dirección San Juan de Flores, Francisco Morazán,
Honduras.
Número telefónico (504) 3242 9986

Fecha de recepción 17 de Febrero del 2016
Ensayos solicitados Energía Total (Calorimetría)
Finalización de ensayos 01 de Marzo del 2016

Descripción de muestras recibidas

Resumen de Muestras Analizadas			
LAA*	Identificación	Análisis	Resultados en Página
20160212 - I	Pino	Energía Total (Calorimetría)	2

*LAA: Laboratorio de Análisis de Alimentos

NOTA ACLARATORIA: Los resultados de este reporte corresponden únicamente a la muestra evaluada en el laboratorio y su representatividad depende del muestreo realizado por el cliente.

Analistas responsables

Lic. Mirna Fuentes

Autorizado por:
Juan A. Ruano D. Sc.

Fecha de emisión
2016-03-01

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

Página 1 de 2



Agroindustria Alimentaria
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS



Informe de ensayos

LAAZ Reporte 20160212 Suany Mariceli
Valladares Rodas.docx
Emitido por: Ing. Luis Asencio

Resultados

I. 20160212 - I: Pino - Energía Total (Calorimetría)

Código de la muestra	Análisis	Unidades	Concentración ¹	Límite de cuantificación	Método de Referencia
20160212	Energía Total ²	Kcal/100g	564.17	-	ParrModelo 1241EB

¹Concentración promedio

²Valores en base seca

ULTIMA LINEA