



FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL

T E S I S

**“RENDIMIENTO POTENCIAL DE MADERA TOSTADA Y CARBÓN
DE PLANTACIONES DE *Cedrelinga cateniformis* DE
DIFERENTES EDADES EN PUERTO ALMENDRA, IQUITOS-
PERÚ, 2021”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO FORESTAL

PRESENTADO POR:

RAUL ANGEL PINTO-CATALAO RUIZ

ASESOR:

Ing. ABRAHAN CABUDIVO MOENA, Dr.

IQUITOS, PERÚ

2022



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 082-CTG-FCF-UNAP-2022

En Iquitos, en la sala de conferencias de la Facultad de Ciencias Forestales, a los 28 días del mes de diciembre del 2022, a horas 08:00 am., se dio inicio a la sustentación pública de la tesis titulada: **“RENDIMIENTO POTENCIAL DE MADERA TOSTADA Y CARBON DE PLANTACIONES DE *Cedrelinga cateniformis* DE DIFERENTES EDADES EN PUERTO ALMENDRA, IQUITOS-PERÚ, 2021”**, aprobada con R.D. N° 0169-2021-FCF-UNAP presentado por el bachiller RAÚL ANGEL PINTO-CATALAO RUIZ, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Forestal, que otorga la Universidad de acuerdo a Ley y Estatuto.

El Jurado calificador y dictaminador designado mediante R.D. N° 0359-2021-FCF-UNAP, está integrado por:

- | | |
|--|--------------|
| Ing. Ronald Manuel Panduro Tejada, Dr. | : Presidente |
| Ing. Segundo Córdova Horna, Dr. | : Miembro |
| Ing. Jarlin Arellano Valderrama, M.Sc. | : Miembro |
| Ing. Abrahan Cabudivo Moena, Dr. | : Asesor |

Luego de haber escuchado con atención y formulado las preguntas necesarias, las cuales fueron respondidas: **SATISFACTORIAMENTE**

El jurado después de las deliberaciones correspondientes, llegó a las siguientes conclusiones:

La sustentación pública y la tesis han sido: **APROBADO** con la calificación **BUENO**

Estando el bachiller apto para obtener el Título Profesional de Ingeniero Forestal.

Siendo las **9:30a** Se dio por terminado el acto **ACADEMICO**


Ing. SEGUNDO CÓRDOVA HORNA, Dr.
Miembro


Ing. RONALD MANUEL PANDURO TEJADA, Dr.
Presidente


Ing. JARLIN ARELLANO VALDERRAMA, M.Sc.
Miembro


Ing. ABRAHAN CABUDIVO MOENA, Dr.
Asesor

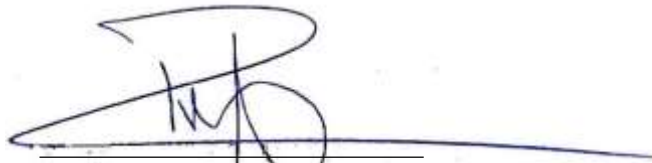
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONIA PERUANA
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL

TESIS

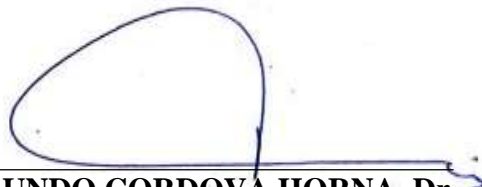
“RENDIMIENTO POTENCIAL DE MADERA TOSTADA Y CARBÓN DE
PLANTACIONES DE *Cedrelinga cateniformis* DE DIFERENTES
EJEMPLARES EN PUERTO ALMENDRA, IQUITOS-PERU, 2021”

Aprobado el día 28 de Diciembre del 2022, según acta de sustentación N° 082

MIEMBROS DE JURADO Y ASESOR



Ing. Ronald Manuel Panduro Tejada, Dr.
Registro CIP N° 35493
Presidente



Ing. SEGUNDO CORDOVA HORNA, Dr.
Registro CIP N° 65032
Miembro



Ing. JARLIN ARELLANO VALDERRAMA, M. Sc.
Registro CIP N° 45894
Miembro



Ing. ABRAHAN CABUDIVO MOENA, Dr.
Registro CIP N° 172011
Asesor

Nombre del usuario:
Universidad Nacional de la Amazonia Peruana

ID de Comprobación:
56544678

Fecha de comprobación:
22.11.2021 10:51:04 -05

Tipo de comprobación:
Doc vs Internet

Fecha del Informe:
22.11.2021 11:26:33 -05

ID de Usuario:
Ocultado por Ajustes de Privacidad

Nombre de archivo: **TESIS RESUMEN RAUL ANGEL PINTO CATALAO**

Recuento de páginas: **23** Recuento de palabras: **4354** Recuento de caracteres: **26929** Tamaño de archivo: **200.90 KB** ID de archivo: **67469423**

10.2% de Coincidencias

La coincidencia más alta: **2.8%** con la fuente de Internet (<http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3853/Gu..>)

10.2% Fuentes de Internet

125

..... Página 25

No se llevó a cabo la búsqueda en la Biblioteca

23.2% de Citas

Citas

19

..... Página 26

No se han encontrado referencias

0% de Exclusiones

No hay exclusiones

DEDICATORIA

A mis queridos padres Alberto Pinto-Catalao e Isabel Ruiz, quienes fueron un apoyo material y emocional.

A mis hermanos Alberto, Irma Y Jorge por su cariño y consideración.

A todas las personas que me apoyaron para concluir el presente trabajo, y en especial a mi mujer Lesca Malú por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

Agradecer de manera especial y sincera al Ingeniero Abrahan Cabudivo Moena, docente principal de la Facultad de Ciencias Forestales-UNAP, por su capacidad de guiarme, ayudarme a ejecutar y hacer realidad mis ideas mediante tu asesoría.

A todas las personas que de una u otra manera contribuyeron para la ejecución del presente trabajo de tesis.

NDICE GENERAL

| | |
|--|-----|
| PORTADA..... | i |
| ACTA DE SUSTENTACIÓN... .. | ii |
| JURADOS Y ASESOR | iii |
| RESULTADO DEL INFORME DE SIMILITUD..... | iv |
| DEDICATORIA..... | v |
| AGRADECIMIENTO..... | vi |
| ÍNDICE GENERAL..... | vii |
| ÍNDICE DE CUADROS | ix |
| ÍNDICE DE FIGURAS | x |
| RESUMEN | xi |
| ABSTRACT..... | xii |
| INTRODUCCION..... | 1 |
| CAPITULO I: MARCO TEORICO..... | 3 |
| 1.1. ANTECEDENTES..... | 3 |
| 1.2. BASES TEORICAS | 5 |
| 1.3. DEFINICION DE TERMINOS BASICOS | 6 |
| CAPITULO II: HIPOTESIS Y VARIABLES | 8 |
| 2.1. FORMULACION DE LA HIPOTESIS..... | 8 |
| 2.2. VARIABLES Y SU OPERACIONALES..... | 8 |
| CAPITULO III: METODOLOGIA..... | 10 |
| 3.1. TIPO Y DISEÑO | 10 |
| 3.2. DISEÑO MUESTRAL | 10 |
| 3.3. PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCION DE DATOS..... | 10 |

| | | |
|------|--|----|
| 3.4. | PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS..... | 12 |
| | CAPITULO IV: RESULTADOS..... | 14 |
| 4.1 | RENDIMIENTO POTENCIAL EN MADERA TOSTADA DE PLANTACIONES CEDRELINGA CATENIFORMIS | 14 |
| 4.2 | RENDIMIENTO POTENCIAL DE CARBÓN DE PLANTACIONES DE <i>CEDRELINGA CATENIFORMIS</i> | 16 |
| | CAPITULO V : DISCUSION | 20 |
| | CAPITULO VI: CONCLUSIONES | 22 |
| | CAPITULO VII: RECOMENDACIONES | 23 |
| | CAPITULO VIII: FUENTES DE INFORMACION | 24 |
| | ANEXO..... | 28 |
| 1. | MAPA DE UBICACIÓN DE LAS PLANTACIONES EN EL CIEFOR PUERTO ALMENDRA..... | 29 |

ÍNDICE DE CUADROS

| Nº | Título | Pág. |
|----|---|------|
| 1 | Análisis de correlación de las plantaciones de <i>Cedrelinga cataniformis</i> | 13 |
| 2 | Rendimiento potencial de madera tostada de <i>Cedrelinga cateniformis</i> | 15 |
| 3 | Análisis de varianza del potencial de rendimiento de madera tostada | 15 |
| 4 | Prueba de Tukey-Potencial de rendimiento de madera tostada | 16 |
| 5 | Rendimiento potencial del carbón de <i>Cedrelinga cateniformis</i> | 17 |
| 6 | Análisis de varianza del potencial de carbón <i>Cedrelinga cateniformis</i> | 18 |
| 7 | Prueba estadística de Tukey-Potencial de rendimiento de carbón | 19 |
| 8 | Correlación del rendimiento potencial con las variables propuestas | 19 |
| 9 | Rendimiento potencial del tornillo 14 años plantación 63 | 30 |
| 10 | Rendimiento potencial del tornillo 25 años plantación 05 | 31 |
| 11 | Rendimiento potencial del tornillo 41 años plantación 16 | 31 |
| 12 | Rendimiento potencial del tornillo 51 años plantación 29 | 32 |
| 13 | Toma de datos de la Plantación de tornillo N° 63 – 14 años | 33 |
| 14 | Toma de datos de la Plantación de tornillo N° 05 – 25 años | 34 |
| 15 | Toma de datos de la Plantación de tornillo N° 17 – 31 años | 34 |
| 16 | Toma de datos de la Plantación de tornillo N° 16 – 41 años | 35 |
| 17 | Toma de datos de la Plantación de tornillo N° 33 – 42 años | 35 |
| 18 | Toma de datos de la Plantación de tornillo N° 29 – 51 años | 36 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| Nº | Título | Pág. |
|----|---|------|
| 1 | Rendimiento potencial en madera tostada de <i>Cedrelinga cateniformis</i> | 15 |
| 2 | Rendimiento potencial en carbón de <i>Cedrelinga cateniformis</i> | 18 |
| 3 | Mapa de ubicación de las plantaciones en el CIEFOR Puerto Almendra | 29 |

RESUMEN

La presente investigación determinó el rendimiento potencial de madera tostada y carbón en plantaciones de 14 años, 25 años, 41 años y 51 años de *Cedrelinga cateniformis* en Puerto Almendra. Para obtener las muestras se realizó un censo de las plantaciones de diferentes edades y se seleccionó a las plantaciones preferentemente por los intervalos de edades y con fórmulas alométricas se determinó la biomasa arbórea, se ha utilizado los resultados validados de laboratorio para calcular los rendimientos por Kg/árbol. Los resultados obtenidos muestran que el mayor rendimiento potencial en madera tostada y carbón se ha determinado en la plantación de 51 años con 1259,93 Kg/árbol y 686,80 Kg/árbol respectivamente; seguido de la plantación de 41 años con 909,2 Kg/árbol y 495,63 Kg /árbol. De acuerdo al análisis estadístico comparando el rendimiento promedio con la Prueba de Tukey es significativo con una $(p)=0,005$. Además, la correlación de la densidad básica de la madera comparando con la clase diamétrica, biomasa aérea, madera tostada y carbón es significativo.

Palabras claves: Plantaciones energéticas, potencial termoquímico, biomasa, combustible renovable

ABSTRACT

The present investigation determined the potential yield of toasted wood and charcoal in 14-year-old, 25-year-old, 41-year-old and 51-year-old plantations of *Cedrelinga cateniformis* in Puerto Almendra. To obtain the samples, a census of the plantations of different ages was carried out and the plantations were selected preferably by age intervals and with allometric formula the tree biomass was determined, the validated laboratory results have been used to calculate the yields per Kg /tree. The results obtained show that the highest potential yield in toasted wood and charcoal has been determined in the 51-year-old plantation with 1259.93 Kg/tree and 686.80 Kg/tree respectively; followed by the 41-year plantation with 909.2 kg/tree and 495.63 kg/tree. According to the statistical analysis, comparing the average performance with the Tukey Test, it is significant with $(p)=0.005$. In addition, the correlation of the basic density of the wood compared with the diameter class, aboveground biomass, toasted wood and coal is significant.

Keywords: Energy plantations, thermochemical potential, biomass, renewable fuel.

INTRODUCCION

La región requiere conocer las potencialidades energéticas que ofrece el recurso forestal, con el fin de determinar su incidencia en el consumo energético, con el tiempo podría crecer para aguantar el crecimiento económico y optimizar las condiciones de desarrollo de la población.

Así mismo, es necesario para cimentar el conocimiento científico apoyado en una base de información, que permita una adecuada adopción y adaptación de nuevas fuentes energéticas apropiadas a nuestra región amazónica.

El desarrollo del presente trabajo, se determinó el tipo de madera y la edad de plantación con mejor rendimiento potencial para obtener madera tostada y carbón, que sirva para el conocimiento de los estudiantes y como una alternativa energética en plantaciones de *Cedrelinga cateniformis* de 14 años, 25 años, 41 años y 51 años del Centro de Investigación y Enseñanza Forestal en Puerto Almendra; se utilizó una metodología poco utilizada en el país, realizando inventario de los árboles de las plantaciones y con datos preestablecidos se cuantifica el rendimiento potencial.

Además, es importante y útil investigar, porque, existe escaso conocimiento en la potencialidad del rendimiento de la madera tostada y carbón en plantaciones y sea considerado como una muestra de cómo se debe hacer plantaciones para usarlo como “bosque energético”. Este tema debería ser una prioridad para

región y el país, con la información que se tuviera, se podría iniciar la gestión para implementar un tipo de plantación que no solo produciría madera para aserrío, también, que se podría multiplicar en la región proponiendo iniciar plantaciones energéticas.

El enfoque planteado fue la no destructiva, es decir, para el muestreo fue la de conservación sin derribar un árbol, utilizando metodología descriptiva y correlacional, teniendo como población a todas las plantaciones de *Cedrelinga cateniformis* y como muestra a las plantaciones que tiene 14 años, 25 años 41 años y 51 años de instalado.

CAPITULO I: MARCO TEORICO

1.1. Antecedentes

En el año 2017 en el “Arboretum el Huayo”, trabajando con especies forestales ha determinado el mayor rendimiento potencial en madera tostada y carbón en *E. grandifolia* “machimango” con 2011,3 kg/árbol y 1070,4 kg/árbol respectivamente; y el mayor rendimiento potencial por hectárea de la madera tostada y carbón en *E. grandifolia* “machimango” con 54304,0 kg/ha y 28900,5 kg/ha respectivamente. Estadísticamente existe diferencia significativa (Chujutalli, 2017, p. 41)

Por otra parte, Ruiz, (2017, p. 44) evaluó las características de la madera tostada y carbón de plantaciones *Vochysia lomatophyla* “quillosa” de 17 años, 25 años y 36 años en Puerto Almendra, indica que el mayor rendimiento en madera tostada y carbon fue en la plantación de 36 años con 75,14 y 34,46% respectivamente.

Además, Donayre (2015, p.44) concluye que en las plantaciones instaladas en la zona de Puerto Almendra ha calculado el rendimiento energético en madera tostada y carbón, que el mayor rendimiento en madera tostada fue en *M. limbatum* con 75,76%. Por su parte Garay, (2016, p. 48) concluye el mayor rendimiento del carbón lo presenta *Dipteryx micrantha* Harms con el 73,06%, 70,00% y 67,13% a una temperatura de 300°C, 350°C y 400°C respectivamente.

Martínez, (2009, pp. 50-51) realiza un análisis multicriterio del aprovechamiento de la biomasa forestal; que los principales obstáculos para implementar tecnologías de aprovechamiento energético son la incierta y limitada rentabilidad económica.

El sector forestal es débil. Es necesario elevar el conocimiento sobre las técnicas y maquinarias para la extracción de la biomasa para su aprovechamiento energético y responder a una estrategia energética, ambiental y social.

De Lucas, *et al.* (2012, p. 18) indican que el uso de la biomasa con fines energéticos posee muchas ventajas, como ambientales, reducción del CO₂ respecto a otros combustibles de procedencia fósil; la implantación de plantaciones energéticas en tierras abandonadas. La biomasa en general proporciona una ruta de bajo costo y bajo riesgo para reducir las emisiones de CO₂. Cuando se necesitan grandes volúmenes, la torrefacción puede hacer que el precio de la biomasa de fuentes distantes sea competitivo porque el material más denso es más fácil de almacenar y transportar. (<https://es.wikipedia.org/wiki/Torrefacci%C3%B3n>)

Los porcentajes de pérdida de biomasa en la torrefacción encontrados en el estudio entre 10% y 50% son aceptables ya que para asegurar la economía del proceso la biomasa no debe perder más del 50% de masa. el cual reportó que a torrefacciones menores a 250°C se presentaron pérdida de masa menores al 50%, mientras que para la torrefacción mayor a esta temperatura se perdió más del 50% concluyendo que esas torrefacciones son inapropiadas. La misma situación se presentó en torrefacciones de biomasa en otras especies como *Ficus benjamina*, donde a torrefacciones superiores a los 250°C se pierde un porcentaje de más del 50% de masa; esto está relacionado a las características propias de cada especie y presenta diferentes volatilizaciones con la temperatura. Cada una de las biomásas presenta pérdidas que están relacionadas (Moya *et al.*, 2017, p. 50); y cada especie

tiene una composición química y estructural única, obteniendo un comportamiento único en cada una de ellas. (Moya, *et al.* 2017, p. 49)

1.2. Bases teóricas

Combustibles sólidos de la madera

La energía que se acumula en la biomasa tiene su origen en el sol: mediante la fotosíntesis, las plantas absorben energía luminosa, H₂O del suelo y CO₂ atmosférico, almacenando en ellas sustancias orgánicas y liberando oxígeno. (Jara, 2009, p. 24)

El conocer la potencialidad como fuente combustible sólido es un prerrequisito indispensable para el análisis económico de proyectos que desarrollan la conversión del bosque para la producción de energía (Martins, 1980, pp. 9 y10).

Termoquímica y transformación de madera en combustibles sólidos

Para la transformación de la madera tostada se utiliza el método termoquímico, para mejorar las propiedades de la madera como combustible. Consiste en calentar lentamente a la biomasa en atmósfera inerte y a temperatura máxima de 280°C (Fonseca *et al.*, 1998 citado por Chujutalli 2017, p. 12). Se obtiene un producto sólido con bajo contenido de humedad y alto poder calorífico, que retienen aproximadamente el 70% del peso inicial y entre 80-90% del contenido de energía, comparado con la madera inicial (Arcate, 2000, p. 3). Es importante conocer con mayor detalle el proceso de “turrado de la madera”, es necesario tener en cuenta la teoría de la carbonización de la madera, (Rivera, 1987 citado por Garay 2016, p. 9).

Es posible que la madera tostada puede reemplazar al carbón vegetal, como combustible para cocinas de leña domésticas, y en briquetas para uso comercial y

doméstico (Bourgeois y Doat 1985; Girard y Shah 1991; Battacharya *et al.* 1995, citado por Ruiz, 2017, p.12).

Referente al comportamiento de la carbonización, Rivera (1987) citado por Ruiz, (2017, p. 12, 13) y Garay, 2016, p. 9) manifiestan durante el proceso de carbonización puede ser representado por la sumatoria de los comportamientos aislados de sus tres componentes principales: celulosa, hemicelulosa y lignina. Respecto a las características químicas, Cabudivo (1990, p. 9), menciona que los carbones se realizan dos tipos de análisis: mediato, cuando se hace las determinaciones de cada uno de los principales elementos químicos y en el análisis inmediato se hace de cada uno de los principales grupos de constituyentes como son: contenido de humedad, materias volátiles, cenizas y carbono fijo; los contratos y especificaciones para el mercado se fundamentan frecuentemente sobre éste último método de análisis.

1.3. Definición de términos básicos

Biomasa potencial total: resulta de considerar el beneficio de toda la superficie arbolada en la que se encuentran presentes especies de interés (Cabrera, *et al.* 2011, p. 22)

Biomasa potencial accesible: resultante de reducir el total considerando limitaciones de índole ecológica, económica o de mecanización (Cabrera, *et al.* 2011, p. 22)

Biomasa potencial disponible: resultante de reducir la accesibilidad teniendo en cuenta otros usos como madera. Esta reducción será dada mediante un coeficiente de aprovechamiento de madera denominado Coeficiente de Cortas Actuales. (Cabrera, *et al.* 2011, p. 22)

Carbón vegetal: es un material combustible sólido, frágil y poroso con un alto contenido en carbono (del orden del 98 %). (https://es.wikipedia.org/wiki/Carb%C3%B3n_vegetal#Otras_aplicaciones.

Visitado el 04-05-2021)

Potencial energético: Es la capacidad de generar energía y se encuentra en función de dos factores principalmente: el poder calorífico que contiene de biomasa y la cantidad de biomasa. (Roberts, *et al.* 2015, citado por Aguilar 2019, p. 28).

Termoquímica: Proceso que utiliza el calor en un horno cerrado sin oxígeno para romper los enlaces covalentes que está constituido las moléculas de la biomasa para obtener diversos subproductos energéticos como el carbón, gas, etc. (Doat, 1985 citado por Ruiz, 2017, p. 6).

Torrefacción: Consiste en el calentamiento lento de la biomasa en atmósfera inerte y a una temperatura máxima de 280 °C, se produce un producto sólido uniforme con bajo contenido de humedad y alto poder calorífico comparado con la madera inicial. (Fonseca, *et al.* 1998, citado por Ruiz, 2017, p. 11).

Torrefacción de biomasa: Es una forma leve de pirólisis a temperaturas típicamente entre 200 y 320 °C. Cambia las propiedades de la biomasa para proporcionar una mejor calidad de combustible para aplicaciones de combustión y gasificación. Produce un producto seco sin actividad biológica como la descomposición. <https://es.wikipedia.org/wiki/Torrefacci%C3%B3n>. Visitado el 04-05-2021.

CAPITULO II: HIPOTESIS Y VARIABLES

2.1. Formulación de la hipótesis

El mayor rendimiento potencial de madera tostada y carbón está dado por la madera de mayor edad en plantaciones de *Cedrelinga cateniformis* en Puerto Almendra, Iquitos-Perú, 2021.

2.2. Variables y su operacionales

Las variables identificadas para la presente investigación son las siguientes:

Independiente (X): Plantaciones de *Cedrelinga cateniformes* de diferentes edades

Dependiente (Y): Rendimiento potencial: madera tostada y carbón

Operacionalización de variables.

| Variable | Definición | Tipo por su naturaleza | indicador | Escala de medición | Medio de verificación |
|--|--|-------------------------------|--|---------------------------|--|
| A. Plantaciones de <i>Cedrelinga cateniformes</i> de diferentes edades ; | Constituido por árboles de diferentes tamaños plantados en diferentes años y áreas en suelos de terraza media | Cuantitativa | Población arbórea. Edad de las plantaciones Densidad básica de la madera | Nominal | Censo de la población arbórea de las plantaciones |
| B. Rendimiento potencial: madera tostada y carbón | Capacidad que tiene la biomasa de almacenar energía mediante un grupo de árboles en un ecosistema determinado. | Cuantitativa | Características: <ul style="list-style-type: none"> • Rendimiento madera tostada • Rendimiento de carbón | Nominal | Tabla de rendimiento potencial de madera tostada. Tabla de rendimiento potencial de carbón. |

CAPITULO III: METODOLOGIA

3.1. Tipo y diseño

La investigación es del tipo descriptivo y cuantitativo de nivel básico. El diseño consistió en inventariar al 100% de todos los individuos que componen las plantaciones de *Cedrelinga cateniformis* de 14 años, 25 años, 41 años y 51 años en Puerto Almendra.

3.2. Diseño muestral

La población estuvo conformada por todas las plantaciones de *Cedrelinga cateniformis* instaladas en el CIEFOR Puerto Almendra.

La muestra fue determinada en forma preferencial consistiendo por las plantaciones de 14 años, 25 años, 41 años y 51 años de instaladas.

3.3. Procedimientos de recolección de datos

3.3.1 Materiales de campo y gabinete

De campo

Libreta de campo, Jalones, Wincha, Botas, Machete, Bolsas de plástico, Rafia, Capota, Etiquetas plásticas, Chinchas, Cámara fotográfica, Clinómetro Suunto, GPS Garmin, Plumón indeleble

De Gabinete

Papel bond A4, Computadora, USB, Calculadora, Impresora, Cartuchos de tinta, Plumón indeleble

a) Fase de pre campo

En base al procedimiento preliminar antes de visita al campo, se ubicó a las plantaciones de *Cedrelinga cateniformis* con la información de publicaciones (Espíritu, *et al.* 2015, p.2 4)

b) Fase de campo

Se realizo censos en cada plantación por edades de 14 años, 25 años, 41 años y 51 años, teniendo en cuenta la densidad básica maderable. La técnica de recolección de datos para el censo, fue georreferenciar los árboles para lo cual se utilizaron formatos de toma de datos especialmente diseñados para el estudio, se registraron: número de árbol, DAP, se determinó la altura de todos los árboles mediante el Clinómetro Óptico SUUNTO la distancia en metros entre el operador y el árbol y se registró en la libreta de campo y algunas observaciones particulares de cada individuo existente en el área de estudio, se procedió a medir el diámetro a la altura del pecho (DAP), con forcípula de metal.

c) Fase de gabinete

Se recopiló los datos obtenidos en el campo y se ha calculado hasta tener toda la información que se necesitaba para cumplir los objetivos de la investigación.

3.4. Procesamiento y análisis de datos

3.4.1 Calculo de la altura total de árboles maderables

Con la información del campo se creó una de base de datos en Excel, para realizar los siguientes cálculos:

Altura total de los árboles, haciendo uso de la fórmula propuesta por el manual de usuario del clinómetro óptico Suunto.

$$H = (Lc10 \times d) + h_o$$

Dónde: H= Altura comercial del árbol (m); Lc = Lectura del clinómetro (%); d = Distancia entre el operador-árbol (m) y ho = Altura hasta el ojo del operador (m).

3.4.2 Calculo de la Biomasa leñosa aérea

Se utilizó la ecuación desarrollada por Chave *et al.* (2005, Citado por MINAM, 2015, p. 31 y Honorio y Baker, 2010, p. 36). Esta ecuación fue diseñada para estimar directamente la cantidad de biomasa aérea en bosques húmedos tropicales, para la cual se toma como parámetros el diámetro a la altura del pecho, densidad básica y altura total, bajo el modelo de $pD^2 H$. Dicha ecuación se ajusta para árboles con un diámetro a la altura del pecho de 5 cm como mínimo.

$$AGBest = p \times \exp (-2,977 + \ln (pD^2 H))$$

Donde:

AGBest = Biomasa aérea (Above Ground Biomass), Kg

p = Densidad básica de la madera en g/cm³

D = Diámetro a la altura del pecho, cm

H = Altura total, m

3.4.3 Rendimiento potencial de madera tostada y carbón

$$Rp\% = (P2/P1) \times 100$$

Dónde:

Rp% =Rendimiento potencial de madera tostada y carbón en porcentaje.

P1 =Peso de la biomasa aérea total, en Kg/árbol.

P2 =Peso de la madera tostada y/o carbón, en Kg/árbol*.

* El peso de la madera tostada y carbón determinado en laboratorio por (Rodríguez, 2003 y Taranco *et al.* 1991 citado por Chujutalli, 2017, p. 21).

3.4.4 Análisis de datos

Las comparaciones del potencial del rendimiento de madera tostada y carbon en las plantaciones de *Cedrelinga cateniformis* de diferentes edades en el CIEFOR Puerto Almendra, son analizadas mediante la aplicación del ANVA con nivel de significacion de 0,05. Además, se realizó la prueba estadística de Tukey al $\alpha= 0,05$ para comparar el nivel de significancia del rendimiento potencial por edades. Luego se realizó la correlación con los parámetros propuestos

Cuadro 1. Análisis de correlación de las plantaciones de *Cedrelinga cataniformis*

| Edad de las plantaciones | Densidad Básica | Clase diamétric | Biomasa aérea | Madera tostada | Carbón |
|--------------------------|-----------------|-----------------|---------------|----------------|--------|
| Edad 1=14 | | | | | |
| Edad 2=25 | | | | | |
| Edad 3=41 | | | | | |
| Edad 4=51 | | | | | |
| r (Pearson) | | | | | |
| $p(0.05)$ | | | | | |
| Significancia | | | | | |

CAPITULO IV: RESULTADOS

4.1 Rendimiento potencial en madera tostada de plantaciones *Cedrelinga cateniformis*

En el cuadro 2 y en la figura 1, se presentan los resultados de la población de individuos arbórea y el rendimiento potencial de la madera tostada de *Cedrelinga cateniformis* de cuatro plantaciones de 14 años, 25 años 41 años y 51 años en Puerto Almendra.

Los resultados indican que la mayor población encontrada fue en la plantación N°63 con 26 árboles de 14 años y la de menor población es en la plantación N° 5 con 10 árboles. Referente al rendimiento de madera tostada la plantación N° 29 de 51 años es la que tiene el mayor rendimiento con 1259,93 Kg/árbol, seguido de la parcela N° 16 de 41 años con 909,2 Kg/árbol, luego viene la parcela N° 5 de 25 años con 305,35 Kg/árbol y siendo de menor rendimiento la plantación N° 63 de 14 años con 116,59 Kg/árbol.

Realizando el análisis de varianza cuadro 3 se observa que $(p) = 0,0000$ indicando que es No significativo. Pero, en el cuadro 4 la Prueba estadística de Tukey comparando con los promedios de rendimientos de la madera tostada de la plantación de 14 años con 25 años y 41 años con 51 años son significativos.

Cuadro 2. Rendimiento potencial de madera tostada de *Cedrelinga cateniformis*

| N° Plantación | N° Arboles | Edad (años) | DAP (cm) | DB (g/cm ³) | Biomasa (kg/árbol) | M. Tostada (kg/árbol) | Total (kg) |
|---------------|------------|-------------|----------|-------------------------|--------------------|-----------------------|------------|
| 63 | 26 | 14 | 35,27 | 0,423 | 171,71 | 116,59 | 3031.34 |
| 5 | 10 | 25 | 41,10 | 0,469 | 466,89 | 305,35 | 3053.50 |
| 16 | 14 | 41 | 60,57 | 0,470 | 1390,26 | 909,23 | 12729.22 |
| 29 | 14 | 51 | 72,93 | 0,470 | 1926,49 | 1259,93 | 17639.02 |

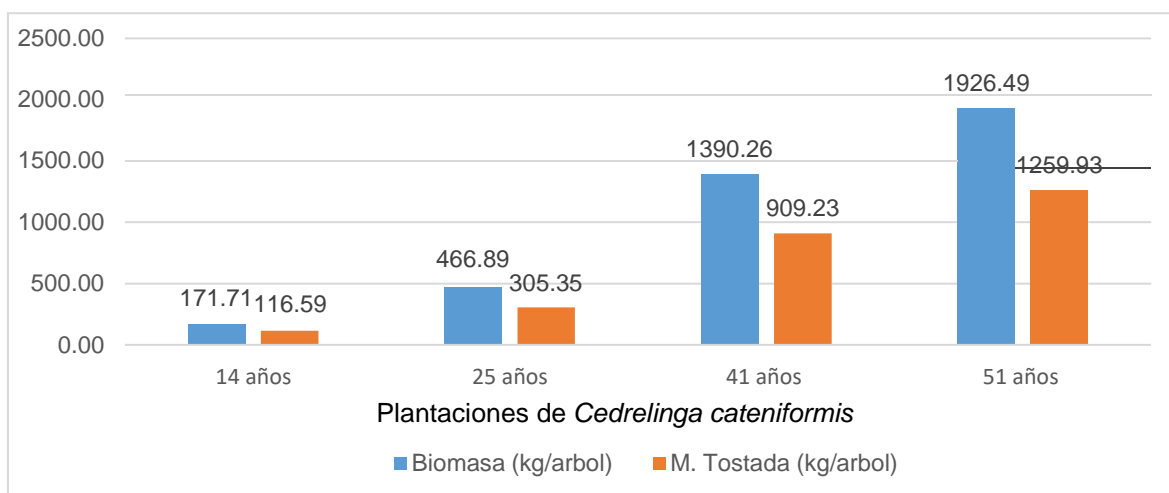


Figura 1. Rendimiento potencial en madera tostada de *Cedrelinga cateniformis*

Cuadro 3. Análisis de varianza del potencial de rendimiento de madera tostada

| FUENTES DE VARIACIÓN | GL | SQ | QM | F | (p) |
|----------------------|----|-------------|-------------|---------|------|
| Tratamientos | 3 | 143,20 e+05 | 477,35 e+04 | 31,2723 | 0,00 |
| Error | 60 | 915,86 e+04 | 152,64 e+03 | | |
| Media (Columna 1) = | | 116,5938 | | | |
| Media (Columna 2) = | | 305,3490 | | | |
| Media (Columna 3) = | | 909,2300 | | | |
| Media (Columna 4) = | | 1259,9271 | | | |

Cuadro 4. Prueba de Tukey-Potencial de rendimiento de madera tostada

| Tukey: | Diferencia Medias | Q | (p) | Significancia |
|-------------------|----------------------|---------|--------|---------------|
| Medias (1 y 2) = | 188,7552 | 1,8362 | > 0,05 | Significativo |
| Medias (1 y 3) = | 792,6362 | 8,6551 | < 0,01 | No Sig |
| Medias (1 y 4) = | 1143,3333 | 12,4845 | < 0,01 | No Sig |
| Medias (2 y 3) = | 603,8810 | 5,2794 | < 0,01 | No Sig |
| Medias (2 y 4) = | 954,5781 | 8,3454 | < 0,01 | No Sig |
| Medias (3 y 4) = | 350,6971 | 3,3586 | > 0,05 | Significativo |

4.2 Rendimiento potencial de carbón de plantaciones de *Cedrelinga cateniformis*

En el cuadro 5 y en la figura 2, se presentan los resultados de los rendimientos potenciales de carbones en plantaciones de *Cedrelinga cateniformis* de las edades de 14 años, 25 años, 41 años y 51 años de Puerto Almendra según figura 3 del Anexo.

El mayor rendimiento potencial del carbón de estas plantaciones se ha calculado en la madera de los árboles de la plantación N° 29 de 51 años con 686,80 Kg/árbol, seguido de la plantación N° 16 de 41 años con 495,63 Kg /árbol, plantación N° 5 con 25 años con 166,45 Kg/árbol y de más bajo rendimiento fue la plantación 63 de 14 años con 63,56 Kg/árbol. Es decir, a mayor edad de la plantación mayor rendimiento de carbón.

Al realizar el análisis de varianza que se muestra en el cuadro 6, se ha determinado que los tratamientos evaluados tienen una probabilidad de $(p)=0,0000$, es decir, es no significativo. Pero, cuando se realiza la comparación en el cuadro 7 los promedios de cada plantación con la Prueba de Tukey son significativo en la plantación de 14 años - 25 años y 41 años - 51 años.

También en el cuadro 8 se muestra la correlación entre las edades de las plantaciones densidad básica (g/cm^3) - clase diamétrica, biomasa aérea, madera tostada y carbón, teniendo una correlación de 0,672-0,682) no sig.; mientras que la comparación entre la clase diamétrica - biomasa aérea, madera tostada y carbón; siendo significativo

Cuadro 5. Rendimiento potencial del carbón de *Cedrelinga cateniformis*

| N° Plantación | N° Arboles | Edad (años) | DAP (cm) | DB (g/cm^3) | Biomasa (kg/árbol) | Carbón (kg/árbol) | Total (Kg) |
|---------------|------------|-------------|----------|------------------------|--------------------|-------------------|------------|
| 63 | 26 | 14 | 35,27 | 0,423 | 171,71 | 63,56 | 1652,56 |
| 5 | 10 | 25 | 41,10 | 0,469 | 466,89 | 166,45 | 1664,45 |
| 16 | 14 | 41 | 60,57 | 0,470 | 1390,26 | 495,63 | 6938,82 |
| 29 | 14 | 51 | 72,93 | 0,470 | 1926,49 | 686,80 | 9615,20 |

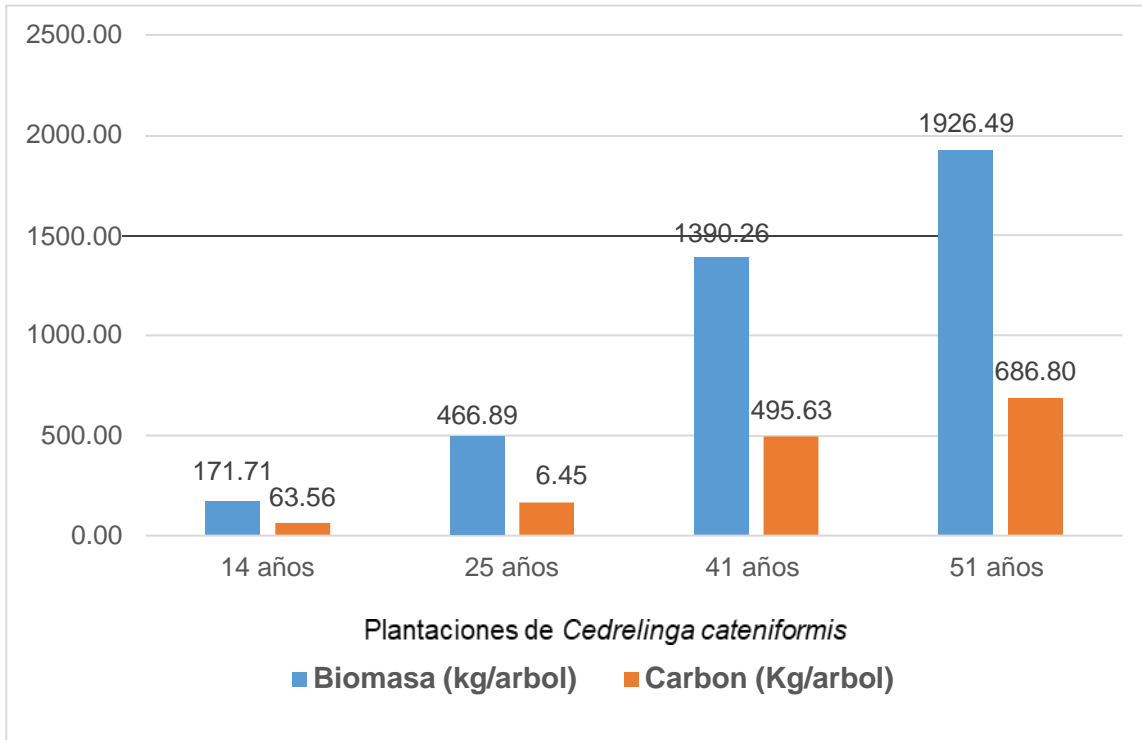


Figura 2. Rendimiento potencial en carbón de *Cedrelinga cateniformis*

Cuadro 6. Análisis de varianza del potencial de carbón *Cedrelinga cateniformis*

| FUENTES DE VARIACIÓN | GL | SQ | QM | F | (p) |
|----------------------|----|-------------|-------------|---------|------|
| Tratamientos | 3 | 425,52 e+04 | 141,84 e+04 | 31,2724 | 0,00 |
| Error | 60 | 272,14 e+04 | 45356,329 | | |
| Media (Columna 1) = | | 63,5565 | | | |
| Media (Columna 2) = | | 166,4480 | | | |
| Media (Columna 3) = | | 495,6286 | | | |
| Media (Columna 4) = | | 686,7943 | | | |

Cuadro 7. Prueba estadística de Tukey-Potencial de rendimiento de carbón

| Tukey: | Diferencia Medias | Q | (p) | Significancia |
|-------------------|-------------------|---------|--------|---------------|
| Medias (1 y 2) = | 102,8915 | 1,8362 | > 0,05 | Significativo |
| Medias (1 y 3) = | 432,0720 | 8,6551 | < 0,01 | No Sig |
| Medias (1 y 4) = | 623,2377 | 12,4845 | < 0,01 | No Sig |
| Medias (2 y 3) = | 329,1806 | 5,2794 | < 0,01 | No Sig |
| Medias (2 y 4) = | 520,3463 | 8,3454 | < 0,01 | No Sig |
| Medias (3 y 4) = | 191,1657 | 3,3586 | > 0,05 | Significativo |

Cuadro 8. Correlación del rendimiento potencial con las variables propuestas

| Edad de las plantaciones (años) | Densidad Básica (g/cm ³) | Clase diamétrica (cm) | Biomasa aérea (Kg/árbol) | Madera tostada (Kg/árbol) | Carbón (Kg/árbol) |
|---------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------|
| Edad 1 = 14 | 0,42 | 35,27 | 171,71 | 116,59 | 63,56 |
| Edad 2 = 25 | 0,47 | 41,10 | 466,89 | 305,35 | 166,45 |
| Edad 3 = 41 | 0,47 | 60,57 | 1390,26 | 909,23 | 495,63 |
| Edad 4 = 51 | 0,47 | 72,93 | 1926,49 | 1259,93 | 686,80 |
| Coef-Correlación | | 0,672 | 0,684 | 0,682 | 0,682 |
| | | | 0,999 | 0,999 | 0,999 |
| | | | | 0,999 | 0,999 |
| p(0.05) | | 0,3270* | 0,3160* | 0,3180* | 0,3179* |
| | | | 0,0003** | 0,0002** | 0,0002** |

*Significativo

**No significativo

CAPITULO V: DISCUSION

Al realizar el inventario y la cuantificación de la biomasa acumulada por cada plantación de *Cedrelinga cateniformes* instaladas en Puerto Almendra, se ha encontrado que existen plantaciones desde 14 años, 25 años, 41 años y 51 años con diferentes número de árboles, y por cada edad varia la densidad básica de la madera, a mayor edad mayor densidad básica como lo manifiesta (Cabudivo 2011, p. 63) en un estudio realizado evaluando sus propiedades físicas de las plantaciones de *Cedrelinga cateniformis*; esto conlleva a que exista una mayor concentración de lignina en las paredes celulares y por lo tanto, mayor rendimiento de madera tostada y carbón, como lo indican Guimaraes, Aguielio y Batista 1982, citado por Garay 2016, p. 11), que manifiestan que existe una alta correlación entre la densidad aparente del carbón y la densidad de la madera original, esto es lo que va influenciar al momento de la transformación química. En el presente estudio cuando se ha realizado el análisis del rendimiento potencial de la madera tostada y del carbón se ha encontrado que el rendimiento de las plantaciones es directamente proporcional a la edad, es decir, cuando la plantación de *Cedrelinga cateniformis* tiene menor edad el rendimiento es menor y cuando tiene mayor edad el rendimiento es mayor, porque, en los arboles esta acumulado mayor concentración de lignina, por eso en la plantación de 14 años por más que tiene mayor número de árboles el rendimiento es menor (3,031.34 Kg) comparando con la plantación de 51 años el rendimiento total es mayor (17639.02 Kg) estos rendimientos encontrados son similares lo encontrados por (Ruiz 2017, p. 33) al realizar los ensayos de transformación por métodos térmico para que

obtenga madera tostada a 280°C y carbón a 350°C en plantaciones de *Vochisia lomatophyla* Stand “quillosa” obtuvo mayor rendimiento en plantaciones de mayor edad de 36 años con respecto a los de 25 años y de 17 años además, ha determinado mayor poder calorífico en madera tostada y carbón en plantaciones de mayor edad. Con respecto al análisis estadístico, el análisis de varianza demuestra que los tratamientos propuestos tanto para madera tostada y carbón en las plantaciones de diferentes edades es no significativo con $(p)= 0.005$, es decir, no influencia la edad, sin embargo, al hacer las comparaciones de los promedios de los arboles maderables con la prueba de Tukey demuestra que es significativo al comparar la plantación de 14 años con 25 años y la plantación de 41 años con 51 años, indicando que el rendimiento de madera tostada y carbón es diferente para estas plantaciones. Realizando la correlación cuadro 8, se puede manifestar que las densidades básicas de las plantaciones comparadas con la clase diamétrica, biomasa aérea, madera tostada y carbón son significativas, es decir, existe influencia de la densidad básica con respecto a las otras competencias

CAPITULO VI: CONCLUSIONES

- El mayor rendimiento potencial en madera tostada fue determinado en la plantación de *Cedrelinga cateniformis* a los 51 años con 1259,93 Kg/árbol seguido de la parcela de 41 años con 909,2 Kg/árbol, luego de 25 años con 305,35 Kg/árbol y siendo de menor rendimiento la plantación de 14 años con 116,59 Kg/árbol.
- El mayor rendimiento potencial de carbón fue determinado en la plantación de *Cedrelinga cateniformis* a los 51 años con 686,80 Kg/árbol, seguido de la plantación de 41 años con 495,63 Kg /árbol y con los más bajos en rendimiento en la plantación con 25 años con 166,45 Kg/árbol y la plantación de 14 años con 63,56 Kg/árbol.
- El análisis estadístico de los promedios de rendimiento de madera tostada y carbón mediante la comparación con la prueba de Tukey es significativo con una $(p)=0,005$; por lo tanto, se acepta la hipótesis planteada.
- La correlación entre la densidad básica de la madera de las plantaciones de diferentes edades de *Cedrelinga cateniformis* es significativo con respecto a la clase diamétrica biomasa aérea, madera tostada y carbón.

CAPITULO VII: RECOMENDACIONES

1. Incentivar la instalación de plantaciones de *Cedrelinga cateniformis* “tornillo” u otras especies que tengan densidades básicas media-alta para ser usadas en plantaciones forestales energéticas.
2. Utilizar madera tostada de *Cedrelinga cateniformis* de plantaciones que tengan entre 25 años y 41 años de edad por poseer alto rendimiento potencial, con respecto al rendimiento potencial de carbón.
3. A los concesionarios forestales, realizar la transformación en madera tostada a los residuos de *Cedrelinga cateniformis* a si dar valor agregado a la materia prima.

CAPITULO VIII: FUENTES DE INFORMACION

- Arcate, J. 2000. New process for torrefied wood manufacturing. Bioenergy update. No. 4, vol, 2, April 2000.
(<http://www.techtp.com/Bioenergy%20Update%20.pdf>).
- Aguilar, D. A. 2019. Determinación del potencial energético de la biomasa residual de cultivos de banano en el Cantón Machala, El Oro, Ecuador. Trabajo experimental. Carrera de Ingeniería Ambiental. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Cuenca. 56 pág.
- Cabrera, M. Vera, A., Cornejo, J. M., Ordaz, I., Tolosana, E., Ambrosio, Y., Martínez, I., Vignote, S., Hotait, N., Lafarga, A., Garraza, J. A. 2011. Evaluación del potencial de energía de la biomasa. Estudio Técnico PER 2011-2020. Madrid. 196. pág.
- Cabudivo, A.1990. Rendimiento y Análisis Químico Inmediato del carbón de Tres Especies Forestales Tropicales de la zona de Genaro Herrera. UNAP. Facultad de Ingeniería Forestal. Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal. Iquitos. 67 pág.
- Cabudivo, J. 2011. Evaluación de las propiedades físico- mecánicas de la madera de plantaciones de *Simarouba amara* (aubl) y *Cedrelinga cateniformis* (Ducke), de diferentes edades, Iquitos-Perú. Tesis Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Iquitos. 84 pag.
- Chujutalli, E. X. 2017. Potencial bio-combustible de la madera tostada y carbón de tres especies maderables de la parcela 2 del arboretum El Huayo, Puerto

- Almendra, Loreto-Perú, 2017. Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Iquitos. 53 pág.
- De Lucas, A. I., Del Peso, C., Rodríguez, E., Prieto, P. 2012. Biomasa, biocombustibles y sostenibilidad. Ministerio de Educación Cultura y Deporte y cofinanciado por el Fondo Social Europeo. Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario. ITAGRA.CT. Instituto Universitario de Investigación en Gestión Forestal Sostenible. Universidad de Valladolid-INIA (IUGFS). Valladolid. 216 pág.
- Donayre, G. 2015. Rendimiento energético de la madera tostada y carbón de tres especies forestales del arboretum “el huayo, Puerto Almendra, Iquitos-Perú. Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Iquitos. 67 pág.
- Espíritu, J.; Reátegui, R.; Angulo, P.; Macedo, L. y Donayre, M. 2015. Valoración económica del secuestro de CO₂ y su stock de carbono en las plantaciones del CIEFOR- Pto. Almendra, Iquitos-Perú. Oficina General de Investigación-UNAP. Artículo Científico. Iquitos. 56 pág.
- Garay, K. 2016. Evaluación del rendimiento y calidad del carbón de *Dipteryx micrantha* Harms (shihuahuaco) y *Cedrelinga cateniformis* Ducke (tornillo), en el CIEFOR- Puerto Almendra, Iquitos-Perú-2015. Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Iquitos. 80 pág.
- Honorio, E., Baker T. 2010. Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana / Universidad de Leeds. Lima, 54 pág.

- Jara, H. 2009. Biomasa y sus propiedades como combustible. CMPC Celulosa Planta Laja. En: *Revista Celulosa y Papel*. ATCP pp. 24-28
- Martins, H. 1980. Madeira como fonte de energia. En: *Uso da madeira para fins energéticos*. Fundacao Centro Tecnologico de Minas Gerais/CETEC. Belo horizonte. Serie de Publicacoes Tecnicas. Pp. 9-26.
- Martínez, S. 2009. Evaluación de la biomasa como recurso energético renovable en Cataluña. Tesis Doctoral. Universitat de Girona. Girona. 285, pág.
- MINAM, 2015. Ministerio del Ambiente Inventario y evaluación de los bosques de las cuencas de los ríos Itaya, Nanay y Tahuayo en el departamento de Loreto / Ministerio del Ambiente, Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural -- Lima : Perú. 136 pág.
- TITO, D; GONZALEZ.L;BEATON,P y ZANZI,R.2011. Torrefacción de residuos agrícolas y forestales.10p. Disponible en ; <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/escolar/escolar/08/html/articulo04.htm>
- Moya, R., Salas, C., Quesada, J., Rodríguez, A. Gaitán, J., Puente, A. y Vega, J..2017. Torrefacción del aserrín de cinco tipos de maderas de Costa Rica para aumentar el contenido energético. Informe final de proyecto de investigación. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal. Centro de Investigación en Innovación Forestal. Costa Rica. 111 pág.
- Ruiz, M. 2017. Características bio-combustibles de la madera tostada y carbón de plantaciones *vochysia lomatophyla* "quillosa" de diferentes edades, Puerto Almendra, Iquitos-Perú. Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Iquitos. 59 pág.

<https://es.wikipedia.org/wiki/Torrefacci%C3%B3n>. Fecha de visita a la página el 3 de Mayo del 2021.

<https://iresiduo.com>). Fecha de visita a la página 15/10/2020.

ANEXOS



Figura 3: Mapa de ubicación de las plantaciones de *C. cateniformis*-CIEFOR Puerto Almendra

Cuadro 9: Rendimiento potencial del tornillo 14 años plantación 63.

| N° Orden | DB (g/cm ³) | Biomasa (kg/árbol) | Rendimiento en laboratorio (%) | | Rendimiento Potencial (kg/árbol) | |
|-------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------------------|--------|-------------------------------------|--------|
| | | | M. Tostada | Carbón | M. Tostada | Carbón |
| 1 | 0,42302 | 46,07 | 0,654 | 0,3565 | 30,13 | 16,43 |
| 2 | 0,42302 | 36,29 | 0,654 | 0,3565 | 23,74 | 12,94 |
| 3 | 0,42302 | 52,26 | 0,654 | 0,3565 | 34,18 | 18,63 |
| 4 | 0,42302 | 201,02 | 0,654 | 0,3565 | 131,47 | 71,66 |
| 5 | 0,42302 | 263,28 | 0,654 | 0,3565 | 172,19 | 93,86 |
| 6 | 0,42302 | 32,91 | 0,654 | 0,3565 | 21,52 | 11,73 |
| 7 | 0,42302 | 14,44 | 0,654 | 0,3565 | 9,44 | 5,15 |
| 8 | 0,42302 | 28,75 | 0,654 | 0,3565 | 18,80 | 10,25 |
| 9 | 0,42302 | 148,94 | 0,654 | 0,3565 | 97,40 | 53,10 |
| 10 | 0,42302 | 79,75 | 0,654 | 0,3565 | 52,16 | 28,43 |
| 11 | 0,42302 | 257,30 | 0,654 | 0,3565 | 168,28 | 91,73 |
| 12 | 0,42302 | 295,37 | 0,654 | 0,3565 | 193,17 | 105,30 |
| 13 | 0,42302 | 119,13 | 0,654 | 0,3565 | 77,91 | 42,47 |
| 14 | 0,42302 | 112,02 | 0,654 | 0,3565 | 73,26 | 39,94 |
| 15 | 0,42302 | 229,87 | 0,654 | 0,3565 | 150,34 | 81,95 |
| 16 | 0,42302 | 52,51 | 0,654 | 0,3565 | 34,34 | 18,72 |
| 17 | 0,42302 | 245,20 | 0,654 | 0,3565 | 160,36 | 87,41 |
| 18 | 0,42302 | 336,07 | 0,654 | 0,3565 | 219,79 | 119,81 |
| 19 | 0,42302 | 199,69 | 0,654 | 0,3565 | 130,60 | 71,19 |
| 20 | 0,42302 | 167,52 | 0,654 | 0,3565 | 109,56 | 59,72 |
| 21 | 0,42302 | 140,03 | 0,654 | 0,3565 | 91,58 | 49,92 |
| 22 | 0,42302 | 174,73 | 0,654 | 0,3565 | 114,27 | 62,29 |
| 23 | 0,42302 | 99,67 | 0,654 | 0,3565 | 65,18 | 35,53 |
| 24 | 0,42302 | 197,46 | 0,654 | 0,3565 | 129,14 | 70,40 |
| 25 | 0,42302 | 152,81 | 0,654 | 0,3565 | 99,94 | 54,48 |
| 26 | 0,42302 | 180,97 | 0,654 | 0,3565 | 118,35 | 64,51 |
| 27 | 0,42302 | 123,07 | 0,654 | 0,3565 | 80,49 | 43,88 |
| 28 | 0,42302 | 241,22 | 0,654 | 0,3565 | 157,76 | 86,00 |
| 29 | 0,42302 | 176,90 | 0,654 | 0,3565 | 115,69 | 63,06 |
| 30 | 0,42302 | 342,35 | 0,654 | 0,3565 | 223,90 | 122,05 |

Cuadro 10: Rendimiento potencial del tornillo 25 años plantación 05.

| N° Orden | DB (g/cm ³) | Biomasa (kg/árbol) | Rendimiento en laboratorio (%) | | Rendimiento Potencial (kg/árbol) | |
|----------|-------------------------|--------------------|--------------------------------|--------|----------------------------------|--------|
| | | | M. Tostada | Carbón | M. Tostada | Carbón |
| 1 | 0,4699 | 342,10 | 0,654 | 0,3565 | 223,73 | 121,96 |
| 2 | 0,4699 | 619,12 | 0,654 | 0,3565 | 404,90 | 220,71 |
| 3 | 0,4699 | 432,13 | 0,654 | 0,3565 | 282,61 | 154,05 |
| 4 | 0,4699 | 472,92 | 0,654 | 0,3565 | 309,29 | 168,60 |
| 5 | 0,4699 | 350,02 | 0,654 | 0,3565 | 228,92 | 124,78 |
| 6 | 0,4699 | 648,46 | 0,654 | 0,3565 | 424,10 | 231,18 |
| 7 | 0,4699 | 455,76 | 0,654 | 0,3565 | 298,07 | 162,48 |
| 8 | 0,4699 | 130,72 | 0,654 | 0,3565 | 85,49 | 46,60 |
| 9 | 0,4699 | 821,59 | 0,654 | 0,3565 | 537,32 | 292,90 |
| 10 | 0,4699 | 396,12 | 0,654 | 0,3565 | 259,06 | 141,22 |

Cuadro 11: Rendimiento potencial del tornillo 41 años plantación 16

| N° Orden | DB (g/cm ³) | Biomasa (kg/árbol) | Rendimiento en laboratorio (%) | | Rendimiento Potencial (kg/árbol) | |
|----------|-------------------------|--------------------|--------------------------------|--------|----------------------------------|---------|
| | | | M. Tostada | Carbón | M. Tostada | Carbón |
| 1 | 0,4700 | 1138,03 | 0,654 | 0,3565 | 744,27 | 405,71 |
| 2 | 0,4700 | 1082,94 | 0,654 | 0,3565 | 708,24 | 386,07 |
| 3 | 0,4700 | 1470,83 | 0,654 | 0,3565 | 961,92 | 524,35 |
| 4 | 0,4700 | 1254,53 | 0,654 | 0,3565 | 820,47 | 447,24 |
| 5 | 0,4700 | 1211,27 | 0,654 | 0,3565 | 792,17 | 431,82 |
| 6 | 0,4700 | 530,63 | 0,654 | 0,3565 | 347,03 | 189,17 |
| 7 | 0,4700 | 1157,46 | 0,654 | 0,3565 | 756,98 | 412,63 |
| 8 | 0,4700 | 1331,94 | 0,654 | 0,3565 | 871,09 | 474,84 |
| 9 | 0,4700 | 4218,50 | 0,654 | 0,3565 | 2758,90 | 1503,90 |
| 10 | 0,4700 | 1382,87 | 0,654 | 0,3565 | 904,40 | 492,99 |
| 11 | 0,4700 | 1874,89 | 0,654 | 0,3565 | 1226,18 | 668,40 |
| 12 | 0,4700 | 1136,06 | 0,654 | 0,3565 | 742,99 | 405,01 |
| 13 | 0,4700 | 669,47 | 0,654 | 0,3565 | 437,83 | 238,67 |
| 14 | 0,4700 | 1004,20 | 0,654 | 0,3565 | 656,75 | 358,00 |

Cuadro 12. Rendimiento potencial del tornillo 51 años plantación 29

| N° Orden | DB (g/cm ³) | Biomasa (kg/árbol) | Rendimiento en laboratorio (%) | | Rendimiento Potencial (kg/árbol) | |
|-------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------------------|--------|-------------------------------------|---------|
| | | | M. Tostada | Carbón | M. Tostada | Carbón |
| 1 | 0,4700 | 4094,43 | 0,654 | 0,3565 | 2677,76 | 1459,66 |
| 2 | 0,4700 | 1521,52 | 0,654 | 0,3565 | 995,07 | 542,42 |
| 3 | 0,4700 | 1427,57 | 0,654 | 0,3565 | 933,63 | 508,93 |
| 4 | 0,4700 | 1821,32 | 0,654 | 0,3565 | 1191,15 | 649,30 |
| 5 | 0,4700 | 2036,82 | 0,654 | 0,3565 | 1332,08 | 726,13 |
| 6 | 0,4700 | 1254,53 | 0,654 | 0,3565 | 820,47 | 447,24 |
| 7 | 0,4700 | 1848,78 | 0,654 | 0,3565 | 1209,10 | 659,09 |
| 8 | 0,4700 | 1364,00 | 0,654 | 0,3565 | 892,06 | 486,27 |
| 9 | 0,4700 | 1249,31 | 0,654 | 0,3565 | 817,05 | 445,38 |
| 10 | 0,4700 | 1470,83 | 0,654 | 0,3565 | 961,92 | 524,35 |
| 11 | 0,4700 | 1787,16 | 0,654 | 0,3565 | 1168,80 | 637,12 |
| 12 | 0,4700 | 1967,44 | 0,654 | 0,3565 | 1286,71 | 701,39 |
| 13 | 0,4700 | 3890,95 | 0,654 | 0,3565 | 2544,68 | 1387,12 |
| 14 | 0,4700 | 1236,24 | 0,654 | 0,3565 | 808,50 | 440,72 |

Cuadro 13. Toma de datos de la Plantación de tornillo N° 63 – 14 años

| N° Orden | DAP | HC | HT | Georreferencia | |
|----------|-------|-------|-------|----------------|-----------|
| | | | | Este (X) | Norte (Y) |
| 1 | 19,00 | 7,00 | 14,00 | 383421 | 7337805 |
| 2 | 17,50 | 5,00 | 13,00 | 383421 | 7337805 |
| 3 | 21,00 | 4,00 | 13,00 | 383421 | 7337806 |
| 4 | 35,00 | 6,00 | 18,00 | 383421 | 7337805 |
| 5 | 38,00 | 11,00 | 20,00 | 383420 | 7337809 |
| 6 | 19,00 | 2,00 | 10,00 | 383420 | 7337807 |
| 7 | 12,00 | 6,00 | 11,00 | 383423 | 7337805 |
| 8 | 14,50 | 8,00 | 15,00 | 383421 | 7337805 |
| 9 | 31,00 | 10,00 | 17,00 | 383421 | 7337806 |
| 10 | 27,00 | 6,50 | 12,00 | 383425 | 7337805 |
| 11 | 42,00 | 6,00 | 16,00 | 383421 | 7337805 |
| 12 | 45,00 | 25,00 | 16,00 | 383421 | 7337805 |
| 13 | 33,00 | 6,00 | 12,00 | 383421 | 7337805 |
| 14 | 32,00 | 7,00 | 12,00 | 383508 | 7337775 |
| 15 | 41,00 | 8,00 | 15,00 | 383518 | 7337778 |
| 16 | 24,00 | 7,00 | 10,00 | 383525 | 7337788 |
| 17 | 41,00 | 5,00 | 16,00 | 383523 | 7337794 |
| 18 | 48,00 | 4,00 | 16,00 | 383515 | 7337802 |
| 19 | 37,00 | 8,00 | 16,00 | 383534 | 7337794 |
| 20 | 35,00 | 5,00 | 15,00 | 383529 | 7337795 |
| 21 | 32,00 | 4,00 | 15,00 | 383557 | 7337804 |
| 22 | 37,00 | 3,00 | 14,00 | 383564 | 7337817 |
| 23 | 29,00 | 7,00 | 13,00 | 383565 | 7337820 |
| 24 | 38,00 | 7,00 | 15,00 | 383562 | 7337825 |
| 25 | 34,00 | 6,00 | 14,50 | 383567 | 7337822 |
| 26 | 37,00 | 6,00 | 14,50 | 383581 | 7337820 |
| 27 | 30,00 | 7,00 | 15,00 | 383603 | 7337829 |
| 28 | 42,00 | 5,00 | 15,00 | 383601 | 7337840 |
| 29 | 42,00 | 2,50 | 11,00 | 383618 | 7337834 |
| 30 | 47,00 | 12,00 | 17,00 | 383646 | 7337814 |

Cuadro 14. Toma de datos de la Plantación de tornillo N° 05 – 25 años

| N° Orden | DAP | HC | HT | Georreferenciación | |
|----------|-----|----|----|--------------------|-----------|
| | | | | Este (X) | Norte (Y) |
| 1 | 40 | 6 | 19 | 382585 | 7337492 |
| 2 | 46 | 13 | 26 | 382572 | 7337478 |
| 3 | 40 | 8 | 24 | 382565 | 7337465 |
| 4 | 41 | 16 | 25 | 382545 | 7337461 |
| 5 | 36 | 16 | 24 | 382554 | 7337451 |
| 6 | 49 | 12 | 24 | 382548 | 7337451 |
| 7 | 45 | 14 | 20 | 382532 | 7337431 |
| 8 | 22 | 16 | 24 | 382524 | 7337438 |
| 9 | 52 | 14 | 27 | 382527 | 7337416 |
| 10 | 40 | 13 | 22 | 382514 | 7337419 |

Cuadro 15. Toma de datos de la Plantación de tornillo N° 17 – 31 años

| N° Orden | DAP | HC | HT | Georreferencia | |
|----------|-----|-------|----|----------------|-----------|
| | | | | Este (X) | Norte (Y) |
| 1 | 61 | 7,00 | 22 | 382863 | 7337491 |
| 2 | 32 | 6,00 | 17 | 382867 | 7337486 |
| 3 | 27 | 14,00 | 23 | 382863 | 7337482 |
| 4 | 19 | 10,00 | 20 | 382863 | 7337480 |
| 5 | 31 | 8,00 | 23 | 382871 | 7337487 |
| 6 | 31 | 12,00 | 24 | 382876 | 7337487 |
| 7 | 26 | 12,00 | 23 | 382875 | 7337489 |
| 8 | 32 | 11,00 | 22 | 382874 | 7337491 |
| 9 | 32 | 5,50 | 24 | 382875 | 7337496 |
| 10 | 36 | 7,00 | 22 | 382875 | 7337498 |

Cuadro 16. Toma de datos de la Plantación de tornillo N° 16 – 41 años

| N° Orden | DAP | HC | HT | Georreferencia | |
|----------|-----|----|----|----------------|-----------|
| | | | | Este (X) | Norte (Y) |
| 1 | 53 | 14 | 36 | 382851 | 7337495 |
| 2 | 54 | 9 | 33 | 382843 | 7337492 |
| 3 | 62 | 14 | 34 | 382841 | 7337499 |
| 4 | 62 | 8 | 29 | 382842 | 7337502 |
| 5 | 62 | 6 | 28 | 382831 | 7337505 |
| 6 | 39 | 7 | 31 | 382831 | 7337510 |
| 7 | 55 | 14 | 34 | 382835 | 7337513 |
| 8 | 59 | 14 | 34 | 382830 | 7337518 |
| 9 | 105 | 3 | 34 | 382813 | 7337497 |
| 10 | 64 | 6 | 30 | 382819 | 7337492 |
| 11 | 70 | 5 | 34 | 382833 | 7337468 |
| 12 | 59 | 10 | 29 | 382824 | 7337467 |
| 13 | 52 | 10 | 22 | 382827 | 7337465 |
| 14 | 52 | 9 | 33 | 382825 | 7337473 |

Cuadro 17. Toma de datos de la Plantación de tornillo N° 33 – 42 años

| N° Orden | DAP | HC | HT | Georreferencia | |
|----------|-----|----|----|----------------|-----------|
| | | | | Este (X) | Norte (Y) |
| 1 | 55 | 8 | 22 | 383315 | 73377658 |
| 2 | 77 | 14 | 28 | 383308 | 7337759 |
| 3 | 47 | 11 | 23 | 383313 | 7337766 |
| 4 | 74 | 7 | 25 | 383303 | 7337774 |
| 5 | 53 | 14 | 22 | 383315 | 7337787 |
| 6 | 78 | 20 | 23 | 383319 | 7337784 |
| 7 | 72 | 10 | 23 | 383331 | 7337782 |
| 8 | 35 | 9 | 24 | 383321 | 7337754 |
| 9 | 58 | 11 | 22 | 383325 | 7337755 |
| 10 | 48 | 7 | 23 | 383333 | 7337759 |
| 11 | 79 | 5 | 23 | 383339 | 7337767 |

Cuadro 18. Toma de datos de la Plantación de tornillo N° 29 – 51 años

| N° Orden | DAP | HC | HT | Georreferencia | |
|----------|-----|----|----|----------------|-----------|
| | | | | Este (X) | Norte (Y) |
| 1 | 105 | 10 | 33 | 3833215 | 7337740 |
| 2 | 65 | 12 | 32 | 3833203 | 7337735 |
| 3 | 62 | 12 | 33 | 3833193 | 7337730 |
| 4 | 68 | 16 | 35 | 3833179 | 7337727 |
| 5 | 79 | 7 | 29 | 3833185 | 7337720 |
| 6 | 62 | 14 | 29 | 3833192 | 7337716 |
| 7 | 74 | 16 | 30 | 3833194 | 7337720 |
| 8 | 67 | 9 | 27 | 3833198 | 73377420 |
| 9 | 58 | 7 | 33 | 3833200 | 7337728 |
| 10 | 62 | 17 | 34 | 3833199 | 7337709 |
| 11 | 74 | 15 | 29 | 3833216 | 7337728 |
| 12 | 82 | 9 | 26 | 3833229 | 7337737 |
| 13 | 98 | 12 | 36 | 3833235 | 7337749 |
| 14 | 65 | 10 | 26 | 3833234 | 7337743 |