



UNAP

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL



TESIS

**“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”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO FORESTAL**

PRESENTADO POR:

EDGAR XAVIER CHUJUTALLI GALVEZ

ASESOR:

Ing. ABRAHAN CABUDIVO MOENA, Dr.

IQUITOS, PERÚ

2018

ACTA DE SUSTENTACIÓN

DE TESIS Nº 820

Los miembros del Jurado que suscriben, reunidos para evaluar la sustentación de tesis presentada por el bachiller **EDGAR XAVIER CHUJUTALLI GALVEZ**, titulada: "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", formuladas las observaciones y analizadas las respuestas,

lo declaramos:

APROBADO

Con el calificativo de:

BUENO

En consecuencia queda en condición de ser calificado:

APTO

Y, recibir el Título de Ingeniero Forestal.

Iquitos, 16 de febrero 2018.



Ing. JORGE MIGUEL ESPIRITU PEZANTES
Presidente



Ing. PEDRO ANGEL ANGULO RUIZ, M.Sc.
Miembro



Ing. BENJAMIN SORIA SOLANO
Miembro



Ing. ABRAHAM CABUDIVO MOENA, Dr.
Asesor

JURADO DE TESIS



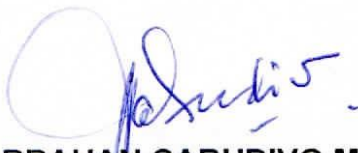
ING. JORGE MIGUEL ESPIRITU PEZANTES, Dr.
Reg. CIP N° 34967
Presidente



ING. PEDRO ANGEL ANGULO RUIZ, Dr.
Reg. CIP N° 40933
Miembro



ING. BENJAMIN SORIA SOLANO, M. Sc.
Reg. CIP N° 32679
Miembro



ING. ABRAHAN CABUDIVO MOENA, Dr.
Reg. CIP N° 40295
ASESOR

DEDICATORIA

A mis padres Edgar y Consuelo por el apoyo innegable brindado desde el inicio hasta la culminación de mis estudios y ser un profesional.

A mis hermanos por el apoyo incondicional, por darme ese aliento y confianza para sobreponerme a las adversidades y lograr el triunfo que tanto anhelo.

AGRADECIMIENTO

- * A mis profesores de la Facultad de Ciencias Forestales, que han forjado en mí con sus conocimientos.
- * A mis compañeros de clases, por pasar momentos inolvidables en el que hacer de los estudios.
- * A cada uno de los trabajadores del CIEFOR Puerto Almendra, que han contribuido para hacer realidad el presente trabajo.

INDICE

	Pág.
PORTADA	i
ACTA DE SUSTENTACIÓN	ii
JURADO DE TESIS	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE	vi
INDICE DE CUADROS	viii
INDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: MARCO TEÓRICO	2
1.1. Antecedentes	2
1.2. Bases Teóricas	5
1.2.1. Madera como fuente potencial biocombustible sólido	5
1.2.2. Tostado y carbonizado de la madera	5
1.3. Definición de Términos Básicos	7
CAPITULO II: HIPOTESIS Y VARIABLES	9
2.1. Formulación de Hipótesis	9
2.2. Variables y su operacionalización	10

CAPITULO III: METODOLOGÍA	11
3.1. Tipo y diseño	11
3.2. Diseño muestral	11
3.3. Procedimiento de recolección de datos	12
3.4. Procesamiento y análisis de los datos	13
CAPITULO IV: RESULTADOS	16
4.1. Rendimiento potencial biocombustible de la madera tostada de la parcela 2 del Arboretum “El Huayo”.	16
4.2. Rendimiento potencial biocombustible del carbón de la parcela 2 del Arboretum “El Huayo”	19
4.3. Análisis de correlación de las variables del potencial biocombustible de la parcela 2 del Arboretum “El Huayo”	21
CAPITULO V: DISCUSIÓN	23
CAPITULO VI: CONCLUSIONES	25
CAPITULO VII: RECOMENDACIONES	26
CAPITULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN	27
ANEXOS	32
1 Mapa de ubicación del CIEFOR Puerto Almendra	33
2 Inventario y cálculo del potencial biocombustible de <i>V. obovatas</i> del Arboretum “El Huayo” - Parcela 2	34
3 Inventario y cálculo del potencial biocombustible de <i>C. cateniformis</i> del Arboretum “El Huayo” - Parcela 2	35
4 Inventario y cálculo del potencial biocombustible de <i>E. grandifolia</i> del Arboretum “El Huayo” - Parcela 2	36

ÍNDICE DE CUADROS

Nº	Título	Pág.
1	Operacionalización de las variables	10
2	Rendimiento potencial biocombustible de la madera tostada	17
3	Análisis de varianza del potencial biocombustible de madera tostada	17
4	Prueba de Tukey del potencial biocombustible de la madera tostada	18
5	Rendimiento potencial biocombustible del carbón	20
6	Análisis de varianza del potencial combustible del carbón	20
7	Prueba de Tukey del potencial combustible del carbón	20
8	Análisis de correlación entre la densidad básica de la madera y las variables biocombustibles	22

ÍNDICE DE FIGURAS

Nº	Título	Pág.
1	Rendimiento del potencial biocombustible de la madera tostada	18
2	Rendimiento del potencial biocombustible del carbón	21

RESUMEN

Se cuantificó el rendimiento potencial de los productos bio-combustibles madera tostada y carbón de árboles en pie de *Eschweilera grandiflora* (Aubl.) Sandwith, *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) y *Virola obovata* (Ducke) de la parcela 2 del Arboretum “El Huayo” del CIEFOR Puerto Almendra. Las muestras para el cálculo del rendimiento potencial se colectaron mediante un censo forestal a partir de los 25 cm de DAP de las especies *E. grandifolia*, *C. cateniformis* y *V. obovata* y con fórmulas alométricas se determinó el volumen arbóreo y con datos obtenidos en el laboratorio de Química de la Madera de la Facultad de Ciencias Forestales para rendimientos en madera tostada y carbón de estas especies, se calculó el rendimiento potencial en kilogramos. Los resultados muestran que el más alto rendimiento potencial de bio-combustible se obtuvo en la madera tostada de la *E. grandiflora* con 2011,3 kg/árbol, seguido de *C. cateniformis* con 1072,3 kg/árbol, mientras que *V. obovata* presenta el menor rendimiento 435,8 kg/árbol. Con respecto al carbón el rendimiento potencial fue de 1070,4 kg/árbol, 504,6 kg/árbol y 200,9 kg/árbol, respectivamente. *E. grandifolia* obtuvo el más alto rendimiento potencial de 54 304,0 Kg/ha en madera tostada y 28 900,5 kg/ha en carbón.

Palabras claves: Rendimiento potencial, madera tostada, carbón, biocombustible,

Pto. Almendra

ABSTRACT

In the present study the potential yield of bio-fuel products was quantified toasted wood and standing charcoal from *E. grandiflora*, *C. cateniformis* and *V. obovata* from the plot 2 of the Arboretum "El Huayo" in Puerto Almendra.

The samples for the calculation of the potential yield of the standing trees were made by means of a forest census from the 25 cm diameter of the DBH of the species *E. grandifolia*, *C. cateniformis* and *V. obovata* of plot 2 of the arboretum "El Huayo"; and with allometric formulae the tree volume was determined and with data obtained in the laboratory for yields in toasted wood and coal of these species, the potential yield in kilograms was calculated. The results show that the highest bio-fuel yield in toasted wood was in *E. grandiflora* with 2 011,3 kg/tree, followed by *C. cateniformis* with 1 072,3 kg/tree, while *V. obovata* is the one with the lowest yield 435,8 kg/tree. Coal was 1 070,4 kg/tree, 504,6 kg/tree and 200,9 kg/tree respectively. While the highest potential yield in roasted wood per hectare was determined in *E. grandifolia* with 54 304,0 kg/ha and in coal with 28 900,5 kg/ha.

KEYWORDS: Potential yield, toasted wood, charcoal, biofuel, Pto. Almendra.

INTRODUCCIÓN

Una de las amenazas más preocupantes en el planeta tierra es el cambio climático por el aumento en la emisión de gases de efecto invernadero CO₂ a la salud humana y la seguridad alimentaria por el uso de combustibles fósiles; los biocombustibles podrían retornar y ser más seguro en el abastecimiento de energía; al reducir la demanda de petróleo. Pues, las “emisiones de gases invernadero, monóxido de carbono y particulados podrían reducirse de forma significativa” (Ortiz y Riasgos, 2006; Bourgeois y Doat, 1985 citados por Pérez, 2023, p. 1)

Es importante conocer el potencial bio-combustible sólido de árboles en pie en bosques tropicales especialmente de la madera tostada y del carbón, aplicando formulas simples pero que ofrezcan confiabilidad, y, por lo tanto, sean valorados, sin necesidad de talar los árboles, esto ayudaría a conocer mejores alternativas para manejar los recursos orientando al desarrollo sustentable.

Los resultados presentados en este estudio servirán de base para definir una metodología para calcular el potencial bio-combustible sólido en árboles en pie de la parcela 2 de bosque natural del Arboretum “El Huayo”, que permita en el futuro poder cuantificar todo el potencial bio-combustible que ofrece. A partir de este cálculo se podrá determinar el potencial biocombustible de la madera tostada y del carbón que ofrece el bosque del Arboretum “El Huayo”.

II. MARCO TEORICO

1.1 Antecedentes

El modo más práctico y más fácil de producir energía de la biomasa es a través de la combustión de la propia madera. Es muy simple su preparación y uso siendo materia prima para las fuentes secundarias de energía, tales como carbón, etanol, monóxido de carbono, hidrogeno y electricidad. La ventaja de la madera como combustible es ser renovable, tener bajo contenido de cenizas, y cantidad ínfima de azufre, bajo poder calorífico (4700 Kcal/Kg), carbón vegetal 7100 Kcal/Kg comparada con otros combustibles, como indica (Martins, 1980, p. 20)

Sigue indicando Martins, (1980, p. 19) un conocimiento del potencial y la variabilidad de usos que tiene la madera como construcción y combustible es una exigencia para el análisis económico de los proyectos aplicados que envuelven la conversión o utilización del bosque para la producción de energía. Por eso, en las regiones tropicales, los árboles en pie son cortadas para obtener madera es cortada mucho tiempo antes de ser quemada; y en las regiones templadas son el doble de tiempo, este proceso se realiza para reducir la humedad hasta el 25% – 30%.

Manrique y Ojeda (2021, p. 14) La energía renovable a partir de la biomasa, constituyen grandes expectativas en la población para uso doméstico como industrial a nivel mundial. La gran diversidad de especies de diferentes densidades básicas, constitución anatómica, propiedades físicas y su amplia distribución y accesibilidad, así como su cualidad de ser una energía neutra en emisiones de carbono, la convierten en una potencial alternativa frente al cambio climático y reducción por uso excesivo de los recursos fósiles.

Aguinello y Batista (1980, p. 30) indican que la carbonización de diferentes especies de madera, concluyen que el contenido de lignina en la madera tiene una sensibilidad en la influencia en el rendimiento gravimétrico en carbón y también en el contenido de carbono fijo.

Doat (1985, p. 58) menciona que la madera, el carbón vegetal y la biomasa en general. Constituyen las principales fuentes de energía países en vías de desarrollo en aproximadamente en 60% en promedio, pero, más del 90% para las regiones menos favorecidas. Además, en la mayor parte de los casos, tanto en estas regiones como en las zonas urbanas, se prefiere utilizar el carbón vegetal en lugar de la madera, para la cocción diaria de los alimentos. Además, sigue mencionando Doat (1985, p. 58), El rendimiento ponderal de la madera tostada este alrededor del 75% del total de la madera inicial, en comparación del rendimiento de la carbonización común y corriente de entre 30-32% y los de la carbonización artesanal que esta entre el 15-25%. El más alto valor calorífico del nuevo producto, es decir, madera turrada o tostada es determinada a partir de los cálculos de rendimientos energéticos encontrándose entre los 80% y 86%; mientras que los valores de carbonización en rendimientos energéticos llegan solo a 60%; es decir, la madera tostada o turrada sin humedad conserva una gran parte de la energía potencial de la madera inicial.

Ruiz, (2017, p. 44) realizo un estudio para caracterizar a los bio-combustibles en plantaciones de "*Vochysia lomatophyla*" "quillosa" en Puerto Almendra, ha determinado que a los 36 años el mayor rendimiento fue de 75,14% en madera tostada, carbono fijo en 62,43% y poder calorífico con 6749,99 Kcal/Kg.

Rodríguez (2003, p. 25) en su estudio de las características físico-químico y energética de leña seca al aire, leña tostada y carbón de residuos de aserrío de

maderas de densidad media obtenidas de bosque natural tienen las mejores características las especies *Micrandra spruceana*, “siringa masa” y *Vochisia vismifolia* “quillosa”.

Doat (1985, pp. 63, 64), manifiesta en sus ensayos de pirolisis (o torrefacción) de madera de bosques tropicales a nivel piloto para producir madera turrado con temperaturas entre 275°C – 285°C se obtiene rendimiento de 68%-78% en madera seca, poder calorífico entre 5050 Kcal/kg – 5700 Kcal/kg; rendimiento energético entre 76% - 86%; características químicas de productos: cenizas 0,35% - 1,25%; materias volátiles 68,70% - 71,20%; carbono fijo 28,30% - 30,90%”.

Donayre (2015, p. 44) realizó un estudio con madera de las especies del Arboretum “El Huayo”, sobre rendimientos de madera tostada y carbón, concluye que el más alto rendimiento fue en madera tostada de *M. limbatum* con 75,76%, poder calorífico de 5298,77 Kcal/Kg; mientras que en carbón a los 350°C en *N. yapurensis* con 35,65%.

García-Rojas *et al.* (2009, p. 152), determinaron que el mayor valor calorífico obtenido fue en la parte más baja del fuste del árbol (fuste: baja 20,33 kJ/g; fuste medio 20,25 kJ/g y fuste alta 20,22 kJ/g; carbón: fuste baja 32,54 kJ/g; fuste medio 32,30 kJ/g y fuste alta 32,24 kJ/g), existiendo diferencias significativas entre los niveles del fuste comercial del producto la madera y carbón de *Eucalyptus saligna* Smith.

Taranco, Cabudivo y Da Cunha (1991, p. 5) mencionan que la densidad de la madera seguido del tamaño de las piezas juntamente con la temperatura de carbonización son factores muy importantes para obtener una buena calidad de carbón, porque, estas variables influyen significativamente en el rendimiento.

Taranco (1989, citado por Cabudivo 1990, p. 16) carbonizando cinco especies de la Amazonia Peruana-Brasilera utilizando muestras del fuste a tres niveles de altura, hasta una temperatura de 400°C y con humedad entre 15%-17%, determino rendimientos de carbón entre 31% - 43 %.

Petroff y Doat (1980, citado por Cabudivo, 1990, p. 16) determinaron para mezclas de maderas tropicales que el rendimiento promedio del carbón varia de entre 30,6% a 36,6%; mientras que para las mezclas de latifoliadas francesas determinaron un 30% de carbón.

1.2 Bases Teóricas

1.2.1 Madera como fuente potencial biocombustible sólido

El proceso que se utiliza para quemar la madera en ambiente cerrado con exclusión de aire se llama pirolisis; mientras, se desarrolla este proceso los gases emitidos por la madera en su descomposición se denomina gasificación de la madera o del carbón vegetal. Mientras, que el agua en medio ácido influye en la descomposición de los componentes celulósicos de la madera los cuales son convertidos en azúcares al que se denomina hidrolisis. (Martins, 1980, p. 23)

1.2.2 Tostado y carbonizado de la madera

Arcate (2000, citado por Donayre 2015, p. 8), manifiesta que el tostado de la madera es para mejorar sus propiedades como combustible, calentándolo lentamente hasta llegar a una temperatura máxima de 280°C, produciendo maderas tostadas con bajo contenido de humedad y alto poder calorífico comparado con la madera inicial; reteniendo aproximadamente el 70% del peso inicial y entre 80-90 % del contenido de energía

Es importante mencionar que la ventaja de la madera tostada o turrada con respecto a la madera original, es su uniformidad; por tener, baja humedad, la

calidad del combustible es mucho mejor y el costo de transporte se reduce y es más fácil el manipuleo por el menor peso (Bourgeois y Doat, 1985 citado por Donayre, 2015, p. 9).

Martins (1980, p. 21) menciona que las experiencias han demostrado que el comportamiento térmico de la madera refleja la suma de las respuestas térmicas de sus tres mayores componentes, hemicelulosa es el mayor componente maderable de estabilidad muy frágil y se descompone entre las temperaturas 225°C-325°C; mientras, que la celulosa se degrada a temperaturas más altas, entre 325°C-375°C, Por otro lado, la lignina maderable es la más estable y se descompone gradualmente entre 250°C-500°C de temperatura. Además, menciona que la lignina contribuye predominantemente para la formación del residuo carbonífero y los polisacáridos son la principal fuente de los productos volátiles.

Aguinello y Batista, (1980, p. 29) al describir la teoría de la carbonización de la madera, manifiestan que la madera sufre un proceso de secado en presencia controlada de oxígeno, en temperatura sobre los 300°C, desprendiendo vapor de agua, líquidos orgánicos y gases no condensables obteniendo como residuo el carbón.

Con referencia a las propiedades químicas, Vian (1976, Hougén 1980, Da Silva, 1983 y ABNT 1986, citado por Cabudivo, 1990, p. 17), manifiestan que los contratos y especificaciones para el mercado del carbón se fundamentan en el método de análisis inmediato; porque, las determinaciones de cada uno de los principales grupos de constituyentes como humedad, materias volátiles, cenizas y carbono fijo son más simples de realizarlo en cualquier laboratorio; mientras que el análisis mediano se tiene que realizarlo en laboratorios más sofisticados y se realizan con los principales elementos químicos como son: C, H, O, N .

1.3 Definición de términos básicos

Biomasa potencial total: aprovechamiento de toda el área forestal arbolada en la que se encuentran presentes especies de interés. (Cabrera, et al, 2011, p. 22)

Biomasa potencial accesible: resultante de acortar el total del bosque considerando restricciones de índole ecológica, económica o de mecanización (Cabrera, et al, 2011, p. 22)

Biomasa potencial disponible: resultante de reducir la accesibilidad del bosque, mediante un coeficiente de aprovechamiento denominado coeficiente de cortas actuales (CCA%)". (Cabrera, et al, 2011, p. 22)

Biomasa: materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado (Cabrera, *et al.* 2011, p. 27).

Biocombustible: es un combustible derivado de la materia viva llamada biomasa (normalmente materia vegetal)

http://energyeducation.ca/enciclopedia_de_Energia/index.php?title=Biocombustible&oldid=732>

Carbón: resulta de la destilación o de la combustión incompleta de la leña u otros cuerpos orgánicos, material sólido, ligero, negro y muy combustible, (Cabudivo, 1990, p.5).

Combustión: combinación de un elemento combustible con otro comburente (O₂) desprendiendo calor y produciendo un oxido. (INE, 2007, p. 15)

Energía: capacidad que tiene un cuerpo de conservar y puede transformarse y pasar de un cuerpo a otro mediante la capacidad de trabajo. (INE, 2007, p. 16).

Energía de biomasa: mediante el proceso de fotosíntesis se origina la energía renovable por la materia vegetal y los hidratos de carbono sintetizados por las plantas (INE, 2007, p. 16)

Madera: compuesto principalmente por mayor concentración de celulosa y lignina, siendo un cuerpo biológico, anisotrópico e higroscópico. (Martins, 1980)

Madera tostada: madera sin humedad con mejores propiedades combustibles y alto poder calorífico comparado con la madera inicial; reteniendo el contenido de energía entre 80-90 %. Arcate (2000, citado por Donayre 2015, p. 8) y (Doat, 1985, p. 59)

Poder calorífico: reacción de combustión, referida a la cantidad de energía desprendida. (Martins, 1980)

Rendimiento potencial de biocombustible: cantidad de energía almacenada en un árbol, bosque o cultivo energético que podría ser aprovechada transformándola en biocombustible. (García, 2013, p. 23)

Rendimiento potencial de madera tostada o carbón: Es el rendimiento máximo que puede lograr sin restricción alguna. (www.riego.org) 1-4-2023.

Densidad básica: cantidad de material leñosa presente en un volumen de madera a un contenido de humedad igual o mayor al punto de saturación de las fibras. (Maderame. Com, p.1)

CAPITULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES

2.1 Formulación de la Hipótesis

El potencial bio-combustible de la madera tostada y carbón estaría influenciado por la densidad básica de las especies *Virola obovata*, *Cedrelinga cateniformis* y *Eschweilera grandiflora* de la parcela 2 del Arboretum El Huayo, Puerto Almendra, Loreto-Perú 2017,

2.2. Variables y su operacionalización

Cuadro 1. Operacionalización de las variables

Variable	Definición	Tipo por su naturaleza	Indicador	Escala de medición	Medio de verificación
Variable independiente (X) Densidad de las especies maderable	Es una característica que está íntimamente relacionada con las propiedades de resistencia de la madera en la construcción, en el rendimiento de pulpa para papel, así como con las unidades caloríficas generadas al utilizar como combustible.	Cuantitativa	Inventario del bosque Densidad maderable	Nominal	Inventario de la parcela 2 del Arboretum “El Huayo”.
Variable dependiente (Y) Potencial bio-combustible -Madera tostada -Carbón	Cantidad de energía almacenada en un árbol, bosque o cultivo energético que podría ser aprovechada transformándola en biocombustible.	Cuantitativa	- Rendimiento de madera tostada. - Rendimiento de carbón	Nominal	Cuadro de rendimiento de madera tostada. Cuadro de rendimiento de carbón

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño

El presente estudio es de enfoque cuantitativo, tipo descriptivo comparativo-correlacional y de nivel básico.

Lugar de ejecución

El estudio se realizó en el bosque de la parcela 2 del Arboretum El Huayo, se encuentra ubicado geográficamente en las coordenadas 3° 49' 40" Latitud Sur y 73° 22' 30" Longitud Oeste, con una altitud aproximada de 120 msnm. Políticamente, se ubica en la jurisdicción del distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas, región Loreto. Se localiza dentro de la zona de vida denominada Bosque Húmedo Tropical (bh – T) cuyas características fisonómicas, estructural y de composición florísticas, corresponden a precipitaciones mayores a 2000 mm y menores a 4000 mm. Climatológicamente presenta: precipitación media anual de 2979,3 mm; la temperatura media anual es de 26,4 °C; la humedad relativa media anual es de 82,1 %. (Quintana 2006 citado por Cabudivo *et al.*, 2019, p. 15).

La configuración geológica de la zona se enmarca dentro de la denominada cuenca amazónica, la misma que en su mayor parte se encuentra cubierta por sedimentos detríticos continentales, los materiales que conforman la zona a nivel de reconocimiento, pertenecen al sistema Terciario Superior y Cuaternario de la era Cenozoica. (Quintana 2006 citado por Espíritu, *et al.*, 2015, p. 22).

3.2 Diseño muestral

Población

La población de estudio estuvo conformada por todos los árboles de las especies *Eschweilera grandifolia*, *Cedrelinga cateniformis* y *Virola obovata* de la parcela 2 del arboretum “El huayo” establecidas en el CIEFOR Puerto Almendra.

Muestra

La muestra de las especies fue elegida de acuerdo a la densidad básica de la madera, densidad básica baja, densidad básica media y densidad básica alta (Aróstegui, y Sato 1975), además, por la cantidad de individuos arbóreas presentes en la parcela 2, por lo tanto, se ha seleccionado de forma preferencial a las especies *E. grandifolia*, *C. cateniformis* por ocupar los primeros lugares del inventario en la parcela 2 y la especie *V. obovata*, por poseer la densidad más baja.

3.3. Procedimiento de recolección de datos

3.3.1 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se realizó inventario al 100% en la parcela 2 del Arboretum “El Huayo” para identificar las especies arbóreas existentes de *E. grandifolia*, *C. cateniformis* y *V. obovata*”, con DAP \geq 25 cm. Utilizando forcímulas para medir el diámetro del fuste arbóreo, clinómetros para medir la altura y brújulas para la ubicación del norte magnético. Estas especies fueron inventariadas con los mismos códigos que tienen asignados de acuerdo al proyecto ejecutado por el jardín botánico Valderrama (2002).

3.4. Procesamiento y análisis de los datos Cálculo del volumen maderable

Cuantificación del volumen maderable de árboles en pie.

Se determinó el volumen comercial en pie de cada árbol de las plantaciones a partir del DAP, la altura comercial y el factor de forma mediante la fórmula propuesta por (Kometter y Maravi, 2007).

$$V= AB * Ff * Hc$$

Donde:

V = volumen en m³

AB = área basal en m²

Ff = factor de forma (0,65)

Hc= altura comercial en metros

Densidad básica de la madera de los arboles

Las especies forestales de *V. obovata* están clasificadas en densidad básica baja (330 Kg/m³), *C. cateniformis* con densidad básica media (480 Kg/m³) y *E. grandifolia* con densidad básica alta (720 Kg/m³) (JUNAC-PADT-REFORT 1979).

Conversión de volumen a biomasa del fuste

$$BF = \frac{V * Db}{1000}$$

Donde:

BF = Biomasa fuste en kilogramos

V = Volumen en m³

Db = Densidad básica de la madera en kg/m³

1000 = Es una constante, para convertirla la biomasa a toneladas.

Cálculo de biomasa aérea total

Según (IPCC, 2003 citado por Guerra, 2013, p. 23).

$$BT = BF * FEB$$

Donde:

BT = Biomasa aérea total en Kilogramos

BF = Biomasa del fuste en kilogramo (kg)

FEB = Factor de expansión de biomasa = 3,4

Rendimiento potencial de los bio-combustibles

R. potencial= (Peso Biomasa (Kg) * Rendimiento de madera tostada (%) /100

R. potencial = (Peso biomasa (Kg)*Rendimiento de carbón (%) /100

* Determinado en laboratorio por (Rodríguez 2003 y Taranco *et al.*, 1991).

**Rendimiento densidad baja= 65,07% madera tostada; 32,86%carbon

**Rendimiento densidad media= 75,16% madera tostada; 35,37% carbón

**Rendimiento densidad alta= 75,16% madera tostada; 38,45% carbón

Análisis de Estadísticos

Las comparaciones del potencial bio-combustible en *Eschweilera grandifolia*, *Cedrelinga cateniformis* y *Virola obovata* fueron analizadas mediante el ANVA con nivel de significación de $\alpha = 0,05$; al mismo tiempo, se efectuó la prueba estadística de Tukey al $\alpha = 0,05$ para comparar el nivel de significancia de diferentes densidades y tipo de bio-combustibles; además, se evaluó el grado de afinidad de las variables especies, densidad básica, madera tostada y el carbón mediante la correlación de Pearson.

Los resultados son contrastados según la hipótesis estadística formulada:

Hipótesis nula

No existe diferencia significativa entre el 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.

Hipótesis alterna

Existe diferencia significativa entre el 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.

La significancia resulta cuando la Prueba T es menor de $\alpha = 0,05$ y la No significativa cuando la prueba T es mayor de $\alpha = 0,05$

CAPITULO IV: RESULTADOS

4.1. Rendimiento potencial biocombustible de madera tostada de las especies en estudio de la parcela 2 del Arboretum “El Huayo” del CIEFOR Puerto Almendra.

Se presentan los resultados en el cuadro 2 y en la figura 1, referente al rendimiento del potencial biocombustible de madera tostada de *E. grandifolia*, *C. cateniformis* y *V. obovata* de la parcela 2 del Arboretum “El Huayo” del CIEFOR Puerto Almendra.

Los resultados indican un mayor rendimiento en madera tostada en *E. grandifolia*, con 2011,3 kg/árbol, seguido de *C. cateniformis* con 1072 kg/árbol. *V. obovata* presenta el más bajo rendimiento en madera tostada con 435,8 kg/árbol.

También, se presenta el rendimiento potencial por hectárea de la madera tostada por especie, sobresaliendo *E. grandifolia* 54 304 kg/ha, seguido de *C. cateniformis* con 19296,0 kg/ha; siendo la “*V. obovata* la de menor rendimiento potencial con 4 357,8 kg/ha. Sumando un total de 77 957,8 kg/ha madera tostada en 53 árboles mayores de 25 cm de DAP en la parcela 2 del “arboretum El huayo.

En el cuadro 3 el análisis de varianza presenta la distribución de $F= 4,050$ para una $\alpha= 0,05= 0,023$ lo que indica que existe diferencia significativa del

rendimiento potencial en madera tostada entre las especies *E. grandifolia*, *C. cateniformis* y *V. obovata*.

Al realizar la prueba de Tukey ésta muestra diferencia significativa entre el rendimiento potencial en madera tostada entre *E. grandiflora* y *V. obovata*

Cuadro 2. Rendimiento potencial biocombustible de madera tostada

Especies	N° árbol	Media (Kg/árbol)	Total (kg/ha)	Error típico	Intervalo de confianza	
					Límite	Límite
<i>V.</i>	10	435,8	4 357,8	113,70	209,56	723,99
<i>C. cateniformis</i>	16	1 072,0	19 296,0	235,52	665,07	1 669,08
<i>E. grandifolia</i>	27	2 011,3	54 304,0	387,70	1 214,32	2 808,20
Total	53		77 957,8	224,93	1 013,64	1 916,36

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

Factor de Variabilidad.	S. C	GL	M. Cuadrática"	F	$\alpha (0,05)$	Sig.
Inter-grupos	19441446,58	2	9720723,29	4,050	,023	Significativo
Intra-grupos	119998079,43	52	2399961,58			
Total	139439526,01	54				

Cuadro 4. Prueba de Tukey del potencial biocombustible de madera tostada

(I) Especies	(J) Especies	Diferencia de medias (I – J)	Significancia
<i>V. obovata</i>	<i>C. cateniformis</i>	-700,29675	0,506
	<i>E. grandifolia</i>	-1544,48281*	0,026
<i>C. cateniformis</i>	<i>V. obovata</i>	700,29675	0,506
	<i>E. grandifolia</i>	-844,18606	0,205
<i>E. grandifolia</i>	<i>V. obovata</i>	1544,48281*	0,026
	<i>C. cateniformis</i>	844,18606	0,205

*Significativo al $\alpha = 0,05$

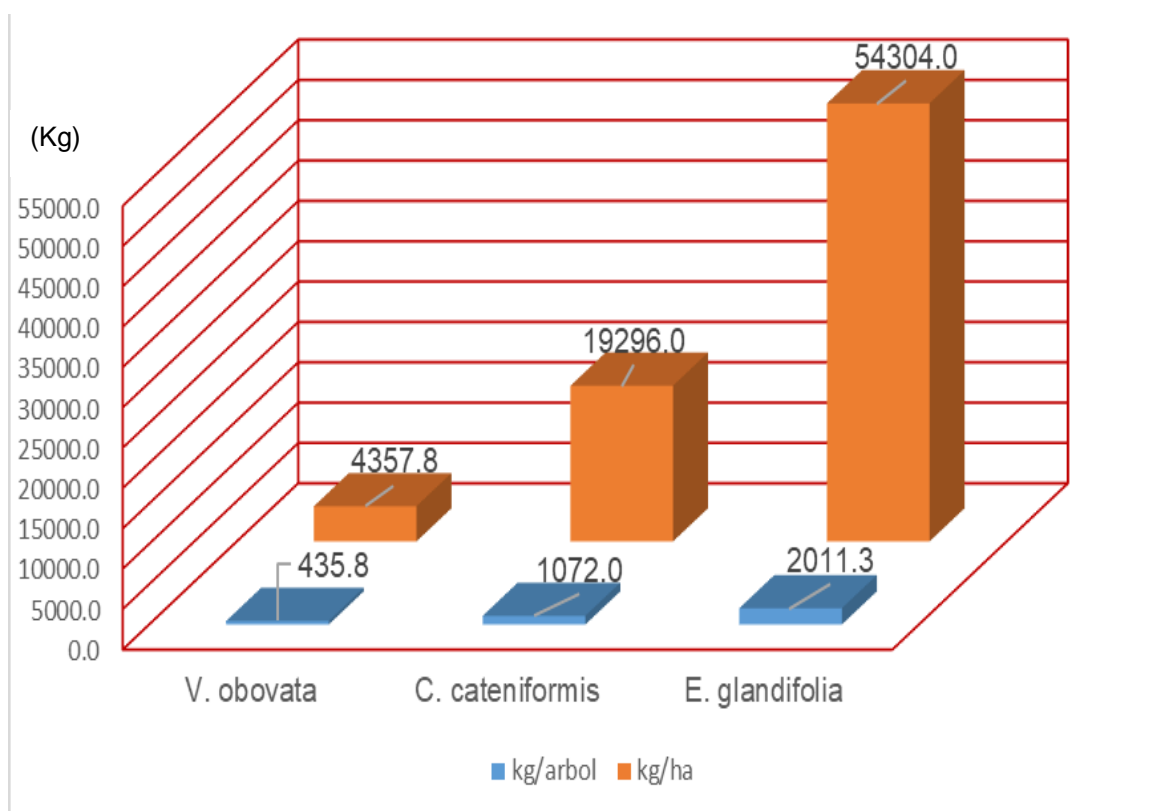


Figura 1. Rendimiento del potencial biocombustible de madera tostada (kg)

4.2. Rendimiento potencial biocombustible del carbón de las especies en estudio de la parcela 2 del Arboretum “El Huayo” del CIEFOR Pto. Almendra

En el cuadro 5 y la figura 2 se presentan los resultados de los rendimientos potenciales de los biocombustibles del carbón de *E. grandifolia*, *C. cateniformis* y *V. obovata* de la parcela 2 del Arboretum “El Huayo”.

Los resultados muestran que el mayor rendimiento promedio potencial promedio en carbón es en *E. grandifolia* con 1070,4 kg/árbol, seguido de *C. cateniformis* con 504,6 kg/árbol. *V. obovata* presenta el menor rendimiento potencial promedio en carbón con 200,9 kg/árbol. Además, se presenta el rendimiento potencial por hectárea en carbón por especie, sobresaliendo *E. grandifolia* con 2 8900,5 kg/ha, seguido de *C. cateniformis* con 9 082,3 kg/ha; siendo *V. obovata* la de menor rendimiento potencial con 2 009,1 kg/ha sumado en total 39 991,9 kg/ha en 53 árboles con diámetros a la altura del pecho (DAP) mayores de 25 cm en la parcela 2 del “arboretum El huayo”.

En el cuadro 6, el análisis de varianza presenta la distribución de $F= 4,789$ para una probabilidad $\alpha=0,05= 0,012$ lo que indica que existe significancia en el rendimiento potencial del carbón entre las especies en estudio, confirmado por la prueba de tukey correspondiente al cuadro 7.

Cuadro 5. Rendimiento potencial biocombustible en carbón por especie y total

Especies	N° arboles	Media (kg/árbol)	Total (kg/ha)	Intervalo de confianza para la media al 95%	
				L. inferior	L. superior
<i>V. Obovata</i>	10	200,9	2009,1	89,112	351,024
<i>C. cateniformis</i>	16	504,6	9082,3	335,930	799,351
<i>E. grandifolia</i>	27	1070,4	28900,5	314,227	2873,788
Total	53		39991.9	369,723	1680,131

Cuadro 6. Análisis de varianza del potencial biocombustible en carbón

Fuentes de variación	GL	SQ	QM	F	$\alpha=0,05$	Signific
Inter-grupos	2	631,75 e+04	315,88 e+04	4,789	0,012	*
Intra-grupos	52	329,75 e+05	659,50 e+03			
Total	54	961,5 e+09				

*No Significativo al $\alpha=0,05$

Cuadro 7. Prueba de tukey del potencial biocombustible en carbón

Media	Comparación	Dif. medias	Q (p)	Significancia
<i>V. Obovata</i>	<i>V. Obovata</i>	303,700	1,5843 < 0.05	Significativo
	<i>C. cateniformis</i>			
<i>C. cateniformis</i>	<i>V. Obovata</i>	869,478	4,0902 < 0.05	Significativo
	<i>E. grandifolia</i>			
<i>E. grandifolia</i>	<i>C. cateniformis</i>	565,750	2,7750 < 0.05	Significativo
	<i>E. grandifolia</i>			

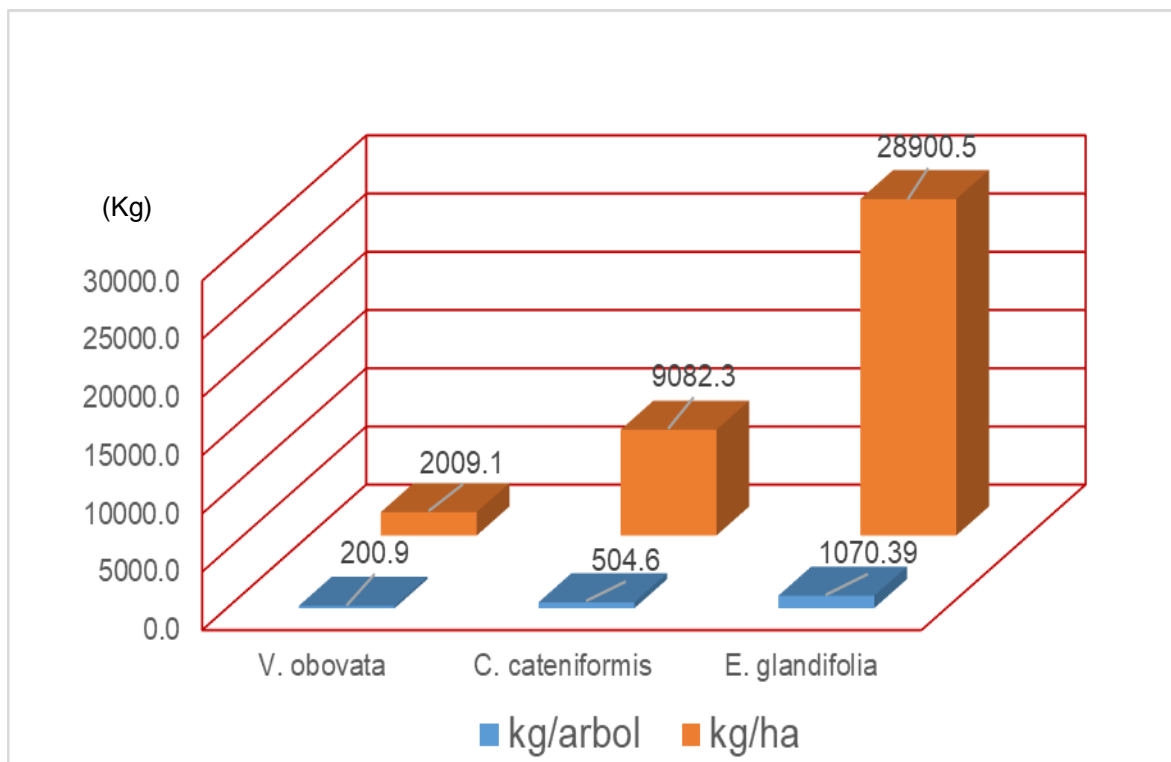


Figura 2. Rendimiento del potencial biocombustible de carbón (kg)

4.3 Análisis de correlación de las variables densidad de la madera-biomasa-madera tostada-carbón de la parcela 2 Arboretum “El Huayo”

Se presenta el análisis de correlación lineal de Pearson en el cuadro 8, para la evaluación del rendimiento potencial biocombustible en madera tostada y en carbón para *E. grandifolia*, *C. cateniformis* y *V. obovata* en la parcela 2 del Arboretum “El Huayo” del CIEFOR Puerto Almendra.

Los resultados muestran que las comparaciones entre las variables densidad básica de la madera con biomasa arbórea, presentan correlación altamente significativa ($p=0,0097$) con coeficiente de Pearson igual a $r = 0,9903$; es decir, que la biomasa arbórea está influenciada por la densidad básica de la madera en 99,03%. Cuando se compara la densidad básica de la madera

con el rendimiento potencial en madera tostada, presentan correlación altamente significativa ($p=0,0144$) con coeficiente de Pearson igual a $r = 0,9856$; también este resultado indica que la densidad básica de la madera de las especies “*E. grandifolia*, *C. cateniformis* y *V. obovata* influencia en el rendimiento potencial de madera tostada en un 98,56%. Con respecto a la comparación de la densidad básica con el rendimiento potencial del carbón de las tres especies evaluadas presentan correlación altamente significativa ($p=0,0058$) con coeficiente de Pearson igual a $r = 0,9942$; es decir, que existe influencia en 99,42% de la densidad básica en el rendimiento potencial del carbón en las especies estudiadas.

Cuadro 8. Análisis de correlación entre la densidad básica de la madera y las variables biocombustibles

Especies	D.B* (kg/m ³)	DAP** (cm)	V F*** (m)	B.A**** (kg/árbol)	M. T***** (kg/árbol)	Carbón (kg/árbol)
<i>V. Obovata</i>	373	31,75	0,53	669,71	435,78	200,91
<i>C. cateniformis</i>	480	47,38	0,98	1426,55	1072,00	504,57
<i>E. grandifolia</i>	800	43,11	0,98	2675,98	2005,18	1070,39
<i>r (Pearson)</i>		0,4788	0,6944	0,9903	0,9856	0,9942
<i>p(0,05)</i>		0,5212	0,3056	0,0097	0,0144	0,0058
Sig		No Sig.	No Sig	Significativo	Significativo	Significativo

*Densidad básica madera- **Diámetro Altura del Pecho- ***Volumen de fuste
****Biomasa arbóreo-*****Madera tostada

CAPITULO V: DISCUSIÓN

Referente al inventario realizado en la parcela 2 del Arboretum “El Huayo” el número de árboles con DAP \geq de 25 cm existentes de *V. obovata*, *C. cateniformis* y *E. grandiflora* es de 10, 16 y 27. El censo se ha realizado a partir de esta clase diamétrica porque, los árboles tienden a alcanzar la densidad básica de un árbol adulto a partir de los 25 cm de DAP (Cabudivo 2011, p. 42) y con estos datos se procedió a calcular la biomasa aérea en árboles en pie y, por lo tanto, el potencial biocombustible en madera tostada y en carbón.

El rendimiento más alto de biocombustible de madera tostada se encontró en *E. grandiflora* con 2 011,3 kg/árbol comparado con *C. cateniformis* y *V. obovata* con 1 072,0 kg/árbol y 435,8 kg/árbol respectivamente; estos cálculos están influenciados por la variable densidad básica de la madera, porque, a mayor densidad existe mayor concentración de lignina en las paredes celulares, la lignina es un compuesto cementante que brinda rigidez al fuste de los árboles; Por lo tanto, maderas con alta concentración de lignina, al ser sometido a altas temperaturas, tienen mayor resistencia a la descomposición (Rodríguez, 2004; Briane y Doat,1985; FAO (1983 citado por Ruiz, 2017, p. 7). Si se observa los cuadros 9, 10 y 11 del anexo se aprecia que el promedio diamétrico del fuste es mayor en *C. cateniformis* (47,38 cm) con respecto al *E. grandiflora* (43,11cm) y menor en *V. obovata* (31,75 cm).

Además, el rendimiento potencial biocombustible en carbón se determinó el más alto en *E. grandiflora* con 1 070,4 kg/árbol y 28 900,5 kg/ha,

comparado con *C. cateniformis* con 504,6 kg/árbol y 9 082,3 kg/ha y *V. obovata* con 200,9 kg/árbol y 2009,1 kg/ha; lo cual demuestra la influencia de la densidad básica de la madera, por lo tanto, mayor rendimiento de carbón, porque, la mayor concentración de lignina tiene mayor resistencia a la descomposición ser sometido a altas temperaturas; los resultados confirman que *E. grandiflora* por tener densidad básica de 800 kg/m³ presenta el mayor rendimiento en madera tostada y carbón, seguido del *C. cateniformis* con 480 kg/m³ y *V. obovata* con 373 kg/m³.

Analizando estadísticamente las variables especie de densidad básica baja, media y alta, madera tostada y carbón del presente trabajo muestra que es significativo, sin embargo, al hacer las comparaciones entre los promedios de los tratamientos mediante la prueba Tukey, solamente existe significancia entre *V. obovata* y *E. grandiflora*, es decir, entre la especie de densidad básica baja y la de densidad básica alta; mientras para el rendimiento potencial en carbón, existe diferencia significativa entre las especies y densidades básicas.

De acuerdo al análisis de correlación de Pearson a un nivel de significancia de $\alpha=0,05$ entre la densidad básica de la madera con el rendimiento potencial de madera tostada en árboles en pie de bosque natural existe alta significancia con influencia del 98,56% y el 99,42% en el rendimiento del carbón para las especies en estudio.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES

1. El mayor rendimiento potencial biocombustible en madera tostada fue en *E. grandifolia* con 2 011,3 kg/árbol; seguido de *C. cateniformis* con 1072,3 kg/árbol. *V. obovata* es la que presenta el menor rendimiento potencial con 435,8 kg/árbol.
2. El mayor rendimiento potencial por hectárea en madera tostada fue en *E. grandifolia* con 54 304,0 kg/ha, seguido de *C. cateniformis* y *V. obovata* con 19 296,0 kg/ha y 4357,8 kg/ha, respectivamente.
3. El mayor rendimiento potencial biocombustible en carbón se determinó en *E. grandifolia* con 1 070,4 kg/árbol; seguido de *C. cateniformis* y *V. obovata* con 504,6 kg/árbol y 200,9 kg/árbol, respectivamente.
4. El mayor rendimiento potencial biocombustible por hectárea en carbón por especie fue en *E. grandifolia* con 28 900,5 kg/ha, seguido de *C. cateniformis* con 9 082,3 kg/ha y *V. obovata* con 2 009,1 kg/ha, respectivamente.
5. Existe diferencia estadística significativa en el rendimiento en madera tostada y carbón en *E. grandifolia*, *C. cateniformis* y *V. obovata* de la parcela 2 del Arboretum "El huayo". Además, existe alta diferencia estadística significativa entre la densidad básica de la madera y el rendimiento potencial biocombustible en madera tostada y carbón.

CAPITULO VII: RECOMENDACIONES

1. A los usuarios silvicultores, utilizar el método de cálculo utilizado para cuantificar la producción de biocombustibles en los árboles en pie *E. grandifolia*”, *C. cateniformis* y *V. obovata* .
2. Es necesario continuar investigando este tema con más profundidad en árboles en pie de acuerdo a su densidad básica
3. Realizar la transferencia de este conjunto de técnicas a las comunidades con la finalidad que mejore su producción biocombustible.

CAPÍTULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN

- AGUINELIO, P. Y BATISTA, J. 1980. Teoría da carbonizacáo da madeira. Fundacáo Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC. Serie de Publicaciones Técnicas. SPT- 001. pp 29-41. Belo Horizonte.
- AGUINELIO, F. 1982. Uso da Madeira para Fins Energéticos. Teoría de Carbonizacáo da Madeira. Fundacáo Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC. Serie de Publicaciones Técnicas. SPT- 001. pp 29-41. Belo Horizonte.
- ARCATE, J. R. 2000. New process for torrefied wood manufacturing. *Bioenergy*. 2 (4). (<http://www.techtp.com/Bioenergy%20Update%20.pdf>).
- AROSTEGUI, A. y SATO, A. 1975. Estudio de las propiedades físico mecánicas de la madera de 16 especies forestales del Perú. *Revista Forestal del Perú* 4 (1): 1-13.
- BRIANE, D.; et DOAT, J. 1985. Guide Technique de La Carbonisation. La Fabrication du Charbon de Bois. Agence Francaise Pour La Maitrise de Energia. Association Bois de Fuecentre TechniqueForestier Tropical. France. 180 p.
- CABUDIVO, A. 2019. Apuntes del curso de Agroforestería. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Facultad de Ciencias Forestales. Iquitos. 60 pág.
- CABUDIVO, J. M. 2011. Evaluación de las propiedades físico- mecánicas de la madera de plantaciones de *Simarouba amara* (aubl) y *Cedrelinga cateniformis* (Ducke), de diferentes edades. Iquitos-Peru. Tesis Ing. Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Iquitos. 84 p.
- CABUDIVO, A.1990. Rendimiento y análisis químico inmediato del carbón de tres

especies forestales tropicales de la zona de Jenaro Herrera. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Facultad de Ingeniería Forestal. Iquitos. 67 p.

CABRERA, M.; VERA, A.; CORNEJO, J. M.; ORDAS, I.; TOLOSANA, E.; AMBROSIO, Y.; MARTINEZ, I.; VIGNOTE, S.; HOTAIT, N.; LAFARGA, A. Y GARRAZA, J. A. 2011. Evaluación del potencial de energía de la biomasa. Estudio Técnico PER 2011-2020. Estudio promovido por IDAE en el marco de la elaboración del Plan de Energías Renovables (PER) en España 2011-2020. Madrid. 196 p.

DOAT, J. 1985. Un nouveau produit energetique pour les pays en developpement. Le bois torrefie. Bois forests des tropiques 208.

DONAYRE, G. 2015. Rendimiento energético de la madera tostada y carbón de tres especies forestales del arboretum "El Huayo" Puerto Almendra, Iquitos-Perú. Tesis de Ing Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Iquitos-Perú. 54 p.

ESPÍRITU, J. M.; QUINTANA, S.; REÁTEGUI, R.; ANGULO, P. A.; MACEDO, L. A.; DONAYRE, M. R.; PANDURO, R. M.; ARELLANO, J.; Y CABUDIVO, C. E. 2015. Valoración económica del secuestro de CO₂ y su stock de carbono en las plantaciones del CIEFOR-Puerto Almendra, Iquitos-Perú. Informe final. Proyecto de investigación. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Iquitos. 64 p.

FONSECA, W.; ALICE, F.; REY, J. M. 2009. Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona caribe de Costa Rica. *Bosque*. 30(1): 36-47.

GARCIA, A. 2013. Estimación del potencial de producción de biocombustibles en

- Costa Rica a partir de cultivos energéticos, agroenergéticos y aceites usados, al 2021. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Química. Titulo de Ingeniera Ambiental. Cartago. 195 pp.
- GARCÍA-ROJAS, L. M.; F. MÁRQUEZ-MONTESINO; L. AGUIAR-TRUJILLO; J. ARAUSO-PÉREZ; L. R. CARBALLO-ABREU, U. OREA IGARZA; R. ZANZI. 2009. Rendimiento de los productos de la descomposición térmica de la madera de *Eucalyptus salignas* Smith a diferentes alturas del fuste comercial. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 15(2): 147-154.
- GUERRA, N. U. 2013. Valoración económica del secuestro de CO₂ y stock de carbono en plantaciones de *Simarouba amara* (Aublet) “marupa” en cinco edades diferentes en el CIEFOR-Puerto Almedra, Iquitos-Perú. Tesis Ing. Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Iquitos. 54 p.
- INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGIA-INE. 2007. Glosario ecológico. Instituto Nacional de Ecología. Andalucía. 132 p.
- JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA. 1979. Tablas de propiedades físicas y mecánicas de la madera de 20 especies del Perú. Junta del Acuerdo de Cartagena, PADT - REFORT. 1984. 53 p.
- KOMETTER, R.; MARAVI, E. 2007. Metodología para elaborar tablas nacionales de conversión volumétrica de madera rolliza en pie a madera aserrada calidad exportación. Tabla de conversión para el cálculo de volúmenes de madera aserrada - caoba (*Swietenia macrophylla*). Nicaragua. 32 p
- MANRIQUE S. M, OJEDA, M. L., SÁNCHEZ- HERVÁS J. M, CURBELO-ALONSO A, GARRIDO, S. Editores. 2021. Sistemas de Biomasa y Bioenergía: Casos

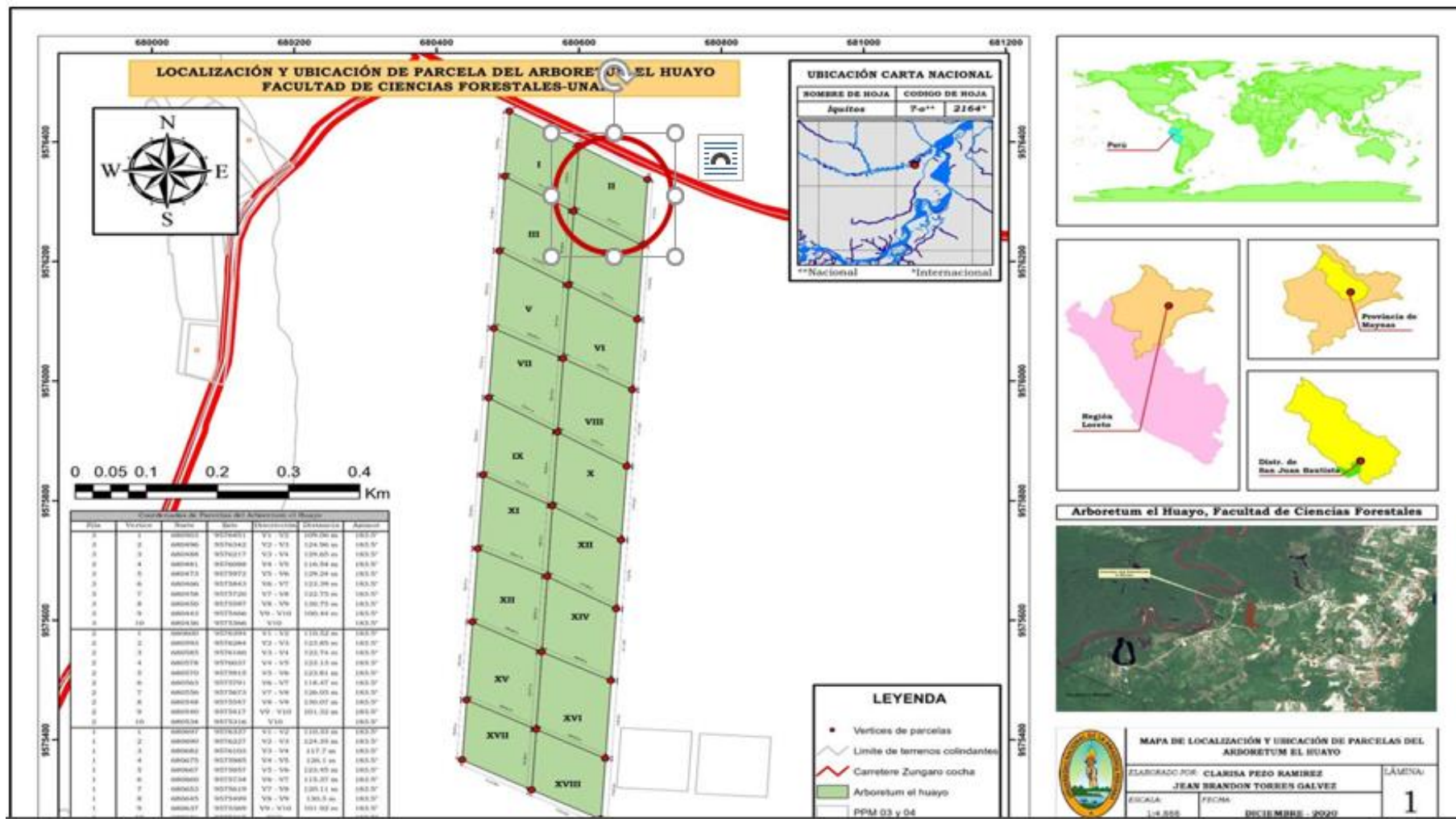
- Ejemplares en Iberoamérica. Hacia la sustentabilidad bioenergética territorial. CYTED Ediciones. Una publicación de la Red Iberoamericana de Tecnologías de Biomasa y Bioenergía Rural (ReBiBiR-T). ISBN: 978-84-15413-40-0. Madrid, España. 444 p.
- MARTINS, H. 1980. Madeira como fonte de energia. Em: Uso da madeira para fins energéticos. Fundacao Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC. Belo horizonte. Serie de Publicacoes Técnicas. pp. 9-26.
- PEREZ, C. 2023. Características de las alternativas energéticas de combustibles sólidos de tres especies del bosque varillal de Nina rumi, Loreto-Perú, 2020. Tesis Ing. Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Iquitos, 37 p.
- RODRIGUEZ, C. A. 2003. Evaluación de las características físico-químico y energética de leña seca al aire, leña tostada y carbón de residuos de aserrío de tres especies forestales en Puerto Almendra. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Facultad de Ingeniería Forestal. Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal. Iquitos. 39 p.
- RUIZ, M. 2017. Características bio-combustibles de la madera tostada y carbón de plantaciones *Vochysia lomatophyla* de diferentes edades, Puerto Almendra, Iquitos-Perú. Tesis Ing. Forestal. Facultad de Ingeniería Forestal. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Iquitos. 59 p.
- TARANCO, M; CABUDIVO, A; y DA CUNHA, M. 1991. Alternativas energéticas de veintiocho especies forestales de la Amazonia peruano-brasileño. Serie técnica N°2. Editado por la Red Nacional de Información Forestal. Lima-Perú. 46 p.

VALDERRAMA, H. 2002. Plan de Desarrollo del Jardín Botánico – Arboretum “El Huayo” en el CIEFOR Puerto Almendra. Proyecto Diversidad Biológica de la Amazonia Peruana (BIODAMAZ). Perú – Finlandia. Instituto de Investigaciones de la amazonia Peruana (IIAP), Universidad Nacional de la Amazonia Peruana (UNAP). Iquitos, Perú. 152 p.

<https://maderame.com> visitado el 4 de marzo de 2023

<http://.riego.org>. Visitado el 1 de abril 2023.

A N E X O



Anexo1: Mapa de ubicación del CIEFOR-Puerto Almendra, Iquitos

Anexo 2. Inventario y cálculo del potencial biocombustible de *V. obovata* del Arboretum “El Huayo” - Parcela 2

N°	DAP (cm)	Altura comercial (m)	Área basal (m ²)	Volumen Fuste (m ³)	Densidad básica (Kg/m ³)	Biomasa		Rendimiento		Rendimiento potencial	
						Fuste (kg)	Árbol (kg)	M. tostada (%)	Carbón (%)	M. tostada (kg/árbol)	Carbón (kg/árbol)
1	25,00	8,00	0,049	0,255	373	95,21	323,71	65,07	32,86	210,64	97,11
2	30,00	7,00	0,071	0,322	373	119,96	407,88	65,07	32,86	265,41	122,36
3	25,00	10,00	0,049	0,319	373	119,01	404,64	65,07	32,86	263,30	121,39
4	25,00	10,00	0,049	0,319	373	119,01	404,64	65,07	32,86	263,30	121,39
5	23,00	8,00	0,042	0,216	373	80,59	273,99	65,07	32,86	178,29	82,20
6	42,00	10,00	0,139	0,901	373	335,90	1142,06	65,07	32,86	743,14	342,62
7	36,50	8,00	0,105	0,544	373	202,95	690,03	65,07	32,86	449,00	207,01
8	31,00	8,00	0,075	0,392	373	146,40	497,74	65,07	32,86	323,88	149,32
9	32,00	7,00	0,080	0,366	373	136,49	464,08	65,07	32,86	301,97	139,22
10	48,00	14,00	0,181	1,647	373	614,22	2088,35	65,07	32,86	1358,89	626,50
Total	317,50	90,00	0,840	5,281		1969,74	6697,13	650,70	328,60	4357,82	2009,14
Promedio	31,75	9,00	0,08	0,53	373	196,97	669,71	65,07	32,86	435,78	200,91

Anexo 3. Inventario y cálculo del potencial biocombustible de *C. cateniformis* del Arboretum “El Huayo” - Parcela 2

N°	DAP (cm)	Altura comercial (m)	Área basal (m ²)	Volumen Fuste (m ³)	Densidad básica (Kg/m ³)	Biomasa (kg)		Rendimiento		Rendimiento potencial	
						Fuste	Árbol	M. tostada	Carbón	M. tostada	Carbón
								(%)	(%)	(kg/árbol)	(kg/árbol)
1	63,00	8,00	0,312	1,621	480	778,07	2645,43	75,16	35,37	1988,30	935,69
2	50,00	7,00	0,196	0,893	480	428,83	1458,02	75,16	35,37	1095,85	515,70
3	47,00	10,00	0,173	1,128	480	541,30	1840,43	75,16	35,37	1383,27	650,96
4	46,00	7,00	0,166	0,756	480	362,96	1234,07	75,16	35,37	927,52	436,49
5	25,00	4,00	0,049	0,128	480	61,26	208,29	75,16	35,37	156,55	73,67
6	44,00	7,00	0,152	0,692	480	332,08	1129,09	75,16	35,37	848,62	399,36
7	49,00	7,00	0,189	0,858	480	411,85	1400,28	75,16	35,37	1052,45	495,28
8	40,00	6,00	0,126	0,490	480	235,24	799,83	75,16	35,37	601,15	282,90
9	31,00	4,00	0,075	0,196	480	94,20	320,26	75,16	35,37	240,71	113,28
10	39,00	6,00	0,119	0,466	480	223,63	760,33	75,16	35,37	571,47	268,93
11	64,00	10,00	0,322	2,091	480	1003,70	3412,59	75,16	35,37	2564,90	1207,03
12	38,00	9,00	0,113	0,663	480	318,46	1082,76	75,16	35,37	813,81	382,97
13	39,00	7,00	0,119	0,544	480	260,90	887,06	75,16	35,37	666,71	313,75
14	57,00	7,00	0,255	1,161	480	557,31	1894,84	75,16	35,37	1424,16	670,20
15	48,00	8,00	0,181	0,941	480	451,67	1535,67	75,16	35,37	1154,21	543,17
16	78,00	10,00	0,478	3,106	480	1490,85	5068,90	75,16	35,37	3809,78	1792,87
Total	758,00	117,00	3,027	15,734		7552,31	25677,84	1202,56	565,92	19296,46	9082,25
Promedio	47,38	7,31	0,19	0,98	480	472,02	1604,86	75,16	35,37	1072,19	504,57

Anexo 4. Inventario y cálculo del potencial biocombustible de *E. grandifolia* del Arboretum “El Huayo” - Parcela 2

N° árbol	DAP (cm)	Altura comercial (m)	Área basal (m ²)	Volumen fuste (m ³)	Densidad básica (Kg/m ³)	Biomasa		Rendimiento		Rendimiento potencial	
						Fuste	Árbol	M. tostada	Carbón	M. tostada	Carbón
						(kg)	(kg)	(%)	(%)	(kg/árbol)	(kg/árbol)
1	31,00	8,00	0,075	0,392	800	313,98	1067,55	75,16	38,45	802,37	427,02
2	32,00	8,00	0,080	0,418	800	334,57	1137,53	75,16	38,45	854,97	455,01
3	38,00	8,00	0,113	0,590	800	471,79	1604,10	75,16	38,45	1205,64	641,64
4	46,00	11,00	0,166	1,188	800	950,61	3232,08	75,16	38,45	2429,23	1292,83
5	36,00	8,00	0,102	0,529	800	423,44	1439,69	75,16	38,45	1082,07	575,87
6	46,00	8,00	0,166	0,864	800	691,35	2350,60	75,16	38,45	1766,71	940,24
7	26,00	6,00	0,053	0,207	800	165,65	563,21	75,16	38,45	423,31	225,28
8	25,00	7,00	0,049	0,223	800	178,68	607,51	75,16	38,45	456,60	243,00
9	63,00	8,00	0,312	1,621	800	1296,78	4409,04	75,16	38,45	3313,84	1763,62
10	43,00	11,00	0,145	1,038	800	830,66	2824,25	75,16	38,45	2122,70	1129,70
11	68,00	8,00	0,363	1,888	800	1510,78	5136,66	75,16	38,45	3860,71	2054,66
12	30,00	8,00	0,071	0,368	800	294,05	999,78	75,16	38,45	751,44	399,91
13	30,00	8,00	0,071	0,368	800	294,05	999,78	75,16	38,45	751,44	399,91
14	59,00	8,00	0,273	1,422	800	1137,33	3866,94	75,16	38,45	2906,39	1546,78
15	34,50	8,00	0,093	0,486	800	388,89	1322,21	75,16	38,45	993,78	528,89
16	25,00	8,00	0,049	0,255	800	204,20	694,29	75,16	38,45	521,83	277,72
17	38,00	10,00	0,113	0,737	800	589,74	2005,12	75,16	38,45	1507,05	802,05
18	48,00	12,00	0,181	1,411	800	1129,17	3839,17	75,16	38,45	2885,52	1535,67
19	51,00	8,00	0,204	1,062	800	849,82	2889,37	75,16	38,45	2171,65	1155,75
20	38,00	7,00	0,113	0,516	800	412,82	1403,58	75,16	38,45	1054,93	561,43
21	25,00	7,00	0,049	0,223	800	178,68	607,51	75,16	38,45	456,60	243,00
22	49,00	8,00	0,189	0,981	800	784,47	2667,20	75,16	38,45	2004,67	1066,88
23	26,00	7,00	0,053	0,242	800	193,26	657,08	75,16	38,45	493,86	262,83
24	76,00	12,00	0,454	3,538	800	2830,76	9624,58	75,16	38,45	7233,83	3849,83
25	48,00	8,00	0,181	0,941	800	752,78	2559,44	75,16	38,45	1923,68	1023,78
26	93,00	10,00	0,679	4,415	800	3532,32	12009,89	75,16	38,45	9026,63	4803,96
27	39,50	8,00	0,123	0,637	800	509,77	1733,23	75,16	38,45	1302,70	693,29
Total	1164,00	228,00	4,522	26,563		21250,41	72251,39	2029,32	1038,15	54304,14	28900,55
Promedio	43,11	8,44	0,17	0,98	800	787,05	2675,98	75,16	38,45	2011,26	1070,39