



PERÚ

Ministerio de Agricultura

Dirección General  
Forestal y de  
Fauna Silvestre



PROYECTO PD 512/08 Rev.2 (I)

“UTILIZACIÓN INDUSTRIAL Y MERCADO DE DIEZ ESPECIES MADERABLES POTENCIALES DE BOSQUES SECUNDARIOS Y PRIMARIOS RESIDUALES”

## INFORME TÉCNICO

<b>Periodo cubierto:</b>	Del 1 de enero hasta el 30 de junio del 2012
<b>Título del proyecto:</b>	“Utilización industrial y mercado de diez especies maderables potenciales de bosques secundarios y primarios residuales”
<b>Título del informe:</b>	“Estudio de la transformación química de la madera de diez especies maderables potenciales de bosques secundarios y primarios residuales”
<b>Autor:</b>	Ing. MSc. Carlos Panduro Carbajal.
<b>Co autores:</b>	Ing. Pío Santiago Puertas Ing. Leticia Guevara Salnicov Bach. Mayra Lorena Espinoza Linares
<b>Número de serie:</b>	PD 512/08 Rev.2 (I)
<b>Gobierno anfitrión:</b>	Perú
<b>Organismo ejecutor:</b>	Asociación para la Investigación y Desarrollo Integral (AIDER)
<b>Fecha de inicio de proyecto:</b>	15 de setiembre de 2010
<b>Duración del proyecto:</b>	24 meses
<b>Fecha y lugar de expedición del informe:</b>	16 de julio del 2012, Lima-Perú

**Personal técnico y científico del proyecto:**

Coordinador Nacional	:	Ing. Jaime Guillermo Nalvarte Armas.
Director del Proyecto	:	Ing. Pío Santiago Puertas.
Responsable de Área – Pucallpa	:	Ing. Carmen Leticia Guevara Salnicov.
Responsable de Área – Aguaytía	:	Bach. Mayra Lorena Espinoza Linares.
Coordinador Regional	:	Ing. Angel Egovail Recuay

**Institución responsable:** Asociación para la Investigación y Desarrollo Integral (AIDER)

- Dirección: Av. Jorge Basadre 180, Dpto. 6, San Isidro, Lima 27, Perú
- Teléfono: (51) (01) 421 5835 – 628 7088 RPM #596189
- Correo electrónico: [lima@aider.com.pe](mailto:lima@aider.com.pe)
- Página web: [www.aider.com.pe](http://www.aider.com.pe)

## INTRODUCCION

La producción de madera rolliza y la transformación mecánica de la madera genera volúmenes importantes de residuos que a menudo no son utilizados o son subutilizados. Sin embargo estos residuos son parte de la estructura de costos de producción, especialmente gravitantes en la industria de transformación mecánica de la madera, que absorbe los altos costos de extracción mecanizada y transporte para producir madera simplemente aserrada sin mayor valor agregado

El carbón vegetal se usa mayoritariamente como combustible, no solo de uso doméstico sino también industrial, especialmente en los países en vías de desarrollo. El carbón vegetal es una fuente de energía renovable, lo que aumenta su interés como combustible. No obstante, la producción de carbón vegetal por métodos artesanales tiene un importante impacto ambiental que es necesario disminuir mediante el uso de métodos industriales con control de emisiones. La mayor parte del carbón vegetal se obtiene principalmente de la madera, aunque hay otras sustancias menos abundantes. Las propiedades físicas y químicas del carbón vegetal dependen de la materia prima original y de las condiciones del proceso de carbonización (Earl, 1975). El uso de carbón vegetal en reemplazo de la leña constituye una mejora en la calidad de vida de las familias urbanomarginales de las urbes, la mayoría migrantes de las explotaciones agropecuarias degradadas. Las mujeres sostienen que la leña es peligrosa y difícil de encender; además es un combustible sucio.

Por otra parte el mercado nacional de carbón es insostenible. Según MINAG-DGFF (2011) el 96% de la producción nacional del año 2010 procede de tres departamentos: Lambayeque, 74; Piura, 13; y La Libertad, 9%. Más aun, el 95% de la producción es de algarrobo, especie endémica de los bosques secos del norte del Perú.

La producción de carbón en la amazonia es una opción para recuperar los residuo que se generan en el bosque al momento de la extracción y en la transformación primaria de la madera, es decir en los aserraderos; contribuyendo así en el crecimiento y desarrollo socio económico del poblador amazónico, ya que actualmente los métodos utilizados son artesanales en la producción del carbón vegetal (Mori, 1994).

En esencia para obtener carbón vegetal a partir de la madera lo que se hace es crear una barrera física que aísla la madera del exterior, para evitar que al calentarla el oxígeno del aire la incendie. De este modo se logra la carbonización. Las diferentes tecnologías que se utilizan se basan en las distintas formas de crear esta barrera física que puede ser de tierra, ladrillos, cemento armado y metal. En las distintas formas de secar y calentar la madera. Si el calor empleado está originado por la propia madera de la carga o por algún otro combustible que se separa de la carga de madera que va a ser carbonizada. En función de que el proceso de producción sea continuo o discontinuo. En los procesos continuos, el carbón se obtiene sin interrupción, frente a los procesos discontinuos en los que transcurren varios días entre una obtención de carbón y la siguiente obtención. Las tecnologías continuas y de alta producción, con sistemas de control más o menos sofisticados, se denominan industriales a diferencia de las artesanales como la parva tradicional que es un proceso discontinuo.

La producción de carbón vegetal constituye una oportunidad para recuperación de residuos, no solo de la industria de transformación mecánica de la madera sino también para los residuos de producción de madera rolliza. El carbón vegetal se hace tradicionalmente con especies que dan lugar a un producto denso y de combustión lenta. Estas especies son de crecimiento lento y son por lo tanto muy vulnerables a la explotación intensiva. Es pues necesario estimular la diversificación y el uso de especies de plantación o especies que produzcan un carbón menos denso. Aunque el carbón menos denso puede tener diferentes propiedades físicas, no hay diferencia desde el punto de vista energético (FAO, 2000).

El presente documento informa sobre los resultados obtenidos en la producción de carbón de diez especies maderables de bosques secundarios y primarios residuales. Se ha determinado el rendimiento y análisis gravimétrico en la producción de carbón vegetal de 10 especies forestales en una mufla eléctrica; también el contenido de humedad, contenido de materias volátiles, contenido de cenizas, contenido de carbono fijo, poder calorífico del carbón y la densidad del carbón obtenido.

## II. METODOLOGÍA APLICADA

### 2.1 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Para la determinación de algunas de las características de la transformación química de la madera de *Apeiba membranacea* Aubl (Maquizapa ñagcha) *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F.Macbr. (Anacaspi), *Brosimum utile* (Kunt) Oken (Panguana), *Croton matourensis* Aubl. (Aucatadijo), *Jacaranda copaia* Aubl. D. Don (Huamanzamana), *Matisia cordata* Bonpl (Zapote), *Septotheca tessmannii* Ulbr. (Utucuro), *Schizolobium parahyba* (Vell) S.F. Blake) (Pashaco), *Simauroma amara* Aubl. (Marupa) y *Terminalia oblonga* (Ruiz & Pav.) Steud. (Yacushapana amarilla) se utilizó el método de la experimentación

La población la constituye el volumen de madera de las especies antes mencionadas procesado en la carpintería de la Universidad Nacional de Ucayali, ubicada en la carretera Federico Basadre km 6.200. El tamaño de la muestra la constituye las trozas de madera de cada especie procesadas durante tres días, las muestras fueron procedentes de tres trozas por especies.

### 2.2 IDENTIFICACIÓN DENDROLOGICA

La identificación dendrológica se efectuó en el Herbario Regional del Instituto de Investigación en Enfermedades Tropicales y de Altura – IVITA. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

### 2.3 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

#### Para la determinación del contenido de humedad de la madera y del carbón

Balanza digital 0,01 g de precisión  
Estufa eléctrica con termostato regulable para obtener temperatura de  $100 \pm 2$  °C.  
Campana de desecación provista de cloruro de calcio.

#### Para la carbonización de la madera

Mufla eléctrica con rango de operación 600-1200°C.  
Balanza digital 0,01 g de precisión

#### Para la determinación de cenizas y material volátil

Balanza digital 0,01 g de precisión  
Estufa eléctrica con termostato regulable para obtener temperatura de  $100 \pm 2$  °C.  
Campana de desecación provista de cloruro de calcio.  
Capsulas de porcelana No 6  
Papel filtro Whatman No 40

#### Para la determinación del rendimiento

Mufla eléctrica con rango de operación 600-1200°C.  
Balanza digital 0,01 g de precisión

#### Para el procesamiento de datos

Computadora Pentium IV con servicio de internet

## **2.4 PROCEDIMIENTO**

### **Recolección de muestras**

Las muestras fueron obtenidas de trozas de madera rolliza procedentes de tres árboles seleccionados por el Proyecto Estudio tecnológico y de mercado de diez especies de bosques secundarios y primarios remanentes” que ejecuta AIDER en convenio con la Universidad Nacional de Ucayali, la Dirección General de Forestal y Fauna – MINAG y con asistencia técnica y financiera de la Organización Internacional de Maderas Tropicales. Se prepararon 10 muestras de 5 x 5 x 10 cm por cada especie.

### **Determinación del contenido de humedad inicial de la madera**

Para determinar el contenido de humedad de la madera se utilizó el procedimiento establecido en la NTP 251.010, que consiste en pesar muestras de madera (Pha) secarlas en estufa regulada a  $103 \pm 2$  °C. hasta peso constante y determinar el peso final (Psa) y aplicar la siguiente fórmula:

$$\text{Ch} = (\text{Pha} - \text{Psa})/\text{Pha} \times 100$$

Donde:

**Ch** es el contenido de humedad de las piezas expresado en porcentaje.

**Pha** es el peso húmedo de las piezas expresado en gramos.

**Psa** es el peso seco de las piezas expresado en gramos.

### **Acondicionamiento de la muestra**

Las muestras recolectadas se acondicionaron en ambiente de laboratorio por exposición al aire libre a fin de eliminar el agua libre y parte del agua higroscópica hasta alcanzar aproximadamente 13% de contenido de humedad.

### **Proceso de la carbonización**

La carbonización se realizó en una mufla eléctrica regulada a 450 °C. En cada carga se utilizó probetas de Las probetas para cada carga se eligió al azar y tratamiento se eligieron al azar y se distribuyeron dentro de la retorta. La duración total del proceso fue de 3 horas, partiendo de la temperatura ambiente aproximadamente 25 °C; iniciada la operación, se efectuó el control en la mufla hasta que alcanzara la temperatura de 450 °C, luego se estabilizó este valor para concluir según el tiempo indicado. Finalizado el ciclo de la carbonización, se tuvo un periodo de enfriamiento de 24 horas, para luego proceder a la descarga. Se acondiciono al medio ambiente, luego se calculo el rendimiento.

### **Acondicionamiento de las muestras carbonizadas.**

Las muestras obtenidas producto de la carbonización son almacenadas en bolsas plásticas, previamente identificadas con sus respectivos códigos.

### **Determinación de rendimiento en carbón.**

Para determinar el rendimiento del carbón por cada especie se aplico la formula:

$$\text{Rendimiento} = (\text{Peso de carbón}/\text{Peso seco de madera}) \times 100\%$$

### **Contenido de humedad del carbón.**

El contenido de humedad del carbón se determina según las especificaciones de la Norma ASTM D - 1762 que consiste en pesar muestras de carbón (Phc) secarlas en estufa regulada a  $103 \pm 2$  °C. hasta peso constante y determinar el peso final (Psc) y aplicar la siguiente fórmula:

$$\text{Ch} = \frac{(\text{Phc} - \text{Psc})}{\text{Phc}} \times 100$$

Donde:

**Ch** es el contenido de humedad del carbón expresado en porcentaje.

**Pha** es el peso inicial del carbón expresado en gramos.

**Psa** es el peso seco en estufa del carbón expresado en gramos.

#### **Contenido de cenizas.**

Se pesaron  $2 \pm 0,1$  gramos de carbón y se colocara dentro de una cápsula de porcelana de peso conocido. Luego se colocará la Cápsula en la Mufla a una temperatura de 450 °C por un tiempo de 2 horas, hasta su incineración total, esto se comprobará observando el color blancuzco de las cenizas. Luego se retira la cápsula con las cenizas y se colocará en la campana desecadora, y se dejara enfriar por 30 minutos. Seguidamente se determinará el peso de la cápsula con las cenizas descontando el peso del crisol. El contenido de ceniza se determino de acuerdo a la norma ASTM D - 1762, mediante la siguiente fórmula:

$$\text{C} = \frac{\text{PCb}}{\text{Phc}} \times 100$$

Donde:

C es el porcentaje de ceniza del carbón

PCb es el peso de la cenizas blancas

Phc es el peso húmedo o acondicionado de la muestra de carbón

#### **Contenido de materias volátiles**

Se pesa  $2 \pm$  gramos de carbón y se coloca dentro de un crisol con tapa de peso conocido. El crisol será colocado en la entrada de la mufla, cuyo termómetro marcara una temperatura de 950 °C, y se dejará por un espacio de 7 minutos. Después de haber cumplido el tiempo se retira el crisol y se coloca en una campana desecadora, dejando enfriar por 25 minutos. Luego se separa el crisol con las muestras; descontando el peso del crisol, luego se procederá a efectuar los cálculos del peso final y el porcentaje de materias volátiles. Para tal efecto se calcula de acuerdo a la norma ASTM D – 1762, con la siguiente fórmula:

$$\text{MV} = \left\{ \frac{(\text{Phc} - \text{Pfm})}{\text{Pfm}} \right\} \times 100 - \text{H}$$

Donde:

MV es la materia volátil del carbón

Phc es el peso húmedo del carbón

Pfm es el peso final de la muestra

H es el contenido de humedad en porcentaje

#### **Determinación del carbono fijo.**

Para el cálculo del porcentaje del carbono fijo se determina de acuerdo al procedimiento establecido en la norma ASTM D – 1762, utilizando la formula siguiente:

$$CF = 100 - (H + C + MV)$$

Donde:

CF es el contenido de carbono fijo expresado en porcentaje.

H es el contenido de humedad expresado en porcentaje

MV es el contenido de materia volátil expresado en porcentaje.

C es el contenido de cenizas expresado en porcentaje.

#### **Poder calorífico superior.**

La determinación del poder calorífico se realiza conociendo el porcentaje de contenido de humedad, materias volátiles, cenizas y carbono fijo. Para tal efecto se calculó de acuerdo a la fórmula de GOUTAL (Corado, 1984), citado por Vicente (2006)

$$PC_s = 82c + AV \text{ Kcal/kg.}$$

Donde:

PC<sub>s</sub> poder calorífico superior

C es el porcentaje de carbono fijo

V es el porcentaje de materia volátil

A es el coeficiente obtenido de la relación siguiente:

$$A = V / (V + C)$$

#### **Determinación de la densidad**

La densidad se determino por el principio de Arquímedes cuyo enunciado es: "Todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta un empuje vertical, y dirigido hacia arriba, igual al peso del fluido desalojado." Se tomo una probeta de 150 ml, se midió 100 ml de agua y se introdujo un pedazo de carbón tomado al azar previamente pesado cuantitativamente, y se aplico la relación matemática siguiente:

$$\text{Densidad} = PSA/V$$

Donde

PSA es el peso seco al aire de la muestra, expresado en gramos;

V es el volumen de agua desalojado por el carbón, expresado en cm<sup>3</sup>

## II. PRESENTACIÓN DE DATOS

En el cuadro No 1 se presentan las características físicas del carbón obtenido de las maderas en estudio. La Figura 1 presenta la variación del contenido de humedad inicial de la madera utilizada.

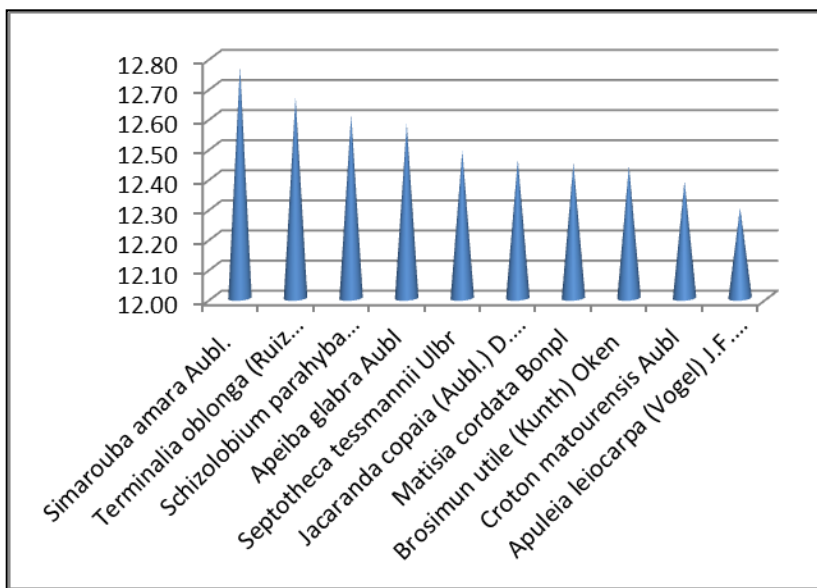
**Cuadro 1. Características físicas del carbón de diez especies maderables de bosques secundarios y primarios remanentes de la región Ucayali.**

Especies	Contenido de humedad madera %	Rendimiento (%)	Contenido humedad carbón %	Contenido de cenizas %	Materia volátil %	Poder calorífico superior Kcal/kg	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Carbono fijo %
<i>Apeiba membranacea</i> Aubl (Maquizapa ñagcha)	12.71	33.08	10.51	2.11	8.40	7030.61	0.28	78.93
<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J.F. Macbr. (Ana caspi)	12.30	38.60	3.26	4.08	6.04	7108.97	0.51	86.62
<i>Brosimum utile</i> (Kunth) Oken (Panguana)	12.78	33.28	2.05	1.69	5.40	7636.14	0.23	90.86
<i>Croton matourensis</i> Aubl (Aucatadijo)	12.39	35.21	3.25	3.07	7.22	7090.28	0.30	86.46
<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D. Don (Huamanzamana)	11.09	34.18	1.25	2.71	10.30	7072.78	0.21	85.74
<i>Matisia cordata</i> Bonpl (Sapote)	11.87	35.30	3.07	14.36	4.78	6306.9	0.28	77.79
<i>Septotheca tessmannii</i> Ulbr (Utucuro)	13.78	30.41	6.45	5.20	3.14	7091.47	0.33	85.21
<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) S.F.Blake (Pashaco blanco)	12.48	43.16	2.44	2.57	6.44	7301.71	0.25	88.55
<i>Simarouba amara</i> Aubl. (Marupa)	13.02	28.07	5.39	1.77	2.40	7416.96	0.26	90.44
<i>Terminalia oblonga</i> (Ruiz & Pav) Steud. (Yacushapana amarilla)	12.92	39.33	1.53	5.28	7.08	7048.29	0.44	86.11



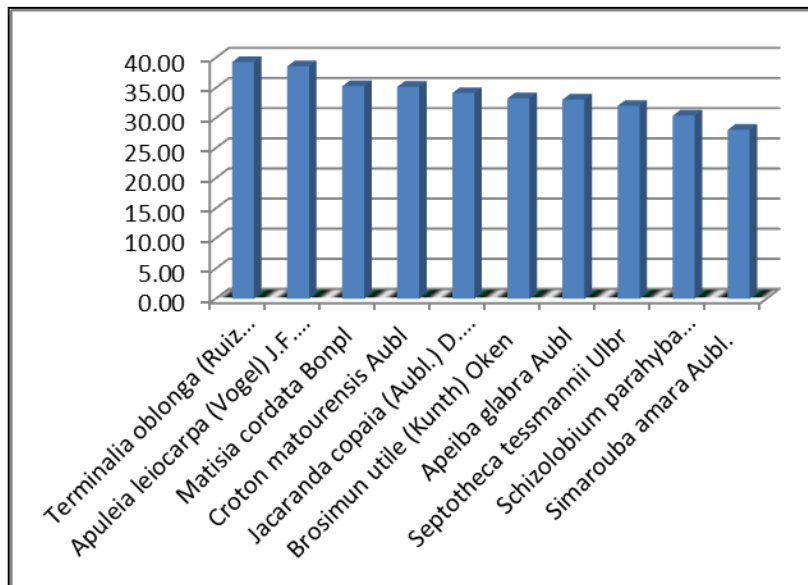
#### IV. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS Y RESULTADOS

Los valores del contenido de humedad inicial de las muestras varían de 11,09% para *Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don hasta 13,78% para *Septotheca tessmannii* Ulbr; corresponde al contenido de humedad en equilibrio higrométrico en condiciones de laboratorio; de acuerdo con Kollman (1959) la higroscopicidad de la madera depende básicamente de la celulosa, la temperatura y la humedad relativa del ambiente. FAO (2002) afirma que para la producción de carbón el contenido de humedad en la madera no debe exceder del 15-20% en relación al peso seco.



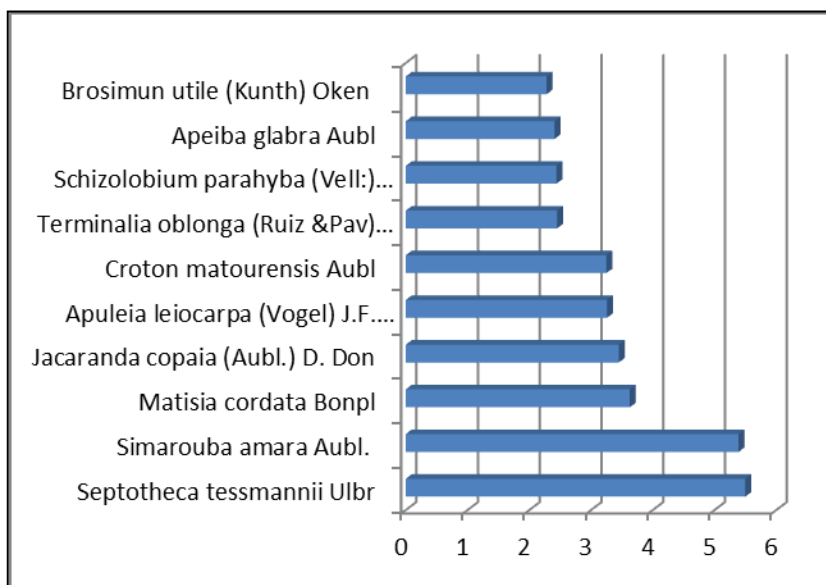
**Figura 1. Variación del contenido de humedad de la madera de diez especies maderables de bosques secundarios y primarios remanentes de la región Ucayali**

Los valores del rendimiento oscilan entre 28% para *Simarouba amara* y 43% *Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F.Blake; de acuerdo con resultados obtenidos por otros investigadores en maderas tropicales las variaciones depende básicamente de la temperatura de trabajo, el rango ideal es de 400 a 450 C. a fin de regular la conversión del combustible en materia volátil, el rendimiento y el contenido de carbono fijo. En los ensayos se trabajó con 450 C. a fin de eliminar agua, aceites esenciales, gases básicamente monóxido y dióxido de carbono; al final del proceso se desprenden sustancias volátiles. Bajas temperaturas de carbonización dan un mayor rendimiento en carbón vegetal, pero que es de baja calidad, que es corrosivo, por contener alquitranes ácidos, y que no quema con una llama limpia sin humo.



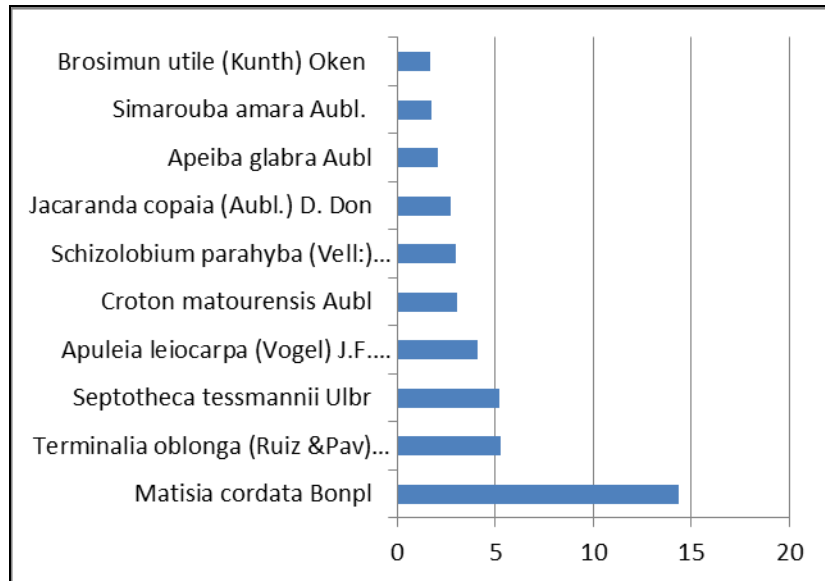
**Figura 2. Variación del rendimiento del carbono de la madera de diez especies maderables de bosques secundarios y primarios remanentes de la región Ucayali**

Los valores del contenido de humedad del carbón varían entre 1,25% para *Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don y *Septotheca tessmannii* Ulbr con 6,45%. Según Aguinelio (1980) la humedad depende básicamente de la temperatura final el cual fue carbonizado y la humedad del ambiente en el que está expuesto. Según Pacheco (2005) el carbón de calidad no debe tener más de 15% de humedad. EARL (1975) opina que el contenido de humedad del carbón varía entre 1 a 16%. De acuerdo a los resultados obtenidos el contenido de humedad del carbón esta en los rangos permitidos en el control de calidad del carbón comercial.



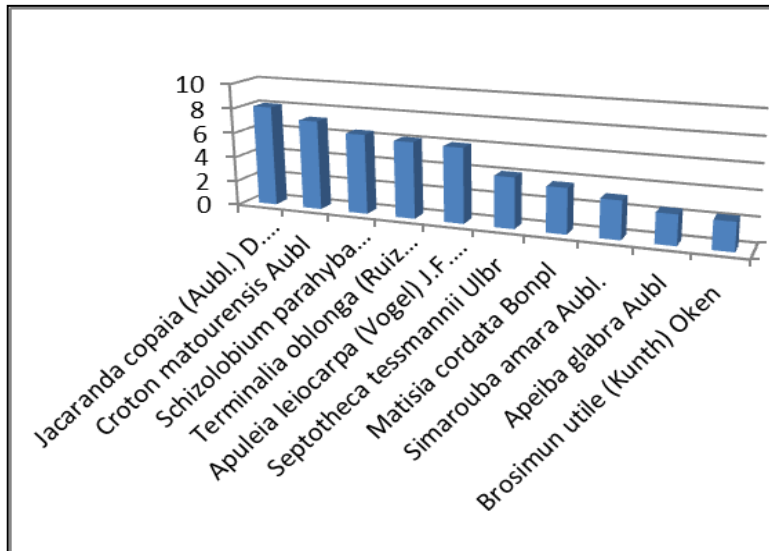
**Figura 3. Variación del contenido de humedad del carbono de la madera de diez especies maderables de bosques secundarios y primarios remanentes de la región Ucayali**

Los resultados muestran valores de contenido de cenizas que oscilan entre 1,77% para *Simarouba amara* y 14,36 para *Matisia cordata*.; valores que están en el rango establecido por Smisek, citado por Oliveira (1998). Carballo (1990) afirma que el contenido de cenizas depende de la procedencia y naturaleza del material (hojas, ramas, corteza, madera, etc.), condiciones del suelo y edad del árbol. FAO sostiene que altos contenidos de ceniza pueden llegar hasta 30% y esto es un índice de la uniformidad del proceso de transformación de la madera en carbón con un residuo de óxidos minerales obtenidos por la combustión completa.



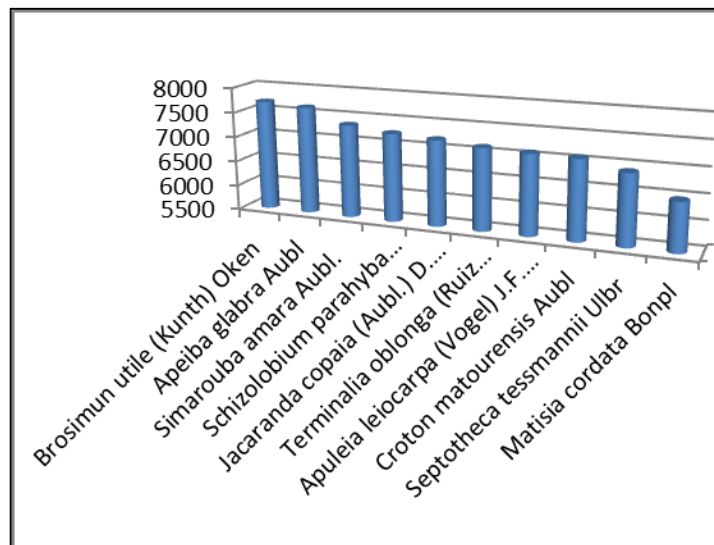
**Figura 4. Variación del contenido de cenizas del carbón de la madera de diez especies maderables de bosques secundarios y primarios remanentes de la región Ucayali**

En la determinación de la materia volátil se tiene valores que van desde 2.28% para *Brosimum utile* y 8.10% para *Jacaranda copaia*. La materia volátil está compuesta principalmente de hidrógeno, hidrocarburos, monóxido y dióxido de carbono (CO; CO<sub>2</sub>), que no fueron eliminados en el proceso de destilación seca o pirolisis. Martins (1990) opina que hay una relación directamente proporcional entre la temperatura y el contenido de carbono fijo o poder calorífico; también hay una relación inversamente proporcional entre la temperatura y el contenido de sustancias volátiles; a mayor temperatura hay menor rendimiento. Sin embargo, valores muy bajos de materia volátil pueden propiciar la friabilidad del carbón, característica inadecuada para un carbón de calidad porque arriesga la resistencia mecánica del combustible.



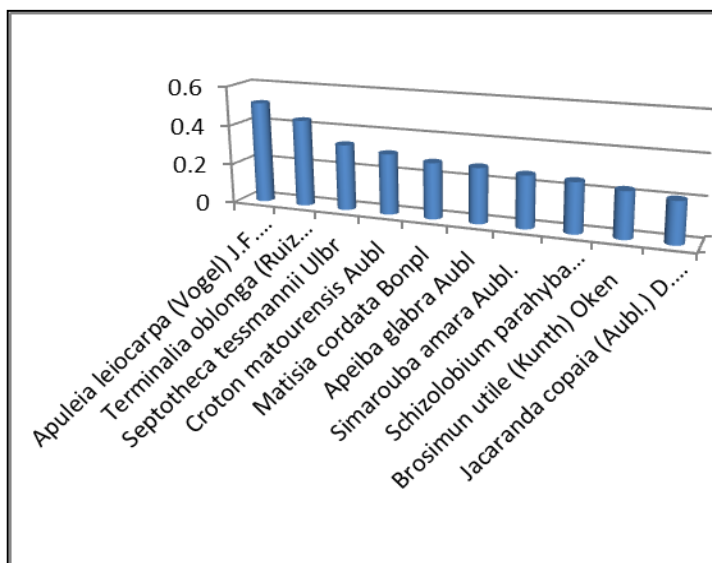
**Figura 5. Variación del contenido de material volátil del carbono de la madera de diez especies maderables de bosques secundarios y primarios remanentes de la región Ucayali**

El poder calorífico de las diez maderas ensayadas oscila entre 6473 kcal/kg para *Matisia cordata* y 7643 para *Apeiba aspera*; rango que coincide con los encontrados por otros investigadores para maderas similares. El poder calorífico depende de la composición química y contenido de humedad de la madera y mide el calor liberado por combustión completa del carbón; también mide la eficiencia del carbón como combustible, característica importante para usos industriales y domésticos.



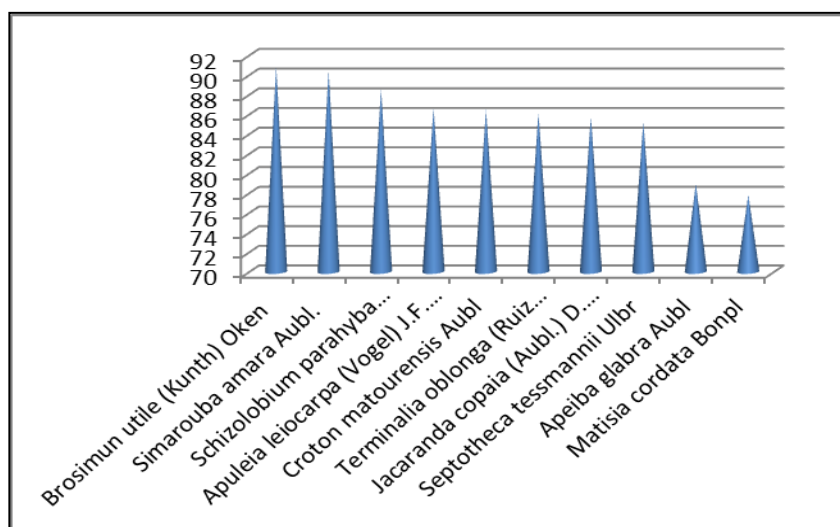
**Figura 6. Variación del poder calorífico del carbono de la madera de diez especies maderables de bosques secundarios y primarios remanentes de la región Ucayali**

La densidad del carbón varía entre 0.2087 para *Jacaranda copaia* y 0.5117 para *Apuleia leiocarpa*; valores que guardan relación con la densidad básica de la madera. Kollman (1960), citado por Vela M. (2010), indica que la densidad aparente del carbón vegetal depende principalmente de la estructura anatómica de la madera original y es consecuencia del volumen de los poros; el peso específica del carbón vegetal oscila entre 0.25 – 0.40 g/cm<sup>3</sup>, correspondiendo los valores más altos a las maderas de alta densidad. FAO (1983) Y SERCOTEC (1986) citados por Pacheco (2005) señalan que las características físicas y químicas del carbón vegetal dependen del tipo de madera a utilizar y de las características del proceso de carbonización.



**Figura 7. Variación de la densidad del carbón de la madera de diez especies maderables de bosques secundarios y primarios remanentes de la región Ucayali**

El carbono fijo de las maderas ensayadas varía entre 77.79 % para *Matisia cordata* Bonpl y 90.86 para *Brosimum utile* (Kunth) Oken; el carbono fijo es inversamente proporcional al contenido de humedad, contenido de cenizas y material volátil del carbón.



**Figura 8. Variación del carbono fijo del carbón de la madera de diez especies maderables de bosques secundarios y primarios remanentes de la región Ucayali**

## **V.CONCLUSIONES**

Bajo las condiciones experimentales se ha demostrado que se puede producir carbón con las maderas ensayadas con rendimientos y poder calorífico superiores a los valores promedio para maderas similares.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Los resultados obtenidos deben validarse con lotes de mayor volumen a fin de observar algunas características del carbón que no han sido evidenciadas en las pequeñas muestras, tal como son la proporción de albura y duramen, influencia de la geometría de las piezas, básicamente la relación de la escuadría (espesor/ancho) en el proceso de transformación química.

## **VII. REPERCUSIONES EN LA PRÁCTICA**

Los resultados obtenidos pueden ser aplicados para intentar la producción de carbón a partir de pequeños residuos de extracción y de transformación mecánica de la madera, reducir costos de producción, mejorar los ingresos y la rentabilidad del proceso productivo.

Las aplicaciones prácticas de los resultados deben validarse en condiciones de campo y de planta, a fin de establecer procedimientos industriales de producción de carbón.

La baja densidad del carbón de algunas especies puede solucionarse a través de la investigación tecnológica para la producción de briquetas producidas a presión manual, lo que permite incorporar mano de obra adicional y generar puestos adicionales de trabajo.

Puede determinarse la factibilidad de fabricar carbón utilizando métodos mecanizados artesanales, especialmente para el campo, a partir de residuos de extracción, lo que puede reducir los costos de producción de madera rolliza y propiciar el manejo forestal sostenible.

Hay que investigar las posibilidades de fabricar carbón a partir de residuos agrícolas, como estrategia para mejorar la rentabilidad de las pequeñas parcelas de productores agroforestales que manejan bosques secundarios.

También es útil evaluar las posibilidades de propiciar la producción de carbón de madera a partir de material de raleo o árboles tumbados a consecuencia del apeo de árboles de madera comercial, construcción de carreteras, caminos, viales, etc. y asegurar recuperar, al menos parcialmente, la inversión en la extracción. Es posible que estas actividades puedan efectuarse utilizando mano de obra local, lo que sugiere el cumplimiento de los compromisos sociales establecidos en los planes generales de manejo aprobados por la autoridad forestal nacional.

## IX. BIBLIOGRAFIA

INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES. (2010). Anuario Perú Forestal. CIEF. Lima. 89 p.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN - FAO, 1983. Métodos simples para fabricar carbón vegetal. Dirección de recursos forestales, departamento de Montes. Roma Italia, consultado el 12/01/2010. Disponible en línea: <http://www.fao.org/docrep/x5595s/X5595S11.htm#s>

KOLLMAN. (1959). Tecnología de la Madera y sus aplicaciones Tomo I. Traducción de la 2da Edición. Ministerio de Agricultura. Instituto Forestal de Investigaciones. Experiencias y Servicios de la Madera. Madrid. 647 p.

NTP 251.010: MADERA. Método para determinar el contenido de humedad.

PACHECO M. 2005. Evaluación del proceso de carbonización y calidad del carbón DE *Acacia caven* (Mol.) Mol. producido en hornos de barro. Tesis para optar al título de Ing. forestal. Universidad de Chile. Santiago de Chile. 59 p.(en línea). Santiago de Chile, consultado 20/02/2010 : [http://www.cybertesis.cl/tesis/uchile/2005/pacheco\\_g/sources/pacheco\\_g.pdf](http://www.cybertesis.cl/tesis/uchile/2005/pacheco_g/sources/pacheco_g.pdf)

PANSHIN Y DE ZEEUW, C. (1980). Textbook of Wood Technology. 4th Ed. Mc. Graw- Hill. New York

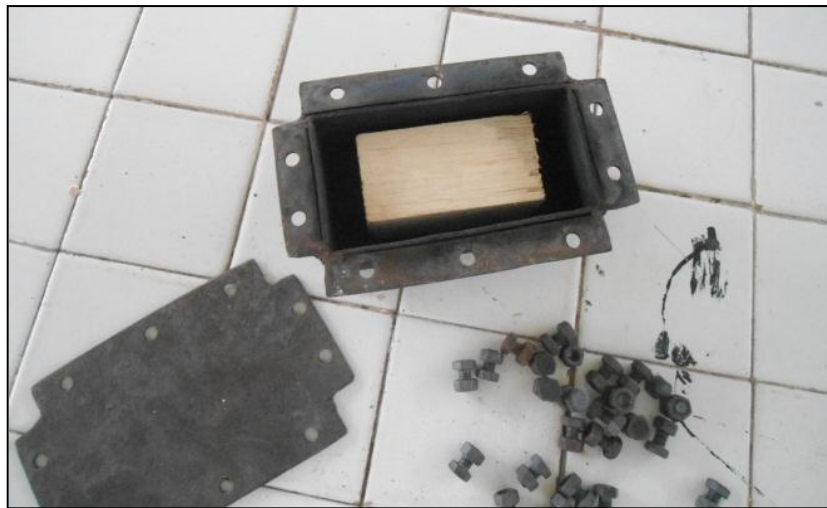
VELA M. W. 2010. "Determinación del rendimiento y análisis gravimétrico del carbón vegetal de la madera del genero *Dypterix* (shihuahuaco) en un horno tipo colmena brasilero". Tesis para optar al título de Ing. forestal. Universidad Nacional de Ucayali. 88 p.

ANEXO

ICONOGRAFÍA:



Probetas de madera



Probeta de madera en cubo incinerador





Cubo incinerador en mufla



Carbón



Prueba de material volátil