

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

Facultad de Ciencias Forestales



**VALIDACIÓN DE UNA METODOLOGÍA
DE IDENTIFICACIÓN DEL CARBÓN
VEGETAL DEL GÉNERO PROSOPIS
(ALGARROBO) A PARTIR DE LA
ESTRUCTURA ANATÓMICA**

Tesis para optar el Título de
INGENIERO FORESTAL

Edith Maria Pipa Cruz

Lima – Perú

2004

RESUMEN

El presente trabajo tiene como propósito validar una metodología práctica para identificar carbón vegetal a nivel macroscópico. La metodología consiste en realizar observaciones de las características macroscópicas a nivel de madera y a nivel de carbón vegetal con el uso de una lupa de 10X.

Adicionalmente se realizó un análisis químico del carbón vegetal para evaluar densidad, carbono fijo, rendimiento de carbón, contenido de ceniza y material volátil del genero *Prosopis*.

Además de las observaciones macroscópicas se tomaron macrofotografías de las muestras de madera de las especies que mas se usa para la fabricación de carbón vegetal como son Algarrobo (*Prosopis sp*) Aguano masha (*Machaerium inundatum*), Quinilla colorada (*Manilkara bidentata*), Eucalipto (*Eucaliptus globulus*) y Olivo (*Olea europea*); las que posteriormente fueron carbonizadas en una retorta y analizadas a nivel de carbón, tomándose las macrofotografías correspondientes; analizando el tipo de parénquima, tipo y distribución de poros, presencia de inclusiones como gomas y tilosis.

Después del análisis se concluyó que el tipo y distribución de poros, así como el tipo de parénquima en el genero *Prosopis* y demás especies analizadas son características que perduran después del proceso de carbonización y por tanto de importancia para identificar carbones vegetales producido comercialmente a partir de otras especies maderables.

Además se evidenció que el análisis químico no es determinante para identificar especies a nivel de carbón; sin embargo, estos valores son indicadores de calidad y suelen representar la metodología en la fabricación del carbón vegetal.

Por lo tanto, se valida la metodología empleada en el presente trabajo, pues comparando los patrones de madera y carbón se logra identificar el carbón vegetal.

ÍNDICE

	Página
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
RESUMEN	V
ÍNDICE	VI
1. INTRODUCCIÓN	10
2. REVISIÓN DE LITERATURA	11
2.1 DEL GÉNERO EN ESTUDIO.	11
2.1.1 Descripción Anatómica	11
2.1.2 Usos	13
2.2 LEGISLACIÓN SOBRE VEDA DEL USO DEL ALGARROBO	14
2.3 CARBÓN VEGETAL	15
2.3.1 Usos	16
2.3.2 Métodos de obtención de carbón.....	17
2.3.3 Proceso de Carbonización	18
2.3.4 Componentes del carbón vegetal.....	19
2.3.5 Propiedades del carbon vegetal	20
2.4 PRODUCCIÓN Y DECOMISO DE CARBÓN VEGETAL	22
2.5 IDENTIFICACIÓN DEL CARBÓN VEGETAL	25
2.5.1 Identificación macroscópica	25
2.5.2 Identificación microscópica	25
2.6 CARACTERÍSTICAS ANATOMICAS DE LA MADERA DE OTRAS ESPECIES UTILIZADAS PARA HACER CARBON VEGETAL COMERCIAL	28
2.6.1 Aguano masha (<i>Machaerium inundatum</i>)	28
2.6.2 Quinilla colorada (<i>Manilkara bidentata</i>)	28
2.6.3 Eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>) labill	29
2.6.4 Olivo (<i>olea europea</i>)	29
3. MATERIALES Y MÉTODOS	30
3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN	30
3.2 MATERIALES Y EQUIPOS.....	30
3.2.1 Especie estudiada.....	30
3.2.2 Materiales de campo	30
3.2.3 De preparación	31
3.2.4 Equipos de laboratorio.....	31
3.2.5 Reactivos químicos y otros	31
3.2.6 Materiales de oficina.....	32
3.3 METODOLOGÍA	32
3.3.1 Lugar de colección.....	32
3.3.2 Selección, colección y procesamiento de muestras.....	33
3.3.3 Estudio anatómico de la madera	33
3.3.4 Preparación de laminas histológicas	34
3.3.5 Preparación de láminas de tejido macerado	35

3.3.6	<i>Medición de los elementos leñosos</i>	35
3.3.7	<i>Determinación de las estructuras anatómicas que permiten la identificación del carbon vegetal</i>	36
3.3.8	<i>Evaluación del carbón vegetal</i>	36
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
4.1	DESCRIPCION ANATOMICA DEL ALGARROBO (<i>PROSOPIS JULIFLORA</i>)	38
4.1.1	<i>Características generales de la madera</i>	38
4.2	ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA ANATÓMICA DE LA MADERA Y CARBÓN DE ALGARROBO	45
4.3	DESCRIPCIÓN ANATÓMICA PRÁCTICA DEL CARBÓN DEL GENERO PROSOPIS Y OTRAS ESPECIES DE INTERES	50
4.4	EVALUACION DE LOS COMPONENTES QUIMICOS	51
5.	CONCLUSIONES	52
6.	RECOMENDACIONES	53
	CONSTANCIA DE DETERMINACIÓN BOTÁNICA.....	57

Lista de cuadros

	Página
CUADRO 1	CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS DE TRES ESPECIES DEL GENERO PROSOPIS..... 13
CUADRO 2	PRODUCCIÓN DE CARBÓN VEGETAL POR DEPARTAMENTO (Tn) 23
CUADRO 3	DECOMISO DE CARBÓN VEGETAL 2005 (Tn) 24
CUADRO 4	VALORES ESTADÍSTICOS DE LAS MEDICIONES DE LOS ELEMENTOS LEÑOSOS DEL ALGARROBO..... 44
CUADRO 5	ANÁLISIS QUÍMICO DEL CARBÓN VEGETAL DE ALGARROBO 51

Lista de figuras

	Página
FIGURA 1	MUESTRA DE ALGARROBO EN SECCIÓN TANGENCIAL (TG) 40
FIGURA 2	MUESTRA DE ALGARROBO EN SECCIÓN RADIAL (RD) 40
FIGURA 3	SECCIÓN TRANSVERSAL DE ALGARROBO (40X Y 90X)..... 41
FIGURA 4	PRESENCIA DE GOMAS EN POROS (40X)..... 41
FIGURA 5	ELEMENTO VASCULAR CON PUNTUACIONES INTERVASCULARES (400X)..... 42
FIGURA 6	SECCIÓN TANGENCIAL DE ALGARROBO (1000X)..... 42
FIGURA 7	SECCIÓN RADIAL DE ALGARROBO (40X) 43
FIGURA 8	CRISTALES EN PARÉNQUIMA LONGITUDINAL (400X)..... 43
FIGURA 9	SECCIÓN TRANSVERSAL DE MADERA Y CARBÓN DE ALGARROBO (40X) 46
FIGURA 10	SECCIÓN TRANSVERSAL DE CARBÓN DE ALGARROBO (80X) 46
FIGURA 11	SECCIÓN TRANSVERSAL DE MADERA Y CARBÓN DE AGUANO MASHA (40X).... 48
FIGURA 12	SECCIÓN TRANSVERSAL DE MADERA Y CARBÓN DE QUINILLA COLORADA (40X)..... 48
FIGURA 13	SECCIÓN TRANSVERSAL DE MADERA Y CARBÓN DE EUCALIPTO (40X) 49
FIGURA 14	SECCIÓN TRANSVERSAL DE MADERA Y CARBÓN DE OLIVO (40X) 49

1. INTRODUCCIÓN

En el ámbito mundial la producción de carbón vegetal se concentra en el continente africano con un 48%, América del Sur con 36% siendo Brasil el principal productor con el 82% y el Perú con el 3% ocupa el tercer lugar (FAO, 2000).

En el Perú según información oficial el departamento de Ucayali es el principal productor de carbón vegetal con 91% de la producción, a su vez, la producción en el Bosque Seco del Noroeste (Lambayeque, Piura y Tumbes) representó el 0.3% en el año 2001 (Perú Forestal en Números, 2002), sin embargo el carbón de algarrobo es la especie preferida por las pollerías, metalurgia, industria farmacéutica a pesar de existir otras especies con similares características físicas como las provenientes del departamento de Ucayali. La gran demanda de carbón de algarrobo fomenta la tala ilegal de esta especie, sobre todo en la región norte del Perú.

Desde el año 1974 esta prohibida la producción de carbón vegetal de determinadas especies como el algarrobo excepto el año 1998 para aquellos individuos que estén en áreas bajo manejo; sin embargo aun se sigue comercializando. Pero que hacer para controlar, si no se cuenta con una herramienta práctica que permita hacer la identificación del carbón vegetal. En las garitas de control el inspector hace la identificación del carbón vegetal teniendo en cuenta el peso, brillo, la procedencia del carbón y de lo que manifiesta el transportista; además que características físicas como peso y brillo son propios no solo de una especie sino de un grupo de especies, por tanto la información es insuficiente para hacer la identificación del carbón vegetal.

A la fecha no existen estudios sobre la identificación de carbón vegetal en el Perú; sin embargo existen algunos reportes de inspección realizados por la Universidad Nacional Agraria La Molina sobre lotes decomisados por el Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA) en donde se aplica una metodología de identificación para carbón vegetal.

Por tal motivo el presente trabajo busca validar una metodología empleando para ello el estudio anatómico de la madera y carbón del género *Prosopis* para establecer una metodología práctica y aplicativa en la identificación de carbón de algarrobo.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 DEL GÉNERO EN ESTUDIO.

Según Burkart citado por Villagra (1997) el género *Prosopis* comprende 44 especies que se distribuyen en el trópico y el desierto tropical del sureste de Asia, África y predominantemente en América. En el continente americano se distribuyen desde el este de Norteamérica hasta la Patagonia. De las 44 especies 31 son oriundas de Sur América, de las cuales 28 están en Argentina.

En el Herbario MOL se registra las colecciones de Zevallos de *Prosopis pallida* recolectadas en Arequipa, Lima, Piura y *Prosopis tamarugo*, *Prosopis chilensis* en Arequipa.

Zevallos (1998) realizó la descripción dendrológica del género *Prosopis*, en la cual reporta que es un árbol pequeño de fuste sub-cilíndrico e irregular, de hasta 10m. de altura y de un promedio de 60 cm. de diámetro, con copa horizontal globosa y regularmente nudosa. Hojas bipinnadas, alternas, generalmente con un par de estípulas convertidas en espinas, con 1 a 4 pares de pinnas, con una glándula cupuliforme entre cada par; pinnas con 8 a 16 pares de foliolos; foliolo elíptico, con ápice obtuso-mucronado, sesil, borde entero, nervadura central en el envés, pubescente. Inflorescencia racimo, bisexuales, pentámeras, cáliz y corola tubulares, de color amarillo. Fruto legumbre de tipo drupa, donde el mesocarpio es pastoso y dulce, el endocarpio a manera de hueso, de color amarillo. Semilla de color gris, con tegumento duro, sub. globoso a cordado.

2.1.1 DESCRIPCIÓN ANATÓMICA

Dimbley citado por Asouti (2004) reporta que las características anatómicas del género *Prosopis* pueden variar incluso entre especies que pertenecen al mismo género. Esto se debe a las diferencias en la acción genética, hábitat, edad, parte del árbol (corteza, xilema, ramas y raíz), así como a la exposición de peligros ocasionales tales como fuego y helada

Acevedo (1994) indica que la especie *Prosopis pallida* en condición seca al aire presenta la albura de color crema y el duramen marrón oscuro. Anillos de crecimiento ligeramente diferenciados por bandas oscuras de forma irregular, grano entrecruzado, textura fina y brillo

medio. Veteado en arcos superpuestos. Albura susceptible al ataque de hongos e insectos. Madera de porosidad difusa.

Con respecto a las características macroscópicas el mismo autor, señala que la especie *Prosopis pallida* presenta poros solitarios y múltiples radiales de forma redonda y oval; con 9 a 15 poros/mm², con contenido de gomas. El tipo de parénquima es paratraqueal vasicéntrico, aliforme unilateral y también parénquima terminal. Los radios son homogéneos multiseriados, no estratificados, además Villagra (1997) indica para *Prosopis argentina* presencia de poros en grupo los cuales están formados en promedio por 9 poros. Presenta poros solitarios y múltiples radiales en menor proporción. El parénquima es del tipo paratraqueal aliforme confluyente, ocasionalmente aliforme o vasicéntrico. Presenta cristales prismáticos. El mismo autor señala que la especie *Prosopis alpataco* presenta mayormente poros solitarios y con menor frecuencia poros agrupados con un promedio de 3 poros.

Entre las características microscópicas Villagra (1997) reporta que los elementos vasculares presentan un diámetro tangencial que varía entre 86 - 192um. Platina de perforación horizontal con perforación simple. Punteado intervascular alterno con puntuaciones ovaladas y abertura incluida de forma lenticular. Punteado radiovascular similar al ínter vascular. Presencia de inclusiones gomosas. El parénquima presenta células crisálferas septadas e inclusiones gomosas. Los radios tienen una altura entre 192 y 696 um. con presencia de gomas. Las fibras son libriformes, no estratificadas. El diámetro total es 10um, el grosor de pared celular 3um y la longitud varía entre 480 y 690 um.

Villagra (1997) concluye que la estructura anatómica de la madera es influenciada por el medio ambiente para ello analiza la estructura anatómica de *Prosopis argentina* y *Prosopis alpataco*, la primera habita en suelos arenosos y la segunda habita en suelos arcillosos. El *Prosopis argentina* presenta vasos largos agrupados de diámetros pequeños, esto permite a la planta disminuir el stress ocasionado por la insuficiencia de agua. En el caso de *Prosopis alpataco* no es afectado por la variabilidad de las precipitaciones por presentar un sistema de raíces profundas las cuales permiten estar en contacto con la napa freática presenta en mayor proporción vasos solitarios de diámetro mayor.

En el cuadro 01, se presentan las características anatómicas para tres especies de Algarrobo, según diversos autores.

Cuadro 1 Características anatómicas de tres especies del genero *Prosopis*.

<i>Especie</i>	<i>Prosopis pallida</i> (1)	<i>Prosopis argentina</i> (2)	<i>Prosopis alpataco</i> (2)
Tipo de poro	Solitario, múltiples radiales	En grupo, solitario, múltiple radial	Solitario, agrupado
Presencia de goma	En vasos	No se reporta	En vasos
Tipo de parénquima	Paratraqueal vasicéntrico, aliforme	Paratraqueal aliforme confluyente	Paratraqueal aliforme, aliforme confluyente
Inclusión		Cristales prismáticos	

Fuente: (1) Acevedo (1994);

(2) Villagra (1997).

2.1.2 USOS

A) MADERA

Díaz (1995) menciona que la madera se usa como combustible en forma de leña y carbón; prefieren usar el carbón de algarrobo en las pollerías pues este no genera chispas que malogran el tostado del pollo. Así mismo indica que la madera se usa para hacer vigas, parquet, tarugos, ruedas de carretas, postes, toneles, ventanas, muebles, cercas, tallados de portales, altares, marcos, postes, embarcaciones navales y durmientes. Felker (2003) agrega que se le emplea para elaborar chips, usado como combustible en los hornos industriales, también como "mulch" para mejorar la estructura del suelo.

B) FLORES Y HOJAS

Cuba (1998) y Zevallos (1998) manifiestan que las hojas y tallos secos son empleados como alimento del ganado durante los meses de in fructificación. Así mismo Díaz (1995) agrega que las hojas de la especie *Prosopis juliflora* son usadas como antimicrobiano.

C) FRUTO

Cuba (1998) indica que en Bolivia y Paraguay se usa el fruto como sucedáneo del café para elaborar bebidas refrescantes denominado "ñape", y en Argentina se prepara el "patay". También se obtiene una jalea denominada algarrobina, el polvo de la algarrobina pre-

concentrado se usa como café o cacao. De la harina de algarroba se hacen kekes y pasteles. En el caso de la alimentación de los animales se usa el fruto como forraje.

Zevallos (1998) indica que los algarrobos pueden ser usados para detener el avance de los medanos y otros problemas de desertificación; igualmente proporcionan sombra al ganado y disminuyen las temperaturas extremas del suelo, además, disminuyen el movimiento del viento por el incremento de la humedad en sus copas.

2.2 LEGISLACIÓN SOBRE VEDA DEL USO DEL ALGARROBO

Ministerio Agricultura (1998 y 1997), registran desde el año 1974 vedas de tala y carbonización de árboles que provienen de Bosques Naturales de los Bosques Secos hábitat del algarrobo.

Deacuerdo a Resolución Suprema N° 144-74-AG y Resolución Directorial N° 024-82-DGFF declaran prohibida la tala y carbonización de árboles de Bosques Naturales ubicados en los departamentos Piura, Tumbes y Lambayeque incluyendo las cabeceras de las cuencas de los ríos Zaña, Chancay-Lambayeque y la Leche del departamento de Cajamarca, autorizando la extracción de leña de árboles secos maduros solo para uso domestico.

En el año 1992 Decreto Supremo N° 007-92-AG declaran veda indefinida de tala y carbonización de árboles provenientes de Bosques Naturales en la Región Grau y parte de la Región Nor-Oriental del Marañón (departamento Lambayeque y las cabeceras de las cuencas de los ríos Zaña-Chancay y la Leche), se puede extraer leña de árboles secos y sobre maduros para autoconsumo.

En el año 1993 según ley N° 26258 se define el tiempo de veda por un periodo de 15 años, prohibiéndose la tala de árboles en los departamentos de La Libertad, Lambayeque, Piura y Tumbes, así como la producción, transporte y comercialización de leña y carbón; permitiéndose solo el uso domestico.

En el año 1997 según ley 26721 se expande la veda de tala al departamento de Ica; así como se prohíbe la producción, transporte y comercialización de leña y carbón hasta el año 2008.

En el año 1998 según Resolución Ministerial N° 0279-98-AG se permite la extracción de árboles en bosques naturales de los bosques secos que estén bajo manejo, para la producción y comercialización de carbón en las áreas vedadas debiéndose presentar un plan de manejo.

2.3 CARBÓN VEGETAL

Earl (1975); Gonzáles (2001) indican que es un producto obtenido en el proceso de carbonización; este proceso consiste en exponer la madera a altas temperaturas (450 a 500 °C.) en un tiempo determinado en ausencia de oxígeno.

Con respecto a su composición y constitución Reinhardt (1968) menciona que el carbón vegetal contiene carbono y compuestos de carbono, especialmente hidrocarburos, compuestos de carbono-hidrogeno-oxigeno, y algunos compuestos orgánicos de nitrógeno y azufre.

Gonzáles (2001) señala que la carbonización, destilación y gasificación, son formas de descomposición térmica durante el cual ocurren cambios irreversibles en los componentes químicos de la madera por acción del calor, se alteran los enlaces entre las unidades que conforman los polímeros (holocelulosa y lignina) desdoblándose en unidades simples o polímeros de menor peso molecular.

Con respecto a **la carbonización** Gonzáles (2001) menciona que la carbonización se realiza en condiciones anaeróbicas, se lleva a cabo entre 500 a 600 °C. obteniéndose como único producto el carbón. Rivera (1994) agrega que en el proceso de carbonización de la madera se producen cambios físicos, mecánicos y químicos. Pastor (2001) menciona como cambios físicos a la contracción de poros y la disminución del volumen de poros que es directamente proporcional al incremento de la temperatura.

Según Gonzáles (2001) **la destilación** es el paso siguiente de la carbonización que tiene como objetivo recuperar los gases producidos por reacción y condensación. FAO (1985) indica que los gases y líquidos producidos pueden ser usados como combustibles gaseosos y además ser insumos para obtener una serie de productos químicos.

Según Kerstetter (1979) y FAO (1985) **la Gasificación** es un proceso que consiste en convertir el material orgánico en gas combustible, al igual que Gonzáles (2001), Kerstetter (1979) hace

una diferenciación entre pirolisis, combustión y gasificación, mencionan que estos procesos se distinguen por la cantidad de aire usado con respecto a la cantidad de material orgánico empleado.

2.3.1 USOS

A) *COMBUSTIBLE*

FAO (1985) considera al carbón vegetal un combustible excelente, con un calor calorífico comparable al de un carbón mineral de buena calidad, y aproximadamente al doble del de la madera, no se pudre cuando se almacena; agrega Earl (1975) que el carbón vegetal es un combustible ideal para uso domestico porque no produce humo, no contiene casi azufre, da a los alimentos un aroma delicioso y característico.

Cementos Lima S.A. (2003) describe como el carbón vegetal puede ser usado para combustible en la industria para la producción de cemento el cual requiere altas temperaturas (1400-1900 °C), para alcanzar estas altas temperaturas se emplea carbón vegetal pulverizado en los hornos. Indica que para obtener cuatro toneladas de cemento se requiere aproximadamente de una tonelada de carbón vegetal.

B) *INDUSTRIAL*

Earl (1975) menciona que por las propiedades reductoras del carbón vegetal puede combinarse fácilmente con otros elementos como el oxígeno y el azufre facilitando su separación de los compuestos como óxidos y carbonatos de cobre para obtener cobre puro, Ministerio Agricultura (1980) indica que la industria del cobre lo usa para las fundiciones y además como aditivo en la arena con la finalidad de captar humedad e impurezas en la producción de fierro gris, como elemento opalescente en la industria de vidrios, como captador de impurezas en la industria química.

Ministerio Agricultura (1980), indica que las industrias metalúrgicas, químicas y en el sector domestico especialmente las pollerías no exigen en el carbón vegetal mayor relevancia en sus propiedades fisicoquímicas como se pensaba entonces se puede reemplazar el uso de carbón del algarrobo por otra madera.

C) HORTICULTURA

Earl (1975) menciona que se usa como abono superficial, para mejorar los céspedes y los terrenos verdes para deportes. Se coloca finos de carbón vegetal en el lecho de las plantas para que proporcione oligoelementos y dulcifique el suelo además sirve de capa protectora. No debe usarse mucho carbón vegetal en semilleros porque inhibe la germinación y causa un efecto en el crecimiento, previene la contaminación en los cultivos hidropónicos.

D) CARBÓN VEGETAL ACTIVADO

Earl (1975) menciona que el carbón activado permite la desactivación de los herbicidas en el suelo, de los insecticidas en los mamíferos; purificación del aire, agua y el tratamiento de las alcantarillas.

E) BRIQUETAS

Earl (1975) menciona que la briqueta puede ser elaborada en forma artesanal, mezclando polvo del carbón con almidón y cemento en la proporción de diez a uno y colocando la mezcla en moldes, que se dejan reposar por 24 horas. Entre las ventajas frente al carbón es el almacenamiento y transporte barato ya que las briquetas son densas y de un mismo tamaño; en las briquetas hay menos desperdicio se usa la totalidad del carbón vegetal incluyendo el polvo.

2.3.2 MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE CARBÓN

González (2001) menciona tres métodos de carbonización a nivel comercial:

El método de fosas, consiste en realizar excavaciones sobre la cual se deposita la madera se les cubre con material vegetal seco y tierra de textura franco arenosa. Al emplear este método existe una reabsorción de los gases condensables al interior de la estructura del carbón ya que no existe una buena liberación de estos gases al exterior originando un carbón con alto porcentaje de material volátil 15-25%, esta reabsorción aumenta la acidez en el carbón afectando las bolsas que se usan como empaque. Bajo este método se obtiene un carbón con altos valores de cenizas, de mala calidad y alto porcentaje de carbonilla por la dificultad en la manipulación del carbón durante la descarga.

En el método de parvas; se construye una pila de madera que luego es cubierta por material seco. Al igual que en el método de fosas el carbón obtenido tiene alto porcentaje de material

volátil, de cenizas y de carbonilla, este método presenta dificultad en la circulación de aire y evacuación de los gases de la carbonización.

Los hornos de carbonización, el metálico y de ladrillo, son instalaciones fijas por las cuales se obtienen carbón de mejor calidad. En este método si existe una carbonización homogénea, producto de una mejor circulación del aire y de los gases de carbonización; el contenido de material volátil es menor al 15%.

2.3.3 PROCESO DE CARBONIZACIÓN

González (2001); Earl (1975); Beall (1972) distinguen en el proceso de combustión etapas que corresponde a diferentes ambientes de temperatura:

Primera etapa: Se cataloga como etapa endotérmica o de secado con una temperatura de la madera alrededor de 100°C, en esta etapa ocurre la eliminación de agua y extractivos volátiles de punto de ebullición menor a 100°C aproximadamente. Beall (1972) nombra a esta etapa de deshidratación (hasta 200°C).

Segunda etapa: Etapa endotérmica con una temperatura de la madera alrededor de los 275°C. En esta etapa se inicia la descomposición térmica de la madera en ausencia de oxígeno degradándose los carbohidratos de bajo peso molecular, principalmente las hemicelulosas, dando lugar a la formación de ácido acético y agua de reacción (componentes del licor piroleñoso). Se inicia la formación de gases no condensables CO y CO₂; la eliminación de agua fuertemente retenida y extractivos volátiles de la madera. En esta etapa, mayormente la lignina se transforma en brea primaria. Beall (1972) nombra a esta etapa de formación del carbón (200°-280° C) además menciona que en las dos primeras etapas la madera pierde el 35% de su peso total en forma de vapor, de gases incombustibles y de compuestos orgánicos.

Tercera etapa: En esta etapa la temperatura de madera es alrededor de los 350°C. La descomposición térmica es mucho más rápida como resultado de las reacciones exotérmicas que se generan al interior de la madera. Los componentes celulosa y lignina se degradan con mayor facilidad. En esta etapa se forma con mayor intensidad el licor piroleñoso que contienen principalmente ácido acético, alcohol metílico y alquitrán. La brea primaria obtenida en la etapa anterior se transforma en brea secundaria o coquificada que viene a ser el carbón

vegetal. Continúa la formación de los gases no condensables: CO, CO₂, CH₄, C₂H₆ y C₂H₄. Beall (1972) nombra a esta etapa de Pirolisis o carbonización (280°-500° C).

Cuarta etapa: Es una etapa exotérmica con una temperatura aproximada de 450°C – 500°C. En esta etapa se completa el proceso de carbonización. Asimismo, continúa la formación de alquitranes pesados los que son evacuados hasta que alcancen su punto de ebullición.

Quinta etapa: Es una etapa endotérmica con una temperatura interna que va desde los 500 °C a 700 °C. El desarrollo de esta etapa garantiza la eliminación de la mayor parte de alquitranes pesados de esta manera se obtiene un carbón vegetal de buena calidad, aunque esto significa la disminución del rendimiento del carbón.

Beall (1972) nombra a esta etapa de ignición (sobre 500° C) y agrega que la transición de la carbonización a la ignición puede ser muy rápida. En esta etapa, el carbón de leña brilla intensamente y puede transformarse en ceniza si hay bastante ingreso de oxígeno.

2.3.4 COMPONENTES DEL CARBÓN VEGETAL

A) SUSTANCIAS VOLATILES

Earl (1975) indica que las sustancias volátiles están compuestas principalmente por hidrocarburos y algo de nitrógeno. Algunas industrias como la del cemento prefieren altos porcentajes de material volátil (25%), de igual manera para el uso domestico ya que el encendido es más fácil.

B) CENIZAS

Earl (1975) menciona que las cenizas constan de una fracción soluble y otra insoluble: la parte insoluble inorgánica, constituida principalmente de sílice, no afecta normalmente al proceso industrial más que por la pérdida de valor calorífico que representa. Los constituyentes solubles inorgánicos si pueden causar problemas para ciertos procedimientos industriales.

2.3.5 PROPIEDADES DEL CARBÓN VEGETAL

A) DENSIDAD

Earl (1975) menciona que el carbón vegetal obtenido a baja temperatura suele ser más denso que el que se obtienen a alta temperatura, porque las sustancias volátiles disminuyen progresivamente a medida que aumenta la temperatura máxima de carbonización.

González (2001) indica que maderas con alto contenido de lignina generan mayor carbón, por eso se prefiere usar maderas de densidades altas a partir de 0.5 g/cm^3 .

B) SUPERFICIE ESPECÍFICA

Earl (1975) menciona que con temperaturas de carbonización elevadas aumenta la porosidad del carbón vegetal, porque se elimina algunas de las sustancias volátiles derivadas de los alquitranes que se depositan en los intersticios. Con tratamientos especiales se puede aumentar la superficie específica del carbón de 100 a 1000 veces, aproximadamente.

C) GRADO DE HUMEDAD

Earl (1975) menciona que el grado de humedad desaparece una vez terminado el proceso de carbonización. La humedad del carbón no sobrepasa del 5 %, para fines industriales un contenido de humedad inferior al 4% es el requerido.

González (2001) menciona que la madera húmeda genera un mayor consumo de energía del sistema por tanto el tiempo de carbonización es mayor, si se coloca madera por encima del punto de saturación de fibras se genera tensiones. Estas tensiones contribuyen a la contracción violenta, formación de fisuras y el consiguiente resquebrajamiento de la estructura.

D) ESTABILIDAD

Earl (1975) menciona que el carbón vegetal es una materia relativamente inerte, pero absorbe oxígeno rápidamente unas pocas horas después de haber cesado el proceso de carbonización. Por eso es mejor mantener la carga dentro del horno evitando entradas de oxígeno por 24 horas, de esta manera se evita la combustión.

E) FRIABILIDAD

Monge (1957) menciona que los carbones más friables producen mayor cantidad de material fino por tanto obtiene un menor precio de venta en el mercado. Los finos presentan una excesiva área superficial lo que origina una mayor oxidación del carbón y una reducción proporcional de su poder calorífico.

F) CONTENIDO FIJO DE CARBONO

Earl (1975) menciona que el contenido de carbono depende principalmente de las condiciones de carbonización y, en menor grado, de la cantidad de carbono que contiene la carga original de madera. Con una carbonización lenta y a altas temperatura se eliminarán casi todas las sustancias volátiles, y entonces el contenido fijo de carbono disminuirá.

G) PODER CALORÍFICO

Reinhardt (1968) menciona que el poder calorífico de un combustible es la cantidad de calor producida por la combustión completa de una cantidad unitaria de combustible bajo condiciones de combustión especificadas.

H) RENDIMIENTO

Earl (1975) menciona que el rendimiento está influenciado por la humedad de la madera, a menor contenido de humedad el rendimiento será mayor.

Con respecto al factor de la velocidad de carbonización Earl (1975) agrega que esta influye inversamente al rendimiento cuando la carbonización es lenta el rendimiento es mayor pero si se carboniza a altas temperaturas el tiempo de carbonización va ser menor por tanto el rendimiento también.

Otro factor que menciona es el método de carbonización, el método de la retorta (25-30%) tiene mayores rendimientos que los métodos de hornos (20-25%), esto se debe a que la fuente de calor en la retorta es externa, por tanto no hay consumo de la carga.

González (2001) indica que la estructura anatómica también influye en el rendimiento del carbón, maderas con alto contenido de parénquima y tejido medular originan rendimientos bajos además de carbón frágil y poco denso de igual manera ocurre con la corteza además de

aumentar el porcentaje de cenizas. Añade que la presencia de extractivos influye en forma negativa en el rendimiento del carbón e incrementa el del licor piroleñoso.

ONU (1982) menciona que el valor o poder calorífico y la eficiencia en la carbonización del carbón depende de la densidad y la estructura celular de la madera que esta siendo usada, por tal razón no todas las especies de maderas pueden ser usadas para producir carbón pues no se obtendrían carbón de calidad aceptable. Para obtener carbón de buena calidad se usa maderas densas y duras, si se usa maderas suaves se obtendrían carbón frágil, liviano que se quema muy rápido. Esto implica además, que para hacer carbón comercial es preferible usar secciones de fuste grandes, ramas y raíces no muy delgadas ya que son susceptibles a la pulverización.

2.4 PRODUCCIÓN Y DECOMISO DE CARBÓN VEGETAL

En el cuadro 2, se presenta la producción de carbón por departamento para el periodo 1990 – 2001, observándose que el departamento de Ica ostenta la mayor producción de carbón, en tanto Pasco y San Martín son los departamentos de menor producción.

Asimismo en el Cuadro 3, se puede observar que la especie forestal con mayor decomiso en el año 2005 es el algarrobo, siendo su comercialización ilegal de 403.84 Tn.

Cuadro 2 Producción de Carbón Vegetal por Departamento (Tn)

Departamento	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	*2000	*2001
Ancash	69.4	76.41	39	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	10
Apurímac	nd	114.3	nd	nd	nd	nd	nd	180	nd	nd	16.8	14.9
Arequipa	nd	nd	nd	nd	nd	nd	4.5	936.5	143	nd	111	205.5
Cajamarca	nd	nd	0	nd	11.3	2.5	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cuzco	8.3	8	1149	21	nd	nd	0.9	nd	nd	nd	nd	nd
Huancavelica	nd	13	nd	nd	nd	nd	14	20	nd	nd	nd	218
Huanuco	23	26	7	nd	nd	230	nd	20	724	35	635	27
Ica	886	1591	nd	617	nd	nd	1560	327	952	1255	48	290
Junín	35	2029	71	92	nd	352	6	18	5803	nd	0	29
La libertad	3392	1196	335	15	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Lambayeque	2.3	0.2	2299	490	152	26	nd	nd	nd	nd	0	27
Loreto	21	4	50	1	18	475	154	473	nd	nd	63	nd
Moquegua	nd	nd	nd	nd	nd	nd	94	nd	nd	nd	7	8
Pasco	14	nd	nd	nd	nd	251	3	43	157	66	37	0
Piura	nd	nd	nd	nd	nd	14	nd	161	nd	nd	nd	nd
Puno	0.1	nd	6	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
San Martín	nd	5	9	nd	nd	19	5	6	2	8	4	4
Tacna	nd	Nd	nd	nd	nd	nd	11	nd	nd	nd	53	27
Ucayali	125	179	121	110	610	2251	2007	5801	6310	5449	7517	8519
Total	4576	5242	4086	1346	791	3620	3860	7986	14093	6815	8493	9378

Fuentes:

INRENA. Perú Forestal en números 1990-1999

**Administración Técnica de Control Forestal y de Fauna Silvestre.*

Instituto Nacional de Recursos Naturales-INRENA

Dirección General Forestal (información obtenida en digital).

Cuadro 3 Decomiso de Carbón Vegetal 2005 (Tn)

Especie	*Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total	%
Algarrobo	0	0	0	28	16	16	27	148	88	47	0	48	404	88
Capirona	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	10	2
Espino/Eucalipto	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	3
Eucalipto	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	5
Huarango	0	1	0.2	0	0	0	0	1.2	0	0	0	0	2.5	0.5
Queñua	0	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2	0.3
Quinilla	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0.01	0.0
Shihuahuaco	0	0	0	0	0	0	0	1.2	0	0	0	0	1.2	0.3
No especificado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.4	0	1.4	0.3
No identificado	0	0	0	0	0	0	0	0.9	0	0	0	0	0.9	0.2
Total	0	40	0.2	28	16	16	27	162	88	47	1	48	458	100

Fuente:

Cáceres Belvi. Especialista Forestal DACFFS-IFFS

bcaceres@inrena.gob.pe. (Obtenida vía correo electrónico).

*Información no proporcionada

2.5 IDENTIFICACIÓN DEL CARBÓN VEGETAL

Pocos estudios existen sobre el tema de identificación de carbón vegetal por sus características anatómicas; sin embargo deben mencionarse los siguientes:

La Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria (1995) y (2003) en dos decomisos de carbón por INRENA, empleó la técnica de microscopia estereoscópica la cual consiste en emplear patrones de madera y carbón, tomándose fotografías en el estereoscopio en una determinada área de la sección transversal de la madera y carbón para ser analizadas en lo referente a sus características anatómicas como textura, poros, parénquima y radios. En su informe del año 2003, se reporta como resultado que de un lote de 21Tn; 4% de carbón corresponde a Olivo, 48% de carbón de Huarango y 48% de carbón de Algarrobo.

Rivera et all (1994) en la Universidad Nacional de la Plata; identificó muestras de carbón vegetal mediante el uso del Microscopio Electrónico de Barrido empleando las microfotografías para efectuar las observaciones de las características anatómicas y obteniendo como resultado la identificación de las muestras de carbón a nivel de especie, agrega que generalmente las características anatómicas se conservan luego de un proceso de carbonización, permitiendo la identificación del material. Señala que una limitante es la imposibilidad de realizar cortes delgados en carbón, excepto cuando se incluyen en resinas.

Zicherman citado por Asouti (2004) menciona que a pesar de las contracciones y deformaciones durante el secado, la estructura macroscópica y sus elementos microestructurales, siguen siendo en gran parte inafectada.

2.5.1 IDENTIFICACION MACROSCÓPICA

Para realizar la identificación macroscópica del carbón se hace uso de ciertas características organolépticas como textura, brillo y tipo de superficie después del corte. También se hace uso de algunas características macroscópicas tales como: parénquima, distribución y tipo de poros.

2.5.2 IDENTIFICACIÓN MICROSCÓPICA

Asouti (2004) indica que características anatómicas como tamaño y dimensión de poros no pueden ser usados para la identificación ya que los poros se deforman seriamente, debido a la

contracción y al agrietamiento durante la carbonización. Para la identificación de carbón a nivel microscópico se emplea desde un microscopio compuesto hasta los de última generación o microscopios electrónicos, dependiendo del nivel de detalle al hacer el estudio. Para identificar el carbón a este nivel, se requiere observar las características microscópicas del carbón como: los elementos vasculares (tipos de perforación, puntuaciones, engrosamientos espiralados, inclusiones), fibras, parénquima longitudinal y radios.

Ojeda (1997) indica que el microscopio electrónico de barrido (MEB), es un aparato diseñado para que un fino haz de electrones, haga una exploración (barrido) sistemática de la muestra en observación, produciéndose así electrones secundarios que una vez recogidos por un detector, son empleados como una señal a partir de la cual se obtiene, en la pantalla de un tubo de rayos catódicos, una imagen “tridimensional” aumentada de la superficie de la muestra.

Menciona que las muestras para ser observadas con un MEB deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Debe estar seca, no debe contener agua, ni otros líquidos.
- La superficie de la muestra debe ser conductora de los electrones para que al ser bombardeada por los electrones no se cargue eléctricamente, lo que produciría alteraciones tanto en la imagen como en el espécimen.
- La muestra debe tener al descubierto la superficie de las estructuras que pretende estudiar, ya que de otra manera no podrían ser barridas por el haz de electrones.
- Debe ser posible sujetar la muestra con una orientación adecuada, a una porta muestra, de esta manera puede ser introducida en el MEB con facilidad.

A) *PREPARACIÓN DE LAMINAS HISTOLÓGICAS DE CARBÓN*

Asouti (2004); menciona los siguientes pasos para preparar láminas de carbón para su observación al microscopio:

- Impregnación del carbón vegetal con parafina o poliéster, con el objetivo de estabilizar la estructura del carbón y después con una resina sintética para obtener los bloques pequeños.

- Se efectúa el corte con el micrótopo en los tres planos (transversal, radial y tangencial).
- Si el grosor obtenido no es satisfactorio se puede hacer un desgaste hasta obtener secciones finas que permitan su observación en el microscopio.
- Secar la muestra.

Igersheim (1996) menciona otra metodología de cómo preparar el carbón y realizar los cortes en el micrótopo para su estudio al microscopio. Estos pasos son:

- Las muestras de carbón son limpiadas, eliminando las impurezas de la superficie.
- Las burbujas de aire que se localiza en los vasos deben ser eliminados por evacuación (por ejemplo con una bomba de agua).
- Se corta en espesores de aproximadamente 6mm en los tres planos de corte, usando una navaja.
- Deshidratación de los cubos en etanol en forma gradual.
- Se realiza una pre-infiltración por dos horas, la infiltración demora de 12 a 24 horas.
- Impregnación con 2-hydroxyethyl methacrylate (HEMA).
- La polimerización debe ser terminada en una estufa a 40°C hasta que la resina se endurezca y se convierta en un bloque.
- Corte con un micrótopo, el ángulo de la cuchilla debe ser de 10 a 15° y las secciones cortadas a espesores de 3 a 5 um.

Igersheim (1996) señala que este último método, presenta ventajas frente al método de la parafina anteriormente descrito, entre ellas: el tiempo total de preparación solo demora de 24 a 36 horas, muestras de carbón con espesores por encima de los 6mm pueden ser tratados, no requiere de ningún tratamiento adicional para ser observadas en microscopio, se reduce el uso de xilol y tolueno, además todas las características anatómicas pueden ser estudiadas detalladamente.

2.6 CARACTERISTICAS ANATOMICAS DE LA MADERA DE OTRAS ESPECIES UTILIZADAS PARA HACER CARBON VEGETAL COMERCIAL

Se presenta la descripción macroscópica de la madera de cuatro especies que se emplean en la fabricación de carbón; las que posteriormente fueron carbonizadas y evaluadas para reforzar la discusión de la metodología empleada.

2.6.1 AGUANO MASHA (*MACHAERIUM INUNDATUM*)

Chavesta (1996) indica entre las características generales de la madera que los anillos de crecimiento son poco diferenciados por bandas oscuras e irregulares; en promedio 10 anillos en 2.5 cm de radio. Presenta grano entrecruzado. Textura fina. Brillo medio. Olor y sabor no distintivos. Veteado en arcos superpuestos, ligeramente diferenciados y en bandas paralelas. Macroscópicamente la madera presenta porosidad difusa, poros visibles con lupa de 10x; solitarios y escasos múltiples radiales con 2 poros mayormente, abundante contenido de gomas de color amarillo rojizo, taponando parcial o totalmente los vasos. El parénquima visible con lupa de 10x; en líneas finas o bandas angostas y paratraqueal aliforme. Radios visibles con lupa de 10x. Estratificados. La especie presenta inclusiones como cristales en serie y de forma romboide en las células del parénquima y gomas en forma abundante en las células de los vasos, y escaso en el parénquima longitudinal.

2.6.2 QUINILLA COLORADA (*MANILKARA BIDENTATA*)

Chavesta (1996) menciona que la madera tiene a los anillos de crecimiento diferenciados por bandas oscuras de forma regular. El grano es entrecruzado. Textura fina y homogénea. Brillo ausente. Veteado en arcos superpuestos ligeramente diferenciados. Olor y sabor no distintivo. Entre sus características macroscópicas, la madera es de porosidad difusa, visible con lupa 10x: múltiples radiales de 2 a 8 poros; con presencia de tilosis taponando parcial o totalmente a los vasos. El parénquima visible con lupa de 10x; en bandas delgadas. Radios visibles con lupa de 10x. No estratificados.

2.6.3 *EUCALIPTO (EUCALYPTUS GLOBULUS) LABILL*

Aróstegui (1975) menciona que la madera en condición seca al aire es de color blanco amarillento. La transición de color de albura a duramen es gradual, siendo la primera de un color mas claro. Los anillos de crecimiento se diferencian a simple vista y están limitados por bandas oscuras formadas por tejido fibroso y denso. El grano entrecruzado. Textura mediana. El brillo varia de medio a elevado; no tiene olor ni sabor distintivo. Con respecto a las características macroscópicas presenta poros visibles a simple vista. Parénquima vasicéntrico visible con lupa 10X. Radios finos visibles con lupa 10x.

2.6.4 *OLIVO (OLEA EUROPEA)*

Taylor (1978) indica que la madera es de color beige o marrón, con vetas oscuras, grises o negras. Textura fina, grano irregular algunas veces recto. Presenta poros múltiples radiales de 2 a 10 poros, con parénquima no visible con lupa.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN

La zona de colección de las muestras de madera de algarrobo se ubica políticamente en el distrito de Castilla, provincia de Piura, región de Piura. Geográficamente, esta ubicado aproximadamente entre los paralelos 05° 11' 50" de latitud sur y los meridianos 80° 37' 34" de longitud oeste.

El estudio anatómico de la madera y carbón se realizó en el Laboratorio de Anatomía de la Madera y la Carbonización en el Laboratorio de Transformación Química de la madera de la Facultad de Ciencias Forestales de la UNALM.

3.2 MATERIALES Y EQUIPOS

3.2.1 ESPECIE ESTUDIADA

Nombre Científico : *Prosopis juliflora*.

Nombre Común : Algarrobo

Familia : Fabaceae

3.2.2 MATERIALES DE CAMPO

- Madera de algarrobo, Aguano masha, Quinilla colorada, Eucalipto y Olivo.
- Libreta de campo.
- Porta minas, lapicero.
- Pintura látex color blanco.
- Machetes.
- Motosierra.
- Material para prensar muestras botánicas.

3.2.3 DE PREPARACIÓN

- Cuartón de 6x6x10
- Sierra circular de mesa
- Sierra radial
- Garlopa
- Cepilladora

3.2.4 EQUIPOS DE LABORATORIO

- Estereoscopio Wild 7 MS
- Microscopio biológico
- Micrótopo
- Afilador de cuchillas
- Horno de carbonización
- Mufla de 1000 grados centígrados
- Estufas
- Balanza analítica
- Proyector de laminas
- Hornilla eléctrica
- Lupa de 10X.

3.2.5 REACTIVOS QUÍMICOS Y OTROS

- Solución de alcohol de 30, 60 y 96 grados.
- Solución de glicerina y alcohol en partes iguales.

- Solución de ácido nítrico al 33%.
- Safranina.
- Bálsamo de Canadá.
- Abrasivo fino.
- Agua destilada.
- Xilol.
- Placas petri.
- Vasos de 50ml.
- Porta y cubre objetos.
- Pinceles.
- Punzón metálico.

3.2.6 *MATERIALES DE OFICINA*

- Computadora y material de escritorio.

3.3 **METODOLOGÍA**

3.3.1 *LUGAR DE COLECCIÓN*

El área de colección de las muestras, se seleccionó basándose en los criterios de: hábitat del género *Prosopis*, zona de mayor producción de carbón vegetal analizando las estadísticas de producción de carbón vegetal en el ámbito nacional, ubicación de árboles en estado fenológico de floración y/o fructificación y finalmente accesibilidad. Debe indicarse que las maderas de las otras cuatro especies empleadas en el estudio (Aguano masha, Quinilla colorada, Eucalipto y Olivo) corresponden a muestras de xiloteca del Laboratorio de Anatomía de la Madera de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).

3.3.2 SELECCIÓN, COLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE MUESTRAS

Las muestras para el estudio anatómico se realizaron basándose en lo establecido por la Norma NTP 251.008 “Selección y Colección de muestras”. (1980). Se coleccionaron muestras botánicas del genero *Prosopis*, coleccionando hojas y frutos; las cuales fueron debidamente prensadas y enviadas al Herbario MOL de la Facultad de Ciencias Forestales donde se realizó la identificación de la especie.

La selección de trozas se realizó en el mismo bosque. Los árboles evaluados fueron marcados con pintura con un número correlativo; luego del tumbado, las trozas se cortaron a una longitud de 10 pies y fueron marcadas de acuerdo al número del árbol marcado. El corte se realizó a 0.5mts del nivel del suelo. Se hizo el corte de una rodaja de 15 cm de espesor. Las dos trozas junto con las rodajas fueron enviadas al aserradero.

En el aserradero se obtuvieron cuarterones debidamente orientados de 6x6 pulgadas y 10 pies de longitud, cuyos extremos fueron inmediatamente sellados con pintura fueron embaladas con cartones gruesos y transportadas por vía terrestre hasta la Universidad para ser procesados en el Taller de Manufactura de la Madera de la UNALM.

En el taller, el tablón fue procesado obteniéndose 15 muestras de xiloteca de 2x10x15 cm, orientadas en sección tangencial y radial; también se obtuvieron 3 cubos de 5x5x5 cm debidamente orientados para la determinación del grano y brillo; así como de probetas de 3x3cm orientadas para su carbonización y validar la metodología de identificación del carbón vegetal. Las especies diferentes al algarrobo fueron proporcionadas por el Laboratorio de Anatomía.

3.3.3 ESTUDIO ANATÓMICO DE LA MADERA

El estudio anatómico se ejecutó, basándose en la Norma COPANT (Comisión Panamericana de Normas Técnicas 30:1-0.19 (1974), “Método para la Descripción de las Características Generales, Macroscópicas y Microscópicas de la Madera Angiospermas - Dicotiledóneas”; así como a las indicadas en la “Iawa List of Microscopic Features For Hardwood Identification” (1989). Dicha descripción comprende lo siguiente:

Características Generales: Se emplearon rodaja de 10 cm. de espesor, muestras de xiloteca y cubos de madera para describir albura, duramen, anillos de crecimiento, grano textura, brillo, veteado, olor y sabor

Descripción Macroscópica: Se usaron las muestras de xiloteca para observar y describir poros, parénquima y radios.

Descripción Microscópica: Obtenida las láminas histológicas y tejido macerado se procedió a describir, cuantificar y medir los elementos leñosos como lo indica la norma COPANT. La descripción microscópica comprende lo siguiente:

3.3.4 PREPARACIÓN DE LAMINAS HISTOLÓGICAS

A) PREPARACIÓN DE CUBITOS DE MADERA

Se prepararon cubitos de madera de aproximadamente 1x1x2 cm; debidamente orientados, los cuales fueron colocados en un vaso de 50ml y se añadió agua para su ablandamiento.

B) ABLANDAMIENTO

El vaso de precipitado con las probetas fue colocado en baño maría por un tiempo de dos semanas (7 hora /día en promedio).

En esta etapa se controló el nivel de agua en el vaso de precipitado, así como el estado de ablandamiento de las probetas. Para controlar el ablandamiento se penetró un punzón en la madera, estando listo cuando el punzón penetraba fácilmente.

C) CORTE DE LÁMINAS

Los cubos ablandados fueron cortados en un micrótomo horizontal, en espesores de aproximadamente 25 micras para las tres secciones y colocadas en una placas petri conteniendo alcohol de 30°.

D) DESHIDRATACIÓN Y COLORACIÓN

Las láminas fueron deshidratadas en alcohol de 30°, 60° y 96° por espacio de 10 a 15 minutos en cada caso. Luego se eliminó el alcohol y se agregó de 4 a 5 gotas de safranina para su

coloración. Posteriormente las láminas fueron lavadas con alcohol de 96° para eliminar el exceso de colorante.

E) MONTAJE Y SECADO DE LÁMINAS

Las láminas fueron recortadas con un bisturí sobre un vidrio, luego se les colocó en el portaobjeto agregándose una gota de bálsamo de Canadá y cubierta con el cubre objeto. Finalmente se procedió a etiquetar las láminas con su correspondiente código y llevadas a estufa para su secado a una temperatura entre 40-50 °C.

3.3.5 PREPARACIÓN DE LÁMINAS DE TEJIDO MACERADO

A) PREPARACIÓN DE MUESTRAS

Se prepararon probetas de madera similares a palitos de fósforo, y se colocaron en un vaso de 50 ml agregándose ácido nítrico al 33% hasta que el ácido cubriera a los palitos de madera.

B) COCCIÓN EN ÁCIDO NÍTRICO

El vaso conteniendo las probetas de madera fue colocado en la cocina eléctrica a 40 °C, hasta observar una decoloración en los palitos de madera y tuvieran una consistencia blanda.

C) LAVADO

A las probetas de madera ablandados se les enjuagó con agua de caño por varias veces, hasta obtener un residuo liquido transparente. La eliminación de agua se hizo con un colador fino para evitar perdidas de las fibras.

D) COLORACIÓN, MONTAJE Y SECADO

Estos procesos son iguales al descrito en las láminas histológicas.

3.3.6 MEDICIÓN DE LOS ELEMENTOS LEÑOSOS

Las mediciones de los elementos leñosos en todos los casos se hicieron con cincuenta repeticiones. Las mediciones de diámetro tangencial, número de poros /mm²; altura, ancho y numero de células de los radios fueron realizados con un proyector de láminas. En este caso se usó el ocular de 35 y 100 aumentos.

Las mediciones de longitud, espesor y diámetro de fibras, así como la longitud del elemento vascular se realizó con un microscopio compuesto. Para las mediciones de longitud de fibra y elementos vasculares se usó 28X y para el caso de diámetro y espesor de fibra se usó 600X; realizándose mediciones con 50 repeticiones.

3.3.7 DETERMINACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS ANATÓMICAS QUE PERMITEN LA IDENTIFICACIÓN DEL CARBÓN VEGETAL

Se procedió a cortar parte de la sección transversal de las muestras de madera, con una cuchilla para observar las características anatómicas propias de la especie. Parte de la superficie cortada y observada fue seleccionada y demarcada con un lápiz para su posterior toma de fotografías.

Luego las probetas fueron codificadas y luego carbonizadas en la retorta del Laboratorio de Transformación Química de la Madera, durante el proceso de carbonización se controlaron las variables de temperatura y tiempo. Se tomaron fotografías a nivel de carbón en el área que fue demarcada con el lápiz.

Obtenida las fotografías se procedieron a analizar y determinar las similitudes y diferencias entre la estructura anatómica de la madera y carbón en todas las especies estudiadas con el fin de determinar si es factible identificar el carbón vegetal basándose en la estructura anatómica.

Las muestras de madera de Aguano masha, Quinilla Colorada, Eucalipto y Olivo siguieron el mismo procedimiento indicado para poder realizar el mismo análisis.

3.3.8 EVALUACIÓN DEL CARBÓN VEGETAL

Para la evaluación del carbón se tomaron muestras al azar de las 30 probetas carbonizadas, además se tomaron todos los datos necesarios para calcular las siguientes características del carbón:

Contenido de humedad: Se calculó de acuerdo a la norma ASTM-D1762.

% Contenido Humedad (% CH) = $\frac{\text{Peso húmedo carbón} - \text{Peso seco carbón}}{\text{Peso seco carbón}} \times 100$

Peso del carbón húmedo

Densidad del carbón: Para su cálculo se usó el método de Arquímedes.

Contenido de ceniza: Según Norma ASTM-D1762

$$\% \text{ Contenido de ceniza (\% C)} = \frac{\text{Peso de la ceniza} \times 100}{\text{Peso de muestra seca}}$$

Material Volátil (mv) : Según norma ASTM-D1762.

Rendimiento de carbonización: Para ello se usó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Rendimiento de carbonización (\% Rc)} = \frac{\text{Peso del carbón seco}}{\text{Peso de madera seca}} \times 100$$

Porcentaje de Carbono fijo (%CF) : Se usó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Carbono Fijo (\% CF)} = 100\% - (\% \text{Ch} + \% \text{mv} + \% \text{c})$$

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentan los resultados correspondientes a la descripción anatómica de la madera y carbón, análisis estadístico de las dimensiones de los elementos xilemáticos.

4.1 DESCRIPCIÓN ANATOMICA DEL ALGARROBO (*Prosopis juliflora*)

4.1.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MADERA

En condición verde la albura es de color amarillo, muy angosta de 1.5 a 2 cm. de espesor, duramen marrón-rojizo. La transición de albura a duramen es muy marcada por el cambio brusco de color, la albura representa un 10% de la sección transversal. Sin variación de color de la madera del estado verde al seco. Los anillos de crecimiento se distinguen con facilidad en la madera, grano entrecruzado, textura media y homogénea. Veteado en arcos superpuestos poco demarcados, sin brillo. (Fotografía 1 y 2).

Descripción macroscópica

Poros visibles a simple vista, solitarios y múltiple radiales de 2 a 4 poros, predominando con 2 poros, taponados por gomas de color rojo oscuro. Parénquima paratraqueal vasicéntrico, aliforme, confluyente y marginal en menor proporción, de color amarillo claro; radios finos. (Fotografía 3).

Descripción microscópica

Poros / Vasos

Poros de forma redonda a ovalada, predominando los redondos, solitarios y múltiple radiales de hasta 4 poros. De 8 poros/mm² (rango de 5 a 18) considerado como moderadamente pocos. Diámetro tangencial promedio de 124µm (rango de 5 a 235). Elementos vasculares de 160 µm en promedio, clasificados como cortos, platina de perforación simple, mayormente horizontal, con presencia de punteaduras intervasculares alternas de forma redonda y apertura incluida. Presencia de abundante gomas de color rojo oscuro. (Fotografías 4 y 5).

Parénquima longitudinal

En sección transversal se visualiza el parénquima del tipo paratraqueal vasicéntrico, aliforme, confluyente y parénquima marginal en menor proporción. En secciones longitudinales alargadas verticalmente no estratificada, formadas por 2 a 4 células.

Radios

En la sección tangencial se observan predominantemente los radios biseriados (Fotografía 6), en promedio tienen una altura de 347um (38 a 816um) clasificados como extremadamente cortos, de 24 células en altura de 2 a 4 células de ancho. En sección radial homocelulares, compuestos únicamente de células procumbentes (fotografía 7), presentan 6 radios/mm, clasificado como moderadamente numeroso. Homogéneos no estratificados. Puntuaciones radiovasculares similares a las punteaduras intervasculares.

Fibras

Libriformes, longitud promedio de 1018 micras (900 a 1600), clasificadas como cortas, diámetro tangencial de 103 micras (50 a 150) y espesor de pared de 24 micras. Punteaduras no visibles.

Inclusiones

Presencia de cristales de forma romboide en el parénquima longitudinal. (Fotografía 8); así como gomas de color rojo oscuro en vasos, especialmente en el duramen.

En el cuadro N° 4, se presenta un resumen de los valores estadísticos de las mediciones de poros, radios, fibras y vasos.



Figura 1 Muestra de Algarrobo en Sección Tangencial (Tg)



Figura 2 Muestra de Algarrobo en Sección Radial (Rd)

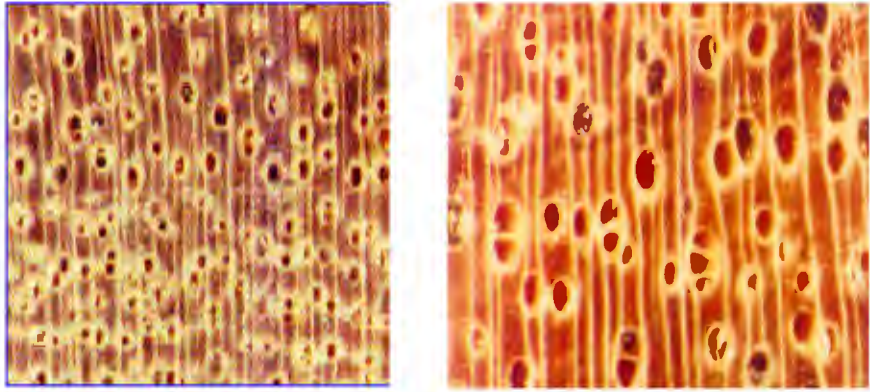


Figura 3 Sección Transversal de Algarrobo (40X y 90X)

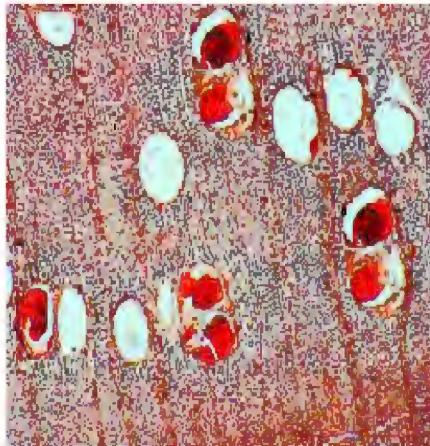


Figura 4 Presencia de gomas en poros (40X)

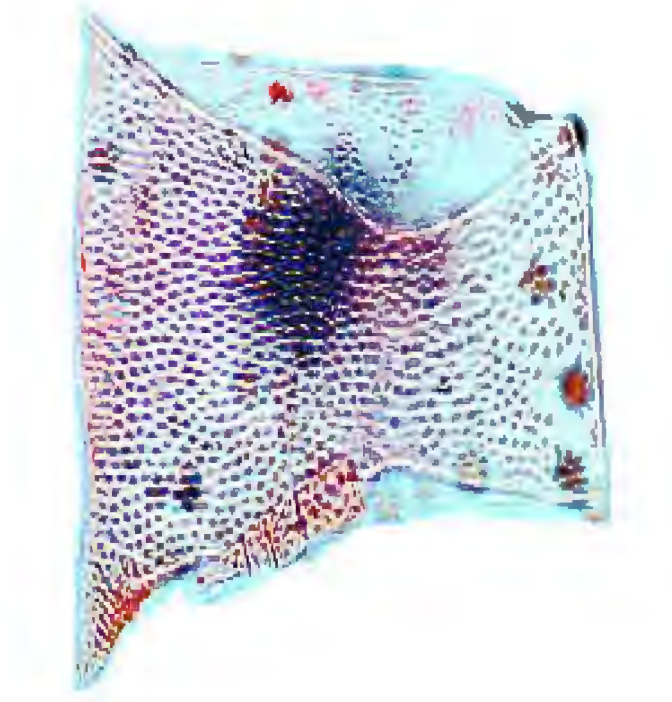


Figura 5 Elemento Vascular con Puntuaciones Intervasculares (400X)



Figura 6 Sección Tangencial de Algarrobo (1000X)

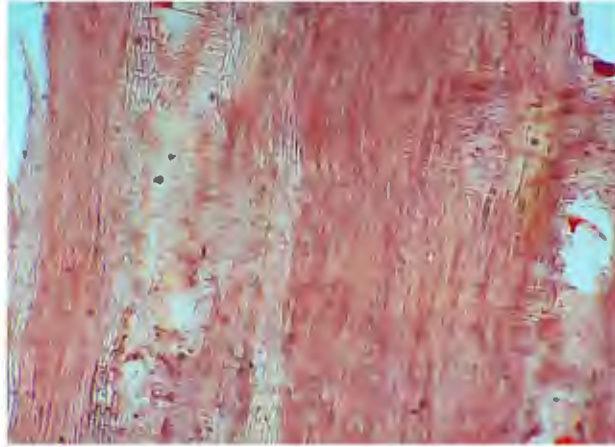


Figura 7 Sección Radial de Algarrobo (40X)

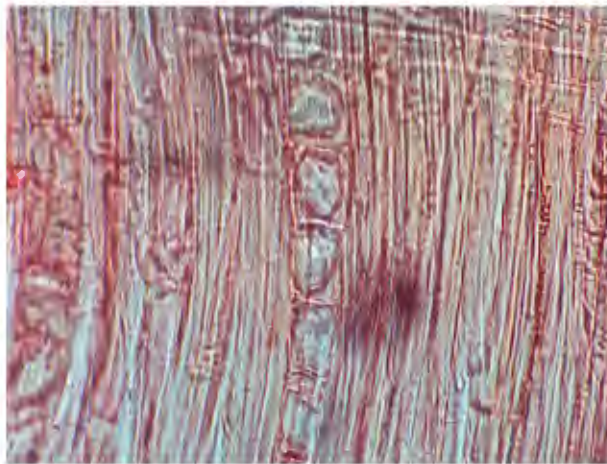


Figura 8 Cristales en Parénquima Longitudinal (400X)

Cuadro 4 Valores Estadísticos de las Mediciones de los Elementos Leñosos del Algarrobo

Valores Estadísticos	Poros		Fibras			Vasos		Radios			
	Diámetro Tangencial	N°/mm ²	Diámetro Total	Espesor de Pared	Longitud	Longitud	Altura	Ancho	N° Células		N°/mm
									Altura	Ancho	
Promedio	124.5	8.4	102.9	24.2	1017.8	160.2	346.6	31.2	23.5	2.8	15.3
S(desviación estandar)	2.7	0.7	0.1	0.04	0.1	0.2	4.7	0.8	2.4	0.1	0.6
CV(%)	193.3	7.4	0.1	0.00	0.8	0.1	1244.1	13.5	129.2	0.01	9.8

Fuente:

Elaboración Propia.

4.2 ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA ANATÓMICA DE LA MADERA Y CARBÓN DE ALGARROBO

Este análisis tiene como objetivo determinar, si se puede identificar la especie de algarrobo al nivel de carbón basándose en su estructura anatómica. Para ello, se analizó la estructura anatómica tanto de la madera como de su carbón correspondiente.

En la fotografía 9, en la madera se observa la presencia de poros solitarios y múltiples radiales, así como el parénquima vasicéntrico de color amarillento rodeando a los poros, en tanto en el carbón también se observa la presencia de poros solitarios y múltiples radiales, con la particularidad que estos se encuentran contraídos en sentido tangencial producto de la carbonización. El parénquima, se observa de un color negro rodeando a los poros. También hay la presencia de agrietamientos que siguen la dirección de los radios, esto debido a que los radios constituyen el tejido débil en la madera.

Como puede observarse en las fotografías antes indicadas, los elementos anatómicos referente a tipo de poros y parénquima permanecen después del proceso de carbonización; los cuales pueden ser usados para identificar el carbón de algarrobo. En la fotografía 10, se puede observar con mayor claridad el parénquima vasicéntrico de la especie estudiada.

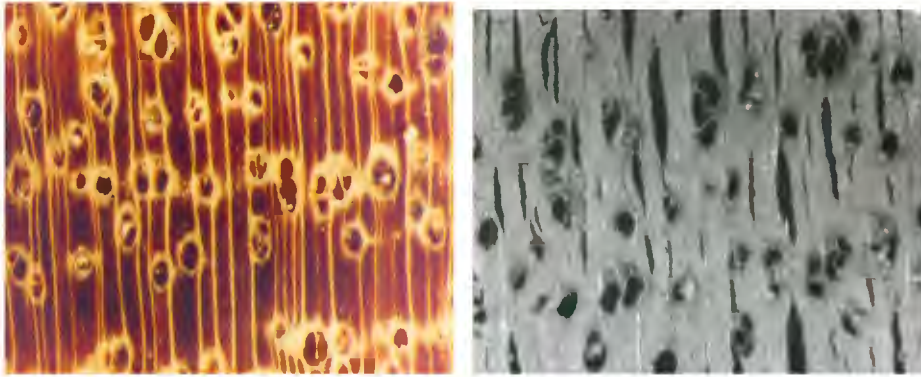


Figura 9 Sección Transversal de Madera y Carbón de Algarrobo (40X)



Figura 10 Sección Transversal de Carbón de Algarrobo (80X)

Para corroborar lo anteriormente expuesto, respecto a que las características tipo de poros y parénquima permanecen después del proceso de carbonización, y por lo tanto, puedan ser usadas para la identificación del carbón vegetal; se analizaron otras especies a nivel de madera y carbón las que se describen a continuación:

Especie: Aguano masha (*Machaerium inundatum*)

En la fotografía 11 se observa que los poros solitarios y parénquima en bandas delgadas perduran después de una carbonización.; confirmándose nuevamente que estas características pueden ser empleadas para identificar la especie al nivel de carbón vegetal.

Especie: Quinilla Colorada (*Manilkara bidentata*)

En la fotografía 12 se observa que el tipo de poro y parénquima en bandas delgadas, perduran después de la carbonización.

Especie: Eucalipto (*Eucalyptus globulus*)

En la fotografía 13 se observa que los poros están dispuestos en diagonal, esta característica perdura después del proceso de carbonización.

Especie: Olivo (*Olea europea*)

La fotografía 14 correspondiente a carbón de Olivo, resalta la presencia de poros múltiples radiales de 2 a 10 poros y escasos solitarios, muy pequeños dado por la textura fina de la madera, no observándose el parénquima, características que permanecen después del proceso de carbonización.

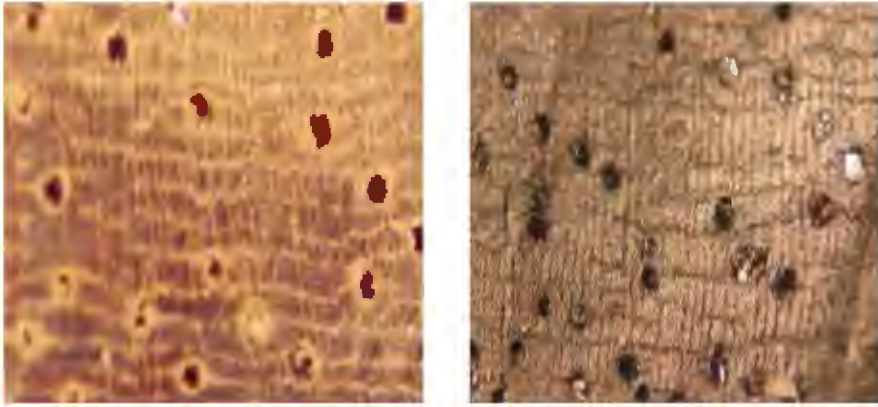


Figura 11 Sección Transversal de Madera y Carbón de Aguano Masha (40X)

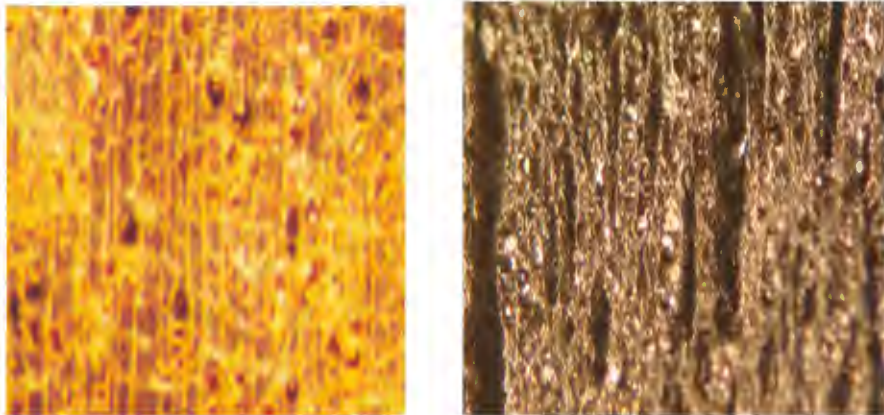


Figura 12 Sección Transversal de Madera y Carbón de Quinilla Colorada (40X)

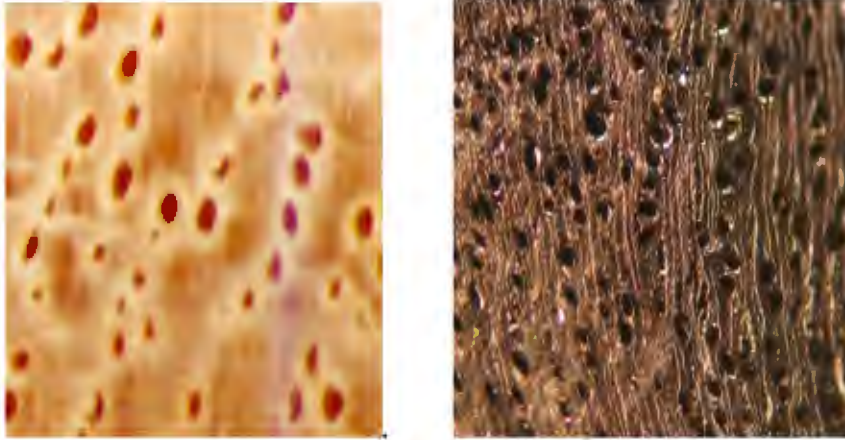


Figura 13 Sección Transversal de Madera y Carbón de Eucalipto (40X)

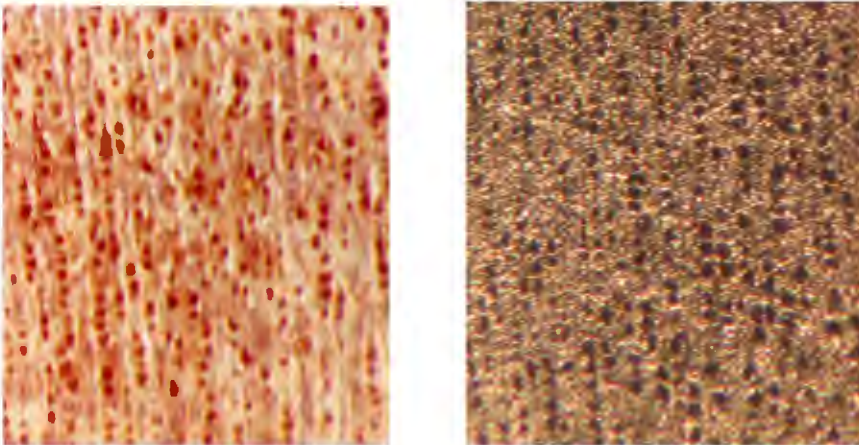


Figura 14 Sección Transversal de Madera y Carbón de Olivo (40X)

4.3 DESCRIPCIÓN ANATÓMICA PRÁCTICA DEL CARBÓN DEL GENERO PROSOPIS Y OTRAS ESPECIES DE INTERES

Anteriormente se realizó el análisis de las características anatómicas de la madera y carbón al nivel de fotografías; ahora se realiza la identificación netamente práctica del carbón del algarrobo y otras especies empleadas en la producción de carbón haciendo uso de una navaja y una lupa.

La clave que hace posible una buena observación con lupa de 10x, es lograr tener una buena superficie de corte en la sección transversal, además de tener en cuenta que en algunos casos se necesita mover el carbón a trasluz hasta lograr la observación. De acuerdo a las observaciones, se tiene que:

Algarrobo (*Prosopis juliflora*): Presenta poros solitarios y múltiples radiales en similar proporción, contraídos en el sentido tangencial. Se observa mayormente el parénquima vasicéntrico. Es necesaria una lupa de 10x para su diferenciación. No se observa gomas que taponan los poros.

Aguano masha (*Machaerium inundatum*): Con la lupa de 10x se diferencian poros solitarios mayormente y múltiples radiales de dos poros ocasionalmente, parénquima en bandas delgadas.

Quinilla colorada (*Manilkara bidentata*): Poros múltiples radiales en mayor proporción de 2 a 3 poros y escasos poros solitarios, el parénquima en bandas delgadas puede ser diferenciado con lupa de 10x y en menor detalle a simple vista. No se observa tilosis en los poros.

Eucalipto (*Eucalyptus globulus*): Poros dispuestos en diagonal y parénquima vasicéntrico visible con lupa de 10x. Esta disposición es mucho más notoria en carbón que en madera, por la contracción que sufre durante la carbonización.

Olivo (*Olea europea*): Poros múltiples radiales de 2 a 8 poros. No se observa parénquima con lupa de 10x. La superficie que se obtiene después del corte es lisa.

4.4 EVALUACION DE LOS COMPONENTES QUIMICOS

Se evidenció que el análisis químico no es determinante para identificar especies a nivel de carbón; sin embargo, estos valores son indicadores de calidad y suelen representar la metodología en la fabricación del carbón vegetal. Los resultados de carbón vegetal de la especie estudiada son presentados en el cuadro 5.

Cuadro 5 Análisis Químico del Carbón Vegetal de Algarrobo

Característica	Muestra			Promedio
	1	2	3	
Contenido de Humedad	1.3	4.6	3.5	3.1
Material Volátil	13.2	14.2	12.6	13.3
Cenizas	2.1	1.3	3.1	2.1
Carbono Fijo	84.8	84.6	84.4	84.6
Rendimiento del Carbón				30.4

Fuente:

Elaboración Propia.

5. *CONCLUSIONES*

- 1) La madera de algarrobo se caracteriza por presentar poros solitarios y múltiples radiales, así como la presencia de parénquima vasicéntrico y marginal.
- 2) El tipo y distribución de poros, así como el tipo de parénquima en el género *Prosopis* son características que perduran después del proceso de carbonización.
- 3) La presencia de inclusiones como gomas y tilosis son características que no pueden ser usados para identificar el género, pues no perduran después del proceso de carbonización.
- 4) La identificación de carbón vegetal a nivel del género *Prosopis* es suficiente para diferenciarlas del carbón vegetal producido comercialmente a partir de otras especies maderables.
- 5) El análisis químico no es determinante para identificar el género *Prosopis*, siendo más bien indicadores de calidad en función a la metodología de la fabricación de carbón vegetal.
- 6) Obtener una buena superficie en la sección transversal en el carbón es de importancia, pues facilita la visualización de las características haciendo uso de una lupa de 10x.
- 7) Se valida la metodología empleada en el presente trabajo, pues comparando los patrones de madera y carbón se logra identificar el carbón vegetal.

6. RECOMENDACIONES

- 1) Buscar una metodología que permita obtener cortes en micrótopo a nivel de carbón que facilitaría la observación de las características en microscopio.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, M. 1994. Atlas de Maderas del Perú. Lima, PE. Publifor, 202 p.
- Asouti, E. 2004. Técnicas de Corte Microscópico en Carbón Vegetal. (en línea). Consultado 20 oct. 2005. Disponible en <http://www.ucl.ac.uk/archaeology/staff/profiles/asouti.htm>.
- ASTM. 1981. Standard Method for Chemical Analysis of wood charcoal In Annual Book of ASTM. United States, Staff. p. 575-577.
- Beall, C. 1972. Introduction to Thermal Analysis in the Combustion of Wood. In Wood Science 5: 102-108.
- Cáceres, B. 2006. Base de Datos sobre Decomiso de Carbón Vegetal del 2005. (correo electrónico). Lima, PE.
- Cementos Lima S.A. 2003. Guía Práctica de Cemento: SOL Pórtland Tipo I, ATLAS Pórtland Puzolánico Tipo IP. Lima, PE. 28 p.
- COPANT (Comisión Panamericana de Normas Técnicas). 1974. Maderas: Método para la Descripción de las Características Generales, Macroscópicas y Microscópicas de la Madera Angiospermas y Dicotiledoneas. In Anteproyecto de la Norma COPANT 30: 1-019. 25 p.
- Cuba, A. 1998. Desarrollo Rural Sostenible en los Bosques Secos de la Costa Norte del Perú. In Bosques Secos y Desertificación. Memorias del Seminario Internacional. Lima, PE. INRENA. p. 45-77.
- Chavesta, M. 1996. Maderas para Parquet. In Concytec. Serie Tecnologías. N°4. 101p
- Earl, D. 1975. Informe sobre el carbón vegetal. In FAO. Roma. p. 3-55.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2000. Productos Forestales 1996-2000. Yearbook Annuary. Roma. 243 p.
- _____. 1985. Madera para Producir Energía. Informe sobre Cuestiones Forestales no. 1: 31.

- Felker, P. 2003. Valoración Económica de la Importancia Ambiental del Genero Prosopis. In I Congreso Internacional de Bosques Secos. p. 97-112.
- González, E. 2001. Apuntes de Clase. Métodos de Carbonización. 26 p.
- IAWA Committee. 1989. List of Microscopic Features for Hardwood Identification. Leiden. Países Bajos. V. 10 tomo 3, 333 p.
- Igersheim, A. 1996. A Simple Method for Microtome Sectioning of Prehistoric Charcoal Specimens, Embeded in 2- Hydroxyethyl Methacrylate (HEMA). In Review of Palaeobotany and Palynology. nov. 1996: 389-393.
- INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales). Administración Técnica de Control Forestal y de Fauna Silvestre. Dirección General Forestal. Base de Datos sobre Producción del Carbón Vegetal 2000-2001. (correo electrónico). Lima, PE.
- INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA INDUSTRIAL Y DE NORMAS TÉCNICAS, PE. 1980. Maderas: Selección y Colección de muestras. Norma ITINTEC 251. 008. Lima, PE. 11 p.
- Kerstetter, J. 1979. Review of Biomass gasification. In Symposium Proceedings. p. 223-224.
- MA (MINISTERIO AGRICULTURA, PE). 1980. Estudio Fomento del Uso de Carbón Vegetal de Especies Diferentes al Algarrobo. Lima, PE. 36 p.
- _____. 1997. Compendio Normas Legales Sector Agrario. Lima, PE. 709 p.
- _____. 1998. Compendio Normas Legales Sector Agrario. Lima, PE. 709 p.
- _____. 2002. Perú Forestal en Números. 1990-1999. Lima, PE. 52 p.
- Monge, E. 1957. Tratamiento y Utilización del Carbón. Kansas, US. Lawrence. 56 p.
- Ojeda, J. 1997. Métodos de Microscopía Electrónica de Barrido en Biología. Universidad de Cantabria. 267 p.
- ONU (Organización de las Naciones Unidas, USA). 1982. Appropriate Technology in Forestry. Roma. 137 p.
- Pastor, J. 2001. Pore structure of chars and activated carbons prepared using carbon dioxide at different temperatures from extracted rockrose. In Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 57: 1-213 p.

- Reinhardt, S. 1968. Ingeniería Metalúrgica. Principios de Ingeniería. tomo 1. 234 p.
- Rivera, S; Magnin, S; Cavatorta, M. 1994. Aporte del Microscopio electrónico de barrido en la identificación del carbón vegetal. Quebracho no 2: 21-27.
- Taylor, G. 1978. La Madera. Blume. 274 p.
- UNALM (Universidad Nacional Agraria, PE). 1995. Informe sobre Reporte de Identificación de Carbón Vegetal. En prensa.
- _____. 2003. Informe Técnico de la Evaluación de un Lote de 21 Toneladas de Carbón en los Almacenes de Proabonos. En Prensa.
- Villagra, P. 1997. Wood Structure of *Prosopis alpataco* and *P. argentina* Growing under Different Edaphic Conditions. In IAWA Journal 18 (1): 37-51.
- Zevallos, P. 1998. Determinación Botánica de 24 Especies Arbóreas del Departamento de Lambayeque. In Bosques Secos y Desertificación. Lima, PE. p. 319-341.

ANEXO 1

CONSTANCIA DE DETERMINACIÓN BOTÁNICA



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

HERBARIO MOL, DEPARTAMENTO DE MANEJO FORESTAL, FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
TELÉFAX: 348-8947 ANEXO 244 - APOD. 466 - LA MOLINA LIMA PERÚ

CONSTANCIA DE DETERMINACIÓN BOTÁNICA

A solicitud de la señorita Edith María Pipa Cruz, se proporciona la identidad del espécimen indicado, el cual se halla depositado en el Herbario MOL, con la sigla consignada.

Zona de colección: Lambayeque

SIGLA	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMUN	FAMILIA
01.-EPG	Prosopis juliflora	"Algarrobo"	FABACEAE

Determinador :

Carlos Reynal Rodríguez Ph. D.
Director del Herbario Forestal UNALM (MOL)



La Molina, 15 de Octubre de 2003

ROGAMOS A LOS USUARIOS DE LOS SERVICIOS DEL HERBARIO MOL TENER ESPECIAL CUIDADO EN TRANSCRIBIR CORRECTAMENTE LOS NOMBRES PROPORCIONADOS