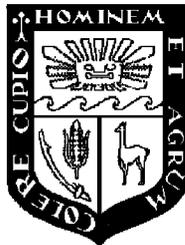


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

Facultad de Ciencias Forestales



**Obtención de carbón activado a partir
de semillas, de dos palmeras de la
Amazonía Peruana, Shapaja (*Attalea
phalarta*) y Aguaje (*Mauritia flexuosa*).**

Tesis para optar el Título de
INGENIERO FORESTAL

Giuliana Nathalie Zamora Velazco

Lima – Perú
2010

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para calificar la sustentación del Trabajo de Tesis, presentado por la ex-alumna de la Facultad de Ciencias Forestales, Bach. GIULIANA NATHALIE ZAMORA VELAZCO, intitulado “OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE SEMILLAS, DE DOS PALMERAS DE LA AMAZONÍA PERUANA, SHAPAJA (*ATTALEA PHALERTA*) Y AGUAJE (*MAURITIA FLEXUOSA*). ”.

Oídas las respuestas a las observaciones formuladas, lo declaramos:

.....

con el calificativo de

En consecuencia queda en condición de ser considerada APTA y recibir el título de INGENIERO FORESTAL.

La Molina, 15 de Enero de 2010

.....
Ing. Leonidas Miguel Castro
Presidente

.....
Ing. Carlos Chuquicaja Segura
Miembro

.....
Ing. Martín Araujo Flores
Miembro

.....
Dr. Héctor Enrique Gonzales Mora
Patrocinador

.....
Ing. Pedro Carrasco Pérez

RESUMEN

Se estudió la obtención de carbón activado a partir las semillas de Aguaje y Shapaja utilizando el método químico con ácido fosfórico al 85 % de concentración así como los efectos de tres variables: Especie (*Attalea phalerata* y *Mauritia flexuosa*); Granulometría (+16, -16/+100, -100) y Tiempo de activación (90 y 120 min.). Se evaluaron los carbones activados obtenidos, de acuerdo a la norma NMX-F-295-1981 y la capacidad de adsorción con azul de metileno, posteriormente se realizó una prueba práctica de la adsorción en los carbones activados que de acuerdo a la evaluación previa, fueron los mejores en términos de calidad y adsorción. El carbón activado de mejor calidad de acuerdo a la evaluación es de la especie Aguaje y se elaboró tomando las siguientes variables: granulometría (+16), tiempo de activación (120 min.). Este carbón presento las siguientes características físico-químicas: Contenido de humedad 0,47 %; Material volátil 9,90 %; Contenido de cenizas 7,19 %; Carbono fijo 82.92 %; Potencial de hidrógeno 5,99; Densidad aparente 0,34 g/cm³. De las variables empleadas se demostró estadísticamente que las variables que mas influyeron en los resultados obtenidos fueron, el *Tiempo de activación* y la *Especie*. De acuerdo a los resultados obtenidos en este trabajo se puede indicar que a partir de las semillas de Aguaje y Shapaja se puede obtener carbón activado de buena calidad, ambas especies poseen excelentes cualidades, pero el Aguaje tiene la ventaja de tener adicionalmente una capacidad de adsorción excepcional, en ambos caso se recomienda el uso de estas especies para la producción de carbón activado pues se diversificaría, el uso actual que tienen estas especies.

ÍNDICE

	Página
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
RESUMEN.....	V
ÍNDICE.....	VI
LISTA DE CUADROS.....	IX
LISTA DE FIGURAS.....	X
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 DE LAS ESPECIES ESTUDIADAS	3
2.1.1 <i>Shapaja (Attalea phaleratta)</i>	3
2.1.2 <i>Aguaje (Mauritia flexuosa)</i>	6
2.2 CARBÓN ACTIVADO	9
2.2.1 <i>Generalidades:</i>	9
2.2.2 <i>Teoría de la Adsorción:</i>	11
2.2.3 <i>Métodos de obtención de carbón activado:</i>	13
2.3 USOS DEL CARBÓN ACTIVADO:.....	16
2.3.1 <i>Uso en medio líquido:</i>	17
2.3.2 <i>Uso en medio gaseoso:</i>	18
2.4 CARBONES ACTIVADOS COMERCIALES: EN POLVO (CAP) Y GRANULAR (CAG):	19
2.4.1 <i>Carbón Activado en Polvo:</i>	19
2.4.2 <i>Carbón Activado Granular:</i>	20
2.5 MERCADO DEL CARBÓN ACTIVADO:	21
2.6 INVESTIGACIÓN SOBRE CARBÓN ACTIVADO CON RECURSOS VEGETALES:.....	24
2.6.1 <i>Efectos de variables Tiempo de activación y Granulometría:</i>	24
2.6.2 <i>Métodos Aplicados para Evaluar Calidad del Carbón Activado:</i>	27
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
3.1 LUGAR:	29
3.2 MATERIALES Y EQUIPOS:.....	29
3.2.1 <i>Materia Prima:</i>	29
3.2.2 <i>Materiales:</i>	30
3.2.3 <i>Equipos:</i>	31
3.2.4 <i>Reactivos Químicos:</i>	31
3.3 METODOLOGÍA:	32
3.3.1 <i>Colección de muestras:</i>	32
3.3.2 <i>Acondicionamiento de la Materia Prima y Determinación de Humedad:</i>	32
3.3.3 <i>Impregnación con Solución de Ácido Fosfórico al 30%:</i>	32
3.3.4 <i>Carbonización – Activación:</i>	33
3.3.5 <i>Molienda y Tamizado del Carbón Activado Obtenido:</i>	34
3.3.6 <i>Lavado:</i>	35
3.3.7 <i>Secado:</i>	35
3.4 EVALUACIONES DE LA MATERIA PRIMA Y DEL CARBÓN OBTENIDO:	36
3.4.1 <i>Evaluación de la Materia Prima:</i>	36
3.4.2 <i>Evaluación del Carbón Activado:</i>	37
3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL:	38

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
4.1 EVALUACIÓN DE MATERIA PRIMA:	41
4.1.1 <i>Aguaje (Mauritia flexuosa)</i> :.....	41
4.1.2 <i>Shapaja (Attalea phalerta)</i> :.....	42
4.2 RENDIMIENTO DE LA CARBONIZACIÓN – ACTIVACION:	44
4.3 RENDIMIENTO POR FRACCIÓN GRANULOMÉTRICA:	45
4.4 ANÁLISIS DEL CARBÓN ACTIVADO OBTENIDO:.....	47
4.4.1 <i>Contenido de Humedad (%CH)</i> :	47
4.4.2 <i>Material Volátil (%MV)</i> :.....	48
4.4.3 <i>Contenido de Cenizas Totales (%)</i> :	49
4.4.4 <i>Carbono Fijo (%CF)</i> :	50
4.4.5 <i>Capacidad de Adsorción</i> :.....	52
4.4.6 <i>pH</i> :	54
4.4.7 <i>Densidad Aparente</i> :	56
4.5 DETERMINACIÓN DE CALIDAD DEL CARBÓN ACTIVADO OBTENIDO:	57
5. CONCLUSIONES.....	60
6. RECOMENDACIONES	61
ANEXO 1	70
IMPORTACIONES DE CARBÓN ACTIVADO DE LATINOAMÉRICA-2004	70
IMPORTACIONES DE CARBÓN ACTIVADO DE LATINOAMÉRICA -2005.....	70
ANEXO 2	71
PAÍSES EXPORTADORES DE CARBÓN ACTIVADO AÑO 2004-2005.....	71
ANEXO 3	72
EQUIVALENCIAS ENTRE LOS TIPOS DE MALLAS Y ABERTURAS	72
ANEXO 4	73
CUADRO DE RESULTADOS PROMEDIO	73
ANEXO 5	74
ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL %CH.....	74
ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL %MV	74
ANEXO 6	75
ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL %CENIZAS.....	75
ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL %CF.....	75
ANEXO 7	76
ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL %ADSORCIÓN	76
ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL PH	76
ANEXO 8	77
ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA DENSIDAD APARENTE	77
ANEXO 9	78
CURVA DE CORRECCIÓN DEL AZUL DE METILENO	78
ANEXO 10.....	79

NMX-F-295-1981. ALIMENTOS PARA USO HUMANO. AZÚCAR. DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE CARBONES
ACTIVADOS EMPLEADOS EN LA REFINACIÓN DE AZÚCAR. FOODS FOR HUMAN USE. NORMAS MEXICANAS.
DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS.....79

Lista de cuadros

	Página
CUADRO 1 IMPORTACIONES DE CARBÓN ACTIVADO HACIA EL PERÚ, AÑO 2005.	24
CUADRO 2 : PARÁMETROS DE EVALUACIÓN DE PARA CARBÓN ACTIVADO DE OTRAS INVESTIGACIONES.	28
CUADRO 3 : DISEÑO EXPERIMENTAL EMPLEADO PARA LA OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE LAS SEMILLAS DE SHAPAJA Y AGUAJE.	39
CUADRO 4 : DISEÑO EXPERIMENTAL DE LOS TRATAMIENTOS EMPLEADOS PARA LA ELABORACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO, POR EL MÉTODO QUÍMICO.	39
CUADRO 5 : COMPOSICIÓN QUÍMICA DE SEMILLAS DE AGUAJE Y SHAPAJA.	43
CUADRO 6 : RENDIMIENTO DE LAS ESPECIES DE ACUERDO AL TIEMPO DE ACTIVACIÓN.	45
CUADRO 7 : RENDIMIENTO DE CARBÓN ACTIVADO, POR FRACCIÓN GRANULOMÉTRICA DE SHAPAJA Y AGUAJE, LUEGO DE LA MOLIENDA Y TAMIZADO.	45
CUADRO 8 : RESULTADOS OBTENIDOS DE PORCENTAJE DE CARBONO FIJO PARA CADA UNIDAD EXPERIMENTAL.	51
CUADRO 9 : RESULTADOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA DE ADSORCIÓN DIRECTA.	54
CUADRO 10 : RESULTADOS PROMEDIO DE PH PARA CADA UNIDAD EXPERIMENTAL.	55
CUADRO 11 : EVALUACIÓN DE LOS CARBONES ACTIVADOS OBTENIDOS EN EL PRESENTE ESTUDIO, DE ACUERDO A LA NORMA NMX-295-1981.	58
CUADRO 12 : COMPARACIÓN DEL MEJOR CARBÓN ACTIVADO OBTENIDO CON OTROS CARBONES COMERCIALES.	59

Lista de figuras

	Página
FIGURA 1 : CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS DE LA SHAPAJA.....	4
FIGURA 2 : CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS DEL AGUAJE.	7
FIGURA 3 : DISTRIBUCIÓN POROSA AL INTERIOR DEL CARBÓN ACTIVADO.....	11
FIGURA 4 : ACTIVACIONES FÍSICA Y QUÍMICA DEL CARBÓN.	14
FIGURA 5 : IMPORTACIONES LATINOAMERICANAS PARA EL AÑO 2005.....	22
FIGURA 6 : UBICACIÓN DE LA ZONA DE COLECCIÓN DE MUESTRA DE SHAPAJA.	29
FIGURA 7 : UBICACIÓN DE LA ZONA DE COLECCIÓN DE MUESTRA DE AGUAJE.	30
FIGURA 8 : PROCESO DE CARBONIZACIÓN-ACTIVACIÓN.	33
FIGURA 9 : LA SEMILLA DE AGUAJE, ANTES Y DESPUÉS DE LA CARBONIZACIÓN-ACTIVACIÓN.	33
FIGURA 10 : VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA EN EL PROCESO DE CARBONIZACIÓN – ACTIVACIÓN.	34
FIGURA 11 : CARBÓN ACTIVADO EN EL PROCESO DE MOLIENDA.	35
FIGURA 12 : DIAGRAMA DE LA METODOLOGÍA APLICADA EN LA OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO Y SUS ENSAYOS.	36
FIGURA 13 : SEMILLA MOLIDA DEL AGUAJE USADA PARA LOS ANÁLISIS DE MATERIA PRIMA.	41
FIGURA 14 : COMPONENTES QUÍMICOS DE LA SEMILLA DE AGUAJE.....	42
FIGURA 15 : SEMILLA DE SHAPAJA, EN CORTE TRANSVERSAL.	43
FIGURA 16 : COMPONENTES QUÍMICOS DE LA SEMILLA DE SHAPAJA.	43
FIGURA 17 : RENDIMIENTO GLOBAL DE LA ACTIVACIÓN POR ESPECIE.	44
FIGURA 18 : RENDIMIENTO POR FRACCIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO DE SHAPAJA PARA CADA GRANULOMETRÍA.....	46
FIGURA 19 : RENDIMIENTO POR FRACCIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO DE AGUAJE PARA CADA GRANULOMETRÍA.	46
FIGURA 20 : PORCENTAJES DE CONTENIDO DE HUMEDAD DEL CARBÓN ACTIVADO DE LAS SEMILLAS DE SHAPAJA Y AGUAJE.	48
FIGURA 21 : PORCENTAJES DE MATERIAL VOLÁTIL DEL CARBÓN ACTIVADO DE LAS SEMILLAS DE SHAPAJA Y AGUAJE.....	49
FIGURA 22 : PORCENTAJES DE CENIZAS TOTALES DEL CARBÓN ACTIVADO DE LAS SEMILLAS DE SHAPAJA Y AGUAJE.	50
FIGURA 23 : PORCENTAJES DE CARBONO FIJO DEL CARBÓN ACTIVADO OBTENIDO A PARTIR DE LAS SEMILLAS DE SHAPAJA Y AGUAJE...	52
FIGURA 24 : PORCENTAJES DE ADSORCIÓN OBTENIDOS DEL CARBÓN ACTIVADO DE LAS SEMILLAS DE SHAPAJA Y AGUAJE.	53
FIGURA 25 : VALORES DE PH PARA CARBÓN ACTIVADO DE SHAPAJA Y AGUAJE.	55
FIGURA 26 : RESULTADOS OBTENIDOS DE DENSIDAD APARENTE PARA LOS CARBONES ACTIVADOS DE LAS SEMILLAS DE SHAPAJA Y AGUAJE.....	57

1. INTRODUCCIÓN

En la Amazonía existen varias especies forestales y productos que pueden aprovecharse de forma distinta al uso tradicional. Muchas de las especies nativas de la Amazonía son utilizadas por las comunidades locales, por sus frutos, hojas o fibras; actualmente se conocen 20 especies de palmeras que son utilizadas por las comunidades en las regiones de Ucayali, San Martín, Loreto y Madre de Dios. Del grupo de palmeras, destacan por su uso, el Aguaje (empleada en alimentación), irapay (empleado en construcción), shambira (empleado en artesanías), shebon (empleado en la industria de la medicina y cosmética), Shapaja (empleado en la medicina tradicional y construcción) entre otras.

El “Aguaje” es una especie cuyo fruto es muy utilizado en la región Loreto: se estima que se consume más de 150 t/mes de frutos de Aguaje, de las cuales, la mitad se destina para heladerías y similares y la otra parte se consume directamente o en refresco. El fruto es consumido principalmente en la ciudad de Iquitos; al fruto le corresponde 33,5 %, en masa de semilla, estimándose, en la mencionada ciudad, una cantidad aproximada 51 t / mes de semilla que queda como residuo. (Rojas *et al.* 2001). De otro lado, la “Shapaja” es una palmera que se encuentra en las regiones de Huánuco, Loreto, Madre de Dios, Ucayali, San Martín. En las regiones de San Martín y Madre de Dios se han identificado zonas con 1 a 2 palmeras por hectárea de Shapaja; por cada palmera se cuenta con 3 a 4 racimos de frutos, cada uno de 25 a 30 kg. Asimismo, en la región Loreto, cuenca del río Chambira, se encuentran poblaciones densas de Shapaja; los pobladores locales tradicionalmente solo utilizan las hojas de esta especie en la construcción de viviendas locales (Mejía, 2004; Carrasco, 2009).

Dada la importancia de las especies “Aguaje” y “Shapaja”, se plantea que, dentro de un plan de manejo racional, las partes de los frutos no utilizados puedan ser empleados para la elaboración de diferentes productos, de las cuales se destaca el carbón activado. El carbón activado es un producto de gran demanda en el Perú, demostrado por la cantidad y valor importado: entre los años 2003 y 2007, la industria nacional importó más de 5540 t, que significó un valor cercano a \$ 9 millones de dólares y con una tendencia de crecimiento anual de importación del 41 %

(Trademap, 2009). La producción nacional de carbón activado es muy pequeña, representada por una empresa local (AGROFOR) con una producción que no supera los 500 kg al año.

Ante una gran demanda insatisfecha de carbón activado, el uso de los residuos de frutos de palmeras es una oportunidad de negocio interesante debido a la simplicidad de su producción. En la actualidad existen iniciativas de producción, manifestadas por Organizaciones No Gubernamentales (ONG) y empresas privadas para la realización estos proyectos; sin embargo, hace falta investigación básica que contribuya a mejorar esta situación. Teniendo en cuenta la importancia de diversificar los usos tradicionales de los productos forestales no maderables así como la utilización de los residuos en las industrias ya existentes, es que se planteó la utilización de las semillas de dos palmeras en la elaboración de carbón activado. Para tal fin se utilizó las semillas de “Aguaje” *Mauritia flexuosa* y “Shapaja” *Attalea phalerata*. (Mejía K, 1995). El presente trabajo de tesis tuvo por finalidad evaluar la aptitud de residuos de frutos del “Aguaje” y “Shapaja”, provenientes de la Amazonía, que se utilizaron para la producción de carbón activado. De esta manera se busca contribuir con la información existente, que sirva de base para el desarrollo de actividades de transformación con productos forestales no maderables de la Amazonía peruana.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 DE LAS ESPECIES ESTUDIADAS

2.1.1 SHAPAJA (*Attalea phaleratta*)

A) DESCRIPCIÓN BOTÁNICA:

La especie se clasifica de la siguiente manera:

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Liliopsida
Sub-clase:	Commelinidae
Familia:	Arecaceae
Tribu:	Cocoeae
Género:	<i>Attalea</i>
Especie:	<i><u>Attalea phalerata</u></i>

Nombres comunes: “Motacú” (Bolivia), “Urucuri” (Brasil), “Shapaja” (Perú); (Villachica et al. 1996).

La Shapaja es una palmera de un único tallo recto, cubierto de vainas muertas, que alcanza los 12 metros de altura. Sus hojas son pinnadas, de 3,5 a 6 metros de longitud. Sus frutos son lisos, oblongos, de color marrón claro cuando están maduros. (Mendoza, *et al* 2005). Según estudios efectuados en Ecuador, se sugiere que la especie florece a lo largo de todo el año con un pico de floración a fines de la estación de lluvias, entre febrero y abril. (García, 1998; citado por Reynel, 2003).

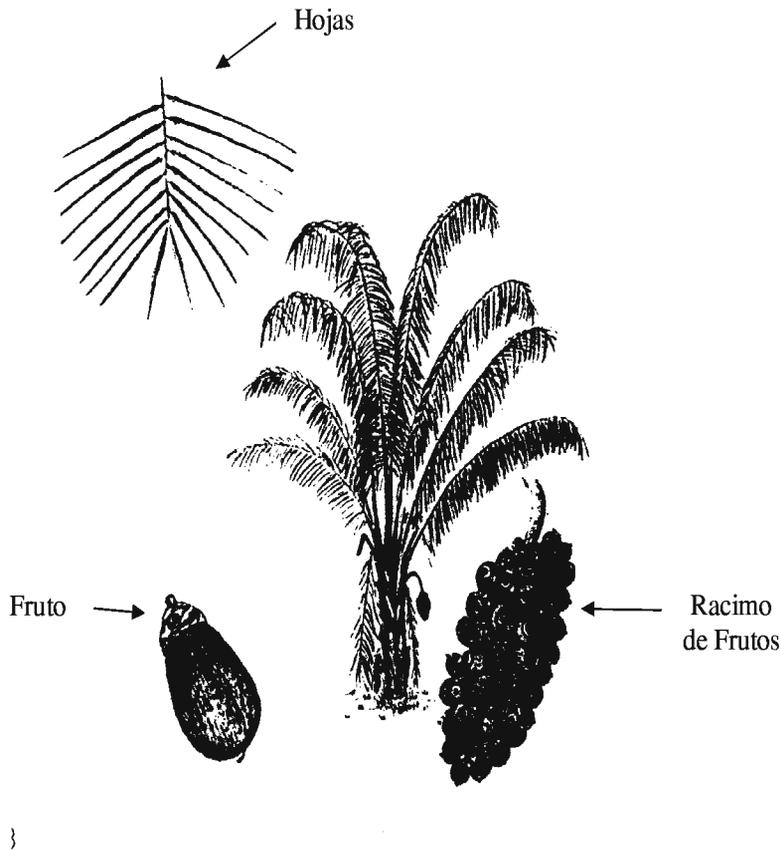


Figura 1 : Características botánicas de la Shapaja.

Fuente: Henderson, 1995.

B) DISTRIBUCIÓN DEL RECURSO

La Shapaja es una especie inicialmente clasificada en el género *Scheelea* (Henderson A. *et al* 1995). En el Perú se encuentra por debajo de los 300 m.s.n.m., en las regiones de Huánuco, Loreto, Madre de Dios, Ucayali, San Martín (Mejía, 2004). Esta especie es de amplia distribución, desde Centro América, hasta la parte oeste de la cuenca amazónica, debajo de los 300 m.s.n.m., en Perú (Huánuco, Loreto, Madre de Dios, Ucayali), Colombia (Amazonas, Caquetá, Putumayo), Venezuela (Amazonas, Bolívar), Ecuador (Napó), Brasil (Acre, Amazonas) y Bolivia (Cochabamba, La Paz, Pando). Habita en los bosques de tierra firme, pero es muy común en las márgenes de los ríos y en las zonas bien drenadas de la llanura de inundación en donde forma asociaciones relativamente densas llamadas “Shapajales”. (Mejía, 2004).

En la región San Martín, distritos de Barranquita provincia de Lamas y de Chazuta provincia de San Martín, en potreros de pastos, se identificó, la presencia de 1 a 2

palmeras por hectárea. La misma distribución se encontró en potreros de Iberia en Madre de Dios, con 1 palmera por hectárea en promedio. Asimismo en el río Chambira en la provincia de Loreto, se ubicó un bosque denso de Shapaja de varios cientos de hectáreas, en el ámbito de influencia de la comunidad Santa Cruz del Tagual (Carrasco, 2009).

Por cada palmera de Shapaja se cuenta con 3 a 4 racimos de frutos, cada uno de 25 – 30 kg, de los cuales la tercera parte corresponde a la semilla, entonces por palmera, teniendo en cuenta solo tres racimos, se tiene 24-30 kg de semilla (Carrasco, 2009).

C) USOS DE LA ESPECIE

Un estudio sobre las palmas útiles en los alrededores de Iquitos, refiere, (Balslev H, *et al.* 2008):

- Medicinal: El aceite obtenido de los frutos y las semillas es utilizado con fines medicinales.
- Construcción: El estípite (tallo) es utilizado para los postes (horcones) de las viviendas; las hojas son utilizadas en los techos de las viviendas.
- Herramientas y utensilios: Las hojas tiernas son utilizadas en la fabricación de canastos, abanicos, sombreros y escobas; las larvas de coleóptero (suris) que se desarrollan en los frutos viejos y en los estípites (tallos) caídos son utilizados como carnada en la pesca.
- Alimenticio: Los frutos maduros son colectados para ser consumidos crudos; el palmito es extraído y consumido crudo o cocido; las semillas son colectadas y consumidas como almendras crudas o cocidas al fuego; las larvas (suris) que desarrollan en los troncos en descomposición suelen ser cosechadas para ser consumidas cocidas.

El uso potencial más importante de la especie precisamente se encuentra en la semilla debido al alto contenido de aceites, presentes en las nueces que alberga esta en su interior (3-6). Solo la semilla contiene 60 % -70 % en peso seco de aceite, con una producción potencial de 1,1-2,4 toneladas por hectárea por año (Moraes, *et al.* 1996).

El aceite de la semilla de Shapaja es utilizado como tónico para el cabello asimismo se plantea su uso para el consumo humano como aceite vegetal por sus elevadas proporciones en aceites oleico y láurico. (Moraes *et al.* 1996). Otro autor refiere que el aceite obtenido a partir de la semilla de *Attalea phalerata* tiene un uso medicinal, en el tratamiento enfermedades respiratorias y fiebres (Paniagua-Zambrana, 2005).

2.1.2 AGUAJE (*Mauritia flexuosa*)

A) DESCRIPCIÓN BOTÁNICA:

La especie *Mauritia flexuosa* se clasifica de la siguiente manera, (Bohórquez, 1976):

Reino:	Vegetal
Sub-Reino:	Embryophyta
División:	Spermatophyta
Clase:	Angiospermae
Sub-clase:	Monocotiledónea
Orden:	Principes
Familia:	Palmaceae
Tribu:	Lepidocaryoidae
Género:	Mauritia
Especie:	<u><i>Mauritia flexuosa</i></u>

Nombres comunes: Aguaje, achual (Perú); caranday-guazu, ideuí (Bolivia); buriti, burití-do-brejo, miriti, buritirana (Brasil); canangucha, moriche, Aguaje, mirití (Colombia); moriche (Venezuela).

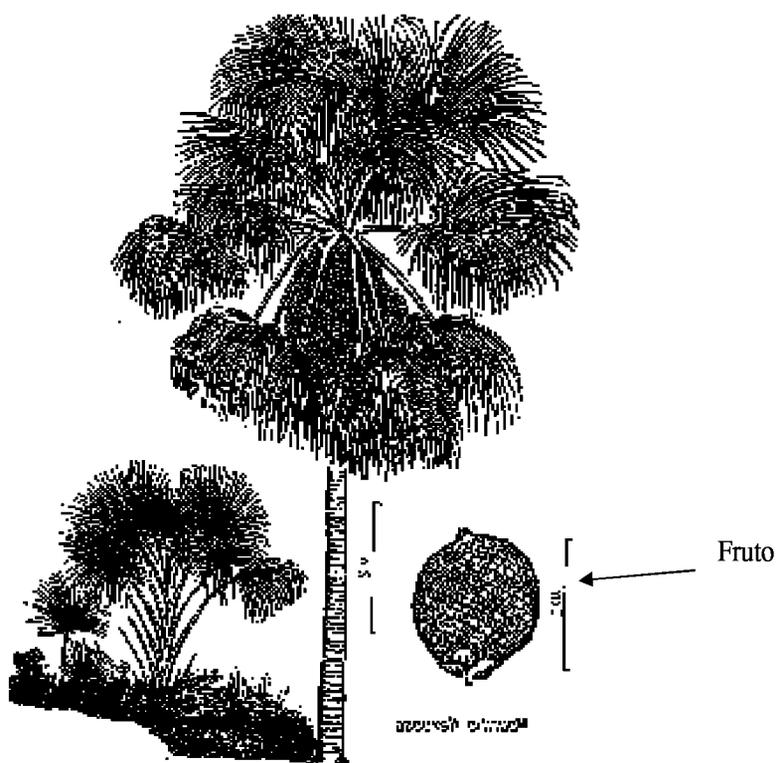


Figura 2 : Características botánicas del Aguaje.

Fuente: Henderson, 1995.

El Aguaje es una palmera arborescente de solo un tallo, sin espinas que alcanza de 25 a 35 m de altura en su estado adulto. Es una palmera polígama dioica (palmas con flores femeninas, masculinas o bisexuales), que en condiciones naturales puede alcanzar una altura de 35m. El fruto es una drupa, subglobosa o elíptica, mide entre 5 y 7 cm de longitud, y 4 y 5 cm de diámetro, el peso varía entre 40 y 85 g. La cosecha empieza de los siete a ocho años y dura hasta los 40 y 50 años. El rendimiento puede ser estimado entre 15 y 25 t/ha/año. Con mayores concentraciones entre los meses de febrero y agosto con relativa escasez entre los meses de septiembre y noviembre (IIAP, 2009).

B) DISTRIBUCIÓN DEL RECURSO:

El Aguaje se encuentra distribuida en toda América Tropical, es una especie nativa amazónica con alta concentración en la Amazonía Peruana, probablemente sea originaria de las cuencas de los ríos Huallaga, Marañón y Ucayali, se cultiva y explota en poblaciones naturales en los departamentos de Loreto, Ucayali, Huánuco y San Martín. Tiene una amplia distribución en Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Venezuela y Guyana. Esta palmera se desarrolla en climas tropicales calurosos y húmedos con suelos drenados, suelos inundados (IIAP 2009).

El hábitat natural del Aguaje está formado por pantanos y zonas con mal drenaje en la Amazonía, donde predominan los suelos permanente o temporalmente inundados. Crece en ecosistemas típicos denominados “aguajales”, también se encuentran en terrazas bajas que no son inundadas por el río o en partes altas con suelos hidromórficos, en estos casos los grupos de plantas son más pequeños. Se adapta en terrenos no inundables con buen drenaje o drenaje deficiente, desde arenosos hasta provistos de abundante materia orgánica. (IIAP 2009).

El bosque llamado “aguajal” por sus características anegadizas es de mucha importancia para la economía del país ya que ocupa aproximadamente el 1% (700 000 Ha) de los bosques naturales de la Amazonía (Rivadeneira, 1975).

En la ciudad de Iquitos se consume, entre 131,4 y 174,6 toneladas de frutos de Aguaje mensuales (50 % utilizado por heladerías y chupeteras y el otro 50 % utilizado como fruto o refresco). Sabiendo que la palmera de Aguaje produce 138 kg de fruto por palmera, se deduce que en el departamento de Iquitos se cortan mensualmente 1000 palmeras de Aguaje femeninas. En promedio 153 toneladas mensuales son consumidas por los pobladores de Iquitos, que equivale a 51,23 toneladas de semilla generadas como desecho mensualmente en Iquitos (Rojas *et al.* 2001).

C) USOS DE LA ESPECIE:

La palmera de Aguaje tiene múltiples usos, siendo los más importantes (Navarro, 2006):

- Alimenticio: la pulpa cocida se come sola o se prepara en bebidas. Para ello se ablanda el fruto maduro en agua tibia, las escamas se eliminan y se extrae el mesocarpo (pulpa). Las semillas inmaduras son comestibles. En el estípote (tallo)

se desarrollan los "suris", larvas blanquecinas de un coleóptero, se comen fritos o guisados y es una fuente de proteínas. Del tallo también se obtiene la savia, que es utilizada como vino por los indígenas. De los botones jóvenes de las inflorescencias pueden ser cortados y exudados para obtener savia, cuyo contenido de azúcar es más o menos de 50 %.

- Construcción: de los pecíolos se fabrican esteras.
- Decorativo: las semillas se utilizan en una serie de artesanías como pipas, botones, figuras, dados, perinolas, trompos, etc.
- Farmacéutico: el alto contenido de vitamina A convierte al fruto del Aguaje en un recurso inigualable para la dieta de niños y madres gestantes, pues ayuda a la formación y el mantenimiento de dientes sanos, de tejidos blandos y óseos, de las membranas mucosas y de la piel. Esta vitamina contribuye a mejorar la visión y también es necesaria durante la reproducción y la lactancia (Del Castillo, *et al*, 2006).
- Cosmético: en países como Brasil donde la palmera es conocida como "Buriti", el Aguaje es utilizado por su contenido de aceites, los cuales tienen propiedades emolientes, en la industria cosmética como exfoliante e hidratante de la piel, por la conocida empresa "Natura", en el Perú se comercializan estos productos, pero aun no se ha explorado este mercado por industrias nacionales (Natura, 2009).

2.2 CARBÓN ACTIVADO

2.2.1 GENERALIDADES:

El carbón activado es un material de carbono que se prepara en la industria para que tenga una elevada superficie interna y así poder adsorber (retener sobre su superficie) una gran cantidad de compuestos muy diversos, tanto en fase gaseosa como en disolución. Asimismo se afirma que son dos las características fundamentales en las que se basan las aplicaciones del carbón activado: elevada capacidad y baja selectividad de retención. La elevada capacidad de adsorción de sustancias se debe a la alta superficie interna que posee (Bansal *et al*, 1998). La superficie específica y las dimensiones de los poros dependen del precursor y de las condiciones de carbonización y activación utilizadas (Reinoso, 2005).

El carbón activado es un término general que se aplica a toda una serie de productos derivados de materiales carbonosos; es un material amorfo que presenta un área superficial excepcionalmente alta, se caracteriza por tener una proporción de microporos (poros menores que 2 nanómetros). Estas características le confieren propiedades adsorbentes excepcionales que pueden ser aprovechadas en diferentes áreas. Durante el proceso de obtención de carbones activados, es posible modificar tanto los procesos de carbonización y de activación, para modificar sus propiedades texturales y químicas (Giraldo, 2007).

Desde el punto de vista estructural el carbón activado se puede definir como un material carbonoso a partir de un precursor a base de carbón con gases, y en ocasiones con la adición de productos químicos (por ejemplo ácido fosfórico, cloruro de zinc, hidróxido de potasio, etc.), durante y después de la carbonización para aumentar la porosidad. Es precisamente esta característica del carbón activado la que contribuye a su propiedad más importante, la estructura porosa interna altamente desarrollada y al mismo tiempo, accesible para los procesos de adsorción. (Reinoso, 2005).

La estructura porosa interna esta constituida por: los microporos (tamaño inferior a 2nm) le confieren la elevada superficie y capacidad de retención, mientras que los mesoporos (tamaño comprendido entre 2-50nm) y macroporos (tamaño > 50nm) son necesarios para retener moléculas de gran tamaño, como pueden ser colorantes o coloides, y para favorecer el acceso y la rápida difusión de las moléculas a la superficie interna del sólido (Bansal *et al* 1998).

La distribución de macroporos, mesoporos y microporos se observa en la figura 3 (Carbotécnia, 2004).

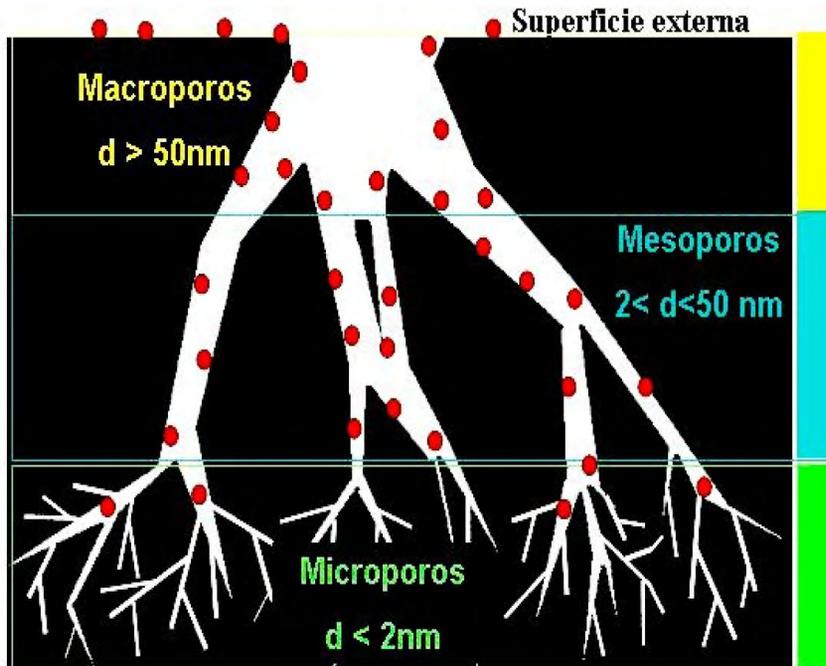


Figura 3 : Distribución porosa al interior del carbón activado.

Fuente: Carbotécnica, 2004.

Como propiedades de los carbones activados también son consideradas el carácter hidrófobo de su superficie, no obstante se puede disminuir este carácter hidrófobo adicionando grupos superficiales polares, por reacción con algún agente oxidante. También se considera su naturaleza anfótera, ya que en la superficie del carbón coexisten grupos superficiales de carácter ácido y grupos superficiales de carácter básico, el que un carbón sea globalmente ácido o básico dependerá tanto de la concentración de estos grupos como de la fuerza como ácido o base de los mismos (Menéndez, 2008). La oxidación es inherente al proceso de activación, lo cual resulta en la formación de grupos carbonilo, carboxilo, hidroxilo, lo cual pueden hacer al carbón, ácido o básico. Respecto a su carácter hidrófobo, se afirma que esta característica es muy importante en su aplicación como la adsorción de gases en presencia de humedad. (Reinoso, 2005).

2.2.2 TEORÍA DE LA ADSORCIÓN:

La adsorción es un proceso por el cual átomos, iones o moléculas son atrapados o retenidos en la superficie de un material. La adsorción de una sustancia es su acumulación

en una determinada superficie; el resultado es la formación de una película líquida o gaseosa en la superficie de un cuerpo sólido o líquido. En la superficie limpia de un carbón, con enlaces incompletos, hay una reacción energética con lo que se encuentre disponible, por ello se produce, de forma espontánea, la adsorción. La cantidad de material que se acumula depende del equilibrio dinámico que se alcanza entre la tasa a la cual el material se adsorbe a la superficie y la tasa a la cual se evapora; a su vez, también dependen de la temperatura. Cuanto mayor sea la tasa de adsorción y menor la de desorción, mayor será la fracción de la superficie disponible que será cubierta por material adsorbido en el equilibrio (Giraldo, 2007).

La adsorción del carbón activado se debe a un desequilibrio de fuerzas que se genera en toda superficie formada por átomos de carbono. El desequilibrio se debe a que el carbono tiende a formar sus cuatro enlaces perfectamente distribuidos, en el espacio, lo que no ocurre en su superficie sólida, formándose enlaces del tipo Van Der Waals, con las moléculas de fluido adyacente. Los enlaces formados entre el carbón y el adsorbato se llaman fuerzas de London, que son las más comunes entre las seis fuerzas de Van Der Waals (Manahan, 2007).

Las características que debe reunir un buen adsorbente son las siguientes:

- Alta capacidad de adsorción. La relación de equilibrio entre las fases influye en la eficacia con que se alcanza la capacidad final y, en muchos casos, controla la capacidad real del soluto.
- Propiedades físicas y tamaño de partícula adecuados para garantizar la resistencia necesaria y facilidad de manejo, produciendo la menor pérdida de carga posible tanto en lechos fijos como en los móviles o fluidizados.
- Costo bajo, tanto de la materia prima como del proceso de fabricación.
- Fácil regeneración; por desorción, especialmente en el caso de los procesos continuos (Universidad de Huelva, 2008).

La ventaja del uso del carbón activado como adsorbente es su posibilidad de reactivarse (hasta 30 veces o más) sin pérdida apreciable de poder de adsorción. Usualmente la

reactivación se lleva a cabo calentando el carbón agotado a 930 °C a una atmosfera aire-vapor (reactivación térmica). Esta operación puede realizarse en hornos de hogar múltiples o en hornos rotativos. Los productos orgánicos adsorbidos se queman y el carbón activado se restaura básicamente hasta su capacidad inicial de adsorción (Ramalho, 1997).

Los métodos de regeneración mas recomendados para el carbón activado son los que implican la desorción de las sustancias adsorbidas por tratamiento térmico o por desgasificación. Lo que se suele hacer es pasar una corriente de vapor de agua sobrecalentado o de gas inerte a alta temperatura a través del lecho del carbón; este procedimiento es la base del proceso de recuperación de disolventes y del sistema PSA (pressure swing adsorption) utilizado en la separación de mezclas de gases. En algunos casos la regeneración se ha de llevar a cabo en condiciones de activación para descomponer y desorber las sustancias adsorbidas y en la práctica se le podría llamar reactivación (Reinoso, 2005).

A) CARACTERÍSTICAS DE LAS MOLÉCULAS ADSORBIDAS POR CARBÓN ACTIVADO:

Ya que la capacidad de adsorción depende de la superficie del sólido, al activar un carbón aumenta su capacidad de adsorción. A manera de comparación, un carbón de leña o un carbón mineral, tienen un área superficial de alrededor de 10 m² por gramo, pero un carbón activado tiene un área superior a los 500 m² por gramo (Manahan, 2007).

Las características de las moléculas que el carbón activado tiende a adsorber son: baja polaridad, de mayor peso molecular, poco solubles en agua, moléculas muy ramificadas. Estas características son las que hacen que el carbón activado sea definido como un adsorbente casi universal de moléculas orgánicas (Manahan, 2007).

2.2.3 MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO:

Los procesos de activación son de dos formas: la activación física (llamada también activación térmica) y la activación química, observándose las etapas principales, en la figura 4 (Reinoso, 2005).

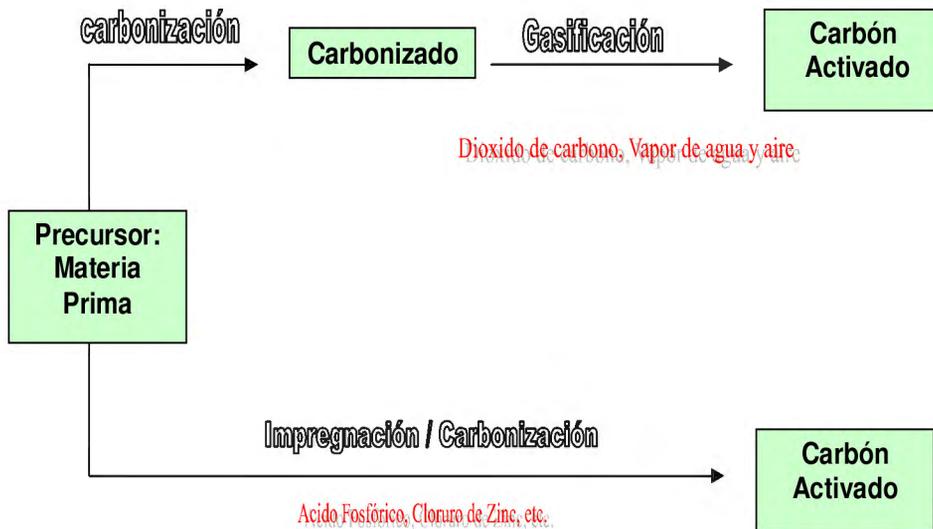


Figura 4 : Activaciones física y química del carbón.

Fuente: Reinoso, 2005.

B) ACTIVACIÓN POR EL MÉTODO FÍSICO:

La activación física normalmente se lleva a cabo en dos etapas: la carbonización del precursor y la gasificación controlada del producto carbonizado. En el proceso de carbonización se eliminan elementos como hidrogeno y oxigeno del precursor para dar lugar a un esqueleto carbonoso con una estructura porosa rudimentaria. Durante la gasificación el carbonizado se expone a una atmosfera oxidante que elimina los productos volátiles y átomos de carbono aumentando el volumen de los poros y la superficie especifica. La carbonización y la activación se realizan en distintos tipos de hornos, principalmente rotatorios construidos a base de acero y materiales refractarios, para soportar temperaturas cercanas a 1000 °C. (Reinoso, 2005).

El método físico comprende dos etapas de obtención:

- La primera consiste en una pirolisis del material base para transformarlo en carbón vegetal (carbonización en medio poco oxidante a 500 °C). Se obtiene entonces un material adsorbente cuya superficie específica es del orden de 10 m²/g (Gomella , et al,1977).

- La segunda, es un proceso térmico que consiste en una oxidación controlada a 1000 °C en atmosfera cuyo poder oxidante se reduce mediante la inyección de gas carbónico o vapor de agua. El tratamiento es relativamente largo de (10-48 hrs.), en el se destruyen la totalidad de materiales volátiles residuales y se desarrolla una superficie del carbón activado del orden de 600 m²/g y en ocasiones hasta 1500 m²/g (Gomella , *et al*,1977).

C) ACTIVACIÓN POR EL MÉTODO QUÍMICO:

El método de activación química se caracteriza por que la carbonización y la activación tienen lugar en una sola etapa, llevada a cabo por la descomposición térmica de la materia prima impregnada con agentes químicos, tales como ácido fosfórico, cloruro de zinc, hidróxido de potasio o tiocianato potásico, siendo esta reacción casi exclusivamente para carbones producidos de materia prima vegetal de origen reciente y obteniéndose rendimientos de hasta un 50 % (bms), basándose la economía del proceso principalmente de la recuperación del agente activante utilizado (Ovin, 2003).

La porosidad de los carbones que se obtienen por activación química es generalmente por acciones de deshidratación química que tienen lugar a temperaturas mucho más bajas con respecto al método físico. En este proceso el material a base de carbón se impregna con un agente químico principalmente ácido fosfórico (o cloruro de zinc) y el material impregnado se calienta en un horno con temperatura entre 500 y 700 °C. Siendo la misión de los agentes activantes disminuir la formación del material volátil y alquitranes (Robau, 2006).

Entre los dos métodos de obtención del carbón activado, físico y químico, el método químico presenta más ventajas debido principalmente a que la materia prima no requiere de una previa carbonización, y no es necesario un equipamiento especial para proveer el agente de activación. El control del proceso se reduce básicamente a vigilar la temperatura y el tiempo de la carbonización- activación y la reducción de la formación de alquitrán, brea y otros residuos indeseables es máxima (Castillo, 1993).

Existen numerosos compuestos que podrían ser usados como agentes activantes, sin embargo, los más usados industrialmente son el cloruro de zinc ($ZnCl_2$), el ácido fosfórico (H_3PO_4) y el hidróxido de potasio (KOH). La activación química con cloruro de zinc fue el método más usado hasta 1970, especialmente para la activación de residuos de madera, sin embargo, se ha restringido mucho en la actualidad debido a los problemas medioambientales que conlleva su uso. La activación química con ácido fosfórico prácticamente ha desplazado al cloruro de zinc, y los precursores usados en este tipo de activación son también, residuos forestales (madera, cáscara de coco, hueso de aceituna, etc.). La proporción de ácido fosfórico, precursor más empleado suele ser 1:5 (aunque proporciones diferentes dan lugar a carbones con distintas propiedades), el rendimiento en carbón activo suele ser del 50 %. La activación química con hidróxido de potasio se desarrolló durante los años 70, para producir los denominados “carbones superactivados”, con superficies específicas del orden de los 3000 m^2/g . A diferencia de los otros dos agentes activantes, los precursores preferibles para la activación con hidróxido de potasio son aquellos de bajo contenido en volátiles y alto contenido en carbono, como los carbones minerales de alto rango, carbonizados, coque de petróleo (Menéndez, 2008).

Los agentes activantes reducen al máximo la formación de brea y tanto el cloruro de zinc como el ácido fosfórico actúan como un fuerte deshidratante y permiten la combinación del hidrógeno con el oxígeno de la célula para formar agua. Los vestigios de agua son eliminados, con lo cual solo pueden formarse cantidades muy pequeñas de alquitrán dejando finalmente que la mayor parte del alquitrán se transforme en compuestos de carbono; en esa forma los poros del carbón quedan libres (Guerrero, 1987). Los agentes activantes influyen en el proceso de pirólisis, restringiendo a un mínimo la formación de alquitrán y la cantidad de fase acuosa en el destilado (Ovin, 2003).

2.3 USOS DEL CARBÓN ACTIVADO:

El carbón activado actualmente tiene diversidad de usos y aplicaciones, es usado en actividades industriales, sanitarias y domésticas. El uso del carbón activado se originó durante la primera guerra mundial como defensa contra los gases tóxicos en las mascarillas protectoras. En general, el uso del carbón activado puede dividirse en dos grupos: usos en medio líquido y en medio gaseoso (Reinoso, 2005).

2.3.1 USO EN MEDIO LÍQUIDO:

Entre los usos y aplicaciones más importantes del carbón activado en *medio líquido* se tienen las siguientes:

- Productos Alimenticios:

En refinación del azúcar, el carbón activado se utiliza en las refinерías de azúcar para eliminar el color, olor, coloides y sustancias extrañas, con la finalidad de obtener productos purificados de buen aroma (Mantell, 1951). En aceites y grasas, el carbón activado es usado para la purificación del aceite de semilla de algodón, ya que elimina peróxidos (Calzada, 1991). El carbón activado también elimina sustancias coloridas o de precursores que causan color en una etapa posterior del proceso, como por ejemplo: decoloración de glucosa de maíz, glicerina, gelatina, pectina, jugos de frutas, miel, aceites comestibles, vinos destilados (ron, tequila), solventes (alcoholes, esteres), vinos, cervezas, vinagres, compuestos farmacéuticos intermedios y productos químicos (Carbotecnia, 2004).

- Tratamiento del agua:

El carbón activado elimina aceites, grasas, color, olor de aguas potables y de alcantarillado así como, impurezas y sedimentos de plantas industriales; se le emplea en la reutilización de aguas industriales dado que elimina, entre otros, el benceno, fenol y alcanfor (Mantell, 1951). Una aplicación importante en el tratamiento del agua potable es la decoloración, eliminando excesos de cloro; se usa también como desinfectante y purificador del agua de acuarios (Simsek, 1970).

- Hidrometalurgia

En la remoción de impurezas en los baños galvanoplásticos, y en metalurgia, en el proceso de cianuración del oro y la plata (Carbotecnia, 2004).

- Medicina

Los carbones para uso medicinal son preparados por activación con sulfuro de potasio o con vapor de agua sobrecalentado. El efecto del carbón activado sobre perturbaciones del sistema digestivo es conocido y utilizado por mucho tiempo; se usa en infecciones estomacales a fin de remover bacterias de alto peso molecular las que son adsorbidas

fácilmente por el carbón; se utiliza también en gastritis y en casos de cólera. Asimismo, es usado como antídoto en envenenamientos con hongos, alcaloides, intoxicación con arsénico, fósforo, igual en los casos con fenol y otros (Simsek, 1970; Reinoso, 2005). El carbón activado adsorbe gran variedad de drogas y venenos (barbitúricos, bilirrubina, cocaína, colesterol, furfural keroseno, morfina, estramonio, indometacina, cloroquina, etc.); no es tóxico y se suministra como una suspensión de carbón activado en polvo. Otro autor recomienda para la aplicación médica los carbones activados de origen vegetal y activados térmicamente (método físico) (Cooney, 1999).

2.3.2 USO EN MEDIO GASEOSO:

En *medio gaseoso*, el carbón activado también tiene múltiples aplicaciones; entre las más importantes se mencionan las siguientes:

- Filtros industriales

En filtros contra vapores orgánicos solventes, gases ácidos, monóxido de carbono, dióxido de azufre, gases tóxicos, cianuro de hidrogeno, amoniaco y sulfuro de hidrogeno (Simsek, 1970).

- Purificación del aire

En sistemas de aire acondicionado para remover olores industriales e irritantes; lo mismo para purificar ambientes internos en edificios, para eliminar olores de cocción y tabaco; de esta forma, el aire tratado puede ser recirculado y reutilizado (Simsek, 1970).

- Recuperación de Solventes

Muchas industrias (de adhesivos, plásticos, química y textil) utilizan solventes (acetona, xileno, cloruro de metilo, pentano, metil etil cetona, benceno, tolueno, éter, petróleo, etc.) en sus procesos. El aire con el solvente pasa por un lecho de carbón, por un ciclo, o hasta saturación del carbón; el solvente adsorbido es 20 a 50 % del peso del carbón (Carbotécnia, 2004).

- Recuperación de biogas de rellenos sanitarios

El carbón purifica el metano, eliminando hidrocarburos pesados y compuestos causantes de olores (Carbotécnia, 2004).

- Cánisters para automóviles

El carbón activado se utiliza para evitar que vapores de gasolina pasen al motor y de ahí al exterior mientras el auto esta estacionado; al arrancar el auto, una pequeña corriente de gas caliente, emitido del escape, circula a través del lecho de carbón, regenerando el vapor de gasolina y quemándolo en el motor (Jiménez, 2001).

2.4 CARBONES ACTIVADOS COMERCIALES: EN POLVO (CAP) Y GRANULAR (CAG):

El carbón activado es clasificado de acuerdo con su estado físico (polvo o granular) presentando las siguientes características, (Soto, 2007):

- Carbón activado en polvo: presentan tamaños menores a 100 nm, entre 15nm y 25nm.
- Carbón activado granular: presentan un tamaño medio de partícula entre 1mm y 5mm.

2.4.1 CARBÓN ACTIVADO EN POLVO:

El carbón activado en polvo posee dos propiedades importantes, la filtrabilidad y la densidad. Las principales propiedades físicas del carbón activado granular son la dureza y el tamaño de partícula; en este último es el más barato en la regeneración. La velocidad de adsorción del carbón activado en polvo es 100 veces mayor que la del granular. Sin embargo el carbón activado en polvo es más difícil de manejar (Jiménez, 2001).

Las principales ventajas e inconvenientes del Carbón Activado en Polvo son las siguientes:

Ventajas:

- Los carbones activados en polvo son de dos a tres veces más baratos que los granulares.
- Pueden dosificarse en exceso.

- Su cinética de adsorción es rápida, puesto que su superficie es fácilmente accesible.

Inconvenientes:

- El carbón activado en polvo, no puede regenerarse cuando se recupera en mezcla con fangos de hidróxidos, por lo que debe preverse la pérdida de este material después de su utilización. Cuando se utiliza carbón activado en polvo, sólo (en ausencia de coagulantes minerales) puede recurrirse a la técnica de regeneración en lecho fluido, sin embargo, origina pérdidas muy elevadas (Universidad de Huelva, 2008).

Una de las ventajas del carbón activado en polvo, es su facilidad para retirar sustancias altamente tóxicas que se encuentran a muy bajas concentraciones. Para aplicaciones en fase líquida, el carbón activado en polvo, es muy utilizado y sus usos mas frecuentes son: en decoloración y purificación de azúcares, procesos químicos, minería (extracción de oro), purificación de diferentes materiales, farmacia, medicina, máscaras antigás, filtros de purificación y controladores de emisiones de automóviles, entre otros (Giraldo, 2007).

2.4.2 CARBÓN ACTIVADO GRANULAR:

Los carbones activados granulares, pueden dividirse en dos categorías:

- 1) Carbón activado troceado (o sin forma): se obtienen por molienda, tamizado y clasificación de briquetas de carbón o de trozos más grandes (Soto, 2007).
- 2) Carbón activado conformado (o con una forma específica, cilindros, discos, etc.): se obtienen por peletización o por extrusión de carbón en polvo mezclado con distintos tipos de aglomerantes (Soto, 2007).

El uso más común del carbón activado granular para la depuración de agua residual ha sido en un tratamiento terciario, después de un tratamiento biológico. (Jiménez, 2001). Aunque aumenta el interés en el uso del carbón activado en polvo para el tratamiento de aguas, actualmente se usa más el carbón activado granular (Manahan, 2007).

Inicialmente se pensó que el carbón activado en polvo, tenía más capacidad de adsorción que el carbón activado granular; pero esto no es así, ya que el área de un carbón activado esta a nivel molecular y prácticamente no aumenta con la pulverización del mismo. Esto

se debe a que disminuye la longitud de sus poros, mismos que se llenan por un fenómeno de capilaridad cuando el carbón se pone en operación. En base a lo anterior, los carbones activados en polvo y granular, realizan en si las mismas funciones físico-químicas: adsorben compuestos poco polares, covalentes y no disociados, es decir, principalmente orgánicos. La única diferencia entre ambos carbones es su carácter mecánico, dependiendo en su tamaño, y por lo tanto en su manera de aplicarlos (Carbotécnia, 2004).

2.5 MERCADO DEL CARBON ACTIVADO:

En Latinoamérica, México es el principal productor de la región donde las principales empresas son Clarimex, Carbonapelsa, y Carbotécnia. Por otra parte desde 1997 Ecuador posee una planta perteneciente a la compañía Ekokarbones, cuya capacidad es de 800 toneladas anuales, actualmente esta empresa produce principalmente carbones activados granulares utilizando como materia prima la cáscara de coco. En Chile, desde 1993 se instaló Petrochil, única planta en ese país, cuya capacidad es de 500 toneladas anuales (Soto F, 2007). Durante el año 2006 la empresa argentina Cotagro, instaló una planta de carbón activado ubicada en Córdoba con una capacidad de 1 200 toneladas anuales, utilizando como materia prima la cáscara de maní (Cámara del Maní, 2009).

Las importaciones de carbón activado, para el año 2005 se muestran en la figura 5, ocupando el Perú el sexto lugar con 1153 toneladas anuales. México es el principal importador de carbón activado a nivel Latinoamérica (ITC, 2009).

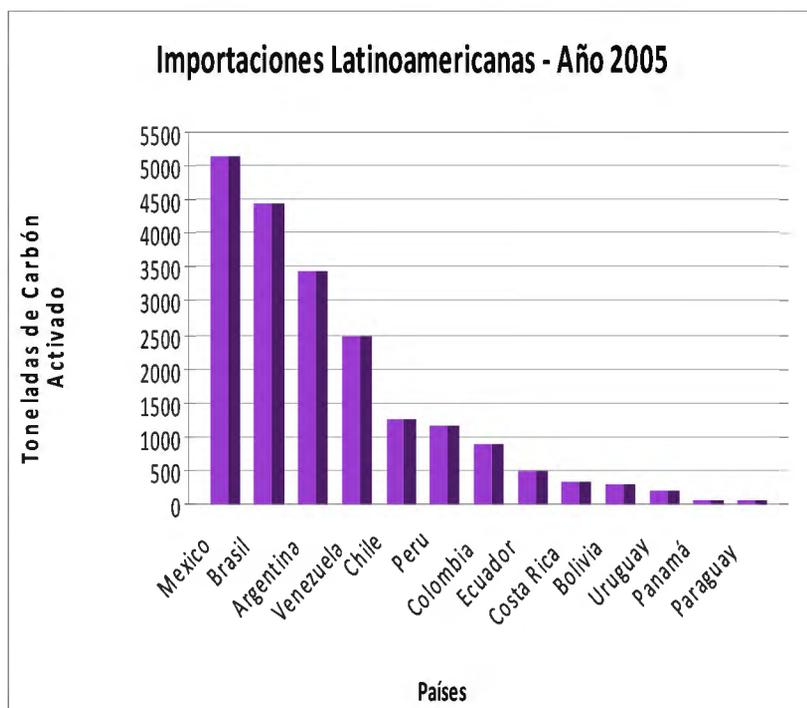


Figura 5 : Importaciones Latinoamericanas para el año 2005.

Fuente: ITC, 2009.

Entre los países productores existen diferencias en los precios del carbón activado (ver Anexo 2), debido a las diferentes calidades del carbón activado, las que están determinadas por los métodos de fabricación que se utilizan y por las materias primas. Así por ejemplo, en China que posee un valor unitario de 592 \$/t, se utilizan métodos rudimentarios para fabricar carbón activado; existen muchos campesinos que producen carbón en tambores diseñados por ellos mismos, además de existir fábricas de carbón activado. En el caso de Norteamérica tiene un valor unitario de 1 905 \$/t y en los países europeos existen empresas dedicadas a la producción de carbón activado, utilizando mejores tecnologías y mayores recursos en la investigación y desarrollo de mejoras en calidades y métodos de fabricación de carbón activado. (Soto, 2007). El único país latinoamericano dentro de los grandes productores y exportadores de carbón activado a nivel mundial es México, cuyas exportaciones para el año 2005 alcanzaron los 2 millones de dólares, lo que representa una cantidad cercana a las 2.500 toneladas de carbón activado. China es el principal exportador mundial de carbón activado, alcanzando en el 2005 la cantidad de 218 mil toneladas, lo que representa casi el 50 % del total mundial.

China, Estados Unidos y Japón representan a los principales exportadores mundiales de carbón activado (Ver Anexo 2) (ITC, 2009).

La industria del carbón activado en el Perú se inicia de manera incipiente en la década del 80, tiempo en el cual se producía carbón activado en el país para abastecer a la industria azucarera, utilizándose en la refinación de azúcares. Después que estas empresas cerraron por la baja producción azucarera del país, el mercado nacional se quedó desabastecido de este producto (De la Cruz, 2009).

El año 1995 inicia su producción la empresa AGROFOR, única empresa nacional, la cual abastece principalmente el mercado de pequeñas empresas embotelladoras que utilizan el producto en el tratamiento de aguas. La materia prima que utilizó en sus inicios esta empresa fue el carozo de durazno, pero al hacerse esta materia prima cada vez más escasa por la baja producción de este fruto, se utilizó la semilla de aceituna, fruto de alta producción en el país, también experimentó con coronta de maíz, cáscara de café, así como otras materias primas. Con respecto al agente activante, prefiere el ácido fosfórico grado alimenticio (85%), el cual es fácilmente encontrado en el mercado, en comparación con el cloruro de zinc, utilizando una concentración del 30% ya que experimentalmente es la concentración en la que obtiene mayores rendimientos (De la Cruz, 2009).

La presentación de los productos que en la actualidad están en el mercado son el carbón activado granular y el carbón activado en polvo, que se comercializan en bolsas de polietileno revestidas con bolsas de papel de tres pliegos, con el fin de conservar la humedad. Los costos actuales de los productos dependen de la calidad del producto ofrecido, la empresa AGROFOR produce carbón activado de dos calidades:

- para la industria (carbón activado en polvo y granular): 6 soles/kg
- para laboratorios e investigación (carbón activado en polvo): 15 soles/kg

La principal diferencia radica en la molienda la cual es más intensiva utilizándose para tal fin un molino de bolas que logra partículas de malla 325 mesh (De la Cruz, 2009).

En el cuadro 1, se puede observar los países de los cuales se importa carbón activado, tomando como referencia el año 2005, el país del cual se importa la mayor cantidad de carbón activado es Sri Lanka con 300 toneladas anuales. En total existe una importación de 1 153 toneladas de carbón activado con lo cual se satisface la necesidad de la industria nacional (ITC ,2009).

Cuadro 1 Importaciones de Carbón Activado hacia el Perú, año 2005.

<i>País de Origen</i>	<i>Valor FOB (US\$)</i>	<i>Valor CIF (US\$)</i>	<i>Peso Neto (toneladas)</i>	<i>Precio (US\$/ton)</i>
Sri Lanka	383.490	447.353	300	1.488
Holanda	353.536	378.591	151	2.492
EEUU	216.275	250.642	145	1.718
Filipinas	150.342	195.993	132	1.481
Indonesia	121.905	166.156	134	1.233
India	106.526	121.322	70	1.733
Brasil	64.299	85.124	85	993
México	58.817	61.481	47	1.282
China	38.691	47.609	31	1.506
Australia	22.604	25.156	18	1.398
Malasia	15.527	18.344	10	1.834
Ecuador	14.000	14.550	12	1.213
Reino Unido	10.623	12.520	8	1.459
Canadá	3.822	6.220	1	5.964
Argentina	3.509	3.771	1	2.901

Fuente: ITC, Centro Internacional de Comercio, 2009.

2.6 INVESTIGACIÓN SOBRE CARBÓN ACTIVADO CON RECURSOS VEGETALES:

2.6.1 EFECTOS DE VARIABLES TIEMPO DE ACTIVACIÓN Y GRANULOMETRÍA:

En un estudio con cáscara de coco (*Cocos nucifera*) activado a altas temperaturas (800 °C) se obtuvo un carbón hidrofílico, (afinidad con el agua), microporos (con

ultramicroporos de diámetros menores a 0.7nm), apropiado para operaciones que involucran separación de gases. Asimismo, se activó a menor temperatura (450 °C), usando un agente químico, como el ácido fosfórico o el cloruro de zinc, obteniendo un carbón hidrofílico de poros más anchos (con mesoporos mayores a 2 nm), apropiado para aplicaciones en fase líquida (Reinoso, 2005). Otro estudio, con cáscara de coco realizó evaluaciones de eficiencia tanto para el carbón activado en polvo como el granular, de acuerdo a las normas mexicanas, la realizada al **carbón en polvo** está relacionada a la capacidad de adsorción en sustancias coloreadas (vino tinto) mientras que la realizada con el **carbón granular** está relacionada a la adsorción de vapores de benceno (Arana, 1987).

En un estudio con carozo de durazno, activado por el método físico, se trabajó con dos variables: (i) **tamaño de partículas** (varían entre 2 a 0,075 mm de diámetro), y (ii) **tiempo de activación** (15, 30, 45 min.) y se obtuvo lo siguiente: (i) sólo existe significación en la influencia del **tamaño de las partículas** sobre rendimiento, y (ii) no existe significación en la influencia del tiempo de activación sobre la capacidad de adsorción y rendimiento (Checco, 1985).

El carbón de madera *Eucalyptus globulus* fue activado por el método físico, con diferentes **granulometrías**, (de malla: 200,140, 100, 80, 70, 50, 30, 20) y tres temperaturas (800, 900, 1000 °C), encontrando que la mayor adsorción de azul de metileno se registró con el carbón de malla 200. Por otro lado, sometido a la activación de 1000 °C, con una adsorción de 34,5 mL de solución, la mínima capacidad de adsorción de azul de metileno la registra el carbón más grueso de la malla 20, sometido a la temperatura de activación más baja (800 °C) que adsorbe solo 12 mL (Melo, 1985).

Otro estudio con carbón de madera de algarrobo (*Prosopis pallida*) mediante el método físico, con tres variables temperatura de activación (1000, 900, 800 °C) y **granulometría** (de malla: 30, 50, 80,100, 140), concluyendo que la temperatura de activación (entre 800 y 1000°C) y el tamaño de partícula no influyeron significativamente en las características físico-químicas, tales como: humedad, material volátil, ceniza, carbono

fijo y pH del carbón activado; sin embargo el rendimiento en el carbón activado disminuyó a medida que decreció el tamaño de partícula (Azañero, 1988).

En un estudio se practicó la activación química con cloruro de zinc con 4 parámetros: (i) el **tiempo de carbonización – activación**, (ii) la temperatura, (iii) la **granulometría**, y (iv) la concentración del ácido, obteniendo para virutas de roble y tornillo, una temperatura óptima de carbonización-activación es 700 °C; a esta temperatura, los carbones activados producidos tienen una capacidad de adsorción de 97 y 77 mL de azul de metileno por gramo de carbón activado, y sus rendimientos fueron 11,80 % y 16,80 %, respectivamente (Castillo, 1993).

Se utilizó cloruro de zinc en la activación de aserrín de tornillo (*Cedrelinga cateniformis* Ducke), empleando como variables: (i) la temperatura, (ii) el **tiempo de activación**, y (iii) la concentración del ácido; concluyendo que en la capacidad de adsorción tuvo una influencia altamente significativa, la temperatura de activación y las concentraciones del agente activante, pero solo una influencia significativa los tiempos de carbonización-activación (Layseca, 2001).

Otro estudio realizado con tres maderas comerciales Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*), Manchinga (*Brosimum alicastrum*) y Caoba (*Swietenia macrophylla*), en el cual se utilizó la activación química con cloruro de zinc, concluyó que el parámetro más importante para determinar la calidad del carbón activado es el porcentaje de adsorción, y obtuvo para tal característica los siguientes resultados 24,5 – 40,9 % para el Tornillo, para la Manchinga la adsorción con el azul de metileno dio como resultado los valores comprendidos entre 24,5 – 47,4 %. En la caoba los rangos de adsorción con azul de metileno se ubican entre 26,6 y 44,2 %, afirmando que los más altos porcentajes de adsorción para las tres especies las obtuvieron los de las **partículas más finas** (Teruya, 2003).

El endocarpio del fruto de castaña fue activado por el método químico con cloruro de zinc; empleando tres variables: (i) la **granulometría**, de malla, 30 y 16, (ii) la temperatura de activación, 700°C y 800°C, y (iii) el **tiempo de activación**, 60 min. y 90 min. A partir de esta experiencia, se determinó que el rendimiento decrece conforme la temperatura aumenta, debido a que a mayores temperaturas se genera un mayor arrastre de sustancias alquitranosas, que significa una pérdida de masa, es decir un menor rendimiento del carbón activado (González, 2004).

En Michoacán, México se experimentó, evaluando la capacidad adsorptiva de carbón activado por el método químico con Hidróxido de calcio Ca(OH)_2 comercial, bajo las siguientes condiciones, temperatura de activación de 80 °C, **tiempo de activación-carbonización** de cuatro horas utilizando partículas de madera de *Prosopis laevigata* “Mezquite” pasadas por un tamiz ASTM de 200 (8,39 micras). El redimiendo del proceso es de 37,07 %, el pH del material es de 6,7 y el contenido de cenizas promedio es de 4,66 %. La morfológica del carbón activado fue observada por microscopia electrónica de barrido (MEB), observándose que el carbón posee poros que varían entre los 3,4 - 4,2 nm (Bejar, 2005).

2.6.2 MÉTODOS APLICADOS PARA EVALUAR CALIDAD DEL CARBÓN ACTIVADO:

A manera de resumen se presenta el cuadro 2, en el cual se describe cuales fueron los parámetros de determinación de calidad para las investigaciones referidas a carbón activado:

Cuadro 2 : Parámetros de evaluación de para carbón activado de otras investigaciones.

Autor	Materia Prima	Método de Activación	Agente Activante	Variables Utilizadas	Parámetro de Evaluación
Checco, C.	Carozo de durazno(<i>Prunus persica</i>)	Físico	Vapor de Agua	Tamaño de partícula y Tiempo de activación	Capacidad de Adsorción de azul de metileno
Melo, J.	Madera de eucalipto (<i>Eucaliptos sp.</i>)	Físico	Vapor de Agua	Granulometría y tiempo de activación	Capacidad de Adsorción de azul de metileno
Arana, L.	Cáscara de coco (<i>Cocos nucífera</i>)	Químico	Cloruro de Zinc	Granulometría, temperatura y tiempo de activación	Se determino de acuerdo a las normas NOM e ITINTEC
Azañero, I.	Madera de Algarrobo (<i>Prosopis pallida</i>)	Físico	Vapor de Agua	Temperatura de activación y Granulometría	Capacidad de Adsorción de azul de metileno
Teruya, R.	Madera de Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>), Manchinga (<i>Brosimum alicastrum</i>) y Caoba (<i>Swietenia macrophylla</i>)	Químico	Cloruro de Zinc	Contenido de humedad, tiempo de impregnación y Granulometría	Capacidad de Adsorción de azul de metileno
Layseca, M.	Aserín de Tornillo(<i>Cedrelinga cateniformis</i>)	Químico	Cloruro de Zinc	Tiempo de activación, concentración del ácido, Temperatura de activación	Capacidad de Adsorción de azul de metileno
Gonzales, I.	Endocarpo del fruto de la Castaña (<i>Berthollea excelsa</i>)	Químico	Cloruro de Zinc	Tiempo de activación Temperatura de activación y Granulometría	Capacidad de Adsorción de azul de metileno

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LUGAR:

El estudio se realizó en el Laboratorio de Análisis Químicos del Área de Transformación Química del Departamento de Industrias Forestales y en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

3.2 MATERIALES Y EQUIPOS:

3.2.1 MATERIA PRIMA:

Se seleccionaron dos muestras provenientes de palmeras, de las siguientes especies:

“Shapaja” (*Attalea phalerata*)

Lugar de colección: Distrito: Ibéria; Provincia: Tahuamanu; Región: Madre de Dios

Coordenadas Geográficas: 11° 23.31' 10" S, 69° 29.33' 22" W.

Uso Actual: Palmeras ubicadas en pastizal y dejadas como sombra.



Figura 6 : Ubicación de la zona de colección de muestra de Shapaja.

Fuente: Google earth, 2009.

“Aguaje” (*Mauritia flexuosa*)

Lugar de colección: Distrito: Uchiza; Provincia: Tocache; Región: San Martín

Coordenadas Geográficas: 8° 30' 7.74" S, 76° 26' 50.96" W

Uso Actual: Palmeras formando aguajal, zona periódicamente inundada.

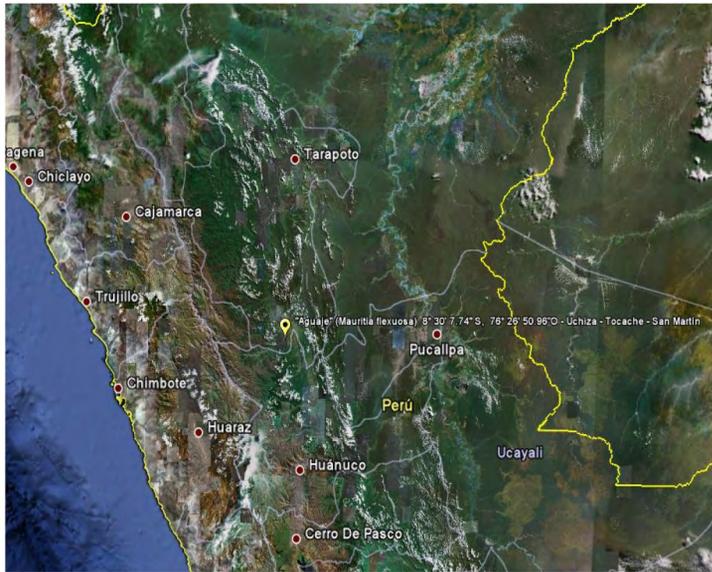


Figura 7 : Ubicación de la zona de colección de muestra de Aguaje.

Fuente: Google earth, 2009.

3.2.2 MATERIALES:

- Agua destilada
- Crisoles
- Espátulas
- Materiales de vidrio: baguetas, buretas, embudos, pipetas, probetas, vaso de precipitado.
- Pirómetro, de 1000 °C
- Papel filtro denso
- Ollas de barro, de 10 L

- Parrilla a base de ladrillos

3.2.3 EQUIPOS:

- Molinos de discos, de 12 cm de diámetro
- Tamices ASTM con número (apertura de la malla): 16 (1,18 mm) y 100 (0.15 mm)
- Balanza analítica, marca "Ohaus", capacidad de 200g , con una precisión de 0,1 mg
- Balanza portátil Standard, marca "Ohaus" LS 200, 12v , capacidad de 200g , con una precisión de 0,1 g
- Campana de vidrio; con desecador de silicagel
- pH-metro, marca "WTW Ph 325
- Estufa marca "Heraeus", temperatura máxima de 300 °C
- Espectrofotómetro SQ 118, marca Merck, alemana
- Agitador Magnético

3.2.4 REACTIVOS QUÍMICOS:

- Ácido Fosfórico (30%)
- Alcohol 96%
- Clorito de sodio (NaClO_2)
- Ácido acético concentrado (CH_3COOH)
- Clorito de sodio al 1,5 %
- Ácido sulfúrico concentrado al 72 % (H_2SO_4)
- Solución de HCl 4N

- Solución de HCl 1N
- Solución de HCl 1 %

3.3 METODOLOGÍA:

3.3.1 COLECCIÓN DE MUESTRAS:

Las muestras de semillas fueron colectadas entre febrero y abril del año 2009, provenientes de frutos frescos colectados al pie de palmeras de ambas especies.

3.3.2 ACONDICIONAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA Y DETERMINACIÓN DE HUMEDAD:

Las semillas de Aguaje (semillas enteras) y de Shapaja (semillas entera con 3-6 nueces), fueron limpiadas y secadas al ambiente, después de esta operación, se obtuvo una muestra de cada especie para determinar su contenido de humedad, en una estufa hasta peso constante según norma ASTM D - 1762.

Luego de estimada la humedad, se procedió a pesar muestras por especie, en ambos casos se formaron dos grupos de 2,5 kg c/u.

3.3.3 IMPREGNACIÓN CON SOLUCIÓN DE ÁCIDO FOSFÓRICO AL 30%:

El proceso de activación química se realizó, utilizando como agente activante al ácido fosfórico (H_3PO_4) al 30 % de concentración con un índice de impregnación de 1: 2,07 (2,5 kg de materia prima con 5,183 kg de agente activante al 30%).

La cantidad de materia prima para cada ensayo fue de 2,5 kg, formándose dos grupos de 2,5 kg, por especie y con un tiempo de impregnación de 24 horas.

3.3.4 CARBONIZACIÓN – ACTIVACIÓN:

La metodología del proceso de carbonización es la empleada en la producción de carbón activado en la empresa AGROFOR¹ productora formal de carbón activado a nivel nacional.

- La materia prima previamente impregnada fue puesta en el interior de ollas de barro, que fueron colocadas en una parrilla calentada con combustible sólido (leña o carbón), la carbonización – activación se muestra en el figura 8 y en la figura 9 un antes y después correspondiente a la semilla de Aguaje.



Figura 8 : Proceso de Carbonización-Activación.



Figura 9 : La semilla de Aguaje, antes y después de la Carbonización-Activación.

- Luego de 3 horas de carbonización; se inició el proceso de activación que duró dependiendo el caso 90 y 120 min, durante el proceso de activación las temperaturas fueron controladas con un pirómetro; encontrándose en el rango de

¹ Única empresa peruana dedicada a la producción de carbón activado de manera artesanal.

los 500-600 °C, siendo la temperatura máxima de 600 °C. La variación de las temperaturas en todo el proceso se observan en la figura 10.

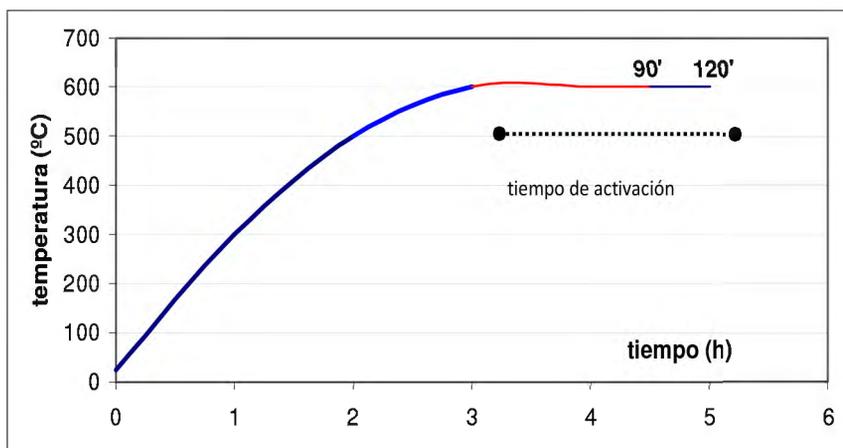


Figura 10 : Variación de la temperatura en el proceso de Carbonización – Activación.

- Obtenido el carbón activado este fue sacado de las ollas de barro, enfriado aproximadamente 1 hora y luego pesado para calcular los rendimientos. El rendimiento de carbonización se obtuvo por la fórmula siguiente:

$$\text{Rendimiento (\%R)} = \frac{\text{Masa seca carbón activado}}{\text{Masa seca de la materia prima}} \times (100)$$

- Luego se colocó en bolsas herméticamente cerradas para su posterior molienda.

3.3.5 MOLIENDA Y TAMIZADO DEL CARBÓN ACTIVADO OBTENIDO:

- El carbón obtenido fue pesado y luego triturado en un molino de discos manual, de aproximadamente 20 r.p.m.



Figura 11 : Carbón activado en el proceso de molienda.

- Luego se realizó el tamizado para lo cual se utilizaron los tamices ASTM con número (abertura de la malla):

Fracción granular: +16 (partículas > 1,18 mm)

Fracción polvo: -100 (partículas < 0,15 mm)

Fracción intermedia: -16/+100 (partículas entre 0,15 a 1,18 mm).

- Finalmente se obtuvieron los rendimientos para cada uno de los tratamientos de acuerdo al número de tamiz utilizado, mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento por Fracción (\%)} = \frac{\text{Peso de la fracción (g)} \times (100)}{\text{Peso del Carbón Obtenido(g)}}$$

3.3.6 LAVADO:

Las muestras fueron lavadas con agua destilada caliente a 80°C.

3.3.7 SECADO

Los diferentes tratamientos se secaron en estufa a 75 °C ± 5 °C por un periodo de 24 horas.

En la figura 12 se observa un diagrama de la obtención de carbón activado realizada en el presente estudio.



Figura 12 : Diagrama de la Metodología aplicada en la obtención de carbón activado y sus ensayos.

3.4 EVALUACIONES DE LA MATERIA PRIMA Y DEL CARBÓN OBTENIDO:

3.4.1 EVALUACIÓN DE LA MATERIA PRIMA:

Las evaluaciones realizadas a la materia prima fueron las siguientes:

- a) Humedad (CH)
 - o Se empleó la Norma ASTM D-1762.
- b) Extractivos

- Se determinaron bajo la Norma TAPPI T 6 os-59.
- c) Holocelulosa
 - Se empleó el Método de Jayme-Wise.
- d) Lignina
 - Se empleó el método Klason, según la Norma TAPPI T222 om-88.
- e) Cenizas
 - Se empleó la Norma ASTM D-1762.
- f) Sílice
 - Se empleó el Método de HCL 1550R.62.

3.4.2 EVALUACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO:

Se evaluaron las siguientes características del carbón activado:

- a) Contenido de humedad, Material volátil, cenizas y Carbono fijo
 - Se empleó la Norma ASTM D 1762.
- b) Densidad aparente
 - Se empleó la Norma NTP-15-000-1982.
- c) pH
 - Se empleó la Norma NTP 027.025-81.
- d) Prueba Adsorción de azul de metileno: Método de Espectrofotometría

En esta prueba se determina el porcentaje (%) de adsorción del carbón activado, a partir de la decoloración que ejerce el carbón en la solución de azul de metileno. Para tal efecto, se utilizó el espectrofotómetro a una longitud de onda de 446 nm. El valor obtenido expresa la adsorción que ejerce una muestra de carbón activado en contacto con una solución de azul de metileno a una determinada concentración. La curva de calibración de la solución de azul de metileno, donde se muestran los porcentajes de adsorción a distintas

concentraciones se observa en el anexo N° 9. Los resultados obtenidos por el espectrofotómetro son convertidos a porcentaje mediante la siguiente fórmula:

$$(\%) \text{ Adsorción} = 100 - \frac{\text{Lectura de la muestra} \times (100)}{\text{Lectura Patrón}}$$

e) Prueba Adsorción de azul de metileno: Método de la bureta

En esta prueba, se realizó una evaluación experimental, sólo a los carbones activados que lograron cumplir la Norma NMX-F-295-1981, los cuales fueron tres unidades experimentales de las 12 obtenidas en total. En esta prueba se mide la adsorción de azul de metileno, se procedió de la siguiente manera:

- Se colocó 1 gramo de carbón activado al interior de una bureta graduada de 25 mililitros.
- Al lecho formado en el fondo de la bureta se le adiciono 15 mililitros de solución de azul de metileno (0,00025g/mL).
- Se dejó reposar en la bureta cerrada, por un lapso de 5 minutos, después de los cuales se abrió la llave dejando fluir la solución decolorada.
- El experimento termino, cuando el carbón activado, culmina la decoloración y comienza a salir la solución con su característico color azul, momento en el cual se cerró la llave de la bureta.
- Se procedió a contabilizar la solución decolorada por diferencia de volúmenes.

3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL:

En el cuadro 3 se observa el arreglo de la combinación de las variables del presente estudio y la denominación de las unidades experimentales.

Cuadro 3 : Diseño experimental empleado para la obtención de carbón activado a partir de las semillas de Shapaja y Aguaje.

Shapaja	90'	+16	S1
		-16/+100	S2
		-100	S3
	120'	+16	S4
		-16/+100	S5
		-100	S6
Aguaje	90'	+16	A1
		-16/+100	A2
		-100	A3
	120'	+16	A4
		-16/+100	A5
		-100	A6
			12

El trabajo de investigación contó con un arreglo factorial (2*2*3) bajo un diseño completamente al azar, con dos repeticiones, como se puede observar en el cuadro 4; en el mismo cuadro se presentan las evaluaciones realizadas para cada unidad experimental.

Cuadro 4 : Diseño experimental de los tratamientos empleados para la elaboración de carbón activado, por el método químico.

Shapaja	90'	+16	S1-1,S1-2	x	x	x	x	x	x	x
		-16/+100	S2-1,S2-2	x	x	x	x	x	x	x
		-100	S3-1,S3-2	x	x	x	x	x	x	x
	120'	+16	S4-1,S4-2	x	x	x	x	x	x	x
		-16/+100	S5-1,S5-2	x	x	x	x	x	x	x
		-100	S6-1,S6-2	x	x	x	x	x	x	x
Aguaje	90'	+16	A1-1,A1-2	x	x	x	x	x	x	x
		-16/+100	A2-1,A2-2	x	x	x	x	x	x	x
		-100	A3-1,A3-2	x	x	x	x	x	x	x
	120'	+16	A4-1,A4-2	x	x	x	x	x	x	x
		-16/+100	A5-1,A5-2	x	x	x	x	x	x	x
		-100	A6-1,A6-2	x	x	x	x	x	x	x

Donde:

Variables Independientes: Especie, Tiempo de activación y Granulometría

Variables Dependientes: Porcentaje de Contenido de humedad (CH%), Porcentaje de Material Volátil (MV%), Porcentaje de Cenizas Totales, Porcentaje de Carbono fijo (CF%), Porcentaje de Adsorción, Potencial de hidrogenión (pH) Y Densidad aparente (g/cm³).

De acuerdo al diseño planteado, el número de experimentos es el siguiente:

2 Especies * 2 tiempo * 3 tipos de grano, y dos repeticiones Rx = 24 experimentos

Con los resultados obtenidos se realizó el análisis de varianza (ANVA) para determinar el grado de influencia que ejercen las variables independientes sobre las dependientes y sus respectivas interacciones. Luego se realizó el análisis del rango múltiple de Duncan, para cada una de las variables independientes y su relación con las dependientes, pudiéndose comparar a través de esta prueba, especies, tiempo de activación y granulometría. En todos los casos se tomó como referencia el nivel de confianza con 95% de probabilidad ($\alpha = 5$).

Los resultados obtenidos fueron evaluados, tomando como referencia la Norma Mexicana de alimentos para uso humano NMX-F-295-1981: "Determinación de la calidad de carbones activados empleados en la refinación de azúcar".

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 EVALUACIÓN DE MATERIA PRIMA:

4.1.1 AGUAJE (*Mauritia flexuosa*):

La semilla del Aguaje, constituye el 40 – 44,5 % del fruto, es de forma subglobosa, sólida y con presencia de albumen blanco (PROMPEX, 1998); la presencia del albumen es notoria (figura 13), presentando un color marrón-blancuecino.



Figura 13 : Semilla molida del Aguaje usada para los análisis de materia prima.

El albumen es una reserva alimenticia y energética característica de semillas de angiospermas (dicotiledóneas y monocotiledóneas como el Aguaje), que utiliza el embrión al principio de su crecimiento. La naturaleza química de las reservas (almidón, grasas, proteínas) varían según el tipo de semillas (Arvy M, Gallouin F, 2007).

La composición química de la semilla del Aguaje es presentada en la figura 14; se observa que el componente presente en mayor proporción en las semillas de Aguaje es la holocelulosa con 82 % (bms), que representa la fracción total de polisacáridos lo cual se explica por la abundante presencia del albumen. Cabe mencionar que el análisis de holocelulosa incluye aparentemente fracción de almidón. En la figura se observa que la lignina representa 9,49 % (bms) de la masa seca de la semilla. La cantidad de extractivos,

solubles en etanol, representa 5,42 %; esta fracción comprendería aceites grasos, común en semillas. La fracción de cenizas es 1,93 %, contiene 0,52 % de sílice.

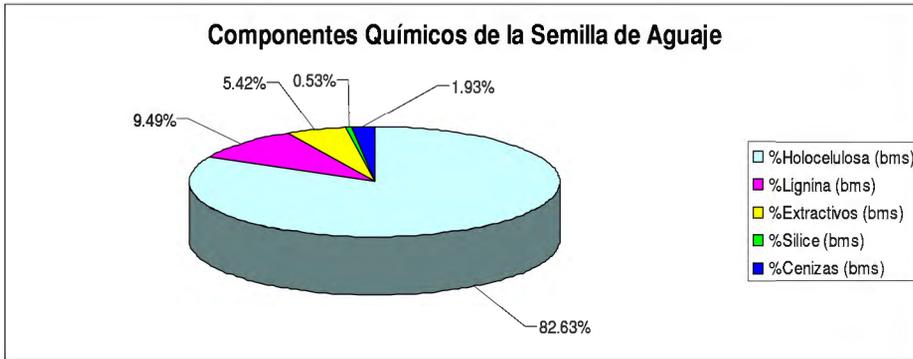


Figura 14 : Componentes químicos de la semilla de Aguaje.

4.1.2 SHAPAJA (*Attalea phalerta*)

La Shapaja tiene una semilla de forma elíptica y en su interior alberga de 6 -3 nueces aproximadamente (ver figura 15). Los valores de composición, para la semilla de Shapaja, son representados en la figura 16; se observa un contenido de holocelulosa de 66,48 % (bms), valor inferior al obtenido para el caso del Aguaje; al igual que esta especie, esta fracción está representada por carbohidratos, principalmente almidón. En segundo lugar se encuentra la lignina con 29,37 % (bms) de la masa seca de la semilla, mucho mayor al obtenido con Aguaje. Con respecto a los extractivos, se obtuvo un valor de 2,72% (bms) de la masa seca de la semilla, menor que el obtenido en Aguaje. En el caso de las cenizas, el valor obtenido fue 1,31% (bms) que contiene en sílice 0,11% (bms).



Figura 15 : Semilla de Shapaja, en corte transversal.

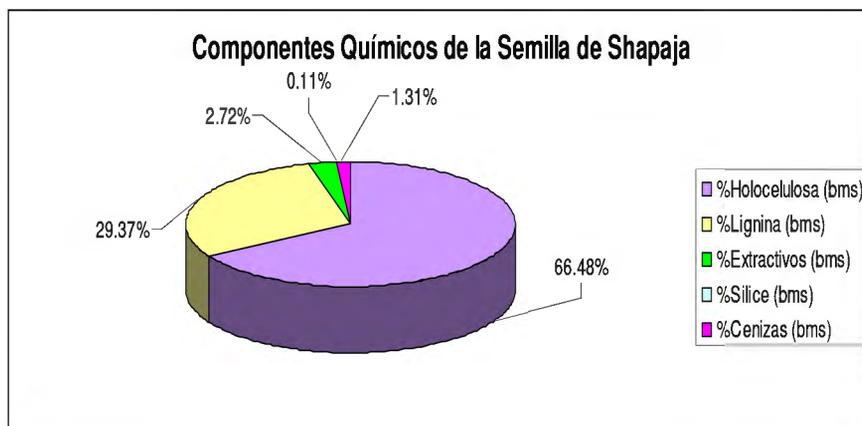


Figura 16 : Componentes químicos de la semilla de Shapaja.

Al comparar los resultados de composición de las semilla estudiadas, se observa notoriamente el alto valor de lignina en Shapaja, favorable al rendimiento de carbonización (FAO, 1983); en el caso de holocelulosa, su valor es contrario al rendimiento. En apariencia, el valor de lignina de Shapaja, cercano al de la cáscara de coco (Cocos nucifera): lignina 36,51 % (Arana; 1987) representaría una ventaja de la materia prima; la cáscara de coco es utilizada para la fabricación de carbón activado a nivel industrial (Grimwood, 1977).

Los resultados del análisis químico de las semillas de Shapaja y Aguaje se presentan en el cuadro N° 5.

Cuadro 5 : Composición química de semillas de Aguaje y Shapaja.

<i>Componentes</i>	<i>Semilla de Shapaja</i>	<i>Semilla de Aguaje</i>
% Humedad	11,34	11,29
% Holocelulosa (bms)	66,48	82,63
% Lignina (bms)	29,37	9,49
% Extractivos (bms)	2,72	5,42
% Sílice (bms)	0,11	0,53
% Cenizas (bms)	1,31	1,93

4.2 RENDIMIENTO DE LA CARBONIZACION – ACTIVACION:

En la figura 17 se observa que, los rendimientos de carbón activado de Shapaja son mayores a los obtenidos con semilla de Aguaje. Esta diferencia es explicada, en parte, por la composición química: la Shapaja contiene más lignina, que es un componente más estable a la temperatura de carbonización; sin embargo, el comportamiento de la holocelulosa es contraria al de la lignina, lo que explica el menor rendimiento de activación con la semilla de Aguaje. Con respecto al tiempo de activación aparentemente no hay influencia de la variable tiempo de activación, sobre el rendimiento, tal como se observa en la figura 17, para ambas especies estudiadas.

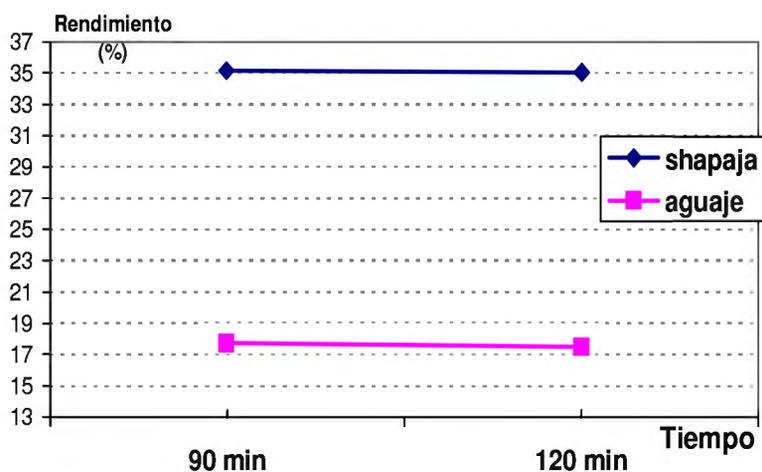


Figura 17 : Rendimiento global de la activación por especie.

Al comparar los valores de rendimiento del carbón activado con valores comerciales, se encuentra que los valores del presente estudio son inferiores, en el caso del Aguaje, pero similares, en el caso de Shapaja, al comparar con el carbón de coco; según Villegas (2002) los rendimientos obtenidos para la cáscara de coco, son de 39,8%. En apariencia, el rendimiento del carbón de Shapaja está dentro de un rango aceptable, teniendo en cuenta también que con este rendimiento se comercializa el carbón activado.

En el cuadro 6, se observa los valores del rendimiento obtenidos durante la carbonización-activación de las especies estudiadas.

Cuadro 6 : Rendimiento de las especies de acuerdo al tiempo de activación.

<i>Especie</i>	<i>Tiempo de Activación (min.)</i>	<i>Rendimiento%</i>
Shapaja	90	35,14
	120	35,04
Aguaje	90	17,72
	120	17,50

4.3 RENDIMIENTO POR FRACCION GRANULOMETRICA:

Estos resultados se obtuvieron luego del proceso de molienda y tamizado; cabe mencionar que el carbón activado se comercializa en dos presentaciones: granular y en polvo correspondiente a las granulometrías +16 mesh (> 1,18 mm) y -100 mesh (< 0,15 mm) respectivamente; la molienda se realizó con el fin de obtener un carbón similar al que se comercializa, de preferencia granular. Los valores de rendimiento, por fracción granulométrica, obtenidos para cada especie, son presentados en el cuadro 7.

Cuadro 7 : Rendimiento de carbón activado, por fracción granulométrica de Shapaja y Aguaje, luego de la molienda y tamizado.

<i>Especie</i>	<i>Granulometría</i>	<i>Rendimiento (%)</i>
Shapaja	+16	46
	-16/+100	44
	-100	10
Aguaje	+16	17
	-16/+100	59
	-100	24

Los valores del cuadro anterior, son presentados de manera gráfica, en las figuras 14 y 15. Para el caso de Shapaja, figura N° 18, se aprecia que los mayores rendimientos por fracción, se obtuvieron en la granulometría +16 (partículas > 1,18 mm) y -16/+100 (partículas entre 0,15 mm a 1,18 mm); este comportamiento se debería a que el carbón activado obtenido de Shapaja es más resistente a las condiciones de molienda, representado por una mayor dureza, o densidad aparente. El caso contrario, en Aguaje

(figura 19), el producto es más frágil y quebradizo, en comparación con la Shapaja, obteniéndose menor valor en la fracción granular, +16.

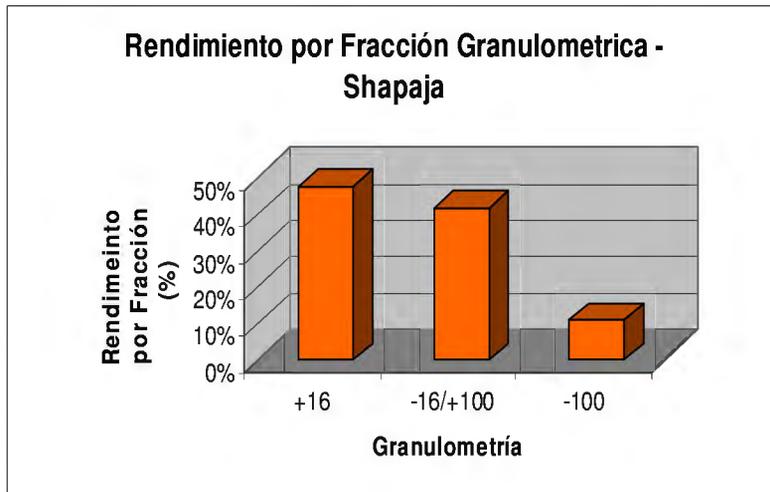


Figura 18 : Rendimiento por fracción del carbón activado de Shapaja para cada granulometría.

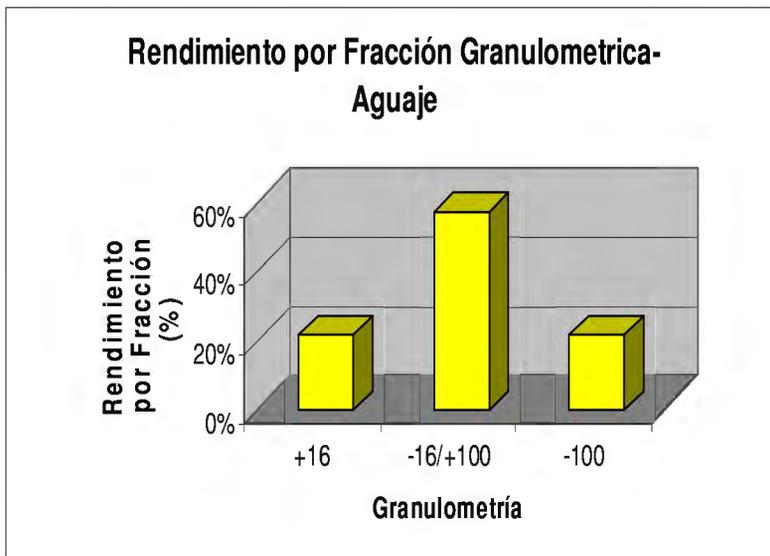


Figura 19 : Rendimiento por fracción del carbón activado de Aguaje para cada granulometría.

Al final de la operación, se observa que, bajo las condiciones de molienda desarrolladas, con Shapaja se obtiene un mayor rendimiento de carbón granular (fracción comercial +16).

4.4 ANALISIS DEL CARBON ACTIVADO OBTENIDO:

Los resultados del análisis del carbón activado y de sus evaluaciones, del presente estudio, se encuentran en el anexo 4; los análisis de variancia de los resultados son presentados en los anexos 05, 06, 07 y 08.

4.4.1 CONTENIDO DE HUMEDAD (%CH):

El análisis estadístico de los resultados demuestra que hay una influencia altamente significativa de las variables especie y tiempo de activación, y su interacción, sobre los valores de humedad.

En la figura 20 se observa que los valores de humedad disminuyen conforme aumenta el tiempo de activación; al respecto, Layseca (2001), menciona que el *tiempo de activación* tiene influencia significativa en los resultados de humedad para carbones activados siendo esta relación inversamente proporcional. En apariencia, el tiempo de activación afecta de manera negativa la capacidad de adsorción o la capacidad de retención de agua por parte del carbón. Al respecto, Reinoso (2005) menciona que las condiciones de activación, que incluye el tiempo, afectan las propiedades del carbón (porosidad interna) y su comportamiento durante la adsorción. Cabe mencionar, que la humedad evaluada en esta parte del estudio, corresponde a agua adsorbida por parte del carbón.

Los valores de humedad obtenidos en el presente estudio, están por debajo de los resultados obtenidos en investigaciones anteriores; Arana (1987), obtuvo carbón activado a partir de cáscara de coco (*Cocos nucifera*) con una humedad mediada 10,35 %. De acuerdo a la Norma Mexicana NMX-295-1981, todos los carbones activados obtenidos, están dentro de los parámetros deseados (máximo 12% CH).

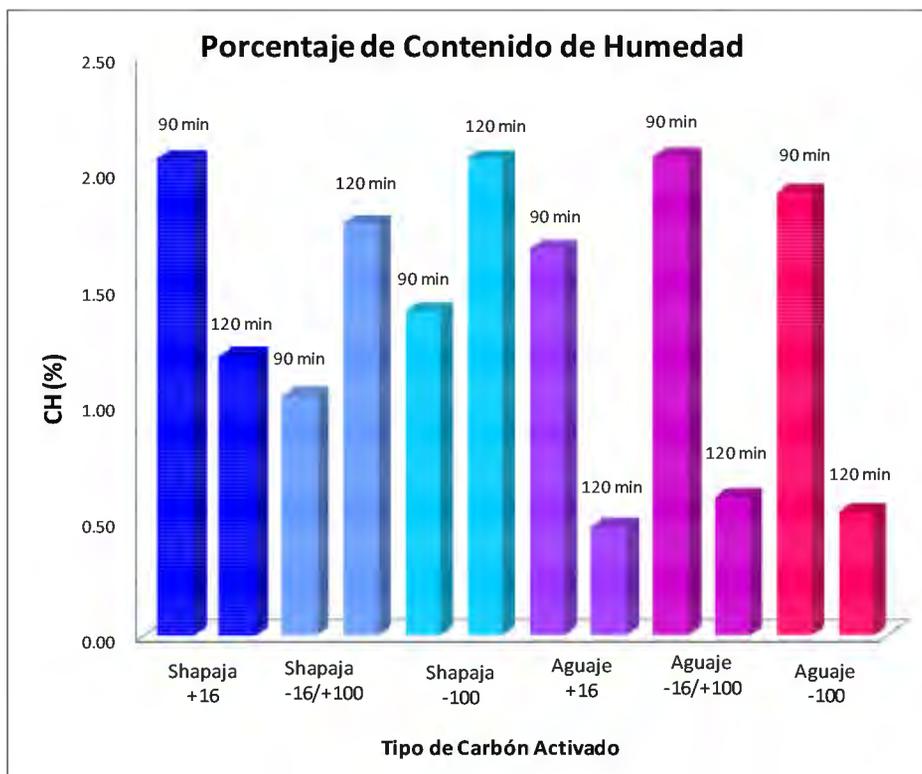


Figura 20 : Porcentajes de contenido de humedad del carbón activado de las semillas de Shapaja y Aguaje.

4.4.2 MATERIAL VOLÁTIL (%MV):

El análisis estadístico de los resultados de material volátil demuestra la influencia altamente significativa de la *especie* y de su interacción con *tiempo de activación*; la *granulometría* y el *tiempo de activación* no tuvieron influencia sobre el material volátil.

En la figura 21, se observa que los valores de material volátil de Shapaja son mayores a los de Aguaje. En el caso de la interacción especie con tiempo de activación, se observa que, conforme aumenta el tiempo de activación, aumenta el porcentaje de material volátil, en el caso de Shapaja, pero sucede lo contrario con Aguaje.

El material volátil es un compuesto no deseado en el carbón activado, porque afecta su estructura interna y esto conlleva a que tenga menor área para su capacidad de adsorción. En los resultados obtenidos, el contenido de material volátil en Aguaje (11,5 %) es menor que el de Shapaja, (13,8 %). El mayor contenido de volátiles para Shapaja, se debería al mayor contenido de lignina presente en su composición química, con respecto al Aguaje (cuadro N° 6). En apariencia, la lignina es un compuesto estable y resistente a la temperatura de activación; su descomposición es gradual, y paulatinamente, parte de su

estructura se desdobra en moléculas simples, que volatilizan con temperaturas altas. La lignina de la Shapaja se desdobra, pero requiere de temperaturas altas para volatilizar, aparentemente mayores a los 600 °C. Por tal motivo, los volátiles liberados son reabsorbidos por el carbón de Shapaja, aumentando el porcentaje de material volátil.

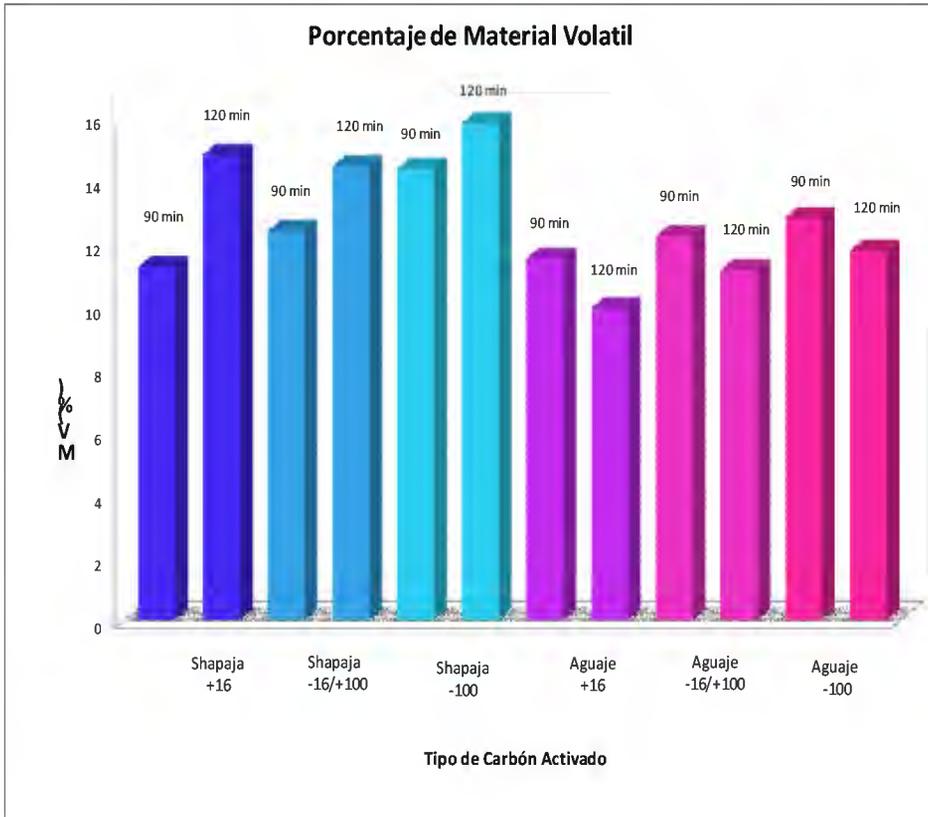


Figura 21 : Porcentajes de material volátil del carbón activado de las semillas de Shapaja y Aguaje.

4.4.3 CONTENIDO DE CENIZAS TOTALES (%):

El análisis estadístico indica una influencia altamente significativa en las interacciones de las variables *especie* y *granulometría*. A partir de los resultados obtenidos se observa en la Shapaja que el grano más grueso (+16) tiene 8,43 % de cenizas y el grano más fino (-100), 17,85% de cenizas; lo cual indica que mientras la granulometría aumenta el contenido de cenizas disminuye. Caso contrario ocurre con el Aguaje, que en granulometrías más finas (-100) tiene 6% de cenizas y para las partículas más gruesas (+16) 8,9% de cenizas.

Un alto contenido de cenizas es una característica indeseable en el carbón activado, ya que su presencia está relacionada con materiales residuales provenientes de la carbonización (impurezas minerales), los que interfieren en el proceso de adsorción (Reinoso, 2005). Azañero (1998) trabajando con madera de algarrobo (*Prosopis pallida*) concluyó experimentalmente, que el carbón de partículas más finas, era el que mayor porcentaje de cenizas poseía. En los resultados del presente estudio se observa un comportamiento similar para la Shapaja pero no, en el Aguaje. La explicación de estas diferencias se encuentra en la composición química de ambas especies, recordando que el porcentaje de cenizas es una característica química del carbón activado y es precisamente en la composición química de la materia prima en la que difieren ambas palmeras.

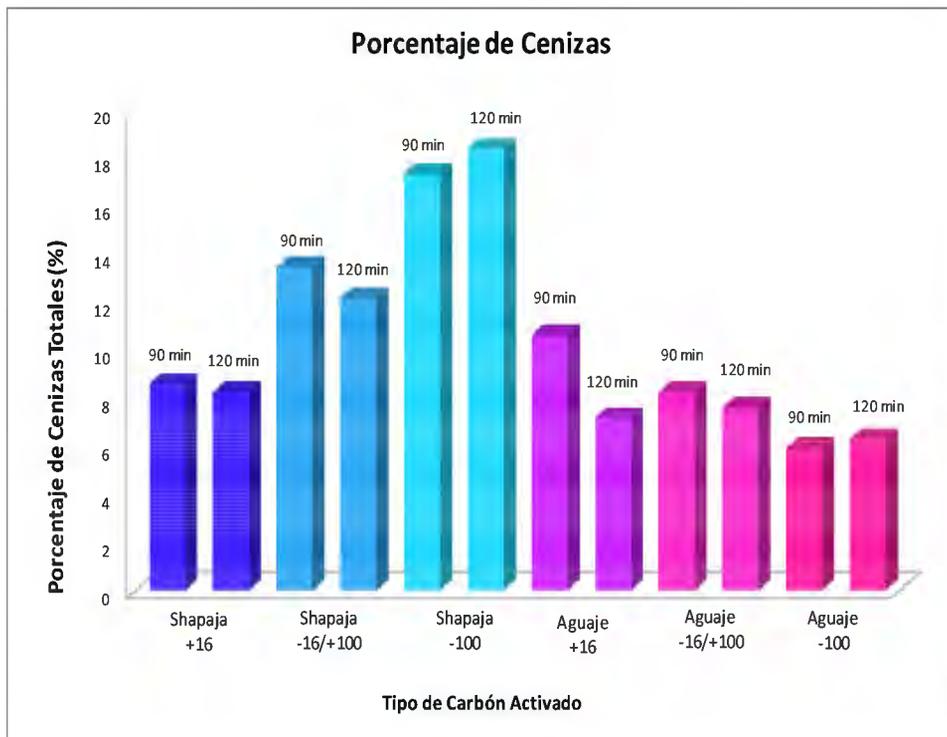


Figura 22 : Porcentajes de cenizas totales del carbón activado de las semillas de Shapaja y Aguaje.

4.4.4 CARBONO FIJO (%CF):

Del análisis estadístico las variables *especie* y *granulometría* tienen una influencia significativa en los resultados. En la Shapaja se observa que a menor *granulometría*

(partículas más finas) se obtienen los menores valores de porcentaje de carbono fijo, una tendencia directa; con respecto al Aguaje, se tiene una tendencia inversa ya que al ir disminuyendo el tamaño de partícula el porcentaje de carbono fijo aumenta. Estas tendencias se observan en el cuadro 8.

Cuadro 8 : Resultados obtenidos de porcentaje de carbono fijo para cada unidad experimental.

ESPECIE	TIEMPO (min)	GRANO	CODIGO	CF%
Shapaja	90'	+16	S1	80,19
		-16/+100	S2	74,19
		-100	S3	68,35
	120'	+16	S4	76,97
		-16/+100	S5	73,43
		-100	S6	65,84
Aguaje	90'	+16	A1	77,91
		-16/+100	A2	79,56
		-100	A3	81,32
	120'	+16	A4	82,92
		-16/+100	A5	81,28
		-100	A6	82,00

El Aguaje, tiene el máximo porcentaje de carbono fijo en todas las unidades experimentales (correspondiente al código A4), con (82,92 %). El promedio para cada especie, indica que, las mayores proporciones de carbono fijo 80,83 %, corresponden al Aguaje, con respecto a 73,16 % de la Shapaja.

Según FAO (1983) el porcentaje del carbono fijo tendría que ser el mayor posible, lo cual tiene influencia directa con la capacidad de adsorción, lo mismo refiere Layseca (2001) al afirmar que existe una relación directa entre el porcentaje de carbono fijo y el porcentaje de adsorción obtenidos.

A partir de las dos variables más importantes estadísticamente para esta característica se puede determinar, con respecto a la *granulometría*, como variable independiente, siendo los resultados promedios para los tamaños de partícula +16 (79,49 %), -16/+100 (77,14

%) y -100 (74,38 %), la ventaja del mayor tamaño de partícula (+16), correspondiente al carbón activado granular.

FAO (1982), indica porcentajes deseables de carbono fijo que varían entre un 60 % a un 95 %. Los mayores porcentajes de carbono fijo encontrados en el carbón activado de la especie Aguaje (cuadro 6) responden a que este valor se obtiene restando el valor de material volátil y cenizas; los valores de carbono fijo en Shapaja son menores debido a que presentan mayor cantidad de material volátil y de cenizas. La Shapaja, al tener mayor contenido de lignina, por su relación directa, debería contener mayor contenido de carbono; sin embargo, el cálculo para su obtención induce a obtener un menor valor. En figura 23, se observa la variación de los resultados obtenidos de porcentaje de carbono fijo en función de las *especies* y los valores de *granulometría* y *tiempo de activación*.

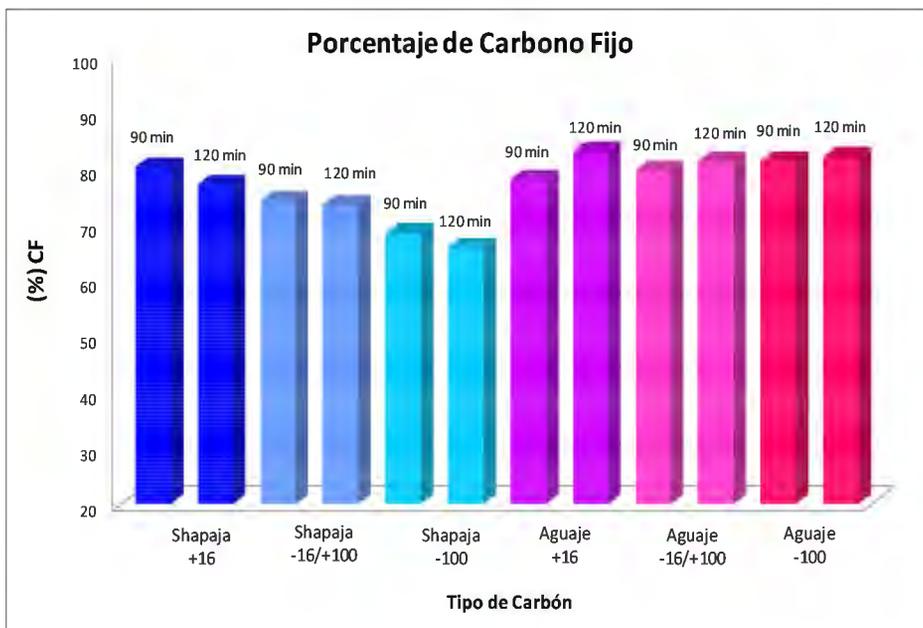


Figura 23 : Porcentajes de carbono fijo del carbón activado obtenido a partir de las semillas de Shapaja y Aguaje.

4.4.5 CAPACIDAD DE ADSORCIÓN:

A) MÉTODO DE ESPECTROFOTOMÉTRICO (% ADSORCIÓN)

Estadísticamente se determinó la influencia altamente significativa de la variable *especie* y *tiempo de activación*, así como la influencia altamente significativa de la interacción de las tres variables; ver figura 24.

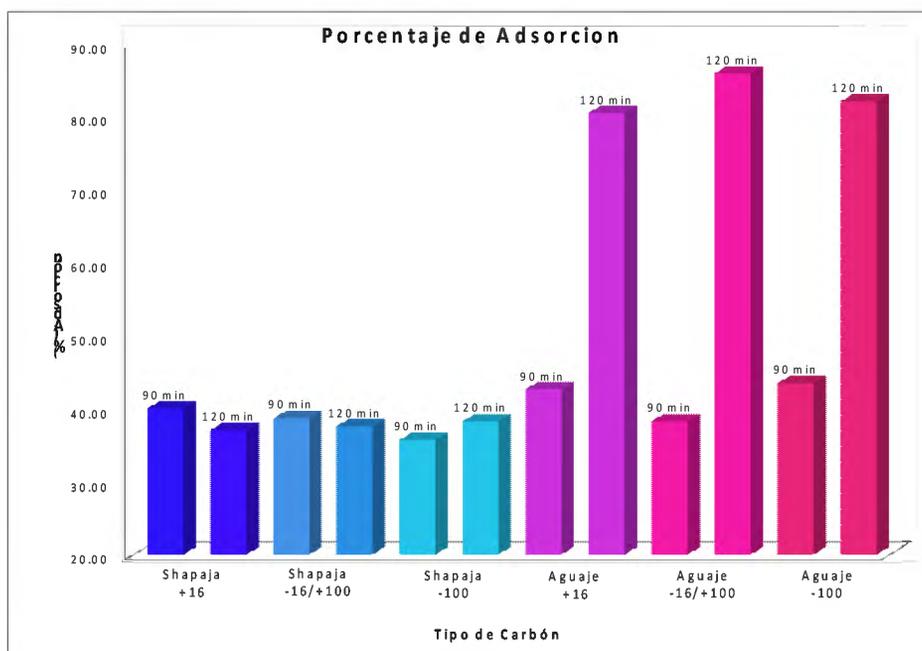


Figura 24 : Porcentajes de adsorción obtenidos del carbón activado de las semillas de Shapaja y Aguaje.

Según los resultados del presente estudio, los porcentajes de adsorción más altos los alcanza el Aguaje, en tiempo de activación de 120 min, con mínimas diferencias con respecto a sus distintas granulometrías (+16,-16/+100,-100), siendo el promedio de las tres granulometrías, 83 %.

El menor valor lo obtiene la Shapaja, en tiempo de activación de 90 min y granulometría -100, con 35,66 % de adsorción en azul de metileno, sin embargo, este valor mínimo se ajusta a los resultados obtenidos por Teruya (2003) que aplicó el mismo método en la prueba con azul de metileno (espectrofotometría) y obtuvo para las especies Tornillo, Manchinga y Caoba, como resultados mínimos y máximos (24,5 – 40,9 %), (24,5 – 47,4 %) y (26,6 - 44,2 %), de adsorción de azul de metileno respectivamente. Se observa además que todos los resultados obtenidos por Teruya (2003) son similares a los

obtenidos en este estudio, a excepción de las unidades experimentales A4 y A6; correspondientes al Aguaje de 120 min; con las que se obtuvo excepcionales resultados.

Layseca (2001), utilizando también la espectrofotometría para la prueba de azul de metileno, comprobó que la variable *tiempo de activación* influye significativamente en el porcentaje de adsorción, ya que las muestras con más *tiempo de activación* presentaron los mejores porcentaje resultados de adsorción. Es importante resaltar que tanto para las investigaciones de Layseca (2001), Teruya (2003) y Gonzales (2004), se utilizó el mismo método para determinar la adsorción de azul de metileno, la espectrofotometría, y para determinar la mejor calidad del carbón activado obtenido

En esta investigación con los mejores resultados de adsorción obtenidos, se seleccionó tres carbones activados, evaluándose la adsorción, conforme a la Norma Mexicana NMX-295-1981 “Determinación de la Calidad de Carbones Activados empleados en la Refinación de Azúcar”, basada en la metodología de adsorción directa. De esta prueba se obtuvo los siguientes resultados, mostrados en el cuadro 9.

Cuadro 9 : Resultados obtenidos de la prueba de adsorción directa.

ESPECIE	TIEMPO (min)	GRANO	Adsorción%	CODIGO	Adsorción (ml/g)
Aguaje	120'	-100	81,91	A6	6,1
Aguaje	120'	+16	80,34	A4	5,2
Aguaje	90'	+16	42,58	A1	3,5

Del cuadro anterior se observa que los porcentajes de adsorción obtenidos del método de adsorción directa guardan relación con los obtenidos por espectrofotometría.

4.4.6 pH:

Según el Análisis de Varianza (ANVA) y la prueba estadística de Duncan, los resultados obtenidos para la variable dependiente pH son influenciados por la *granulometría*, de manera altamente significativa. Esta influencia de la *granulometría* sobre el pH podría estar influenciada por la dispersión de las partículas de carbón activado en agua; en la figura 25 se observa la variación de los resultados de pH de los carbones activados obtenidos.

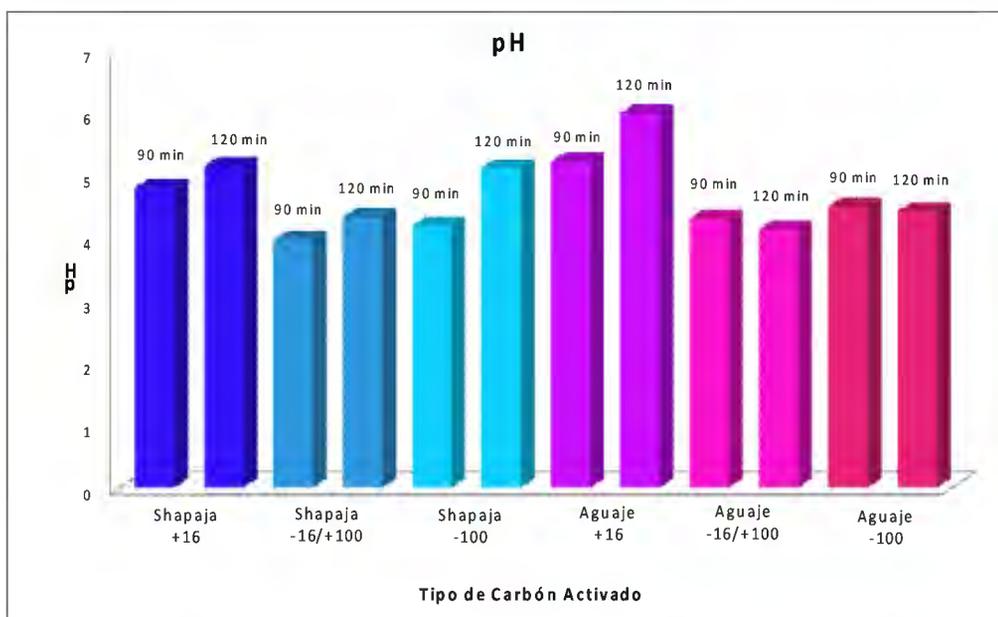


Figura 25 : Valores de pH para carbón activado de Shapaja y Aguaje.

De acuerdo a la Norma Mexicana MNX-295-1981, los valores óptimos de pH, para carbones activados para refinación de azúcar va de 6 a 8,5, para carbón activado en polvo (CAP) y de 5,5 a 8 para carbones activados granulares (CAG). En la figura 25 (cuadro 10) se observa que hay una distribución similar de los resultados, en ambas especies, aunque solo el carbón A4, cumple lo determinado en la norma. Los menores valores obtenidos, comparados con lo recomendado en la norma, también podrían deberse a la presencia de alquitranes aún presentes en la estructura del carbón. Los productos derivados de la pirólisis de una materia orgánica suelen ser, por lo general, de pH bajo o ácido.

Cuadro 10 : Resultados promedio de pH para cada unidad experimental.

ESPECIE	TIEMPO (min)	GRANO	CODIGO	CF%
Shapaja	90	+16	S1	4,80
		-16/+100	S2	3,97
		-100	S3	4,19
	120	+16	S4	5,14
		-16/+100	S5	4,33
		-100	S6	5,11
Aguaje	90	+16	A1	5,22

		-16/+100	A2	79,56
		-100	A3	81,32
	120	+16	A4	82,92
		-16/+100	A5	81,28
		-100	A6	82,00

4.4.7 DENSIDAD APARENTE :

De acuerdo al ANVA, la interacción de las tres variables *especie*, *tiempo de activación* y *granulometría*, tienen influencia significativa en los resultados obtenidos.

Los resultados promedios obtenidos para cada tiempo de activación, a 90 min $0,50 \text{ g/cm}^3$ y a 120 min $0,51 \text{ g/cm}^3$, para el caso de la Shapaja y para el Aguaje a 90 min $0,37 \text{ g/cm}^3$ y a 120 min $0,39 \text{ g/cm}^3$, y lo observado en la figura 26, demuestra que ambas especies presentan una tendencia similar ya que conforme aumenta el *tiempo de activación* aumenta el valor de densidad aparente.

En el mercado nacional se comercializa PANTERFIL producto de la marca AGROFOR, el cual de acuerdo a sus especificaciones técnicas posee $0,4 \text{ g/cm}^3$, de densidad aparente, para carbón activado por el método químico con ácido fosfórico, procedente de cáscara de coco; de los resultados del presente estudio, el carbón de Aguaje presenta valores similares de densidad aparente al de cáscara de coco.

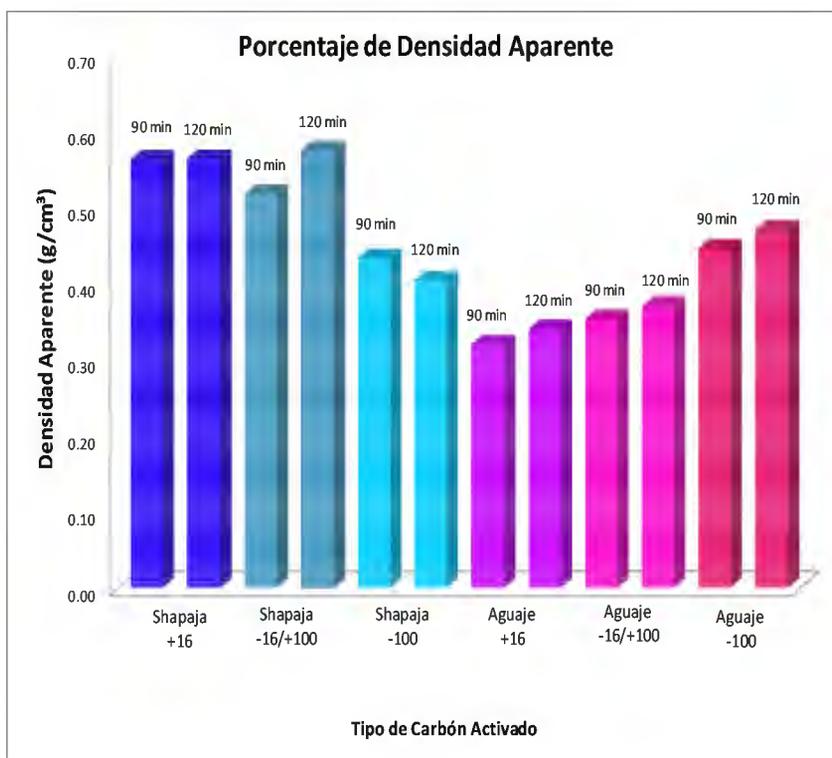


Figura 26 : Resultados obtenidos de densidad aparente para los carbones activados de las semillas de Shapaja y Aguaje.

De acuerdo a la norma NMX-295-1981, el valor máximo de densidad aparente admisible es $0,46 \text{ g/cm}^3$ para el carbón activado granular y de $0,40 \text{ g/cm}^3$ para el carbón activado en polvo. En el presente estudio, para la especie **Aguaje** el valor promedio fue $0,33 \text{ g/cm}^3$ para el carbón activado granular y $0,45 \text{ g/cm}^3$ para carbón activado en polvo; en el caso de la **Shapaja** se obtuvo un promedio de $0,56 \text{ g/cm}^3$ para el carbón activado granular y $0,41 \text{ g/cm}^3$ para el carbón activado en polvo.

4.5 DETERMINACIÓN DE CALIDAD DEL CARBÓN ACTIVADO OBTENIDO:

La determinación de la calidad se evaluó de acuerdo a la norma NMX-295-1981, calificando al carbón, de manera positiva o negativa, si cumplía, o no, con los requisitos de la norma, respectivamente.

En el cuadro 11, se observan los resultados obtenidos, para cada unidad experimental y al lado derecho de cada columna de los resultados obtenidos, se colocó la calificación correspondiente a cada ensayo: calificación positiva (+), si se encuentra dentro de los parámetros establecidos por la norma (anexo N°10) y calificación negativa (-) si el resultado se encontraba fuera del rango establecido por la norma; sólo se evaluaron los carbones considerados comerciales (ver punto 4.3). En la margen derecha del cuadro se observa la puntuación obtenida para cada carbón, la cual se obtuvo de sumar las calificaciones positivas (+).

Cuadro 11 : Evaluación de los carbones activados obtenidos en el presente estudio, de acuerdo a la norma NMX-295-1981.

ESPECIE	TIEMPO (min)	GRANO	CODIGO	CH%		Cenizas %		CF %	Ads %	pH		Dap (g/m ³)		+
Shapaja	90	+16	S1	2,05	+	8,60	+	80,19	39,95	4,80	-	0,56	-	2
	90	-16/+100	S2	1,03		13,45		74,19	38,62	3,97		0,52		
	90	-100	S3	1,39	+	17,33	-	68,35	35,66	4,19	-	0,43	-	1
	120	+16	S4	1,20	+	8,26	+	76,97	37,00	5,14	-	0,56	-	2
	120	-16/+100	S5	1,01		12,16		73,43	37,51	4,33		0,57		
	120	-100	S6	1,03	+	18,38	-	65,84	38,20	5,11	-	0,40	+	2
Aguaje	90	+16	A1	1,66	+	10,61	+	77,91	42,58	5,22	-	0,32	+	3
	90	-16/+100	A2	2,06		8,25		79,56	38,20	4,30		0,35		
	90	-100	A3	1,91	+	5,91	+	81,32	43,42	4,50	-	0,45	-	2
	120	+16	A4	0,47	+	7,19	+	82,92	80,34	5,99	+	0,34	+	4
	120	-16/+100	A5	0,59		7,60		81,28	85,74	4,13		0,37		
	120	-100	A6	0,53	+	6,28	+	82,00	81,91	4,42	-	0,47	-	2

Dap: densidad aparente; Ads%: Porcentaje de adsorción.

A partir de esta evaluación se determinó que el mejor carbón activado obtenido corresponde al código A4, coincidiendo que este carbón tiene el mayor porcentaje de adsorción de todas las unidades experimentales. Los carbones activados de los códigos A1 y A6 también están considerados entre los mejores pues, obtienen una alta puntuación y presentan altos porcentajes de adsorción después del A4.

Las calidad del carbón activado de **Shapaja** en comparación con **Aguaje**, es menor, sin embargo tomando en cuenta el rendimiento, el valor correspondiente al carbón de **Shapaja** (35,05 %) está por encima de los rendimientos obtenidos con materias primas a nivel industrial, como es el caso de AGROFOR, empresa en la cual la semilla de la

aceituna solo alcanza un 20 % de rendimiento, utilizando una metodología similar. Esta característica de rendimiento podría ser determinante, cuando la evaluación del recurso incluye el factor económico.

En el cuadro 12 se presenta los valores del carbón obtenido, con código A4, y los valores de carbones comerciales. Se observa que el carbón A4 podría ser considerado un producto competitivo ya que presenta características similares a carbones comercializados en el mercado.

Cuadro 12: Comparación del mejor carbón activado obtenido con otros carbones comerciales.

Características Comerciales	A4	ALPESA CCA-700	ESTEC- SORBOPOR
Contenido de Humedad (%)	0,47	0,4	0,45
Contenido de Cenizas (%)	7,19	8	7
Densidad aparente (g/cm ³)	0,34	0,55	0,35
pH	5,99	6	4,5

Fuente: Soto, 2007.

5. *CONCLUSIONES*

- Con relación a la composición química de las materias primas, la semilla Aguaje presenta un valor alto en holocelulosa y bajo en lignina, y lo contrario ocurre con Shapaja.
- El rendimiento de carbonización – activación es mayor con la semilla de Shapaja con respecto a la del Aguaje, los rendimientos de activación de Shapaja, se encuentran por encima de los obtenidos en la industria nacional (20 %).
- La granulometría (+16 mesh) y tiempo de activación (120 minutos) influyeron sobre una mayor capacidad de adsorción al azul de metileno, con carbón de semilla de Aguaje.
- Las variables especie y tiempo de activación presentaron influencia altamente significativa sobre la capacidad de adsorción de los carbones activados obtenidos.
- Los porcentajes de adsorción obtenidos en la activación química con ácido fosfórico, son mayores en comparación a los obtenidos en activación química de madera tratado con cloruro de zinc (Layseca, 2001; Teruya, 2003).
- Las cualidades del carbón activado del Aguaje en comparación con la Shapaja son superiores, en cuanto a calidad y capacidad de adsorbancia al azul de metileno.

6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda la utilización de otras semillas de palmas de la Amazonía en la obtención de carbón activado, o en las mismas especies, con el fin de comparar resultados con el método físico.
- Es necesario experimentar con la especie Shapaja a mayores temperaturas de activación para comprobar el grado de influencia de esta variable en la calidad del carbón activado obtenido.
- Sería recomendable la realización de un estudio de prefactibilidad, para evaluar la posibilidad de establecer una planta procesadora de carbón activado en la ciudad de Iquitos, a partir de las semillas de Aguaje, con el fin de integrar este procedimiento en la cadena productiva del Aguaje en la Amazonía, que en la actualidad se limita a productos alimenticios.

BIBLIOGRAFÍA

- Arana, L. 1987. Obtención de carbón activado a partir de cáscara de coco (Cocos nucífera) por el método de la activación química, Tesis (Ing. Industrias Alimentarias), Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina.133p.
- Arvy, M.; Gallouin, F. 2007. Especies Aromatizantes y condimentos. Ediciones Mundi-Prensa. 46. 25-26.
- American Society for Testing and Materials –ASTM. 1981. Standard Recommended Practice for Liquid Phase Evaluation of Active Charcoal. 22-26p.
- American Society for Testing and Materials- ASTM. 1980. Annual Book of ASTM Standard. wood; Revision issued annually. 22pp.
- Balslev, H.; Grandez, C.; Paniagua Zambrana, N.; Moller A.; Hansen, S. 2008. Palmas (Arecaceae) útiles en los alrededores de Iquitos, Amazonía Peruana Las Palmeras de América del Sur, Revista Perú Biológico Vol. 20(1-15):1-4.4p.
- Bansal, R.C.; Donnet, J.B.; Stoeckli F. 1998. Active Carbon. Marcel Dekker, New York, EEUU.35p.
- Bejar, A.; Reyes, A. 2005. Síntesis y Caracterización de Carbones Activados Desarrollados a Partir de Residuos Maderables Con Control de las Condiciones de Activación, Tesis (Ing. Industrial), San Nicolás Hidalgo, Michoacán, México Universidad Michoacana de México. 220p.
- Cabrera, H.; Wallace, R. 2007. Densidad y distribución espacial de palmeras arborecentes en un bosque preandino-amazónico de Bolivia, Herbario Nacional de Bolivia, Instituto de Ecología, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. 45p.

- Checco, C. 1985. Obtención de carbón activo a partir del carozo de durazno (*Prunus persica*), Tesis (Ing. en industrias alimentarias), Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 100pp.
- Calzada, L. 1981. Importación y aplicaciones del carbón activado en procesos metalúrgicos: factibilidad de su producción en Centro Min Per. Departamento de investigaciones metalúrgicas. La Oroya, Perú. 36p.
- Cámara Argentina del Maní. 2009. La cadena manisera suma eslabones (En línea). Consultado en noviembre del 2009. Disponible en: <http://www.camaradelmani.com.ar/site/index.asp?IdSeccion=424>
- CARBOTECNIA. 2004. Servicios (En línea). Consultado en noviembre del 2009. Disponible en: <http://www.carbotecnia.info/servicios.htm>
- Carrasco, P. 2009. Comunicación personal, Amazon Ivory EIRL, Lima Perú (21/07/09)
- Castillo, E. 1993. Estudio tecnológico para la obtención de carbón activado a partir de aserrín y virutas de roble y tornillo (*Quercus velutina* y *Araucaria imbricata*), Tesis (Ing. Químico), Ayacucho, Perú, Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga. 135p.
- Cooney, D. 1999. Activated charcoal antidote, remedy and health, Services Inc. New York, EEUU. 45p.
- Del Castillo, D.; Otárola, E.; Freitas, L. 2006. Aguaje, La Maravillosa Palmera de la Amazonía, Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, Perú. 22p.
- De la Cruz, F. 2009. Comunicación Personal, AGROFOR, Lima, Perú (15/04/09)

FAO. 1983. Métodos Simples para Fabricar Carbón Vegetal, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (en línea). 41.1-23. Consultado en noviembre de 2009. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/x5595s/x5595s00.htm>

García, A.; Pinto, JJ. 2002. “Diagnóstico de la demanda del Aguaje en Iquitos”, Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, Iquitos. 23-24p.

Giraldo, L.; García, V.; Moreno, J. 2007. Caracterización superficial en fase gas y líquida de carbones activados. Bogotá, Colombia. 37p.

Gonzales, I. 2004. Obtención de carbón activado a partir del endocarpo del fruto de la castaña (*Berthollea excelsa* H.B.K.) empleando el método químico con $ZnCl_2$, Tesis (Ing. Forestal), Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina.111p.

Gonzales, E. 2009. Práctica: Biometría de fibras; CLASIFICACIÓN DE FIBRAS: El Clasificador Bauer-Mc-Nett.Peru.

Gomella, C. Guerree, H. 1977. Tratamiento de aguas residuales para su abastecimiento público, Barcelona, España. 56p.

Google Earth. 2009. Image © Digital Globe2009.

Guerrero, M. 1987. Obtención de Carbón Activado a partir de Cáscara de café (*Coffea arabica*) por activación química, Tesis (Ing. Químico), Lima, Perú, Universidad Nacional Mayor de San Marcos.150pp.

Henderson, A.; Galeano, G.; Bernal, R. 1995. Fields guide to the palms of the Americas, Princeton University Press.23pp.

IIAP.2009. El Aguaje. (En línea). 21. 15-21. Consultado en noviembre del 2009.
Disponible en: <http://www.iiap.org.pe/focal/mercados/descripcion/aguaje.htm>

Centro Internacional del Comercio –ITC. 2009. Datos Estadísticos de la Producción de Carbón Activado. (En línea). Consultado en junio del 2010. Disponible en:
<http://www.trademap.org>

Jiménez, B. 2001. La contaminación ambiental en México: Causas, efectos y tecnología apropiada. Colegio de Ingenieros Ambientales de México, Instituto de Ingeniería de la UNAM y FEMISCA. México.58p.

Layseca, M. 2001. Obtención de carbón activado a partir de aserrín de Tornillo (*Cedrelinga cateniformis* Ducke), Tesis (Ing. Forestal), Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina.70p.

Lloret, J.; Muñoz, J.; Artigas, V.; Allende, L.; Vázquez, G. 2005. Protocolos Terapéuticos de Urgencias, Barcelona, España. 25p.

López Moreno, A.; Flores, J. 1994. Diccionario de la contaminación, Centro de Ecología y Desarrollo, México DF, México. 37p.

Lutteral, E. 1940. Carbones Activos, Buenos Aires, Argentina.173p.

Manahan, S. 2007. Introducción a la Química Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México. D.F. México.45p.

Mantel, C. 1951. Adsorption. 2da edición. Mc Graw-Hill Book Company I.N.C. London. 63p.

- Mejía, K. 2004. Guía de Palmeras, Reserva Nacional de Pacaya Samiria, Loreto, Perú. 21p.
- Mejía, K. 1995. Diagnostico de recursos vegetales de la Amazonía peruana 18p. (Boletín Técnico Nº 16)
- Melo, J. 1985. Obtención de carbón activado de (*Eucaliptus globulus* labill), Tesis Ingeniero Forestal, Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 131p.
- Menéndez, A. 2008. Curso de extensión universitaria, EL MUNDO DEL RESIDUO: CARACTERIZACION, TRATAMIENTO Y GESTION. Tema: Residuos de biomasa para la producción de carbones activos y otros materiales de interés tecnológico, Universidad de Oviedo, Facultad de Geología, España. 58-63p.
- Mendoza, D.; Panduro A.; 2005. El tejido de hojas de palmera en la vivienda amazónica, Proyecto Araucaria Amazonas Nauta, Iquitos, Perú. 14p.
- Moraes, M.; Borchsenius, F.; Blicher-Mathiesen, U. 1996. Notes on the biology and uses of the “Motacu” (*Attalea phalerata*) from Bolivia, Economic Botanic, 23(50) p: 423-428.
- Moraes, M.; Borchsenius, F. 2006. Diversidad y uso de palmeras andinas (aracaceae), Botánica Económica de los Andes Centrales, 45(60) p: 211-213.
- Natura. 2009. Burity. (En línea). Consultado en junio del 2010. Disponible en: <http://www.natura.net/port/cosmoprof/esp/ativos.asp>

- Navarro, F. 2006. Estudio de las cadenas productivas de Aguaje y tagua en la Reserva Nacional Pacaya Samiria, Fundación Peruana para la Conservación de la Naturaleza – Pro Naturaleza, Loreto – Perú.34p.
- Norma Mexicana NMX-295-1981, Alimentos para uso Humano. Determinación de la calidad de carbones activados empleados en la refinación de azúcar.
- Ovin, C.O. 2003. “Depuración de Efluentes Industriales con Carbón Activo. Adsorción de contaminantes y regeneración del adsorbente”, Tesis Doctoral, Oviedo, España, Universidad de Oviedo. 122p.
- Paniagua-Zambrana, N. 2005. Diversidad, densidad, distribución y uso de las palmas en la región del Madidi, noreste del departamento de La Paz (Bolivia). Ecología en Bolivia, La Paz, Bolivia.31p.
- PROMPEX. 1998. Promoción de Exportaciones de Productos Agrícolas de la Selva, Lima, Perú.59p.
- Ramalho, R. 1997. Tratamiento de aguas Residuales, Barcelona, España.38p.
- Reinoso, F. 2005. Carbón activado: estructura, preparación y aplicaciones, Revista UNIANDES, Vol. 3, 66-69p.
- Reynel, C.; Pennington, T.D.; Pennington, R.T.; Flores, C.; Daza, A. 2003. Arboles sutiles de la Amazonía peruana y sus usos. Perú.26p.
- Rivadeneira, M. 1975. Estudio sobre la densidad de poblaciones de Aguaje (*Mauritia sp.*) en Tingo María-Perú, Revista Forestal del Perú, 5(1-2):1-11p.

Robau, A.J. 2006. Síntesis de tamices moleculares de carbón a partir de materiales lignocelulósicos, Tesis (Ph.D.), México, Universidad Autónoma de México.143p.

Smisek, M. 1970. Activated carbon: Manufacture, properties and applications American Elsevier publishing company, New York, EE.UU.132p.

Soto, F. 2007. Evaluación técnico económico para la instalación de una planta de carbón activado. Tesis (Ing. Civil Industrial), Santiago de Chile, Chile, Universidad de Chile.137p.

Teruya, R. 2003. Influencia de tres Variables en la Obtención de Carbón Activado de Residuos de Madera de 3 Especies Comerciales. (*Cedrelinga cateniformis* Ducke, *Brosimum alicastrum* y *Swietenia macropylla* King). Tesis (Ing. Forestal), Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria la Molina.120p.

Universidad de Huelva, 2008. Tratamiento de Aguas, Tratamiento de aguas con carbón activo, Huelva, España. 33p.

Vásquez Sierra, E.; Herrera Builes, J. 2006. Metodología para la Caracterización de Combustibles Sólidos Maderables del Área Metropolitana del Valle de Aburrá “AMVA”, Revista Facultad Nacional Agraria de Medellín, vol.59 no.2 .11-14p.

Villachica, H. 1996. Frutales y Hortalizas Promisorias de la Amazonía. Tratado de Cooperación Amazónica. Perú. 35-38p.

Villegas Aguilar, P.; Medina Alvarez, B.; Bucki Wasserman, B. 2002. Incremento de la capacidad de adsorción de carbones activados obtenidos a partir de fuentes renovables mediante lavado de soluciones de NaOH. Tesis (Ing. Mecánica), Santa Clara, Cuba, Universidad Central de las Villas.148p.

ANEXO 1

IMPORTACIONES DE CARBON ACTIVADO DE LATINOAMÉRICA-2004

País	Valor Importado (miles de US\$)	Cantidad (toneladas)	Precio Promedio (US\$/ton)
México	11.933	4.973	2.4
Brasil	6.731	3.178	2.118
Argentina	4.593	2.531	1.815
Venezuela	3.289	2.215	1.485
Chile	1.902	1.403	1.356
Perú	1.629	1.046	1.557
Colombia	1.201	935	1.284
Ecuador	615	393	1.565
Costa Rica	540	558	968
Panamá	251	210	1.195
Uruguay	193	152	1.27
Bolivia	186	114	1.632
Paraguay	106	76	1.395
Total	33.169	17.784	1.541

IMPORTACIONES DE CARBON ACTIVADO DE LATINOAMÉRICA -2005

País	Valor Importado (miles de US\$)	Cantidad (toneladas)	Precio Promedio (US\$/ton)
Mexico	12.278	5.142	2.388
Brasil	7.891	4.432	1.78
Argentina	6.069	3.457	1.756
Venezuela	3.872	2.47	1.568
Chile	2.162	1.272	1.7
Peru	1.838	1.153	1.594
Colombia	1.178	899	1.31
Ecuador	841	509	1.652
Costa Rica	531	347	1.53
Bolivia	450	286	1.573
Uruguay	236	205	1.151
Panamá	162	68	2.382
Paraguay	95	57	1.667
TOTAL	37.603	20.297	1.853

Fuente: ITC, Centro Internacional de Comercio, www.trademap.org

ANEXO 2

PAISES EXPORTADORES DE CARBÓN ACTIVADO AÑO 2004-2005

Países Exportadores	Año 2005			Año 2004		
	Valor (miles de US\$)	Cantidad (toneladas)	Valor Unit(US\$/ton)	Valor (miles de US\$)	Cantidad (toneladas)	Valor Unit(US\$/ton)
Mundial	480.801	425.307	3.292	505.995	238.528	2.577
China	129.338	218.355	592	117.895	-	-
EE.UU.	94.074	49.394	1.905	60.609	46.797	1.295
Japón	59.792	10.295	5.808	63.692	10.474	6.081
Filipinas	44.544	33.843	1.316	41.454	32.71	1.267
Reino Unido	36.647	17.035	2.151	32.549	14.174	2.296
Francia	32.282	28.722	1.124	28.255	21.31	1.326
Alemania	28.88	14.282	2.022	31.12	13.535	2.299
Indonesia	16.303	25.671	635	12.387	16.075	771
Italia	9.426	6.485	1.454	7.587	5.114	1.484
Austria	4.428	2.329	1.901	4.352	2.303	1.89
Canadá	3.536	713	4.959	2.925	541	5.407
México	2.874	2.466	1.165	3.53	5.76	613
Suecia	2.757	2.275	1.212	2.588	2.281	1.135
Australia	2.472	7.003	353	2.742	4.389	625
Grecia	2.394	415	5.769	3.068	496	6.185
Hong Kong	2.197	2.539	865	2.107	2.399	878
Sud África	2.022	992	2.038	1.224	657	1.863
Fed. Rusa	1.925	1.007	1.912	1.633	869	1.879
Suiza	1.285	490	2.622	979	294	3.33
Singapur	1.282	524	2.447	490	308	1.591
Corea del Sur	1.147	135	8.496	1.643	566	2.903
Dinamarca	912	48	19	956	80	11.95
Finlandia	167	29	5.759	187	23	8.13
Croacia	72	252	286	20	239	84
Irlanda	39	5	7.8	-	-	-
Nva. Zelanda	6	3	2	4	1	4
Estonia	-	-	-	48	15	3.2
Luxemburgo	-	-	-	48	12	4
Holanda	-	-	-	24.487	10.134	2.416
Sri Lanka	-	-	-	17.02	16.578	1.027
Malasia	-	-	-	12.644	15.87	797
India	-	-	-	8.146	9.689	841
Tailandia	-	-	-	7.532	-	-
Vietnam	-	-	-	1.86	-	-
Brasil	-	-	-	1.843	2.85	647
Taiwán	-	-	-	1.594	746	2.137
Polonia	-	-	-	857	1.239	692

Fuente: ITC, Centro Internacional de Comercio, www.trademap.org

ANEXO 3

EQUIVALENCIAS ENTRE LOS TIPOS DE MALLAS Y ABERTURAS

EQUIVALENCIAS			ABERTURAS	
<i>Alt Sieve ASTM</i>	<i>Standard</i>	<i>Tyler (mesh)</i>	<i>mm</i>	<i>pulg</i>
16	1180 mm	14	1,18	0,0469
20	850 mm	20	0,841	0,0331
30	600 mm	28	0,6	0,0234
40	425 mm	35	0,425	0,0165
45	355 mm	42	0,353	0,0172
50	300 mm	48	0,297	0,0117
60	250 mm	60	0,25	0,0122
70	212 mm	65	0,21	0,0083
80	180 mm	80	0,177	0,0086
100	150 mm	100	0,149	0,0059
140	106 mm	150	0,105	0,0041
200	75 mm	200	0,074	0,0029

mm :micrómetros; 1 mesh = # aberturas/pulgada lineal (25,39 mm)

Fuente: Series US Sieve y equivalencias Tyler. Canadian Government Specification Board Pt. 8-GP-1d-Dec, citado por Gonzales 2009.

ANEXO 4

CUADRO DE RESULTADOS PROMEDIO

ESPECIE	TIEMPO (min)	GRANO	CODIGO	CH %	MV %	Cenizas %	CF %	Adsorción %	pH	Densidad Aparente (g/m ³)
Shapaja	90	+16	S1	2,05	11,21	8,60	80,19	39,95	4,80	0,56
		-16/+100	S2	1,03	12,36	13,45	74,19	38,62	3,97	0,52
		-100	S3	1,39	14,32	17,33	68,35	35,66	4,19	0,43
	120	16	S4	1,20	14,78	8,26	76,97	37,00	5,14	0,56
		-16/+100	S5	1,01	14,41	12,16	73,43	37,51	4,33	0,57
		-100	S6	1,03	15,78	18,38	65,84	38,20	5,11	0,40
Aguaje	90	+16	A1	1,66	11,48	10,61	77,91	42,58	5,22	0,32
		-16/+100	A2	2,06	12,19	8,25	79,56	38,20	4,30	0,35
		-100	A3	1,91	12,77	5,91	81,32	43,42	4,50	0,45
	120	+16	A4	0,47	9,90	7,19	82,92	80,34	5,99	0,34
		-16/+100	A5	0,59	11,12	7,60	81,28	85,74	4,13	0,37
		-100	A6	0,53	11,72	6,28	82,00	81,91	4,42	0,47

ANEXO 5

ANALISIS DE VARIANZA PARA EL %CH

R-Square	Coeff Var	Root MSE	CH Mean		
0.894445	20.70056	0.288083	1.391667		
Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
E	1	0.86640000	0.86640000	10.44	0.0072**
T	1	2.01840000	2.01840000	24.32	0.0003 **
G	2	0.07523333	0.03761667	0.45	0.6460 ns
E*T	1	3.52666667	3.52666667	42.49	<.0001 **
E*G	2	0.28210000	0.14105000	1.70	0.2239 ns
T*G	2	0.59410000	0.29705000	3.58	0.0604 ns
E*T*G	2	1.07613333	0.53806667	6.48	0.0123 *

ANALISIS DE VARIANZA PARA EL %MV

R-Square	Coeff Var	Root MSE	MV Mean		
0.745950	11.08654	1.404665	12.67000		
Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
E	1	31.19040000	31.19040000	15.81	0.0018 **
T	1	1.88160000	1.88160000	0.95	0.3481 ns
G	2	13.37440000	6.68720000	3.39	0.0681 ns
E*T	1	19.36806667	19.36806667	9.82	0.0086 **
E*G	2	1.15750000	0.57875000	0.29	0.7510 ns
T*G	2	0.63880000	0.31940000	0.16	0.8524 ns
E*T*G	2	1.91043333	0.95521667	0.48	0.6278 ns

INTERPRETACION

** Variable de alta significación (1 % error)

* Significativa (5 % error)

ns No significativa

ANEXO 6

ANALISIS DE VARIANZA PARA EL %CENIZAS

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Cenizas Mean		
0.899159	18.32231	1.893534	10.33458		
Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
E	1	174.1509375	174.1509375	48.57	<.0001 **
T	1	3.0459375	3.0459375	0.85	0.3748 ns
G	2	43.8024083	21.9012042	6.11	0.0148 *
E*T	1	1.6380375	1.6380375	0.46	0.5119 ns
E*G	2	150.5443750	75.2721875	20.99	0.0001 **
T*G	2	6.8864250	3.4432125	0.96	0.4103 ns
E*T*G	2	3.5754250	1.7877125	0.50	0.6194 ns

ANALISIS DE VARIANZA PARA EL %CF

R-Square	Coeff Var	Root MSE	CF Mean		
0.863468	3.855704	2.968748	76.99625		
Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
E	1	352.8967042	352.8967042	40.04	<.0001 **
T	1	0.1335042	0.1335042	0.02	0.9041 ns
G	2	104.8185750	52.4092875	5.95	0.0160 *
E*T	1	32.1785042	32.1785042	3.65	0.0802 ns
E*G	2	165.4343083	82.7171542	9.39	0.0035 **
T*G	2	3.5716583	1.7858292	0.20	0.8193 ns
E*T*G	2	9.8317583	4.9158792	0.56	0.5866 ns

INTERPRETACION

- **** Variable de alta significación (1 % error)
- *** Significativa (5 % error)
- ns** No significativa

ANEXO 7

ANALISIS DE VARIANZA PARA EL % ADSORCIÓN

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Adsorcion Mean		
0.999885	0.577899	0.288531	49.92750		
Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
E	1	3515.292150	3515.292150	42225.7	<.0001 **
T	1	2491.251267	2491.251267	29924.9	<.0001 **
G	2	0.211825	0.105912	1.27	0.3154 ns
E*T	1	2617.517067	2617.517067	31441.6	<.0001 **
E*G	2	7.823275	3.911638	46.99	<.0001 **
T*G	2	33.813508	16.906754	203.08	<.0001 **
E*T*G	2	41.067358	20.533679	246.65	<.0001 **

ANALISIS DE VARIANZA PARA EL PH

R-Square	Coeff Var	Root MSE	PotHidrog Mean		
0.656723	12.36422	0.577718	4.672500		
Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
E	1	0.17001667	0.17001667	0.51	0.4890 ns
T	1	0.76326667	0.76326667	2.29	0.1564 ns
G	2	5.06437500	2.53218750	7.59	0.0074 **
E*T	1	0.20166667	0.20166667	0.60	0.4520 ns
E*G	2	0.70700833	0.35350417	1.06	0.3770 ns
T*G	2	0.22690833	0.11345417	0.34	0.7185 ns
E*T*G	2	0.52890833	0.26445417	0.79	0.4751 ns

INTERPRETACION

- **** Variable de alta significación (1 % error)
- *** Significativa (5 % error)
- ns** No significativa

ANEXO 8

ANALISIS DE VARIANZA PARA LA DENSIDAD APARENTE

R-Square	Coef Var	Root MSE	D.A Mean
0.989611	2.851269	0.012748	0.447083

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F	
E	1	0.09500417	0.09500417	584.64	<.0001	**
T	1	0.00120417	0.00120417	7.41	0.0185	*
G	2	0.00125833	0.00062917	3.87	0.0504	ns
E*T	1	0.00010417	0.00010417	0.64	0.4389	ns
E*G	2	0.08475833	0.04237917	260.79	<.0001	**
T*G	2	0.00135833	0.00067917	4.18	0.0419	*
E*T*G	2	0.00205833	0.00102917	6.33	0.0133	*

INTERPRETACION

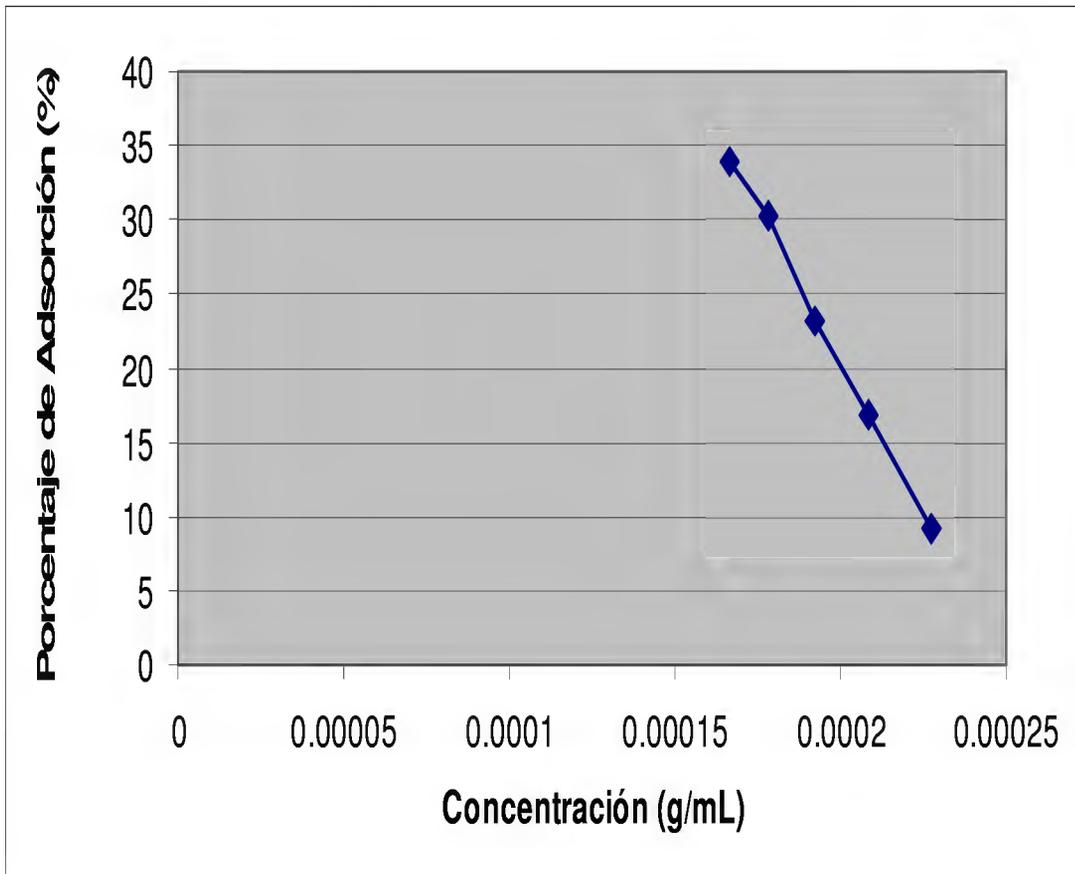
****** Variable de alta significación (1 % error)

***** Significativa (5 % error)

ns No significativa

ANEXO 9

CURVA DE CORRECIÓN DEL AZUL DE METILENO



ANEXO 10

**NMX-F-295-1981. ALIMENTOS PARA USO HUMANO. AZÚCAR.
DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE CARBONES ACTIVADOS EMPLEADOS
EN LA REFINACIÓN DE AZÚCAR. FOODS FOR HUMAN USE. NORMAS
MEXICANAS. DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS.**

PREFACIO

En la elaboración de la presente Norma, participaron los siguientes Organismos:

- Subdirección de la Industria Azucarera
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público
- Laboratorio Central
- Dirección de Servicios al Contribuyente
- Secretaría de Salubridad y Asistencia
- Dirección General de Control de Alimentos, Bebidas y Medicamentos.
- Clarifiltrantes Mexicanos, S.A.
- Polifos, S.A. de C.V.
- Calgon-Proveedores Técnicos, S.A. de C.V.

1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta Norma Mexicana establece las especificaciones que debe cumplir los carbones Activados de cualquier origen empleados en la refinación de azúcar.

2. REFERENCIAS

Esta Norma se complementa con las siguientes Normas Mexicanas vigentes:

- NMX-F-282. Determinación de la densidad aparente en muestras de carbones activados empleados en la refinación de azúcar.
- NMX-F-283. Determinación de pH en muestras de carbones activados empleados en la refinación de azúcar.
- NMX-F-284. Determinación del contenido total de cenizas en muestras de carbones activados empleados en la refinación de azúcar.
- NMX-F-287. Determinación de la granulometría en muestras de carbones activados empleados en la refinación de azúcar.
- NMX-F-299. Determinación del índice de decoloración de soluciones de azúcar crudo en muestras de carbones activados empleados en la refinación de azúcar.
- NMX-F-296. Determinación del número de yodo en muestras de carbones activados empleados en la refinación de azúcar.
- NMX-F-301. Determinación de la adsorción de azul de metileno en muestras de carbones activados empleados en la refinación de azúcar.

RECOPIADO POR: EL PROGRAMA UNIVERSITARIO DE ALIMENTOS

3. DEFINICIONES

Para los efectos de esta Norma se establecen las siguientes definiciones:

3.1 Calidad:

Es el conjunto de especificaciones que acompañan a un producto

3.2 Carbón activado:

Tipo de carbón que se prepara por distintos métodos, los cuales le imparten un aumento de porosidad y por consecuencia mayor poder de adsorción derivado de su superficie de contacto y de la interacción entre adsorbente y adsorbato.

4. FUNDAMENTO

Se basa en el establecimiento de los límites de los valores de las especificaciones de los carbones activados, necesarios para producir un licor de las especificaciones requeridas.

5. CLASIFICACIÓN

El producto objeto de esta Norma se clasifica de acuerdo al tamaño de sus partículas en dos tipos y un sólo grado de calidad.

Tipo I. Carbones activados pulverizados

Tipo II. Carbones activados granulares

6. ESPECIFICACIONES

Los carbones activados empleados en la refinación de azúcar en sus dos tipos y un sólo grado de calidad deben cumplir con las siguientes especificaciones:

6.1 Carbones activados pulverizados

6.1.1 Apariencia	Polvo negro
6.1.2 pH	6.0 a 8.5
6.1.3 Contenido de humedad %	máxima 12.0 al envasar
6.1.4 Densidad aparente g/cm ³	máxima 0.4
6.1.5 Contenido total de cenizas %	máxima 12.0
6.1.6 Tamaño de partículas %	mínimo 95.0 NOM-80 M (200 U.S.)

6.2 Carbones activados granulares

6.2.1 pH	5.5 a 8.0
6.2.2 Contenido de humedad %	12.0 al envasar.
6.2.3 Densidad aparente g/cm ³	máximo 0.46
6.2.4 Contenido total de cenizas %	máximo 12.5