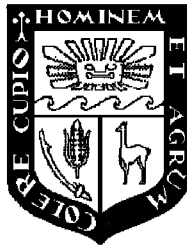


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

Facultad de Ciencias Forestales



**Obtención y evaluación de carbón
activado del endocarpo de castaña
(*Bertholletia excelsa*) procedente de
plantación y de bosque natural,
empleando un método químico**

Tesis para optar el Título de
INGENIERO FORESTAL

Sheena Yuliana Sangay Tucto

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. SHEENA YULIANA SANGAY TUCTO, intitulado "OBTENCIÓN Y EVALUACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO DEL ENDOCARPO DE CASTAÑA (BERTHOLLETIA EXCELSA) PROCEDENTE DE PLANTACIÓN Y DE BOSQUE NATURAL, EMPLEANDO UN MÉTODO QUÍMICO".

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, 12 de abril del 2010

.....
Ing. Leonidas Miguel Castro
Presidente

.....
Mg. Sc. Graciela Egoavil Cueva
Gálvez

.....
Ing. Martín Araujo Vargas
Miembro

Miembro

.....
Dr. Enrique Gonzáles Mora
Patrocinador

.....
Ing. Pedro Carrasco Pérez
Copatrocinador

RESUMEN

En el presente estudio se evaluó el carbón activado obtenido a partir del endocarpo de *Bertholletia excelsa* procedente de plantación y de bosque natural empleando un método químico (H_3PO_4).

Se estudió la influencia de los factores de proceso, como son: la concentración del agente activante, la granulometría y la procedencia de las muestras realizando un arreglo factorial ($2 \times 2 \times 3$) bajo un diseño de Bloques completamente al azar en base a las siguientes variables: contenido de humedad (%), material volátil (%), cenizas totales (%), carbono fijo (%), pH, densidad aparente (g/cm^3).

Se evaluó la capacidad de adsorción de los carbones activos obtenidos, mediante la prueba de azul de metileno. El carbón activo con mayor poder de adsorción y por consiguiente con una mayor área superficial fue el procedente de Bosque nativo (Madre de Dios), a 60% de concentración de agente activante empleando la menor abertura de tamiz (- 100, que incluye granos de diámetros menores a 0,15 mm). Este carbón presentó las siguientes propiedades físico - químicas: contenido de humedad 8,08%; material volátil 30,2%; contenido de cenizas 8,70%; carbono fijo 61,1%; potencial de hidrógeno 3,78 y densidad aparente 0,418 g/cm^3 .

Según los resultados obtenidos en este trabajo se puede indicar que a partir del endocarpo del fruto de la castaña (*Bertholletia excelsa*) es posible obtener un carbón activado de buena calidad, constituyendo una materia prima potencial para ser aprovechada con fines industriales.

ÍNDICE

| | Página |
|--|-------------|
| DEDICATORIA | III |
| AGRADECIMIENTOS | IV |
| RESUMEN | V |
| ÍNDICE | VI |
| LISTA DE CUADROS | VIII |
| LISTA DE FIGURAS | IX |
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2. REVISIÓN DE LITERATURA | 3 |
| 2.1 MATERIA PRIMA: CASTAÑA (BERTHOLLETIA EXCELSA H.B.K) | 3 |
| 2.1.1 DENDROLOGÍA..... | 3 |
| 2.1.2 ECOLOGÍA Y DISTRIBUCIÓN | 4 |
| 2.1.3 SILVICULTURA | 5 |
| 2.1.4 APROVECHAMIENTO | 9 |
| 2.2 MATERIA PRIMA: FRUTO (ENDOCARPO) DE CASTAÑA..... | 11 |
| 2.2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES | 11 |
| 2.2.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA | 12 |
| 2.2.3 UTILIZACIÓN DEL FRUTO | 12 |
| 2.2.4 RESIDUOS..... | 14 |
| 2.2.5 DISPONIBILIDAD DEL ENDOCARPO DE CASTAÑA..... | 15 |
| 2.2.6 MERCADO | 15 |
| 2.3 CARBÓN ACTIVADO..... | 17 |
| 2.3.1 DEFINICIÓN | 17 |
| 2.3.2 PROPIEDADES | 17 |
| 2.3.3 ADSORCIÓN..... | 18 |
| 2.3.4 MÉTODOS DE OBTENCIÓN | 19 |
| 2.3.4.2 Método de Activación física..... | 20 |
| 2.3.5 TIPOS DE POROS EN EL CARBÓN ACTIVADO..... | 21 |
| 2.3.6 CLASIFICACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO..... | 21 |
| 2.3.7 APLICACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO | 22 |
| 2.3.8 EXPORTACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO | 24 |
| 2.3.9 ANTECEDENTES DE PRODUCCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO CON DESECHOS VEGETALES | 25 |
| 2.3.9.1.- DEL PROCESO DE ACTIVACIÓN | 25 |
| 3. MATERIALES Y MÉTODOS | 27 |
| 3.1 LUGAR | 27 |
| 3.1.1 Lugar de colección | 27 |
| 3.1.2 LUGAR DE ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO..... | 28 |
| 3.2 MATERIALES..... | 29 |
| 3.2.1 Materia Prima..... | 29 |
| 3.2.2 MATERIALES DE LABORATORIO | 29 |
| 3.2.3 EQUIPOS..... | 30 |
| 3.2.4 REACTIVOS QUÍMICOS | 30 |
| 3.3 METODOLOGÍA..... | 31 |
| 3.3.1 Acondicionamiento de materia prima..... | 31 |
| 3.3.2 IMPREGNACIÓN CON SOLUCIÓN DE ÁCIDO FOSFÓRICO | 31 |
| 3.3.3 CARBONIZACIÓN – ACTIVACIÓN | 32 |

| | |
|---|-------------|
| 3.3.4 MOLIENDA Y CLASIFICACIÓN..... | 32 |
| 3.3.5 ENVASADO..... | 32 |
| 3.3.6 LAVADO Y FILTRADO..... | 32 |
| 3.3.7. SECADO..... | 33 |
| 3.3.8 EVALUACIONES..... | 34 |
| 3.4 DISEÑO EXPERIMENTAL..... | 35 |
| 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 37 |
| 4.1 MATERIA PRIMA..... | 37 |
| 4.1.1 <i>Composición química</i> | 37 |
| 4.2 CARBÓN ACTIVADO..... | 38 |
| 4.2.1 CONTENIDO DE HUMEDAD..... | 38 |
| 4.2.2 CONTENIDO DE MATERIAL VOLÁTIL..... | 39 |
| 4.2.3 CONTENIDO DE CENIZAS TOTALES..... | 41 |
| 4.2.4 CONTENIDO DE CARBONO FIJO..... | 43 |
| 4.2.5 CONTENIDO DE PH..... | 45 |
| 4.2.6 DENSIDAD APARENTE..... | 47 |
| 4.2.7 RENDIMIENTO DE CARBÓN ACTIVADO..... | 49 |
| 4.2.8 CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE AZUL DE METILENO (Ads)..... | 50 |
| 4.2.9 COMPARACIÓN CON LOS CARBONES ACTIVADOS COMERCIALES..... | 53 |
| 5. CONCLUSIONES..... | 56 |
| 6. RECOMENDACIONES..... | I |
| 7. BIBLIOGRAFÍA..... | II |
| 8. ANEXOS..... | X |
| ANEXO 1..... | X |
| ANEXO 2..... | XI |
| ANEXO 3..... | XI |
| ANÁLISIS DE VARIANCIA PARA EL PH Y DENSIDAD APARENTE..... | XI |
| ANEXO 4..... | XII |
| RENDIMIENTO DEL ENDOCARPO DE CASTAÑA EN LA OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO, SEGÚN PROCEDENCIA Y CONCENTRACIÓN DEL AGENTE ACTIVANTE..... | XII |
| ANEXO 5..... | XII |
| ANÁLISIS DE VARIANCIA PARA LA ADSORCIÓN DE AZUL DE METILENO..... | XII |
| ANEXO 6..... | XIII |
| ANEXO 7..... | XIII |
| ANEXO 8..... | 2 |

Lista de cuadros

| | Página |
|--|--------|
| Cuadro N° 1: Rendimiento del fruto de castaña, a endocarpo..... | 15 |
| Cuadro N° 2 Diseño experimental de los tratamientos empleados para la elaboración de Carbón activado, por el método químico. | 36 |
| Cuadro 03: La prueba de Tukey para los factores: Lugar de procedencia de la especie y Granulometría entre la variable Contenido de Humedad..... | 39 |
| Cuadro 04: La prueba de Tukey para los factores: Lugar de procedencia de la especie, Concentración del agente activante y Granulometría entre la variable Material Volátil. | 41 |
| Cuadro 05: La prueba de Tukey para los factores: Lugar de procedencia de la especie, Concentración del agente activante y Granulometría entre la variable Contenido de Cenizas Totales..... | 43 |
| Cuadro 06: La prueba de Tukey para los factores: Lugar de procedencia de la especie, Concentración del agente activante y Granulometría entre la variable Contenido de Carbono Fijo..... | 45 |
| Cuadro 07: La prueba de Tukey para los factores: Lugar de procedencia de la especie, Concentración del agente activante y Granulometría entre la variable pH..... | 47 |
| Cuadro 08: La prueba de Tukey para los factores: Lugar de procedencia de la especie, Concentración del agente activante y Granulometría entre la variable Densidad Aparente..... | 49 |
| Cuadro 09: Rendimiento de Carbón activado..... | 50 |
| Cuadro 10: La prueba de Tukey para los factores: Lugar de procedencia de la especie, Concentración del agente activante y Granulometría entre la variable Adsorción de metileno..... | 53 |
| Cuadro 11: Requisitos de calidad de los Carbones activados utilizados en la industria alimenticia y Resultados de caracterización físico-química del carbón activado del Endocarpo de castaña..... | 54 |

Lista de figuras

| | Página |
|--|----------|
| Figura N° 1 Bertholletia excelsa: 1) y 4) Opérculos rudimentarios;..... | 11 |
| 2) Almendra y 3) Frutos, entero y abierto. | 11 |
| Figura N° 2 Distribución de las exportaciones de castaña según países (Bolivia, Brasil, Perú, otros)..... | 16 16 |
| Figura N° 03. Tipos de poros en el carbón activado..... | 21 |
| Figura N° 04. Perú. Exportación de Carbón activado para el periodo 2004- 2008..... | 24 |
| Fig. N° 5. Ubicación de la Zona de Tamshiyacu (Loreto) y el Sector Planchón (Madre de Dios) | 27 27 |
| Fig. 6 Diagrama de flujo para la obtención de Carbón activado a partir de cáscaras de castaña | 33 33 |
| Fig. 7 Composición Química del endocarpo del fruto de ca taña | 37 |
| Fig. 08. Relación entre la concentración con el Grado de Adsorción..... | 51 |
| Fig. 09. Relación entre la procedencia con el Grado de Adsorción..... | 51 |
| Fig. 10. Relación entre la granulometría con el Grado de Adsorción..... | 52 |
| Fig. 11. Relación entre la interacción procedencia – concentración con el Grado de Adsorción | 52 52 |

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente la demanda nacional estimada de carbón activado en el país es alrededor de 5500 toneladas/año (promedio 2003-2007), estimándose que existe una demanda insatisfecha, proveniente principalmente del consumo en muchas industrias (alimentaria, química, metalúrgica, etc.) y otras actividades económicas. El carbón activado es utilizado en procesos como: purificación de grasas, desintoxicaciones, decoloración de licores, potabilización de aguas, etc.

El Perú cuenta con una gran variedad de recurso vegetales que constituyen una fuente potencial de materia prima para la producción del carbón activado; de los cuales, se podrían utilizar residuos vegetales provenientes de otras actividades económicas; así se tiene el caso de las actividades forestales (aprovechamiento de productos y la industria forestal) donde se genera desechos, como el aserrín de madera, ramas, hojas, corteza y también residuos de productos forestales no maderables; como cáscara de frutos.

Una actividad forestal importante en el país es el aprovechamiento de castaña; la producción anual en la región de Madre de Dios, fue de 5096 t, (INRENA, 2007), mientras que la producción anual de la castaña cultivada, de la región Loreto, fue aproximadamente 30 t, (Carrasco, 2009). Cabe agregar que la producción de castaña, de Madre de Dios proviene de bosques nativos en Tahuamanu, la castaña de la región Loreto proviene de plantaciones de la zona de Tamshiyacu (WWF, 2005). En árboles de bosque nativo, alcanzan una altura de 30 a 50 m, mientras que los árboles provenientes de plantaciones presentan menor altura, 20 a 25 m, aunque fructifican desde los 4-5 años, (Mendoza, 1988). Los frutos de árboles plantados son más pequeños y con menor porcentaje de semilla (Corvera, 2009).

Una vez cosechado el fruto de castaña, se aprovechan las semillas, quedando como residuo el endocarpo, que no se utiliza, y que constituye el 75% de todo el fruto (Salhuana, 1973). Este residuo de castaña representa una cantidad importante de

materia prima para la producción de carbón activado; tradicionalmente, las cáscaras de castaña son empleadas como combustible y/o artesanía, (Flores, 1997).

El presente estudio tuvo por finalidad determinar la aptitud de la cáscara de castaña, proveniente de plantaciones y de bosque nativo, evaluando el comportamiento y propiedades del producto obtenido, carbón activado, empleando el método químico, con ácido fosfórico. De esta manera, se espera contribuir con la información existente en la transformación de productos forestales, en este caso, el aprovechamiento del residuo, como es el endocarpo de castaña.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 MATERIA PRIMA: CASTAÑA (*BERTHOLLETIA EXCELSA* H.B.K)

2.1.1 DENDROLOGÍA

2.1.1.1 Características Botánicas

La descripción botánica del árbol de Castaña es la siguiente, (Villachica, 1996):

Tipo : Fanerógamas
Sub tipo : Angiospermas
Clase : Dicotiledóneas
Orden : Mirtales
Familia : Lecitidáceas
Género : *Bertholletia*
Especie : *Excelsa* H.B.K

Nombre científico: *Bertholletia excelsa* H.B.K

Entre los nombres comunes utilizados, se mencionan los siguientes, teniendo en cuenta su lugar de origen, (Flores, 1997):

Español : "Castaña", "Castaña del Brasil", "Nuez del Brasil".

Portugués: "Castanheira", "Castanha-do-Brasil", "Castanha do Pará".

Cabe mencionar, que dentro del nombre "Castaña de Pará", se mencionan los frutos de varias especies de las cuales la *Bertholletia excelsa* es la más importante, seguido de *Lecytis usitata*, (Salhuana, 1973).

2.1.1.2 Descripción Botánica

En estado nativo, el árbol de castaña presenta grandes dimensiones, de 30 a 50 m de altura y diámetro de copa de 10 a 20 m. El fuste es recto, cilíndrico, desprovisto de ramas y con un DAP de 1 a 2,5 m, (Flores, 1997); aunque se reporta también diámetros de hasta 3 m y también se mencionan diámetros excepcionales de 4 a 5 metros, en caso de bosques nativos en Bolivia, (Zudeima, 2003); corteza externa fisurada y de color pardo grisáceo, (Flores, 1997). Sus flores son grandes, cerca de 3cm. de diámetro, y de consistencia carnosa, poseen una capucha doblada que permite a los polinizadores ingresar a la flor. Las inflorescencias son racimos con varias flores, llamadas panículas, (Cornejo, 2002).

El fruto es una cápsula de tipo pixidio incompleto casi esférico e indehiscente y se diferencia de la castaña europea por ser más pequeño y más azucarado. Presenta una abertura en la parte opuesta a su inserción con el pedúnculo, la cual constituye la puerta de entrada a los factores adversos como lluvia, insectos, etc., (Salhuana, 1973). El árbol presenta un sistema radicular bien ramificado, con un eje formado por una raíz pivotante, vigorosa y profunda, (Arata, 1993).

2.1.2 ECOLOGÍA Y DISTRIBUCIÓN

La castaña amazónica crece en regiones tropicales de manera silvestre. Es una especie nativa endémica de los bosques altos en las zonas inundables de la amazonía brasileña, boliviana y peruana, (Villachica, 1996).

Las áreas de dispersión natural de la especie presentan una temperatura media anual de 24 a 27° C, con valores máximos de 30 y 33°C y mínimos de 20 y 24 °C. La precipitación total anual varía entre 1400 a 2800 mm, con ocurrencia, en

determinadas áreas, de periodos de hasta seis meses con precipitaciones mensuales inferiores a 100 mm, (Moritz, 1984).

La castaña se desarrolla bien en áreas de tierra firme, no soportando tierras encharcadas. En las áreas de castaños nativos, los suelos son arcillosos o arcillo-arenosos, (Müller, 1981).

Las flores de castaña son polinizadas por insectos, abejas de los géneros *Bombus*, *Centris*, *Epicharis*, *Eulaema* y *Xylocopa*; las abejas son atraídas por orquídeas, (Moritz, 1984). En la amazonía baja, la floración empieza desde agosto y se extiende hasta febrero. El pico de floración comprende los meses de octubre, noviembre y diciembre, (Flores, 1997). Los frutos son dispersados por un roedor, el añuje (*Dasyprocta* spp.), que luego de abrir el fruto, logran diseminar las semillas hasta 50m de distancia del árbol madre; esta especie requiere claros de luz para una buena regeneración, (Prance & Mori, 1990).

La distribución natural de la castaña abarca territorios de Venezuela, Guyanas, Colombia, Perú, Brasil y Bolivia, (Moritz, 1984). En el Perú se encuentra en Selva Baja, en el Departamento de Madre de Dios en estado natural y cultivado, asimismo en los departamentos de Loreto y Ucayali pero sólo en estado cultivado, (Flores, 1997).

2.1.3 SILVICULTURA

2.1.3.1 Bosque nativo

La castaña, al estado natural, proviene de semillas que germinan después de 12 a 18 meses. En el terreno es una planta de crecimiento lento, con un periodo juvenil de 10 a 12 años, la fructificación se inicia entre 12 y 16 años; con un buen manejo en espacios abiertos, puede reducirse a 8 años. La máxima producción se obtiene después de los 25 años, (Flores, 1997).

La zona de mayor población de castaña silvestre, abarca las provincias de Tambopata y Tahuamanú, departamento de Madre de Dios. Se estima que la superficie ocupada por esta especie, es de aproximadamente 1600 000 ha. con un promedio estimado entre 3 a 4 árboles por hectárea, lo que daría un aproximado de 6400 000 árboles en producción en el mejor de los casos, (Cuculiza, 1991; Wust, 1992; Arata, 1993).

2.1.3.2 Plantaciones

La castaña puede ser propagada por semillas, por injerto y por cultivo de embriones inmaduros, siendo la propagación por semilla botánica, el método más generalizado, (Flores, 1997).

La plantación en campo definitivo debe realizarse al inicio del periodo lluvioso. Las plantas que provienen de almácigos y viveros, inician su fructificación entre 8 a 9 años, mientras que las plantas injertadas fructifican a los 6 años, y excepcionalmente a los 3,5 años, las cuales se aplican en plantaciones comerciales, orientadas a la producción de frutos. El índice óptimo de prendimiento es de aproximadamente del 90%, si se realiza cuando la planta alcanza 1,5 a 2 m de altura, (Flores, 1997).

La distribución de las plantas en el terreno depende del aprovechamiento del área y de la finalidad de la plantación. Cuando la orientación de la producción es frutos, los espaciamientos en plantas francas son de 10 x 10 m en sistema al tres bolillo, posibilitando una densidad de 115 plantas/ha. Si las plantas son injertadas, los espaciamientos son de 8 x 8 m y 8 x 10 m, (Flores, 1997).

En caso de plantaciones puras, orientadas a la producción de madera, emplea distanciamientos cortos de 4 x 4m, las plantas no necesitan ser injertadas, (Flores, 1997).

En sistemas sucesionales multiestrata, se asocia con cultivos anuales yuca (*Manihot esculenta*), plátano (*Musa sp*), piña (*Ananas comosus*); con cultivos perennes y semiperennes, marañón (*Anacardium occidentale*), uvilla (*Pourouma cecropiifolia*), pijuayo (*Bactris gasipaes*), umarí (*Poraqueiba sericea*), cedro (*Cedrela odorata*), tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*), huayruro (*Ormosia coccinea*), shimbillo (*Inga sp*). La castaña espaciada de 24 x 24 m tiene crecimiento rápido, a los diez años alcanza una altura de 14 a 22 m y de 19 a 31cm de DAP, (Flores, 1997).

Los principales factores que impiden el óptimo desarrollo de las plantaciones son; los cambios bruscos de temperatura que afecta la fructificación, el efecto de quema y/o tala para incorporar tierras de cultivo, o para la apertura de nuevos caminos, (INIA, 1987).

2.1.3.2.1 Plantaciones en Brasil

Actualmente existe un castaño experimental perteneciente al Instituto de Pesquisa Agropecuária do Norte IPEAN en Belém, con cerca de 25 años y pocos árboles productores, mientras la Estación experimental de Porto Velho, contaba con castaños injertados que produjeron a los 6 años; (Müller, 1981). Por otro lado, la Rede Brasileira Agroflorestral, promocionó una nueva variedad de castaño, llamada Castanha precoce que fructifica en sólo 2 años y medio, con un porte bastante reducido y cuyo uso se incluiría en programas de reforestación con similares beneficios que la castaña silvestre, (REBRAF, 1991).

En la zona de Itacoatiara, cerca de Manaus, un industrial brasileño inició en 1985 una plantación de castaña injertada, en zonas de tierras abandonadas y empuradas de pastizales abandonados, (Siamazonia, 2009). El número de individuos registrados al año 1990, ascendió a 318 660 del cual se proyectó, a los 12 años posteriores, un rendimiento de 4,8 kg/árbol y \$480 /ha. Mientras que a los 18 años, un rendimiento de 8,5 kg/árbol y \$850 /ha, (Mori, 1992).

En algunas plantaciones de castaña en Brasil, se ha comprobado que los árboles crecen a menor altura que los nativos y fructifican desde aproximadamente los 4-5 años, presentando ramas y fructificación a menor altura, probablemente a causa de que los árboles cultivados no tienen la competencia de otras plantas como ocurre en la selva, (Mendoza, 1988).

2.1.3.2.2 Plantaciones en Perú

El proyecto INRENA-ITTO “Repoblamiento forestal con especies tropicales valiosas en sistemas agroforestales en la provincia de Tambopata”, ejecutado desde mayo de 1996 hasta abril de 1999, promovió la reforestación con castaña, para amortiguar la creciente caída de árboles productivos y ante el incremento de la colonización y ocupación de áreas para realizar agricultura migratoria, (Comité Técnico Multisectorial de la Castaña, 2006).

El Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP), entre 1987 y 1995, desarrolló entre sus líneas de investigación la agroforestería, teniendo como componente principal la castaña asociada con frutales nativos y exóticos, tales como pastos leguminosos, pacaé, mango, marañón, palta, coco y pijuayo. En el año 2000 se estudió sistemas agroforestales asociados de castaña-caoba y castaña-pasto brizanta, (Cuculiza, 1999).

Los niveles de deforestación actual, abarcan 141 885 ha del territorio de Madre de Dios, y considerando la gran potencialidad de estas áreas para el establecimiento de sistemas agroforestales con *Bertholletia excelsa*, se sugiere que 49 496 ha (35% del área deforestada) poseen características aptas, 53 790 ha (38%) medianamente aptas y 38 599 ha (27%) no son aptas, (Corvera y Suri, 2006).

Además, se conoce la existencia de un modelo de castañal (*Bertholletia excelsa*) cultivado en la localidad de Tamshiyacu (Loreto), desarrollado en los últimos 40 ó 45 años, gracias a una inversión hecha en su momento oportuno, que según algunos

investigadores (Padoch et al, 1990) afirman que el 63% de los ingresos anuales de las familias de Tamshiyacu provienen de la venta de los productos de este sistema agroforestal.

Las plantaciones de castaña en Tamshiyacu, de donde se colectaron los frutos de castaña, del primer grupo, para el presente estudio, son de densidad irregular existiendo en promedio entre 20 y 30 árboles por hectárea, sembradas a una distancia de 15 x 15 m, de un área total promedio de 5 hectáreas. Actualmente, se estima que el total de árboles adultos es de aproximadamente de 300 a 500 con una producción anual de 30 t que se consumen localmente en Iquitos, no existiendo reportes de exportación. No obstante, la población local ha ido reforestando en base a la regeneración natural, en especial en la zona de Tamshiyacu colindante con Panguana, es allí en Tamshiyacu donde se pueden ubicar la mayor cantidad de árboles de toda la zona, (Carrasco, 2009).

2.1.3.2.3. Plantaciones en Bolivia

En Bolivia no existen plantaciones planificadas de castaña, por ello la producción proviene de árboles silvestres, (Ghezan et al, 1997). La producción de castaña en plantaciones en Bolivia, por el momento no parece rentable o por lo menos pasarán algunos años antes que se pueda conocer resultados significativos acerca de los rendimientos de castaña en plantación. Es decir, en el corto plazo la exportación de castaña dependerá de la producción silvestre, (Nina et al, 2008).

2.1.4 APROVECHAMIENTO

El aprovechamiento de castaña se registra principalmente en Madre de Dios, entre los meses de enero a abril, constituyéndose en uno de los pocos recursos de procedencia forestal económicamente rentable con el que cuenta ese departamento.

Las actividades de recolección se efectúan en una área estimada de 16 000 km² de asociaciones boscosas naturales existentes en Madre de Dios, de las cuales aproximadamente 6 000 km² se encuentran cubiertas con poblaciones de castaña, siendo posible que existan algo de 60 millones de árboles en el área descrita, de darse el distanciamiento 10 x 10 metros cuando se trata de conglomerados para la captación de castaña, (Barriga, 1994).

El porte elevado de las plantas, particularmente en los castañales nativos, como es el caso de Madre de Dios, no permite que los frutos sean cosechados directamente de la planta, existiendo el riesgo que sean colectados inmaduros, (Flores, 1997); es por ello que, los frutos son colectados del suelo, después de desprenderse naturalmente del árbol (Lazarte, 1998), sin sufrir un daño mayor por el impacto de la caída al estar completamente cerrados, (Peres & Baider 1997).

El acopio de los frutos se realiza luego de la limpieza de los caminos de extracción, y consiste en juntarlos en un solo lugar utilizando canasta y payana, o directamente con las manos, (Smith et al, 1992).

La operación de quiebra de los cocos, para extraer las semillas, se inicia solamente después que se ha juntado un número suficiente de frutos, (Flores, 1997). Esta operación se efectúa en el mismo castañal, con ayuda de un "machete". Los operarios hábiles consiguen abrir el fruto con un solo golpe, (Lazarte, 1998).

Generalmente, la planta en un año da una buena producción y al año siguiente su producción es baja. Una buena producción se considera de 300 a 400 frutos por planta y, una producción pobre cuando esta alcanza a 50 o menos frutos por planta. También se considerará como una buena producción cuando de un solo árbol se obtenga dos "barricas" de castaña con cáscara, equivalentes a 120 kg de producto bruto, (IIAP, 1991).

En Bolivia, cada árbol de castaña puede producir por cosecha entre 200 y 600 cocos con peso promedio de 500 gramos y cada coco contiene entre 16 y 18 almendras, con rangos que varían entre 9 y 25 almendras, (Mendoza, 1988).

2.2 MATERIA PRIMA: FRUTO (ENDOCARPO) DE CASTAÑA

2.2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

El fruto de castaña mide de 9 a 15 cm de diámetro, su peso varía de 0,5 a 2,5 kg, presenta en su interior de 10 a 25 semillas angulosas de 4 a 7 cm de longitud, con cáscara coriácea y rugosa, conteniendo en su interior una almendra blanco lechosa, recubierta por una epidermis de color marrón dispuestas simétricamente alrededor de un eje imaginario, (Flores, 1997). Cuando éste llega a su madurez se desprende del árbol por la acción de las lluvias, viento o animales. Un árbol maduro puede dar entre 200 y 400 frutos, (Salhuana, 1973). En la siguiente figura N° 1 se muestra el fruto de castaña en sección frontal y transversal, para mayor detalle.

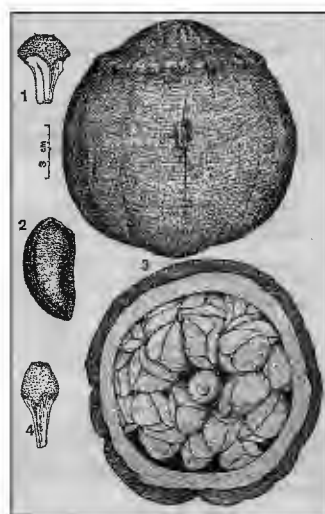


Figura N° 1 Bertholletia excelsa: 1) y 4) Opérculos rudimentarios; 2) Almendra y 3) Frutos, entero y abierto.

Fuente: Comisión Nacional de Fruticultura, 2000

2.2.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA

La composición centesimal del endocarpo de castaña está representada por:

| Componentes | Análisis del endocarpo del fruto de la "castaña" (%) |
|--------------------|---|
| Holocelulosa | 68 |
| Lignina | 21,2 |
| Cenizas | 7,68 |
| Extractivos | 0,914 |
| Sílice | 2,17 |

Fuente: Gonzales, 2004

La holocelulosa es el componente con mayor porcentaje en el endocarpo (68%), seguido de la lignina con 21%, (Gonzales, 2004). Los valores de cenizas y sílice del endocarpo del fruto de la castaña, suman 10% aproximadamente, superando altamente los valores promedios encontrados en madera de tornillo (*Cedrelinga cateniformis*), que presenta un 0,8%, (Teruya, 2003). Estos altos porcentajes podrían causar una disminución de la capacidad de adsorción aun luego de la activación del carbón, incluso luego después del lavado del carbón activo, (Gonzales, 2004).

2.2.3 UTILIZACIÓN DEL FRUTO

2.2.3.1 Semilla

La castaña tiene valor económico por sus semillas que se consumen principalmente como nueces, las cuales contienen un alto valor nutritivo, especialmente por las proteínas y aminoácidos esenciales que contienen, siendo de gran importancia como producto de exportación de Brasil, Bolivia y en menor escala del Perú, (Figueroa, 1976). Las semillas son usadas para las industrias de confitería, repostería y en la producción de aceites destinados para alimentación y para la elaboración de jabones, (Flores, 1997).

2.2.3.2 Madera

Eventualmente, la madera de la castaña es usada en la fabricación de muebles y de madera prensada, (Flores, 1997).

En el año 2007, la extracción de madera fue realizada por el propietario de un predio agrícola en la Zona de Amortiguamiento de la Reserva Nacional de Tambopata, sectores Loero y Jorge Chávez, que realizó el aprovechamiento maderable fuera del área autorizada según permiso otorgado por la ATFFS Tambopata/Manu, (Smith et al, 1992).

Sin embargo, las labores relacionadas con el aprovechamiento maderable son agentes perturbadores del hábitat de las poblaciones de agentes polinizadores y agentes dispersores. La caída de un árbol por efecto de la tala puede traer como consecuencia la caída de otros árboles unidos entre sí en el dosel superior por lianas, asimismo, las labores de arrastre podrían incrementar los valores de mortandad de la regeneración natural, (Smith et al, 1992).

El ruido producido por las herramientas (motosierra) puede causar el desplazamiento de la fauna existente en el área, la contaminación de los gases, de los combustibles afecta la vegetación y hojarasca, destruyendo la fauna de invertebrados, fuente de alimento de roedores y aves, (Smith et al, 1992).

Para el caso de los bosques castañeros, la deforestación por ampliación de la frontera agrícola, extracción forestal maderable y minería aurífera constituyen amenazas para la continuidad de procesos ecológicos y con ello la sostenibilidad de la recolección de nueces de castaña, (Smith et al, 1992).

2.2.3.3 Aceite

El aceite de castaña se obtiene mediante el prensado de la semilla, la cual contiene aproximadamente 67% de óleo, (Castedo, 2009). Este aceite tiene una excelente composición de ácidos grasos esenciales y brinda un considerable tenor de proteínas, lípidos y vitaminas que lo torna excelente fuente nutricional, (Flores, 1997).

Durante los últimos años han surgido en Madre de Dios algunas experiencias, aunque aún incipientes de industrialización local, dedicadas a extracción de aceites y grasas de castaña. A pesar de no contar con un mercado desarrollado para el subproducto, algunas empresas fabricantes de cosméticos vienen realizando pruebas pilotos de productos finales, utilizando como uno de sus ingredientes aceite de castaña, (Vizcarra, 1998).

Los pobladores locales también utilizan el aceite como lubricante y para el alumbrado, (Flores, 1997).

2.2.4 RESIDUOS

2.2.4.1 Corteza

La corteza del fuste es utilizada para rellenar las tablas de los fondos, costados y cubierta de una embarcación, así como para la fabricación de esteras. Los pobladores la utilizan para el tratamiento de enfermedades hepáticas, antirreumáticas, antihipertensivas y depurativas, (Flores, 1997). La cubierta coriácea de la almendra también posee propiedades similares, (Salhuana, 1973).

2.2.4.2 Harina

La harina de castaña se obtiene de las semillas deshidratadas, como residuo de la extracción del aceite, que mezclada con harina de trigo puede ser utilizada para la

elaboración de pan. Asimismo, este residuo es ingrediente principal para la elaboración de concentrados de alimentos balanceados para ganado, (Flores, 1997).

2.2.4.3 Endocarpo

El endocarpo de castaña es utilizado como recipiente de velas ecológicas, que se vienen exportando a EE.UU, Inglaterra, Japón, Francia, Alemania y potencialmente a Suiza, (Vizcarra, 1998).

2.2.5 DISPONIBILIDAD DEL ENDOCARPO DE CASTAÑA

El fruto de castaña para ser aprovechado, requiere de una serie de operaciones conexas y complementarias, con el fin de liberar a las almendras contenidas en su interior y obtener así, el endocarpo de castaña que constituye la materia prima para la obtención de Carbón activado en el presente estudio, (Salhuana, 1973).

En el siguiente cuadro N° 1 se muestra el rendimiento del fruto de castaña, a endocarpo.

Cuadro N° 1: Rendimiento del fruto de castaña, a endocarpo

| Diámetro del Fruto (cm) | Peso total del fruto (g) | Peso de las semillas en el fruto (g) | Número de semillas por fruto | Peso promedio semillas (g) | Peso endocarpo vacío (g) |
|--------------------------------|---------------------------------|---|-------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| 11,5 – 14 | 540 - 760 | 120 - 230 | 12 – 21 | 7,5 – 11,5 | 370 – 600 |

Fuente: Ministerio de Agricultura, 1993.

2.2.6 MERCADO

La castaña se comercializa principalmente en el mercado norteamericano y europeo de dos formas: peladas y en cáscaras, siendo éste último en menor porcentaje, (Arana, 2000).

La demanda nacional de la castaña amazónica estimada es mínima, por lo que no se cuenta con información estadística para establecer los volúmenes comercializados localmente pero se sabe que no existe una tradición importante de consumo de nueces, (Profonampe, 1992).

Los precios pagados por la castaña, en Madre de Dios, ascienden en promedio a S/. 2,00/k de castaña, (Carrasco, 2009). Las fluctuaciones de la producción de castaña, obedece a la baja recolección que se presenta en algunos años, debido a factores climáticos, o a mecanismos en la política del comercio exterior y a variaciones de precios de este producto en el mercado internacional, (Comité Técnico Multisectorial de la Castaña, 2006).

En relación a la exportación mundial, el Perú experimenta una tendencia creciente del volumen exportado en comparación con el año 2000, tal como se muestra en la figura N° 02.

Del movimiento mundial, Bolivia representa el 60% de las ventas, mientras que Perú el 10%, (Trade Map, 2005).

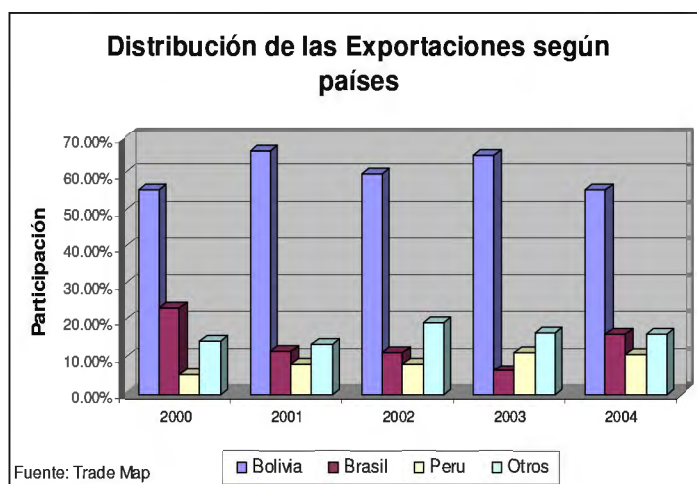


Figura N° 2 Distribución de las exportaciones de castaña según países (Bolivia, Brasil, Perú, otros)
Fuente: Trade Map 2005

2.3 CARBÓN ACTIVADO

2.3.1 DEFINICIÓN

El carbón activado es aquel tipo de carbón obtenido por distintos métodos, los cuales le dan una mayor porosidad y consecuentemente una mayor capacidad de adsorción derivada de una mayor superficie de contacto y de la interacción adsorbente-adsorbato, (Quinde, 1972).

El carbón activado es conocido por sus excelentes propiedades adsorbentes, las cuales se deben a su estructura porosa, la que le otorga áreas superficiales internas muy elevadas, su volumen de poros es generalmente superior a 0,2 mL/g, el diámetro de las partículas del carbón va a depender de su uso, en polvo es generalmente inferior a 0,1 mm, siendo normales, carbones en polvo con partículas comprendidas entre 10 y 50 micras, mientras que en los carbones granulares comerciales el tamaño medio de partícula varía usualmente entre 0,2 y 1,7 mm, (Capelle y de Vooy, 1983).

El carbón activado se define como un término que engloba un amplio espectro de materiales constituidos fundamentalmente por carbono, que se preparan especialmente para que tengan una alta superficie interna muy grande (entre 500 - 1500 m² /g) y una elevada porosidad, la cual permitirá adsorber compuestos muy diversos, tanto en fase gaseosa como en disolución, (Rodríguez, 2003).

2.3.2 PROPIEDADES

El interés por este tipo de material se basa en algunas de sus propiedades, (Luna et al, 2007):

- Estabilidad térmica
- Resistencia al ataque ácido
- Carácter esencialmente hidrófobo (repelente al agua)

- Bajo costo relativo
- Estructura porosa

Las propiedades adsorbentes de un carbón activado no sólo están definidas por su estructura porosa, sino también por su naturaleza química, (Reinoso, 2005).

Es conveniente analizar primero el proceso de adsorción, para así comprender mejor como es que el carbón activado realiza su función, (Clarimex, 2001).

2.3.3 ADSORCIÓN

La adsorción es un fenómeno superficial donde los componentes de un gas o un líquido se concentran en la superficie de partículas sólidas o en la interfase de fluidos. La adsorción es el resultado de las fuerzas electrostáticas, de van der Waals, de reacción o cualquier otra fuerza de unión entre átomos individuales, iones o moléculas, (Doran, 1998).

La adsorción es un proceso mediante el cual se extrae materia de una fase y se concentra en la superficie de otra fase, y por ello se considera como un fenómeno superficial, (Weber, 1979).

En el proceso de adsorción, la sustancia que va a ser concentrada en la superficie se denomina adsorbato, mientras que el material al que se une el adsorbato es el adsorbente. El material adsorbente ideal posee una alta superficie por unidad de volumen, lo cual puede alcanzarse si el sólido contiene un entramado de finos poros en su interior, (Doran, 1998).

La superficie total en partículas de carbón activo varía entre 450 y 1800 m² g⁻¹, sin embargo, no todo el área está disponible para la adsorción sino que las moléculas de adsorbato únicamente tienen acceso a las superficies de un tamaño apropiado,

(Doran, 1998). El carbón activado solamente adsorbe partículas más pequeñas que sus poros, (Luna et al, 2007).

El proceso de adsorción en sí es muy rápido, casi instantáneo; si la adsorción lleva a veces un tiempo apreciable se debe a la dificultad de penetración de las impurezas en el carbón activado y sobre todo, a la lentitud del proceso de difusión dentro de los poros del carbón, (Luna et al, 2007).

La eficacia de la adsorción de organismos es inversamente proporcional a la solubilidad, por ello, esta técnica puede resultar inadecuada para la eliminación de compuestos polares de bajo peso molecular, (Water Pollution Control Federation, 1992).

2.3.4 MÉTODOS DE OBTENCIÓN

Los métodos de obtención se dividen en dos, según el tipo de activación: la activación química y física, (Kirk, 1962).

2.3.4.1 Método de Activación química

La porosidad de los carbones que se obtiene por activación química es generada por reacciones de deshidratación química. 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 a 500 – 700 °C. Los agentes químicos utilizados reducen la formación de material volátil y alquitranes, (Robau, 2006). El carbón resultante se lava para eliminar los restos del agente químico usado, (Rodríguez, 2003).

El proceso de Activación produce un gran aumento del área superficial por la creación de una estructura porosa; (Vincent, 2006). La activación química con cloruro de zinc

(ZnCL₂) fue el método más usado hasta 1970, especialmente para la activación de residuos de madera, (Kirk, 1962). Su uso, sin embargo, se ha restringido en la actualidad debido a los problemas medioambientales que conlleva. No obstante algunos países como China aún siguen usando este método para producir carbón activado.

2.3.4.2 Método de Activación física

La porosidad de los carbones preparados mediante activación física es el resultado de la gasificación del material carbonizado a temperaturas elevadas. En la carbonización se eliminan elementos como el hidrógeno y el oxígeno del precursor para dar lugar a un esqueleto carbonoso con una estructura porosa rudimentaria, (Robau, 2006). Durante la gasificación el carbón se expone a una atmósfera oxidante (vapor de agua, dióxido de carbono, o mezcla ambos) que elimina los productos volátiles y átomos de carbono, aumentando el volumen de poros y el área específica, (Reinoso, 2005).

La activación física consiste en carbonizar la materia prima llegando al rojo vivo para expulsar los hidrocarburos, pero sin el suficiente aire para mantener la combustión, obteniéndose así un carbón primario. Luego se expone este a un agente oxidante, usualmente el vapor de agua, la reacción es endotérmica por lo que es necesario generar una temperatura constante, (800- 1000 °C); (Adisol, 2002).

El proceso de activación física, para la mayoría de carbones, prefiere el vapor de agua frente al dióxido de carbono debido a que la temperatura de activación debe ser bastante alta para proveer una oxidación razonablemente rápida; sin embargo, temperaturas encima de los 1000 °C deben ser evitadas, ya que puede alterar los poderes adsorptivos del carbón activado, (Hassler, 1974).

2.3.5 TIPOS DE POROS EN EL CARBÓN ACTIVADO

Al momento de activar un carbón se forman poros de tamaños distintos, entre ellos, los Macroporos, mesoporos y los microporos, los cuales se detallan a continuación, (Jiménez, 2002).

2.3.5.1 Macroporos: su importancia radica en que actúan como vías de acceso a los poros medios y microporos.

2.3.5.2 Mesoporos: poros medios, con radio de 20-500 Armstrong, su tamaño les permite adsorber moléculas de tamaño mediano que por lo general están presentes en jarabes de azúcar.

2.3.5.3 Microporos: poros con un radio de 20 Armstrong o menos, son útiles para adsorber moléculas muy pequeñas, que generalmente se encuentran presentes en purificaciones de gases.

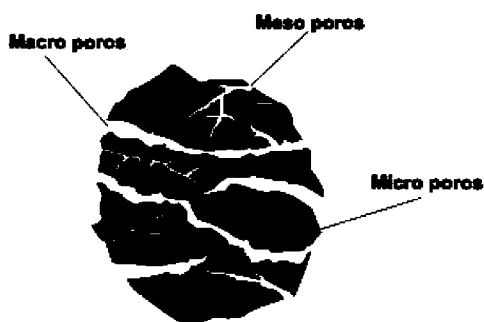


Figura Nº 03. Tipos de poros en el carbón activado

Fuente: www.carbotecnia.info (2007)

2.3.6 CLASIFICACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO

El carbón activado se clasifica de acuerdo al tamaño de partícula, con respecto a la siguiente nomenclatura, (ITINTEC, 1982):

TIPO I: Carbón activado en forma de polvo; corresponden aquellas partículas que pasan el tamiz de malla 80 ASTM.

TIPO II: Carbón activado en forma granular; corresponden aquellas partículas más grandes que no pasan el tamiz de malla 80 ASTM.

El carbón activado en polvo (TIPO I) posee dos propiedades importantes, la filtrabilidad y la densidad. Las principales propiedades físicas del carbón activado granular (TIPO II) son la dureza y el tamaño de partícula. La velocidad de adsorción del carbón activado en polvo es 100 veces mayor que la del carbón granular. Sin embargo el carbón activado en polvo es el más difícil de manejar; (Jiménez, 2002).

2.3.7 APLICACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO

Las características fundamentales en las que se basan las aplicaciones del carbón activado son la elevada capacidad de adsorción y la baja selectividad de retención, (Bansal et al, 1988). Por tanto, se debe seleccionar el carbón activado adecuado teniendo en cuenta estas diferencias.

La aplicación del carbón activado en el tratamiento del agua va desde la eliminación de sabor y olor para el control de compuestos orgánicos muy específicos, como organoclorados, COT residual, y precursores de los trihalometanos (THM) como las sustancias húmicas, (Jiménez, 2002).

Durante el tratamiento secundario de las aguas residuales se producen o persisten una variedad de compuestos orgánicos que deben ser considerados como factores o criterios para la descarga o la reutilización del agua tratada. El método estándar para la remoción del material orgánico disuelto es la adsorción en carbón activado, (Manahan, 2007).

El carbón activado es el método más eficaz de descontaminación gastrointestinal y se utiliza con vaciamiento gástrico o sin él. La administración de carbón activado es el principal método utilizado para evitar la absorción en el tracto gastrointestinal de la mayoría de los fármacos y otras sustancias químicas ingeridos, (Larsen y Fuller, 2006).

La aplicación de los procesos hidrometalúrgicos a los minerales auríferos produce una solución impura y de baja ley. Por esa razón, es necesario aplicar técnicas de recuperación del oro desde las soluciones lixiviadas. La alternativa de utilizar el carbón activado para la recuperación del oro se conoce desde hace mucho tiempo, pero ha cobrado auge a raíz de las investigaciones en la desorción del carbón, (Tecsop, 2009).

El carbón vegetal activado es un componente de la sal negra, un nuevo producto de la compañía Hawaii Kai Corporation, utilizado como ingrediente culinario, (Hawaii Kai Corporation, 2004).

2.3.7.1 Otros usos

Lenntech (1993), menciona además una serie de usos del carbón activado, que son las siguientes:

- Purificación de aire y gases.
- Eliminación de olores en lugares cerrados: cocinas, bodegas, refrigeradores, etc.
- Adsorbente de etileno para evitar la maduración prematura de frutas y verduras.
- Decoloración de azúcares, mieles y caramelos.
- Decoloración de licores, jugos y vinagres.
- Tratamiento de llagas, quemaduras, o heridas con apósitos de carbón activado impregnado con plata.

- Tratamiento de emisiones atmosféricas.

2.3.8 EXPORTACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO

A nivel nacional no existe una industria de carbón activado, aunque se conoce una empresa de carbón activado de nivel artesanal y de producción irregular; esta empresa produce alrededor de 200 kg por año, de carbón activado. La demanda nacional estimada entre los años 2003 y 2007 alcanzó alrededor de 5544 toneladas, que significó un valor de \$ 8,9 M US, importadas principalmente de Sri Lanka, Indonesia, México y España; (TradeMap,2009).

En la Figura N° 04 se muestra la exportación del carbón activado de los últimos cinco años, la cual presenta una tendencia variable, con alzas y bajas de acuerdo a la demanda y oferta del producto. Según la Superintendencia Nacional de Aduanas del Perú (2009), no se encuentran registros para el año 2007, mientras que para el siguiente año se reporta un crecimiento notorio, siendo Estados Unidos el país destino con mayor demanda de carbón activado, seguido por Ecuador.

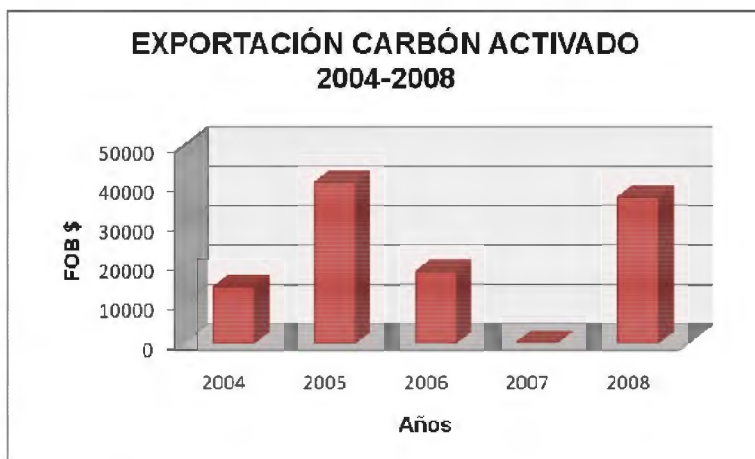


Figura N° 04. Perú. Exportación de Carbón activado para el periodo 2004- 2008.

Fuente: www.aduanet.gob.pe

2.3.9 ANTECEDENTES DE PRODUCCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO CON DESECHOS VEGETALES

2.3.9.1.- DEL PROCESO DE ACTIVACIÓN

Un estudio empleó el endocarpo del fruto de castaña por el método químico de activación con cloruro de zinc; empleando tres variables: granulometría (n° de malla, 30 y 16), la temperatura de activación, 700°C y 800°C, y 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; (Gonzales, 2004).

El rendimiento disminuye conforme se incrementa la temperatura de activación de 800 °C a 1000 °C, (Azañero, 1987). Por el contrario, se muestra que la relación rendimiento vs tamaño de partícula, se da de manera directa, es decir, a mayor tamaño de partícula, el rendimiento también es mayor, coincidiendo con Gonzales (2004).

Un estudio con cáscara de coco (*Cocos nucifera*) 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 absorción de vapores de benceno (Arana, 1987).

Un trabajo de investigación sobre la obtención de carbón activado de *Eucalyptus globulus* Labill, empleando el método físico con vapor de agua sobrecalentado a 800, 900 y 1000 °C, determinó que los carbones de grano más fino y sometidos a altas

temperaturas (1000 °C) tienen mejor poder de adsorción que los carbones de grano grueso sometidos a menor temperatura de activación (800°C), (Melo, 1985).

En un estudio con residuos de coco (*Cocos nucifera*) para la producción de carbón activado por el método químico con cloruro de zinc ($ZnCl_2$), se determinó que el carbón óptimo es el activado a 350 °C, con 80 por 100 en peso de cloruro de zinc durante una hora, (Chaparro y Moreno, 1984).

Un estudio sobre el carbón activado con cloruro de zinc y ácido fosfórico a partir del aserrín de *Guazuma crinita* Mart., considerado un desperdicio de la transformación mecánica de la madera, en el cual se consideró el cloruro de zinc como el mejor agente activante de los dos empleados ($ZnCl_2$ y H_3PO_4) al 70% de concentración y a una temperatura de 800 °C. Con respecto al material volátil, se obtuvo mejores resultados con el cloruro de zinc indicando que la cantidad adsorbida es mucho mayor a elevadas concentraciones y temperaturas que a menores, lo cual explica que a estas condiciones el poro del carbón es más accesible en atrapar impurezas con materia coloreada, (Oliveira y Panduro, 2000).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LUGAR

3.1.1 Lugar de colección

Se separó la materia prima en dos grupos, de acuerdo a su lugar de procedencia. En la siguiente figura se ubican las zonas de recolección de los endocarpos de castaña; en la parte superior izquierda se observa el Sector de Panguana, distrito de Tamshiyacu (Loreto) y en la parte inferior derecha, el sector de Planchón en Madre de Dios.

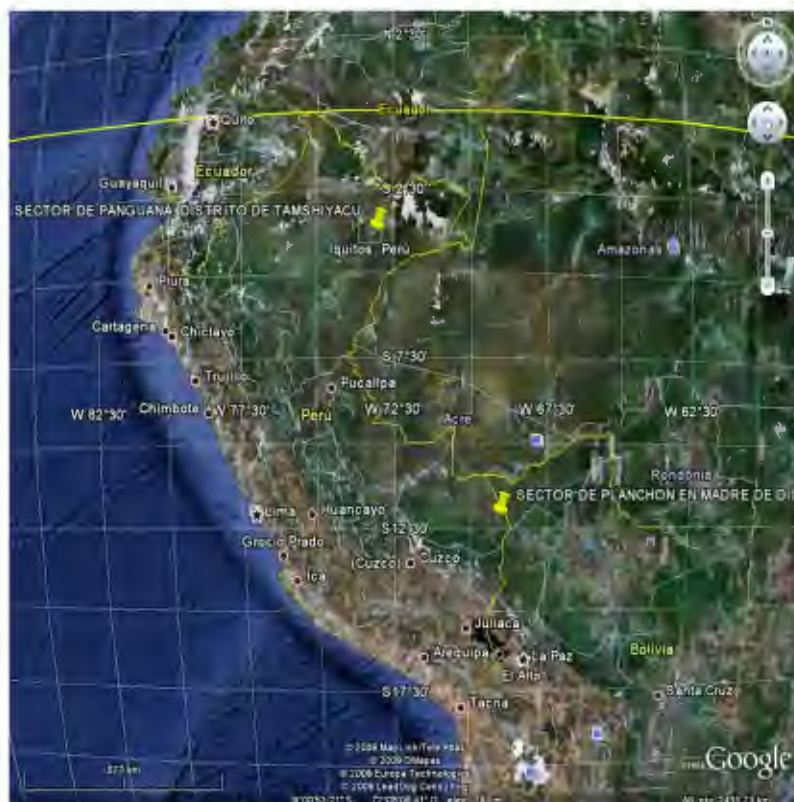


Fig. N°5. Ubicación de la Zona de Tamshiyacu (Loreto) y el Sector Planchón (Madre de Dios)

Fuente: Trigoso, J. 2009. Comunicación personal

3.1.1.1 Primer grupo: Endocarpos de castañas procedentes de Loreto (Iquitos):

- **Distribución geográfica:**

En la figura N°5 se muestra la zona de colección del primer grupo de endocarpos de castaña procedentes de Tamshiyacu, un pueblo situado a 30 km. al sur de la ciudad de Iquitos. Se ubica a una altitud de 149 m.s.n.m. Políticamente pertenece al Distrito de Fernando Lores, Provincia de Maynas, Región Loreto. Geográficamente se localiza entre los paralelos 73° 04' 10" de longitud Oeste y 4° 00' 16" de latitud Sur.

3.1.1.2 Segundo grupo: Endocarpos de castañas procedentes de Madre de Dios:

- **Distribución geográfica**

Del mismo modo, en la figura N°5 se observa la zona de recolección del segundo grupo de endocarpos de castaña pertenece al centro poblado denominado Planchón ubicado en el distrito de Tahuamanu en la provincia del mismo nombre, departamento y Región de Madre de Dios. El departamento de Madre de Dios, se ubica en la región sur oriental del territorio peruano, entre los paralelos 9° 55' 33" y 13° 20' 04", latitud sur, y los meridianos 68° 39' 27" y 77° 22' 27", longitud oeste. Tahuamanu tiene una superficie de 3793,90 km² (0,52 hab. /Km²), representando el 24,9% de todo el departamento.

3.1.2 LUGAR DE ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO

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

3.2 MATERIALES

3.2.1 Materia Prima

Para el presente estudio se utilizaron los endocarpos de castaña (*Bertholletia excelsa*), procedentes de la actividad castañera de los bosques de Madre de Dios y Loreto. La cantidad colectada fue de 5kg. por procedencia aproximadamente.

3.2.1.1 Características de la materia prima

En ambos casos, los frutos de castaña se recolectaron frescos, del suelo, es decir de la misma campaña, frutos sin abrir. La edad promedio de los árboles de castaña del primer grupo, procedente de plantación, es de 25 años.

Los frutos procedentes de Tamshiyacu, se cortaron en 4 partes y se almacenaron en sombra por un lapso de 11 meses, una vez extraída la semilla.

El acopio de los frutos de castaña del primer grupo fue entre los meses de abril y julio; mientras que en el caso del sector Planchón entre Diciembre y mayo, época en la cual caen los frutos.

3.2.2 MATERIALES DE LABORATORIO

- Crisoles de porcelana con tapa
- Cronómetro
- Espátulas
- Materiales de vidrio: baguetas, buretas, embudos, pipetas, probetas, vaso de precipitado, barra de agitación, balones y matraces de Erlenmeyer.
- Papel filtro, de filtrado lento y rápido.
- Termómetro
- Mortero

- Brocha 1 pulg.
- Recipientes de aluminio
- Bolsas Ziploc
- Papel platino
- Guantes aislantes de caucho y cuero.
- Soporte universal
- Campana de vidrio; con desecador de silicagel.
- Mallas de asbesto
- Ollas de barro

3.2.3 EQUIPOS

- Molino de cuchillas.
- Tamices ASTM con número (abertura de la malla): 40 (0,425mm); 100 (0,15 mm).
- Balanza analítica plus, marca "Ohaus", , capacidad de 200g. , con una precisión de 0,1 mg
- Balanza portátil Standard, marca "Ohaus" LS 200, capacidad de 200g. , con una precisión de 0,1 g
- Mufla
- pH-metro
- Estufa eléctrica
- Espectrofotómetro SQ 118, marca Merck, alemana.
- Agitador Magnético
- Centrifugadora
- Equipo Soxhlet
- Molino manual
- Horno artesanal

3.2.4 REACTIVOS QUÍMICOS

- Acido acético concentrado (CH₃COOH)

- Acido Fosfórico (H_3PO_4) al 30% y 60%
- Acido sulfúrico (H_2SO_4) al 72%
- Agua destilada
- Alcohol Etílico al 96%
- Clorito de sodio($NaClO_2$) al 1,5%
- Solución de HCl 4N, 1N y 1%.

3.3 METODOLOGÍA

3.3.1 Acondicionamiento de materia prima

Los endocarpos de castaña fueron limpiados y secados al ambiente, después de este proceso se sacó una muestra por lugar de procedencia (Madre de Dios y Loreto) para obtener su contenido de humedad, según norma ASTM D - 1762.

3.3.2 IMPREGNACIÓN CON SOLUCIÓN DE ÁCIDO FOSFÓRICO

El proceso de activación química se realizó, utilizando como agente activante al ácido fosfórico (H_3PO_4) por ser un producto menos tóxico comparado con el cloruro de zinc ($ZnCl_2$); cada muestra (Madre de Dios y Loreto) fue sometida a dos concentraciones, 30 y 60%.

Se utilizó una cantidad de 3kg de materia prima por cada procedencia, la cual fue impregnada con una solución de ácido fosfórico, a dos diferentes concentraciones diferentes (30 y 60%).

Posteriormente, la materia prima embebida con solución de agente activante fue secada a medio ambiente hasta alcanzar un contenido de humedad de 14 a 15% durante 24 horas.

3.3.3 CARBONIZACIÓN – ACTIVACIÓN

La materia prima previamente impregnada se puso en el interior de una olla de barro, la misma que fue colocada en una parrilla calentada con carbón de algarrobo para dar inicio al proceso de carbonización por un lapso de 3 horas aproximadamente, luego de este tiempo se controló una temperatura de 600°C utilizando un pirómetro, para llevarse a cabo la activación propiamente dicha, en este caso, por un tiempo de 90 min.

3.3.4 MOLIENDA Y CLASIFICACIÓN

Como resultado del paso anterior, se obtuvo el carbón activado, que para su posterior evaluación debió estar molido y clasificado. La molienda del carbón se hizo en un molino manual y su posterior clasificación se efectuó utilizando un juego de tamices ASTM con número 40 (0,425mm de abertura) y de 100 (0,15mm de abertura).

3.3.5 ENVASADO

Se realizó la clasificación granulométrica del carbón activado, en bolsas herméticas "Ziploc", para una mejor conservación de su propiedad adsorbtiva, evitando la captación de humedad y otros contaminantes externos.

3.3.6 LAVADO Y FILTRADO

Las muestras carbonizadas y activadas fueron lavadas con agua destilada a 80 °C; y filtradas, empleando un embudo de vidrio con un papel filtro denso (N°42) con la finalidad de hacer ajustes en el pH y eliminar cualquier exceso de H₃PO₄.

3.3.7. SECADO

Las muestras obtenidas fueron colocadas en la estufa a una temperatura de $75^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por un periodo de 24 horas aproximadamente, tiempo suficiente para conseguir una masa constante.

En el siguiente diagrama (Figura N°6), se muestra el proceso para la obtención de Carbón Activado a partir del endocarpo de castaña.

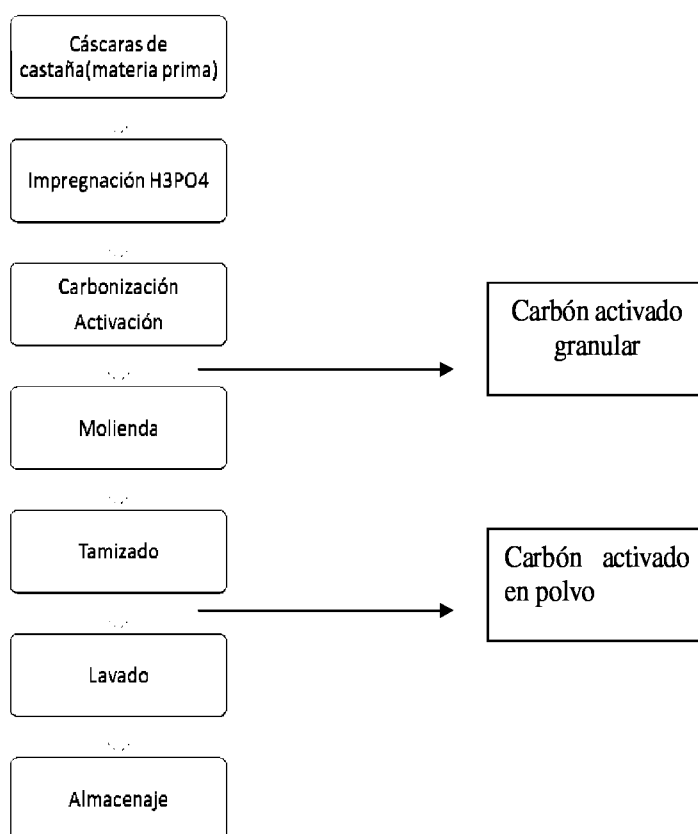


Fig. 6 Diagrama de flujo para la obtención de Carbón activado a partir de cáscaras de castaña

3.3.8 EVALUACIONES

3.3.8.1 Evaluación de la materia prima

En esta etapa se evaluó la materia prima, para las siguientes características químicas:

- Humedad (CH).- se empleó la Norma ASTM D-1762.
- Extractivos.- se determinaron bajo la Norma TAPPI T 6 OS-59.
- Holocelulosa.- se empleó el Método de JAYME- WISE.
- Lignina.- se empleó el método Klason, descrito en la Norma TAPPI T222 om-88.
- Cenizas.- Se realizó de acuerdo al método con HCl 1550R.62
- Sílice.- Se realizó de acuerdo al método con HCl 1550R.62

3.3.8.2 Evaluación del carbón activado

Se evaluaron las siguientes características del carbón activado:

- a) Contenido de humedad (%): Según Norma ASTM D 1762
- b) Material volátil (%): Según Norma ASTM D 1762
- c) Contenido de cenizas(%): Según Norma ASTM D 1762
- d) Carbono fijo (%): Según Norma ASTM D 1762
- e) Densidad aparente: Según NTP-15-000-1982

$$Da = \frac{\text{Peso de carbón activado}}{\text{Volumen}}$$

- f) Potencial de hidrógeno (pH): Según NTP 027.025-81
- g) Rendimiento (%R): Fue calculado mediante la fórmula

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

h) Prueba Adsorción de azul de metileno

En esta prueba se cuantificó el porcentaje de adsorción del carbón activado, a partir de la decoloración que ejerce el carbón en la solución de azul de metileno, la cual fue medida con el espectrofotómetro con una longitud de onda de 446 nm (Layseca, 2001).

3.4 DISEÑO EXPERIMENTAL

Para la presente investigación se realizó un arreglo factorial ($2 \times 2 \times 3$) bajo un diseño de Bloques completamente al azar con las variables que se mencionan abajo, desarrollándose en análisis combinado o en un análisis de experimentos repetidos; organizándose el diseño de la siguiente manera:

FUENTES DE VARIABILIDAD:

- 1.- Procedencia
- 2.- Concentración
- 3.- Granulometría

VARIABLES EN ESTUDIO:

- 1.- Contenido de Humedad
- 2.- Material Volátil
- 3.- Contenido de Cenizas
- 4.- Contenido de Carbono Fijo
- 5.- Determinación del pH
- 6.- Determinación de la Densidad Aparente

Cuadro Nº 2 Diseño experimental de los tratamientos empleados para la elaboración de Carbón activado, por el método químico.

| Procedenc. | [H ₃ PO ₄] | *Granulometría | Ensayo + Repetición | CH % | MV % | CZs (%) | CF % | Adsorc % | pH | Densid. Aparent (g/m ³) |
|---------------|-----------------------------------|----------------|---------------------|------|------|---------|------|----------|----|-------------------------------------|
| Madre de Dios | 30% | +40 | M1-1,M1-2 | x | x | x | x | x | x | x |
| | | -40/+100 | M2-1,M2-2 | x | x | x | x | x | x | x |
| | | -100 | M3-1,M3-2 | x | x | x | x | x | x | x |
| | 60% | +40 | M4-1,M4-2 | x | x | x | x | x | x | x |
| | | -40/+100 | M5-1,M5-2 | x | x | x | x | x | x | x |
| | | -100 | M6-1,M6-2 | x | x | x | x | x | x | x |
| IQUITOS | 30% | +40 | IQ1-1,IQ1-2 | x | x | x | x | x | x | x |
| | | -40/+100 | IQ2-1,IQ2-2 | x | x | x | x | x | x | x |
| | | -100 | IQ3-1,IQ3-2 | x | x | x | x | x | x | x |
| | 60% | +40 | IQ4-1,IQ4-2 | x | x | x | x | x | x | x |
| | | -40/+100 | IQ5-1,IQ5-2 | x | x | x | x | x | x | x |
| | | -100 | IQ6-1,IQ6-2 | x | x | x | x | x | x | x |

Número de experimentos:

2 Procedencias * 2 Concentración de ácido fosfórico * 3 tipos de grano, y dos repeticiones Rx = 24 experimentos

LEYENDA:

*Granulometría:

+40 : granos que pasaron el tamiz ASTM número 40, aquellos con diámetros mayores a 0,425mm.

-40/+100: Fracción intermedia; incluye granos de diámetros menores a 0,425mm y a la vez mayores a 0,15mm.

-100 : granos que pasaron el tamiz ASTM número 100, aquellos con diámetros menores a 0,15mm.

Variables:

CH (%): Porcentaje del Contenido de Humedad

MV (%): Porcentaje del Material Volátil

CZs (%): Porcentaje de Cenizas Totales

CF (%): Porcentaje del Carbono Fijo

Adsorc. (%): Porcentaje de Adsorción

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 MATERIA PRIMA

4.1.1 Composición química

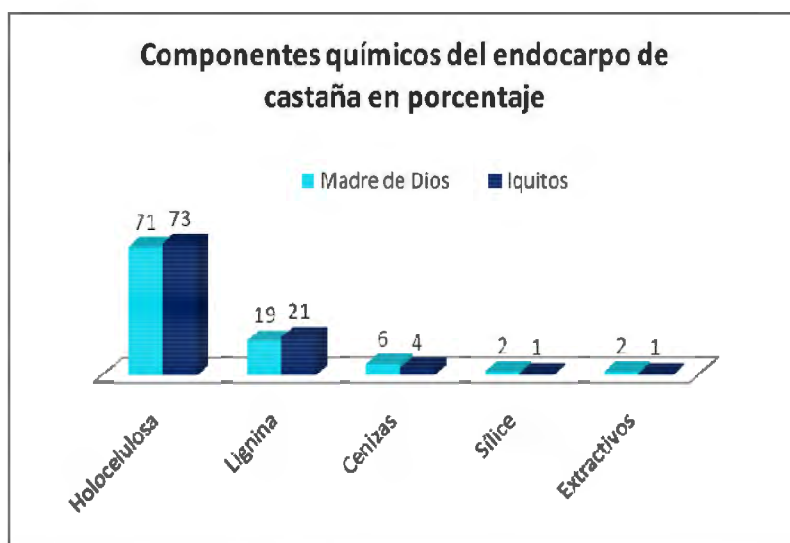


Fig. 7 Composición Química del endocarpo del fruto de castaña

En ambos casos, se puede observar que el componente con mayor porcentaje en el endocarpo de castaña, es la holocelulosa. Para la materia prima procedente de Madre de Dios es de 71,2 %, mientras que para el caso de Iquitos es de 73,1%.

La lignina es el componente que confiere un mayor rendimiento al carbón activado, sin descartar del todo a la holocelulosa, (Gonzales, 2004).

En el presente estudio se observa un contenido de lignina de 19,3 % para Madre de Dios, y un valor relativamente mayor de 21,3% para las muestras de Iquitos. A pesar de que este valor está dentro de los valores normales indicados para las maderas, es considerado bajo al compararlo con maderas de otras especies.

4.2 CARBÓN ACTIVADO

4.2.1 Contenido de Humedad

Según los resultados del análisis de variancia respectivo (Anexo nº 01), se observa la influencia altamente significativa de la concentración del agente activante sobre los valores de contenido de Humedad, mientras que el factor del lugar de procedencia de la especie influye de modo significativo. En el caso de la granulometría, no se encontró influencia significativa sobre los valores del Contenido de humedad.

Los valores del Contenido de humedad para el caso de las muestras procedente de Iquitos al 30% y 60% de concentración del agente activante fue de 8,99% y 8,01% respectivamente. Para el caso de las muestras procedentes de Madre de Dios al 30 y 60% de concentración del agente activante fue de 8,32 y 8,08 %, respectivamente. Estos valores promedio de Contenido de Humedad son próximos al reportado por Gonzales (2004) de 9,55%, teniendo como valor máximo de 11,4% y un valor mínimo de 6,97%; que a su vez se encuentra por debajo del valor máximo exigido por la NTP-ITINTEC (1982) que es de 12%.

La prueba de Tukey (cuadro 01) indica que existe significancia entre el factor lugar de procedencia de la especie para la variable contenido de humedad; siendo menos húmedo las muestras procedentes de Madre de Dios. Además, la prueba de Tukey indica que no existe significancia para el factor granulometría.

El coeficiente de variabilidad hallado (3,86%) nos dá confiabilidad en los resultados obtenidos, porque el error experimental fue controlado adecuadamente.

Cuadro 03: La prueba de Tukey para los factores: Lugar de procedencia de la especie y Granulometría entre la variable Contenido de Humedad.

| Factores | | CH en % | Significancia |
|---|---------------------|------------|---------------|
| Procedencia | Madre de Dios | 8.2 | a |
| | Iquitos | 8.5 | b |
| Granulometría | -100, -40/100, +100 | 8.28 a 8.4 | NS |
| Concentración de H ₃ PO ₄ % | 60 | 8.04 | a |
| | 30 | 8.65 | b |
| Procedencia y concentración | Iquitos 60 | 8.01 | a |
| | Madre de Dios 6 | 8.08 | a |
| | Madre de Dios 30 | 8.32 | b |
| | Iquitos 30 | 8.98 | b |

a, b : Tukey ($\alpha=0,05$; representa un nivel de confianza de 95%)

Según Hassler (1973), el contenido de humedad especificado para carbones activados destinados para el comercio es de 3,8 a 12%. El mismo autor sostiene de que el contenido de humedad no afecta el poder de adsorción pero éste si diluye al carbón.

4.2.2 Contenido de Material Volátil

El resultado en la determinación del material volátil del carbón activado de la castaña luego de aplicar el ANVA (Anexo nº 01), se observa una alta influencia significativa para los factores estudiados. El contenido de material volátil del carbón activado analizado aumenta conforme aumentan los valores de concentración de agente activante; tal es el caso que los valores promedio de material volátil procedentes de Madre de Dios al 30% y 60% de concentración del agente activante fueron de 25,2% y 30,2% respectivamente.

De igual manera se observa como en el caso de las muestras procedentes de Iquitos al 30% y 60% de concentración de agente activante fueron de 9,89% y 23,9%

respectivamente. Cabe señalar que a medida que se trabaje con una mayor concentración de agente activante; no siempre se obtendrá un carbón activado con menos material volátil.

La prueba de Tukey (cuadro 04) indica que existe significancia entre el factor lugar de procedencia de la especie para la variable material volátil; presentando menos material volátil las muestras procedentes de Iquitos. Además, Tukey confirma la significancia entre el factor de concentración de agente activante para la variable en estudio, mostrando mayores valores el carbón activado sometido a una mayor concentración de agente activante. La misma prueba indica la significancia entre el mayor (+40) y el menor número de grano (-100), presentado este último mayor contenido de material volátil frente a los demás granos.

El coeficiente de variabilidad hallado (5,38%) nos da confiabilidad en los resultados obtenidos.

Layseca (2001), señala que a medida que el carbón activado tenga menos material volátil, tendrá mayor espacio vacío en su estructura interna y esto lleva a que tenga mayor área para su capacidad de adsorción.

Cuadro 04: La prueba de Tukey para los factores: Lugar de procedencia de la especie, Concentración del agente activante y Granulometría entre la variable Material Volátil.

| Factores | | %MV | Significancia |
|---|------------------|------|---------------|
| Procedencia | Iquitos | 16.9 | a |
| | Madre de Dios | 27.7 | b |
| Granulometría | -40/+100 | 19.6 | a |
| | +40 | 19.8 | a |
| | -100 | 27.5 | b |
| Concentración de H ₃ PO ₄ % | 30 | 17.6 | a |
| | 60 | 27 | b |
| Procedencia y concentración | Iquitos 30 | 9.88 | a |
| | Iquitos 60 | 23.9 | b |
| | Madre de Dios 30 | 25.3 | b |
| | Madre de Dios 60 | 30.2 | b |

a,b : Tukey ($\alpha=0,05$; representa un nivel de confianza de 95%)

4.2.3 Contenido de Cenizas Totales

Con respecto al contenido de cenizas, el análisis estadístico muestra que los factores: Procedencia de especie, concentración de agente activante y granulometría ejercen una alta influencia significativa sobre este, para los diferentes carbones activados obtenidos (Anexo n° 02).

Los valores promedio de cenizas totales del carbón activado procedentes de Madre de Dios al 30 y 60% de concentración del agente activante han sido de 6,54% y 8,70% respectivamente; mientras que las muestras procedentes de Iquitos al 30 y 60% de concentración de agente activante han sido de 8,02% y 9,56% respectivamente. Estos valores promedio determinados se ajustan al reportado por Teruya (2003), de 7,7 a 11,6% para el caso de la manchinga; mientras que Gonzales (2004) reporta un valor promedio de 0,64% siendo el valor mínimo de 0,39% y el valor máximo de 0,96% para el caso de castaña. A pesar de las diferencias porcentuales,

los reportes de cenizas totales cumplen con lo establecido por la NTP, la cual establece como máximo un 12% de Cenizas totales.

La prueba de Tukey (cuadro 05) confirma que existe significancia entre el factor lugar de procedencia de la especie para la variable cenizas totales; reportando menor valor el carbón activado procedente de Madre de Dios. De igual manera, esta prueba indica la significancia entre el factor de concentración del agente activante con la variable en estudio, existiendo una relación directa entre ambas. Además, la prueba de Tukey indica la significancia entre el mayor y menor tamaño de partícula, siendo el de menor tamaño de partícula quien presenta un mayor contenido de cenizas.

El coeficiente de variabilidad hallado (8,85%) nos dá confiabilidad en los resultados obtenidos, porque el error experimental fue controlado adecuadamente.

Sin embargo, según Guerrero, citado por Teruya (2003), indica que en la práctica muchos carbones de uso general con un alto contenido de cenizas son más eficientes en eliminar el color u otras impurezas, en oposición a lo que afirma Smisek (1970).

Cuadro 05: La prueba de Tukey para los factores: Lugar de procedencia de la especie, Concentración del agente activante y Granulometría entre la variable Contenido de Cenizas Totales.

| Factores | | % | Significancia |
|-----------------------------|------------------|------|---------------|
| Procedencia | Madre de Dios | 7.62 | a |
| | Iquitos | 8.79 | b |
| Granulometría | +40 | 6.8 | a |
| | -40/+100 | 7.74 | a |
| | -100 | 10.1 | b |
| Concentración de H3PO4 % | 30 | 7.28 | a |
| | 60 | 9.13 | b |
| Procedencia y concentración | Madre de Dios 30 | 6.54 | a |
| | Iquitos 30 | 8.01 | b |
| | Madre de Dios 60 | 8.7 | b |
| | Iquitos 60 | 9.56 | b |

a, b : Tukey ($\alpha=0,05$; representa un nivel de confianza de 95%)

4.2.4 Contenido de Carbono Fijo

En el Análisis de Variancia (Anexo nº 02), entre los factores: Procedencia de especie, concentración de agente activante y granulometría, con el carbono fijo del carbón activado de castaña muestran una alta influencia significativa. En el caso de concentración del agente activante, el contenido de carbono fijo analizado en las muestras; disminuye conforme aumenta la concentración del agente activante; siendo el promedio de 68,2% y 61,1% de carbono fijo para el carbón activado proveniente de Madre de Dios al 30 y 60% respectivamente; mientras que las muestras de Iquitos presentan valores promedio de 82,1% y 66,5% al 30 y 60% respectivamente.

Estos valores promedio de carbono fijo son próximos al reportado por Gonzales (2004) que oscilan entre 78,1% a 84,2% que trabajó con la misma especie pero con ZnCl. Además coincide con Teruya (2003) que reportó valores en el rango de 89,8% a

93,4%; 78,7 a 86,0%; 86,7 a 91,5% para el caso de tornillo, manchinga y caoba respectivamente.

La prueba de Tukey (cuadro 06) indica que existe significancia entre el factor lugar de procedencia de la especie para la variable carbono fijo; presentando menores valores el carbón activado procedente de Madre de Dios. Así también, la prueba de Tukey indica la significancia entre el factor de concentración del agente activante para la variable en estudio, reportando que a mayor concentración del agente activante se obtiene un carbón activado con menor porcentaje de carbono fijo. La misma prueba indica la significancia entre el mayor y menor tamaño de partícula, siendo el de mayor tamaño de partícula quien presenta un mayor contenido de Carbono Fijo en su estructura.

El coeficiente de variabilidad hallado (2,34%) nos dá confiabilidad en los resultados alcanzados.

Del mismo modo, Layseca (2001), sostiene que los valores de carbono fijo se relacionan de manera directa con la capacidad de adsorción; por lo que se espera que a mayor porcentaje de carbono fijo se obtendrá un mayor poder de adsorción y por consiguiente no resulta económico trabajar a altas concentraciones de agente activante.

Cuadro 06: La prueba de Tukey para los factores: Lugar de procedencia de la especie, Concentración del agente activante y Granulometría entre la variable Contenido de Carbono Fijo.

| Factores | | %CF | Significancia |
|---|------------------|------|---------------|
| Procedencia | Iquitos | 74.3 | a |
| | Madre de Dios | 64.7 | b |
| Granulometría | +40 | 73.4 | a |
| | -40/+100 | 72.6 | b |
| | -100 | 62.4 | b |
| Concentración de H ₃ PO ₄ % | 30 | 75.1 | a |
| | 60 | 63.8 | b |
| Procedencia y concentración | Iquitos 30 | 82.1 | a |
| | Madre de Dios 30 | 68.2 | b |
| | Iquitos 60 | 66.5 | b |
| | Madre de Dios 60 | 61.1 | b |

a,b : Tukey ($\alpha=0,05$; representa un nivel de confianza de 95%)

4.2.5 Contenido de Ph

Se observa luego de aplicar el ANVA (Anexo n° 03), que los factores estudiados muestran una alta influencia significativa sobre los valores de pH.

El pH promedio determinados para las muestras procedentes de Madre de Dios fueron menores a las de Iquitos sin considerar la concentración del agente activante, lo mencionado concuerda con Hassler (1973), quien sostiene que los valores de PH serán afectados por las condiciones experimentales.

La prueba de Tukey (cuadro 07) indica la significancia entre el factor Lugar de procedencia de la especie con la variable en estudio, indicando que el carbón activado procedente de Madre de Dios presenta un menor pH. Del mismo modo, esta

prueba confirma la significancia entre el factor de concentración del agente activante con la variable pH. Además, la prueba de Tukey indica que el mayor tamaño de partícula es relativamente más ácido.

El coeficiente de variabilidad del 1,76% para esta característica indica que el error experimental fue adecuadamente controlado, lo que da confiabilidad a los resultados obtenidos.

Según Gonzales (2004), los valores de pH ácido obtenidos en su estudio se pueden deber a que, posteriormente a la activación, el carbón fue lavado con HCl 0,1N, y este le confirió la acidez final al carbón activado.

Los resultados encontrados en la literatura coinciden en indicar una mayor capacidad de adsorción del carbón activado al disminuir el pH.

Por su parte, Sax (1979) describe el mayor grado de toxicidad del cloruro de zinc frente al ácido fosfórico. Es por ello que actualmente se ha restringido su uso debido a los problemas medioambientales que éste conlleva.

Cuadro 07: La prueba de Tukey para los factores: Lugar de procedencia de la especie, Concentración del agente activante y Granulometría entre la variable pH.

| Factores | | pH | Significancia |
|---|------------------|------|---------------|
| Procedencia | Iquitos | 4.35 | a |
| | Madre de Dios | 3.78 | b |
| Granulometría | -40/+100 | 4.13 | a |
| | -100 | 4.08 | b |
| | +40 | 3.99 | b |
| Concentración de H ₃ PO ₄ % | 30 | 4.14 | a |
| | 60 | 3.99 | b |
| Procedencia y concentración | Iquitos 60 | 4.37 | a |
| | Iquitos 30 | 4.34 | a |
| | Madre de Dios 30 | 3.94 | b |
| | Madre de Dios 60 | 3.62 | b |

a, b: Tukey ($\alpha=0,05$; representa un nivel de confianza de 95%)

4.2.6 Densidad Aparente

Según los resultados del análisis de variancia (Anexo nº 03) para el caso de la densidad aparente, los valores de la concentración del agente activante y la granulometría influyen de manera altamente significativa; tal es el caso que a mayor concentración del agente activante aumenta la densidad aparente del carbón activado. Mientras que a mayor tamaño de partículas, la densidad aparente será menor, lo cual coincide con Layseca (2001) que sostiene que a menor granulometría o tamaño de partícula, mayor densidad aparente.

De igual manera se observa que la procedencia de especie no influye de manera significativa sobre los valores de la densidad aparente. Lo cual se comprueba con la prueba de Tukey (cuadro 06) que nos indica que no existe significancia entre el lugar

de procedencia de la especie con la densidad aparente. Mientras que la misma prueba confirma la significancia entre el factor de concentración del agente activante con la variable en estudio, presentando una mayor densidad aparente las muestras sometidas a una mayor concentración del agente activante. Además, la prueba de Tukey indica que existe una influencia significativa entre los diferentes tamaños de partículas, siendo la de menor tamaño de partícula quien presenta un mayor valor de densidad aparente.

El coeficiente de variabilidad de 2,47% dá validez a los resultados obtenidos para este parámetro.

Fornwalt (1963) citado por Arana (1987), afirma que, una alta densidad de carbón activado disminuye la retención de líquido por unidad de peso. Además, Kirk (1963) sostiene que el carbón activado muy denso no es recomendable para decolorar líquidos.

En el presente estudio se obtuvieron valores de densidad aparente para las muestras procedentes de Madre de Dios al 30 y 60% de concentración de agente activante de 0,407% y 0,418% respectivamente. Del mismo modo, para las muestras procedentes de Iquitos al 30 y 60% de concentración de agente activante de 0,403% y 0,432% respectivamente. Estos valores promedios de densidad aparente están por encima de los valores reportados por Gonzales (2004) que se encuentran en el rango de 0,209 a 0,265 g/cm³ determinados también para la misma especie.

Los valores hallados en la especie estudiada están dentro del rango citado por Fornwalt (1963), y Andersen (1965) que reportan 0,224 a 0,544 g/cm³ y 0,3 a 0,5 g/cm³ respectivamente.

Sin embargo, la norma NTP 207.024(1982) exige un carbón activado con una densidad aparente de 0,35 a 0,4 g/cm³.

Cuadro 08: La prueba de Tukey para los factores: Lugar de procedencia de la especie, Concentración del agente activante y Granulometría entre la variable Densidad Aparente.

| Factores | | Da (g/cm ³) | Significancia |
|---|------------------|-------------------------|---------------|
| Procedencia | Iquitos | 0.418 | a |
| | Madre de Dios | 0.412 | a |
| Granulometría | -100 | 0.44 | a |
| | -40/+100 | 0.411 | b |
| | +40 | 0.394 | c |
| Concentración de H ₃ PO ₄ % | 60 | 0.425 | a |
| | 30 | 0.405 | b |
| Procedencia y concentración | Iquitos 60 | 0.432 | a |
| | Madre de Dios 60 | 0.418 | a |
| | Madre de Dios 30 | 0.407 | b |
| | Iquitos 30 | 0.403 | b |

a,b, c: Tukey ($\alpha=0,05$; representa un nivel de confianza de 95%)

4.2.7 Rendimiento de Carbón Activado

Según el análisis estadístico (Anexo n°04), se observa la influencia altamente significativa de la concentración del agente activante y la procedencia de la muestra sobre los valores del rendimiento del endocarpo de castaña en la obtención del carbón activado, mientras que el factor granulometría no tuvo significancia.

El rendimiento de la muestra procedente de Iquitos sometida a 30% de concentración de ácido fosfórico (H₃PO₄) fue de 39,6%, alcanzando el mayor valor frente a los demás tratamientos seguido de, 38,0% rendimiento de la muestra procedente de Madre de Dios sometido a 30% de concentración del agente activante; 23,7% el rendimiento de la muestra procedente de Iquitos a 60% de concentración del agente activante y finalmente se reportó el menor valor de 18,5%, correspondiente a la muestra procedente de Madre de Dios a 60% de concentración de agente activante.

Cuadro 09: Rendimiento de Carbón activado

| Procedencia | Concentración Agente de Activación en % | Rendimiento (%) |
|--------------------|--|------------------------|
| Madre de Dios | 30 | 38,0 |
| | 60 | 18,5 |
| Iquitos | 30 | 39,6 |
| | 60 | 23,7 |

4.2.8 Capacidad de Adsorción De Azul De Metileno (Ads)

La variación de los valores de Adsorción con azul de metileno en función de los valores de la concentración del agente activante, el lugar de procedencia de la especie y la granulometría se observan en las figuras N° 8, 9 y 10 respectivamente.

De la figura y luego del ANVA respectivo (Anexo n° 05), se observa la influencia altamente significativa de la concentración del agente activante, el lugar de procedencia de la especie y de la granulometría sobre los valores de adsorción con azul de metileno. El valor promedio del análisis de adsorción con azul de metileno de las muestras procedentes de Madre de Dios al 30% y 60% de concentración del agente activante fue de 33,3% y 30,9% respectivamente. Estos valores promedio de adsorción con azul de metileno son próximos al reportado por Teruya (2003) para el caso de Tornillo que se ubican en el rango de 24,5 – 40,9%; que a su vez se encuentra por debajo de Gonzales (2004) que reporta como valor promedio 38,3 %.

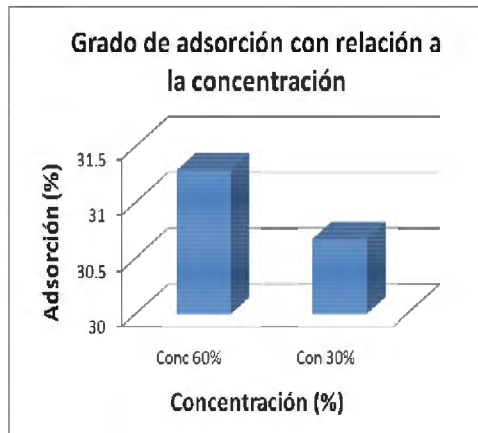


Fig. 08. Relación entre la concentración con el Grado de Adsorción

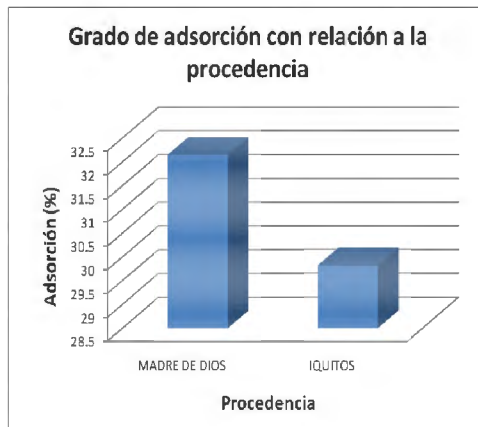


Fig. 09. Relación entre la procedencia con el Grado de Adsorción

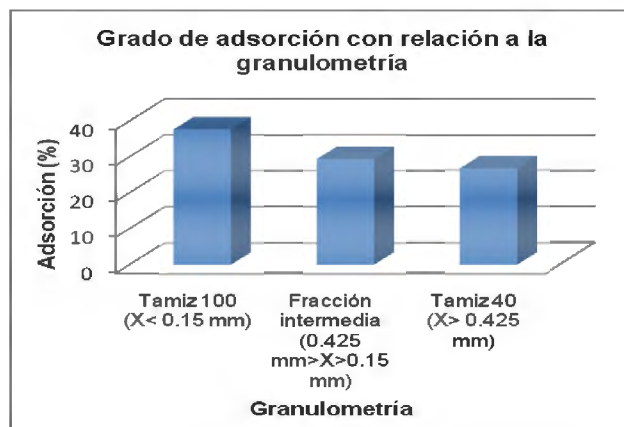


Fig. 10. Relación entre la granulometría con el Grado de Adsorción

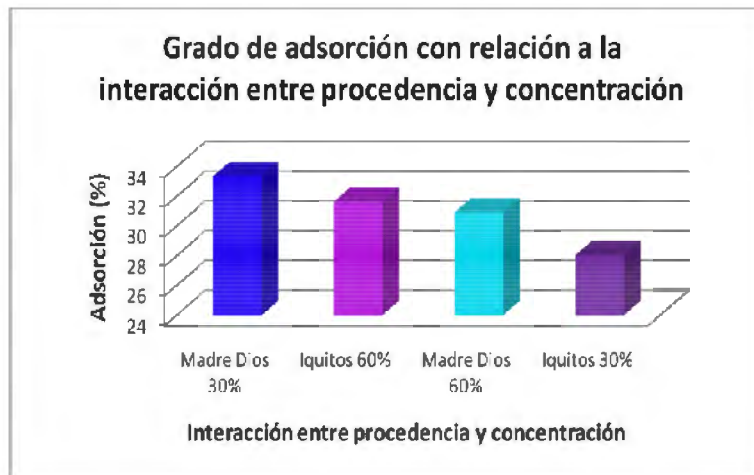


Fig. 11. Relación entre la interacción procedencia – concentración con el Grado de Adsorción

La prueba de Tukey (cuadro 09) indica que existe significancia entre el factor lugar de procedencia de la especie para la variable adsorción con azul de metileno; siendo más adsorbentes las muestras procedentes de Madre de Dios. Del mismo modo, la prueba de Tukey indica la significancia entre el factor de concentración del agente activante para la variable en estudio, siendo más adsorbentes las muestras obtenidas a una mayor concentración del agente activante. Además la misma prueba indica que existe significancia entre los diferentes tamaños de partículas de las muestras evaluadas, tal es el caso que según el análisis estadístico se observa que a menor tamaño de partícula el grado de adsorción reportó mayor valor.

El coeficiente de variabilidad hallado (0,542%) otorga una confiabilidad en los resultados obtenidos, porque el error experimental fue controlado adecuadamente.

Cuadro 10: La prueba de Tukey para los factores: Lugar de procedencia de la especie, Concentración del agente activante y Granulometría entre la variable Adsorción de metileno.

| Factores | | Ads en % | Significancia |
|---|------------------|----------|---------------|
| Procedencia | Madre de Dios | 32.1 | a |
| | Iquitos | 29.8 | b |
| Granulometría | -100 | 37.3 | a |
| | -40/+100 | 29.1 | b |
| | +40 | 26.4 | c |
| Concentración de H ₃ PO ₄ % | 60 | 31.3 | a |
| | 30 | 30.7 | b |
| Procedencia y concentración | Madre de Dios 30 | 33.3 | a |
| | Iquitos 60 | 31.6 | a |
| | Madre de Dios 60 | 30.9 | a |
| | Iquitos 30 | 28 | b |

a,b,c: Tukey ($\alpha=0,05$; representa un nivel de confianza de 95%)

La adsorción de gases, líquidos y sólidos por el carbón activado está influida por la temperatura y el pH del agua, así como por la complejidad de las sustancias orgánicas que se extraen; (Henry et al , 1999).

4.2.9 Comparación con los Carbones Activados Comerciales

Los resultados de los análisis físico-químicos del carbón activado del presente estudio fueron comparados con los valores mencionados en los requisitos de calidad establecidos por la NMX-295-1981 para carbones activados empleados en la industria alimenticia. En este caso, la comparación se realizó teniendo como referencia el carbón activado que mejor se comportó en el análisis de adsorción (carbón activado procedente de Plantación, tratamiento IQ6, bajo condiciones de 600 °C de

temperatura; sometido a 60% de concentración de agente activante, de tamaño de partícula fina).

Cuadro 11: Requisitos de calidad de los Carbones activados utilizados en la industria alimenticia y Resultados de caracterización físico-química del carbón activado del Endocarpo de castaña.

| Propiedad | Norma NMX-295-1981 | Resultado |
|----------------------|---------------------------|------------------|
| Apariencia | Polvo negro | Polvo negro |
| pH | 5,5 – 8,5 | 4,55 |
| Contenido de humedad | Máximo, 12% | 7,91 |
| Densidad aparente | 0,4 g/cm ³ | 0,452 |
| Genizas totales | Máximo, 12% | 12,5 |

Según el cuadro N°11, los valores de pH, densidad aparente y cenizas totales no cumplen con la Norma NMX-295-1981. Sin embargo, estos valores son corregibles, considerando que, para el pH, se puede utilizar alcalinizantes y/o repetir varias veces la operación del lavado del carbón activado, afin de garantizar un valor de pH del carbón cercano al recomendado por la norma.

En cuanto a la densidad aparente, según indica el anexo n°8, los carbones activados obtenidos que presentan mayor porcentaje de adsorción, presentan a la vez valores de densidad aparente por encima de lo que establece la norma. No obstante, todos los valores de densidad aparente se encuentran muy cercanos al mínimo requerido.

Los valores de granulometría podrían ser corregidos con valores cercanos a los exigidos por la norma, por aplicación de una operación de molienda, lo que permitiría obtener partículas de carbón más finas.

Por lo tanto, se puede establecer en términos generales que el carbón activado a partir de endocarpo de castaña, con las modificaciones mencionadas, podría cumplir con la norma NMX-295-1981 de los carbones empleados en la industria alimenticia.

5. CONCLUSIONES

1. El endocarpo procedente de plantación presentó un mayor porcentaje en holocelulosa y lignina, mientras que el endocarpo de bosque natural reportó mayores porcentajes de ceniza, sílice y extractivos.
2. El carbón activado con mayor capacidad de adsorción promedio fue el procedente de bosque nativo.
3. Se registró el máximo valor de adsorción para la muestra procedente de plantación sometido a 60% de agente activante y de grano fino (-100 mesh).
4. El rendimiento registrado en la obtención del carbón activado de endocarpo de castaña (*Bertholletia excelsa*) es alto a concentraciones del agente activante bajas (30%).
5. Para las condiciones del presente estudio, la capacidad de adsorción del carbón activado tuvo una influencia altamente significativa de la concentración del agente activante, lugar de procedencia de la especie y de la granulometría.
6. Ninguno de los tratamientos presentó un pH adecuado, (la norma exige pH cercano a 7).

6. RECOMENDACIONES

1. Se debe promover la infraestructura tecnológica regional para industrializar derivados y residuos de la castaña, como el aceite y carbón activado, ofreciendo al mercado castaña con valor agregado, consecuentemente mayores ingresos para el país.
2. Se recomienda incentivar a los pobladores locales a reforestar con “castaña” e introducir la idea del uso integral de este recurso.
3. Se recomienda investigar la capacidad de obtención y evaluación de carbón activado de otros residuos y/o desechos orgánicos de la actividad forestal, a fin de evitar la acumulación de los mismos.

7. BIBLIOGRAFÍA

Adisol. 2002. Clarificación de Jarabe de Azúcar con carbón activado pulverizado. (en línea). Consultado en febrero de 2010. Disponible en <http://www.adisol.com.ec/boletines/Boletin-clasificacion.pdf>

Andersen, A. 1965. Refinación de aceites y grasas comestibles. Compañía Editora Continental S.A. 1° Edición. México. 106p.

Arana, A. C. 2000. Manejando bien tu castaña. Asociación para la conservación de las cuencas amazónica. Puerto Maldonado, Perú. 12 .

Arana, L.A. 1987. Obtención de carbón activado a partir de cáscara de coco (cocos nucifera) por el método de la activación química. Tesis (Ing. en Industrias Alimentarias). Lima, PE, Universidad Nacional Agraria La Molina. 133p.

Arata, A.A. 1993. Ensayos de propagación sexual en castaña del Brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K). Tesis (Ing. Agrónomo). Lima, PE, Universidad Nacional Agraria La Molina. 10p.

Azañero, I. 1987. Obtención de carbón activado a partir de la madera de algarrobo *Prosopis pallida* mediante método físico. Tesis (Ing. en Industrias Alimentarias). Lima, PE, Universidad Nacional Agraria La Molina. 122p.

Bansal, R.C; Donnet, J.B; Stoeckli, F. 1988. Active Carbon. New York, USA. 35p.

Barriga, R. C. 1994. Plantas útiles de la Amazonia Peruana. Características, usos y posibilidades. Trujillo, Perú. 84-86. 3p.

Capelle, A; De Vooy, F. 1983. "Activated carbon a fascinating material". Norit N. V; The Netherlands. 120-173. 54p.

Carbotecnia S.A. 2007. Usos del carbón activado. (en línea). Consultado en enero 2010. Disponible en <http://www.carbotecnia.info/carbon%20activado.htm>

Castedo, J.P. 2009. Brazilian nuts crop. (en línea). Consultado en noviembre 2009. Disponible en <http://ccbolgroup.com/brasilnutsE.html>

Chaparro, M; Moreno, T. 1984. Obtención de carbón activo a partir de desechos vegetales. Revista Ingeniería Química. Año XVI . N° 183. 86p.

Clarimex S.A. 2001. ¿Qué es el carbón activado? (en línea). Consultado en enero 2010. Disponible en http://www.clarimex.com/car_activ.htm

Comisión Nacional de Fruticultura CONAFRUT. 2000. El Cultivo de la Castaña. Aspectos de la producción, manejo en post cosecha, industrialización y comercialización. 3-8. 6p. (Boletín Técnico n° 27).

Comité Técnico Multisectorial de la Castaña. 2006. La Cadena de valor de la castaña amazónica del Perú. 29-70. 42p.

Cornejo V, F. 2002. "Historia natural de la castaña y propuestas de su manejo" ACCA. 12-13. 2p.

Corvera, R; Suri. 2006. Ley N° 27308. Ley Forestal y de Fauna Silvestre y sus avances en la actividad castañera. (en línea). Consultado en abril 2009. Disponible en <http://www.iiap.org.pe/promamazonia/sBiocomercio/Upload%5CLineas%5CDocumentos/159.doc>

Cuculiza, P. 1991. Castaña del Brasil. Lima. Sin publicar.

Cuculiza, P. 1999. Castaña orgánica. Normas relativas al recurso. (en línea). Consultado en diciembre 2009. Disponible en

<http://www.iiap.org.pe/promamazonia/SBiocomercio/LineaProductivaItem.aspx?temaFichald=163>

Doran, P. 1998. Principios de Ingeniería de los Bioprocesos. 218p.

Flores, S. 1997. Tratado de Cooperación Amazónica. Cultivo de frutales nativos amazónicos. Manual para el extensionista.

Fornwalt, H. 1963. Activated carbon for liquid phase adsorption. Vol 8, N°8. 546- 550. 5p.

Ghezan, G. ; Lasta, J.; Espejo, R.; Villalobos, G; Vieira, I. 1997. Mapeo tecnológico de cadenas agroalimentarias en el cono sur. (en línea). Consultado en mayo 2009. Disponible en <http://www.infoagro.net/shared/docs/a5/cfruyh2.pdf>

Gonzales, I.A. 2004. Obtención de carbón activado a partir del endocarpo del fruto de castaña (*Bertholletia excelsa* H.B.K) empleando el método químico con $ZnCl_2$. Tesis (Ing. Forestal). Lima, PE, Universidad Nacional Agraria La Molina. 53-78. 26p.

Hassler, J. 1973. Activated carbon chemical Publishing. New York. 159p.

Hawaii Kai Corporation. 2004. Bulk Products. Consultado en enero 2010. Disponible en <http://hawaiiikaico.com/bulk.php>

Instituto de Investigación de la Amazonía Peruana IIAP. 1991. Diagnóstico Situacional de la castaña en Madre de Dios.

Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana IIAP- 2004. Estudio detallado de los suelos de la zona de "Fernando de lores"-Tamshiyacu (región Loreto).

Instituto Nacional de Investigación Agraria INIA. 1987. Programa Nacional de Cultivos Tropicales. Estudio del mercado de frutales nativos de la selva peruana. Resumen ejecutivo. 9-13. 5p. Informe Técnico N°1.

ITINTEC, 1982. Norma Técnica Peruana para carbón activado.

Jiménez, B. E. 2002. La contaminación ambiental en México. 228-246. 19p.

Kirk, R. 1962. Enciclopedia de Tecnología Química. 583-600. 18p.

Larsen, L; Fuller, S. 2006. Medicina de Familia - Principios y práctica. Capítulo 48. Intoxicaciones. 442p.

Layseca, 2001. Obtención de carbón activado a partir de aserrío de tornillo (*Cedrelinga cateniformis ducke*), mediante el método químico ($ZnCl_2$). Tesis (Ing. Forestal). Lima, PE, Universidad Nacional Agraria La Molina. 45-59. 15p.

Lazarte, J. 1998. Estudio de mercado de especies seleccionadas. Volumen I. Resumen Ejecutivo. 1-11. 11p.

Lenntech, 1993. Water treatment Solutions. Adsorción/Carbón activo. (en línea) Consultado en agosto 2009. Disponible en <http://www.lenntech.es/adsorcion-carbon-activado.htm>

Luna, D; González, A; Gordon, M; Martín N. 2007. Obtención de carbón activado a partir de cáscaras de coco. (en línea). Consultado en agosto 2009. Disponible en http://www.izt.uam.mx/contactos/n64ne/carbon_v2.pdf

Manahan, S. 2007. Introducción a la Química Ambiental. 229p.

Melo, J. 1985. Obtención de carbón activado de *Eucalyptus globulus* Labill. Tesis (Ing. Forestal). Lima, PE, Universidad Nacional Agraria La Molina. 117p.

Mendoza, G. 1988. IICA –Bolivia. – Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Estudio sobre comercialización de la castaña de Bolivia. 8-10- 3p.

Mori, S. A. 1992. The Brazil nut industry. Past, present and future. (en línea). Consultado en agosto 2009. Disponible en <http://www.nybg.org/bsci/braznut/>

Moritz, A 1984. Estudos Biológicos da floracao e fructificacao da Castanha-do-brasil. embrapa-cpatu. belem.82p.

Müller, C. 1981. Castanha do Brasil. Estudos Agronomicos. Embrapa –Belem. 15p.

Nina, O; Vacano, P. 2008. La dinámica del sector de la castaña en Bolivia y su impacto sobre el mercado laboral y la pobreza en el norte amazónico de Bolivia. (en línea). 6p. Consultado en agosto 2009. Disponible en <http://www.gntp.org/Recursos/Documentos/Paper-Castana-Final.pdf>

Norma Mexicana NMX-295-1981, Alimentos para uso Humano. Determinación de la calidad de carbones activados empleados en la refinación de azúcar.

Oliveira, C; Panduro, C. 2000. Caracterización y evaluación del carbón activado con cloruro de zinc y ácido fosfórico a partir del aserrín de Guazuma crinita mart.

Padoch, C ; Chota, J; De Jong, W; Unruh, J. Agroforestería Tradicional en la Amazonía Peruana. Capítulo 7. La Agroforestería orientada hacia el mercado en Tamshiyacu. 197-206. 10p.

Peres & Baider 1997, Bouwman & Van Dijk. 1999. Germinación, crecimiento de las semillas de nuez de castaña (*Bertholletia excelsa* H.B.K). 595-616. 22p.

Perú forestal en números. 2007. CIF – INRENA. Lima-Perú.

Prance, G.T. & Mori, S.A. 1990. Taxonomy, Ecology and Economic Botany of the Brazil nut (*Bertholletia excelsa* Humb. and Bonpl.Lecythidaceae). 130-150. 21p.

Quinde, A. 1972. Fundamentos de la química de la madera. Universidad Nacional Agraria La Molina. Dpto. Química. 165p.

REBRAF. 1991. Castanha do Pará: Castanha precoce. Informativo Agriflorestal. Vol.2º, Nº 3-4. Informaciones Técnicas. Marzo. 1991. Rede Brasileira Agroflorestal.

Reinoso, F. 2005. Carbón activado: Estructura, Preparación y Aplicaciones. Revista Uniandes. 66- 69.4p.

Robau, A.J. 2006. Síntesis de Tamices Moleculares de carbón a partir de materiales lignocelulósicos. Tesis de Doctorado. CBI. UAM-A. México. 143p.

Rodríguez, F. 2003. Procesos de potabilización del agua e influencia del tratamiento de ozonización. 170-172. 3p.

Salhuana, J 1973. Explotación y comercialización de la castaña en madre de dios. Ministerio de agricultura. Lima- Perú.

Sax, N.I. 1979. Dangerous properties of industrial materials.

Siamazonia. 2009. Castaña asociada con Kudzu (*Pueraria phaseoloides*). (en línea). Consultado en setiembre 2009. Disponible en <http://www.siamazonia.org.pe/archivos/publicaciones/amazonia/libros/23/23000030.htm>

Smisek, M. 1970. Active carbon: Manufacture properties and applications. American Ebevier Publishing Company. New York.

Smith et al., 1992. La polinización en la especie castaña. Tesis componentes de la nuez de castaña. 2001. 3-30. 28p. (en línea). Consultado en abril. Disponible en http://www.Profonanpe.Org.Pe/Gpan/Documentos/Sistmon/Plan_De_Manejo.Pdf

Superintendencia Nacional de Aduanas del Perú. 2009. (en línea) Consultado en mayo 2009. Disponible en <http://www.aduanet.gob.pe/cl-ad-itestdesp/FrmConsultaSumin.jsp?tcon=B>

Tecsup. 2009. Procesos del carbón activado en la metalurgia del oro. (en línea). Consultado en diciembre 2009. Disponible en <http://www.tecsup.edu.pe/webuds/web/principal?accion=detallepl&codigoP=3014&codigoH=4690>

Teruya, R. 2003. Influencia de tres variables en la obtención de carbón activado de residuos de madera de tres especies comerciales (*Cedrelinga cateniformis* ducque, *Brosimum alicastrum*, *Swietenia macrophylla* king). . Tesis (Ing. Forestal). Lima, PE, Universidad Nacional Agraria La Molina. 72-100. 29p.

Villachica, H. 1996. Frutales y hortalizas promisorias de la amazonía. Tratado de cooperación amazónica. 84-95. 12p.

Vincent, M.; alvarez, s. 2006. Química industrial orgánica. Universidad politecnica de valencia. 128p.

Vizcarra, G. 1998. Una experiencia de Comercialización. Tercer encuentro de la Agroindustria Rural: Ponencias. Tarapoto, Perú. 39-43. 5p.

Water Pollution Control Federation. 1992. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. 66p.

Weber, W. 1979. Control de la calidad del agua – procesos fisicoquímicos. 211p.

Wust, W. 1992. La sorprendente historia natural de la castaña. El meridiano 29 de marzo. 22p.

WWF- World Wildlife Fund. 2005. Estándar para la Certificación del Manejo Forestal con fines de producción de castaña (*Bertholletia excelsa*) en Perú. 2p.

Zuidema, P.A. 2003. Ecología y Manejo del árbol de castaña (*Bertholletia excelsa*). Promab serie científica 6. Bolivia. 118 p.

Comunicaciones personales

Carrasco, P. 2009. Ing. Agrónomo. Egresado de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Gerente General de Amazon Ivory EIRL.

Trigoso, J. 2009. Bach. Ciencias Forestales UNC. Intermediate Technology Development Group. Área de Cartografía Forestal.

8. ANEXOS

ANEXO 1

ANALISIS DE VARIANCA PARA EL CONTENIDO DE HUMEDAD Y CONTENIDO DE MATERIAL VOLATIL

| Fuentes de Variabilidad | G.L | Contenido de Humedad | | Contenido de Material Volátil | |
|-------------------------|-----|----------------------|---------------|-------------------------------|---------------|
| | | Cuadrado medio | Significancia | Cuadrado medio | Significancia |
| Procedencia | 1 | 0,0053 | * | 703 | ** |
| Concentración | 1 | 0,0223 | ** | 540 | ** |
| Granulometría | 2 | 0,0003 | NS | 161 | ** |
| Bloque | 1 | 0,0003 | NS | 17,3 | ** |
| Proced.*Conc. | 1 | 0,0082 | * | 123 | ** |
| Proced*Granul. | 2 | 0,0012 | NS | 258 | ** |
| Conc.*Granul | 2 | 0,0014 | NS | 263 | ** |
| Proc*Conc*Gran | 2 | 0,0037 | NS | 191 | ** |
| Error | 11 | 0,0010 | | 1,43 | |
| Total | 23 | | | | |
| C.V (%) | | 3,86 | | 5,38 | |

ANEXO 2

ANÁLISIS DE VARIANCIA PARA EL CONTENIDO DE CENIZAS Y CONTENIDO DE CARBONO FIJO

| Fuentes de Variabilidad | G.L | Contenido de Cenizas | | Contenido de Carbono Fijo | |
|-------------------------|-----|----------------------|---------------|---------------------------|---------------|
| | | Cuadrado medio | Significancia | Cuadrado medio | Significancia |
| Procedencia | 1 | 8,16 | ** | 559 | ** |
| Concentración | 1 | 20,5 | ** | 771 | ** |
| Granulometría | 2 | 22,5 | ** | 299 | ** |
| Bloque | 1 | 4,16 | * | 38,5 | ** |
| Proced.*Conc. | 1 | 0,579 | NS | 107 | ** |
| Proced*Granul. | 2 | 3,66 | * | 241 | ** |
| Conc.*Granul | 2 | 4,24 | ** | 329 | ** |
| Proc*Conc*Gran | 2 | 13,4 | ** | 293 | ** |
| Error | 11 | 0,527 | | 2,65 | |
| Total | 23 | | | | |
| C.V (%) | | 8,85 | | 2,34 | |

ANEXO 3

ANÁLISIS DE VARIANCIA PARA EL PH Y DENSIDAD APARENTE

| Fuentes de Variabilidad | G.L | pH | | Densidad Aparente | |
|-------------------------|-----|----------------|---------------|-------------------|---------------|
| | | Cuadrado medio | Significancia | Cuadrado medio | Significancia |
| Procedencia | 1 | 1,97 | ** | 0,0002 | NS |
| Concentración | 1 | 0,123 | ** | 0,0024 | ** |
| Granulometría | 2 | 0,0404 | ** | 0,0044 | ** |
| Bloque | 1 | 0,0088 | NS | 0,0001 | NS |
| Proced.*Conc. | 1 | 0,184 | ** | 0,0005 | * |
| Proced*Granul. | 2 | 0,116 | ** | 0,0004 | NS |
| Conc.*Granul | 2 | 0,0380 | ** | 0,0004 | NS |
| Proc*Conc*Gran | 2 | 0,0051 | NS | 0,0004 | NS |
| Error | 11 | 0,0051 | | 0,0001 | |
| Total | 15 | | | | |
| C.V (%) | | 1,75 | | 2,47 | |

ANEXO 4

RENDIMIENTO DEL ENDOCARPO DE CASTAÑA EN LA OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO, SEGÚN PROCEDENCIA Y CONCENTRACIÓN DEL AGENTE ACTIVANTE

| RENDIMIENTO | | |
|---------------|--|------|
| Procedencia | Concentración de ácido fosfórico (H ₃ PO ₄) | |
| | 30% | 60% |
| Iquitos | 39,6 | 23,7 |
| Madre de Dios | 38,0 | 18,5 |

ANEXO 5

ANÁLISIS DE VARIANCIAS PARA LA ADSORCIÓN DE AZUL DE METILENO

| Fuentes de Variabilidad | G.L | Adsorción de Azul de Metileno | |
|-------------------------|-----|-------------------------------|---------------|
| | | Cuadrado medio | Significancia |
| Procedencia | 1 | 32,6 | ** |
| Concentración | 1 | 2,32 | ** |
| Granulometría | 2 | 259 | ** |
| Bloque | 1 | 0,0316 | NS |
| Proced.*Conc. | 1 | 54,3 | ** |
| Proced.*Granul. | 2 | 12,0 | ** |
| Conc.*Granul | 2 | 85,7 | ** |
| Proc*Conc*Gran | 2 | 39,7 | ** |
| Error | 11 | 0,0282 | |
| Total | 15 | | |
| C.V (%) | | 0,54 | |

ANEXO 6

Características del Carbón activado evaluado

| ESPECIFICACIONES | CARACTERÍSTICAS DEL CARBÓN ACTIVADO |
|--|-------------------------------------|
| | COMERCIAL(**) |
| Apariencia | Polvo negro |
| Ph | 3,9 |
| Humedad(%) | 19,4 |
| Densidad Aparente(g/cm ³) | 0,49 |
| Cenizas totales | 12,3 |
| Tamaño de partícula (pasa por tamiz 100) | 100% |

**fuente Teruya para carbón activado de aceituna (2 03)

ANEXO 7

Características del carbón activado según su fuente

| ESPECIFICACIONES | CARACTERÍSTICAS DEL CARBÓN ACTIVADO | | | |
|--|-------------------------------------|----------------------------|--------------------|-----------------|
| | NTP(*) | Norma oficial Mexicana(**) | Castaña Madre Dios | Castaña Iquitos |
| Apariencia | Polvo negro | Polvo negro | Polvo negro | Polvo negro |
| pH | 5,5-7,5 | 6,0-8,5 | 3,78 | 4,35 |
| Humedad(%) | Máximo 12% | Máximo 12% | 8,2 | 8,5 |
| Densidad Aparente(g/cm ³) | 0,35-0,4 | 0,35-0,4 | 0,41 | 0,42 |
| Cenizas totales | Máximo 12% | Máximo 12% | 7,62 | 8,79 |
| Tamaño de partícula (pasa por tamiz 100) | Mínimo 95% | Mínimo 95% | Mínimo 95% | Mínimo 95% |

(*)NTP 207.024

(**)Norma Oficial mexicana NOM-F-296-1977

(***)Arana

ANEXO 8

Valores obtenidos referidos a la norma NMX-295-1981

| Procedencia | Concentrac. Ag.act | GRANO | CODIGO | Rdto % | CH < 12% | CENIZAS < 12% | CF% | ADS% | pH 5.5-8.5 | Dap <0.4 (-100) <0.46 (40-41) |
|---------------|-----------------------|-------|--------|-----------|-------------|------------------|------|------|---------------|-------------------------------------|
| Madre de Dios | 30 | 40 | MD1 | 34,8 | 8,49 | 4,39 | 77,2 | 31 | 3,9 | 0,38 |
| | 30 | 41 | MD2 | 42,0 | 8,21 | 5,04 | 86,1 | 30,7 | 4,16 | 0,392 |
| | 30 | -100 | MD3 | 23,2 | 8,27 | 10,2 | 41,4 | 38,3 | 3,77 | 0,449 |
| | 60 | 40 | MD4 | 51,8 | 8,05 | 9,6 | 61,4 | 26,7 | 3,6 | 0,411 |
| | 60 | 41 | MD5 | 37,6 | 8,01 | 8,67 | 59,7 | 27,6 | 3,72 | 0,41 |
| | 60 | -100 | MD6 | 10,6 | 8,18 | 7,83 | 62,2 | 38,5 | 3,55 | 0,433 |
| IQUITOS | 30 | 40 | IQ1 | 48,6 | 8,38 | 6,53 | 83,6 | 28,2 | 4,15 | 0,383 |
| | 30 | 41 | IQ2 | 37,1 | 9,32 | 7,76 | 81,8 | 26 | 4,41 | 0,399 |
| | 30 | -100 | IQ3 | 14,3 | 9,26 | 9,77 | 80,9 | 29,8 | 4,46 | 0,427 |
| | 60 | 40 | IQ4 | 67,4 | 8,2 | 6,69 | 71,5 | 19,8 | 4,32 | 0,401 |
| | 60 | 41 | IQ5 | 7,9 | 7,91 | 9,51 | 62,8 | 32,2 | 4,24 | 0,445 |
| | 60 | -100 | IQ6 | 24,7 | 7,91 | 12,5 | 65,3 | 42,8 | 4,55 | 0,452 |