

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN
FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



“OBTENCIÓN QUÍMICA DE CARBÓN ACTIVADO A
PARTIR DEL ENDOCARPO DEL COCO (COCCUS
NUCIFERA) EN LA REGIÓN SAN MARTÍN”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER

ALEX BARDALEZ VIENA

TARAPOTO-PERU

2005

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN
FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
“OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DEL
ENDOCARPO DEL COCO (COCCUS NUCIFERA)”

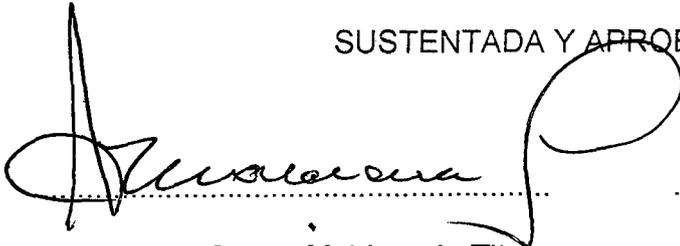
TESIS

Para Optar el Título Profesional de
INGENIERO AGROINDUSTRIAL

Presentado por el Bachiller

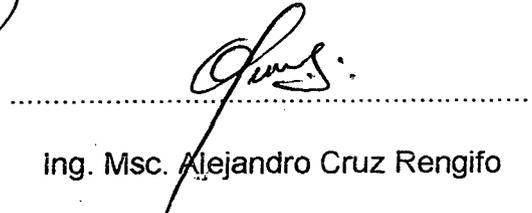
ALEX BARDALEZ VIENA

SUSTENTADA Y APROBADA POR EL JURADO



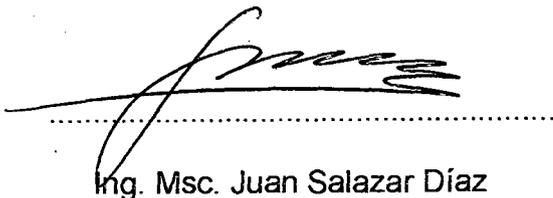
Ing. Msc. Carlos Maldonado Tito

PRESIDENTE



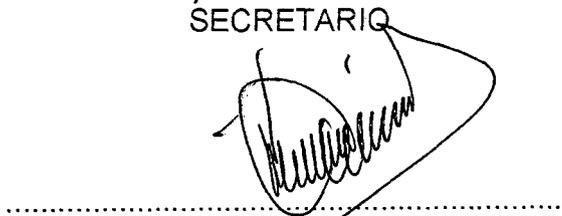
Ing. Msc. Alejandro Cruz Rengifo

SECRETARIO



Ing. Msc. Juan Salazar Díaz

MIEMBRO



Ing. Msc. Jaime G. Guerrero Marina

PATROCINADOR

TARAPOTO-PERÚ

DEDICATORIA

A mis padres:

Manuela y Moisés

Eterna gratitud y amor por el invaluable esfuerzo por verme forzado como profesional. Cuyo espíritu de trabajo y sacrificio me motivan a seguir siempre en el camino de la superación.

A mis grandes amores:

Laury y Marcia Alessandra

A Laury mi amada esposa, por comprenderme y estar a mi lado
a Marcia mi hija bella, por ser mi motivación personal para ser un profesional.

A la familia:

ARÉVALO MARQUART

Eternamente agradecido por el gran apoyo brindado en la recopilación de información.

A mis hermanos:

JOHNNY, MOISES Y LUZ OFELIA

Por la comprensión y apoyo durante la realización
De este trabajo de investigación.

AGRADECIMIENTO

- Al Ing. Msc. JAIME GUILLERMO GUERRERO MARINA, Asesor y profesor de la facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín, por sus valiosos consejos y por el constante asesoramiento en el presente trabajo.
- A la UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN, en especial a la facultad de Ingeniería Agroindustrial, por las facilidades brindadas durante la ejecución del trabajo de investigación.
- A los técnicos de laboratorio Sr. GUIDO SAAVEDRA VELA y la Sra. DOLLY FLORES DAVILA por su valiosa colaboración, a ellos mil gracias y mi estima personal.
- A mi querida Ñaña PERLITA VIENA DEL AGUILA, por su gran apoyo incondicional en los tiempos difíciles de vida de estudiante y bachiller.
- A mi mamita HERLINDA DEL AGUILA PAREDES, por haberme forjado desde que era un niño y haber sido una segunda madre para mi.
- A mis suegros Sr. CARLOS ARÉVALO ARÉVALO Y Sra. ROSALÍA VASQUEZ ANGULO, por su gran apoyo a mi persona y a mi familia.
- Por ultimo agradecer a DIOS por haberme dado la fuerza espiritual y el empuje para ser profesional.

INDICE

	PAG.
RESUMEN.....	12
SUMARY.....	13
I. INTRODUCCIÓN.....	14
II. OBJETIVOS.....	15
2.1. / Objetivo General.....	15
2.2. Objetivos Específicos.....	15
III. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA.....	16
3.1. Coco.....	16
3.1.1. Origen y distribución geográfica.....	17
3.1.2. Variedades de coco.....	19
3.1.2.1. Variedades cultivadas en el Perú.....	19
3.1.3. Usos del coco.....	22
3.2. Carbón activado.....	23
3.2.1. Definición.....	23
3.2.2. Características del carbón activado.....	24
3.2.3. Propiedades del carbón activado.....	25
3.2.4. Principales aplicaciones del carbón activado....	28
3.2.4.1. en fase líquida.....	28
3.2.4.2. en fase gas.....	29
3.2.5. Descripción de adsorción del carbón activado...	29
3.2.6. Aplicación del carbón activado en la industria del agua..	30
3.2.7. Contaminación del agua y tratamiento con CA....	31
3.2.8. Factores que influyen en la adsorción de compuestos presentes en el agua.....	31
3.2.9. El carbón activado y el aire.....	35
3.2.10. Factores que influyen en la adsorción de compuestos presentes en el aire.....	35
3.2.11. Diferencia entre adsorción y absorción.....	36
3.2.12. Eliminación de sustancias inorgánicas	37

3.3. Métodos de activación.....	38
3.4. Tipos de carbón activado.....	40
3.5. Proceso de carbonización.....	41
3.5.1. Tecnologías de carbonización.....	43
3.5.1.1. Parva tradicional.....	43
3.5.1.2. Horno industrial.....	44
3.6. Pirolisis.....	46
3.6.1. Rendimiento a la pirolisis de algunos materiales a 600°C.....	49
3.6.2. Principales importadores de CA	50
IV. MATERIALES Y METODOS.....	51
4.1. Lugar de ejecución.....	51
4.2. Materia prima.....	51
4.2.1. Endocarpio de coco.....	51
4.3. Equipos, materiales y reactivos.....	51
4.3.1. Equipos.....	51
4.3.2. Materiales.....	52
4.3.3. Reactivos.....	52
4.4. Metodología experimental.....	52
4.5. Descripción del proceso para la obtención química de carbón activado.....	52
4.5.1. Método de activación Empleado	
4.5.2. Secado de materia prima.....	54
4.5.3. Molienda.....	54
4.5.4. Tamizado.....	54
4.5.5. Preparación de las muestras.....	55
4.5.6. Impregnación del agente activante.....	55
4.5.7. Carbonización-activación.....	55
4.5.8. Carbón activado experimental.....	55
4.5.9. Molienda del carbón activado.....	56
4.5.10. Tamizado del carbón activado.....	56

4.5.11.	Lavado del carbón activado.....	56
4.5.12.	Secado del carbón activado.....	56
4.5.13.	Envasado del carbón activado.....	57
4.6.	Determinaciones fisicoquímicas de la materia prima y el carbón activado experimental.....	57
4.6.1.	Determinación de humedad.....	57
4.6.2.	Determinación de carbono fijo.....	57
4.6.3.	Determinación de cenizas totales.....	58
4.6.4.	Determinación de materia volátil.....	59
4.6.5.	Determinación de porosidad.....	59
4.6.6.	Determinación de densidad aparente.....	60
4.6.7.	Determinación de ph.....	60
4.6.8.	Determinación de granulometría.....	61
V.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	62
5.1.	Propiedades fisicoquímicas de la materia prima.....	62
5.2.	Carbonización-activación.....	63
5.3.	Ensayos del carbón activado experimental.....	64
5.4.	Propiedades fisicoquímicas del carbón activado experimental.....	69
5.5.	Capacidad de decoloración del carbón activado experimental.....	70
5.6.	Flujograma definitivo de la preparación de carbón activado.....	72
5.7.	Balance de materia en la Obtención de carbón activado..	73
5.8.	Capacidad de adsorción del carbón experimental frente a un carbón comercial.....	74
5.9.	Ensayo de decoloración con otras soluciones.....	78
VI.	CONCLUSIONES.....	79
VII.	RECOMENDACIONES.....	80
VIII.	BIBLIOGRAFÍA.....	81
IX.	ANEXOS.....	86

INDICE DE CUADROS

	PAG.
01 Descripción General del coco.....	18
02 Composición del coco variedad gigante.....	20
03 Composición del coco variedad enana.....	21
04 Materias primas para Carbón Activado.....	26
05 Principales aplicaciones del CA según el tipo de materia prima.....	27
06 Compuestos con muy alta probabilidad de ser eliminados por el carbón activo.....	32
07 Compuestos con alta probabilidad de ser eliminados por el carbón activo.....	33
08 Compuestos con probabilidad moderada de ser eliminados por el carbón activo.....	34
09 Compuestos cuya eliminación no es probable que el carbón activo sea efectivo.....	34
10 Requisitos de los carbones activados pulverulentos.....	40
11 Efectos de la temperatura en la pirolisis.....	48
12 Rendimiento a la pirolisis de algunos materiales.....	49
13 Importadores de carbón activado.....	50
14 Rendimiento del tamizado.....	61
15 Propiedades físico-químicas de la materia prima.....	63
16 ANVA.....	64
17 Porcentajes promedios de decoloración de los tratamientos.....	65
18 Propiedades fisicoquímicas del carbón experimental.....	69
19 Propiedades fisicoquímicas del carbón comercial.....	74
20 Porcentajes de decoloración de otras sustancias.....	78

INDICE DE FIGURAS

	PAG.
01 Fotografía del fruto del coco	16
02 Flujograma de obtención Química de carbón activado	53
03 Decoloración de azul de metileno por concentraciones del los carbones experimentales	66
04 Decoloración de azul de metileno por tratamientos	66
05 Efecto de la concentración de Cloruro de Zinc	67
06 Decoloración de azul de metileno por el mejor tratamiento	68
07 Decoloración en función al peso del carbón experimental	70
08 Decoloración en función al tiempo del carbón experimental	71
09 Flujo grama definitivo de la obtención de carbón activado	72
10 Diagrama de Balance de Materia	73
11 Carbón experimental vs. carbón comercial en función al tiempo	75
12 Carbón experimental vs. carbón comercial en función al peso	76
13 Comparación a 0.5 gramos	77
14 Comparación 1.25 minutos	77

INDICE DE ANEXOS

	PAG.
01 Resultados de la prueba de decoloración de azul de metileno.....	87
02 Resultado de la prueba de comparaciones de Tuckey.....	88
03 Resultado de la prueba de comparaciones de Tuckey.....	89
04 Leyenda.....	90
05 Resultados de pruebas del carbón experimental Vs carbón comercial.....	91
06 Cálculos de Carbono Fijo de la Materia Prima.....	92
07 Cálculos de Ceniza de la Materia Prima.....	93

SIGLAS

ASTME	=	American Society of tool and manufacturing engineering
CA	=	Carbón activado
CIPCA	=	Centro de Investigación y Promoción del Campesinado
TRADEMAP	=	Estadísticas de Comercio para el Desarrollo Internacional de las Empresas

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se reporta la metodología empleada para la obtención Química de carbón activado a partir del endocarpo de coco, un fruto cuyo cultivo es muy extenso a nivel mundial, y cuyo endocarpo es un desperdicio aquí en nuestra región. Esta materia prima fue escogida por su alto poder de combustión, indicando un contenido elevado de carbono, cumpliendo aparentemente con este parámetro indispensable para la obtención de carbón activado y lo más importante dar valor agregado a un desperdicio.

Lo que se buscaba era determinar la tecnología apropiada y los parámetros a utilizar para su obtención, se utilizó el método de activación química empleando el Ácido Fosfórico y el Ácido Sulfúrico como agentes activantes en concentraciones de 35ppm- 40ppm- 45ppm- 50ppm. La Carbonización-Activación se llevo a 600 °C. Evaluándose las características físico-químicas de la materia prima, como el producto obtenido.

De acuerdo a la metodología empleada el tratamiento óptimo al no haber diferencias entre variedades fue el utilizar el ácido fosfórico como agente activante a una concentración de 50 ppm, se obtuvo un rendimiento para industrialización durante la carbonización de 26.79% considerando satisfactorio y próximo a los valores industriales para distintos materiales de partida.

El carbón activo pulverulento producido cumple con todas las especificaciones técnicas que requiere INDECOPY par ser comercializados en el mercado, y podría ser utilizado en las industrias de licores, cerveza, para eliminar las trazas de color, materia orgánica y otros sabores y olores.

Summary

This research work reports the methodology used for the chemical obtaining of activated carbon from the coconut's endocarp, a palm fruit widely cultivated in many places around the world, whose endocarp is considered as waste material in our region. The coconut's endocarp was chosen as raw material because: it possesses a high combustion power, that indicates a high carbon content, which is an essential parameter for the obtaining of an activated carbon; and more important, to give added value to waste.

The aim is to determine the appropriate technology and the parameters to be used in order to produce activated carbon. The method of chemical activation employing Phosphoric Acid and Sulfuric Acid, as activating agents, was used for that purpose. The acids were used in concentrations of 35 ppm, 40 ppm, 45 ppm, and 50 ppm. The carbonization-activation was done at 600 °C. The physical-chemical characteristics of both, raw material and end product, were evaluated.

Since there were no differences between varieties, and according to the used methodology, the optimal treatment consisted on utilizing phosphoric acid as activating agent in a concentration of 50 ppm. It was obtained a carbonization industrialization output of 26.79%. Which was considered as satisfactory and close to the industrial values for the different raw materials.

The produced pulverulent active carbon meets all technical specifications required by INDECOPY in order to be commercialized in the market. It could be used in the alcohol beverage industry and the beer industry, to eliminate color traces, organic material, as well as other odors and flavors.

I. INTRODUCCIÓN

Desde hace cientos de años el coco esta considerado entre los frutales mas importantes en el mundo. Su cultivo y su consumo se realiza por igual en los cinco continentes del mundo. Actualmente, el cultivo del coco se ha extendido a muchas áreas templadas, siendo de gran valor comercial y económico. Los cocos representan una de las principales fuentes de ingreso en los países productores porque de ellos se obtienen gran cantidad de productos utilizados y apreciados incluso en los países occidentales.

La Region San Martín al poseer un clima propicio para este cultivo, es uno de los principales productores de este fruto en el país por lo que es necesario su aprovechamiento en forma integral.

La industrialización de los residuos del coco (*Coccus nucifera*), en este caso la parte dura o endocarpo podría constituir un beneficio para la economía de la región ya que ayudaria al productor de este cultivo tener un mayor ingreso con la transformación de los subproductos. La cáscara o concha exterior (endocarpio) se usa para obtener diferentes productos, el de más importancia es quizás el carbón activado.

El carbón activado en la actualidad esta siendo empleado en diferentes industrias, se utiliza por ejemplo en el tratamiento de agua potable y aguas residuales, decoloración de algunas sustancias como la glucosa, azucar, aceites vegetales, purificación de solventes y gases industriales etc; su creciente demanda abre la posibilidad de utilizar recursos propios de la región para la obtención de este producto, generando de esta manera una alternativa para el desarrollo regional.

Basados en su alto consumo y su alta produccion en los ultimos años, el presente trabajo pretende demostrar que es posible obtener un buen carbón activado que pueda competir en el mercado, encontrar deficiencias relacionados con perdidas agroindustriales(ya que solo se aprovecha la partes comestibles del fruto como son

la copra y el agua); y así contribuir al conocimiento científico de especies vegetales y sus residuos existentes en la región cuya industrialización otorgue las posibilidades de fuentes de trabajo a un importante porcentaje de la población, mejorando así el nivel socio-económico de la misma.

Cabe hacer mención que es responsabilidad de los tecnólogos de la zona, en especial ingenieros agroindustriales realizar investigaciones aplicadas para dar valor agregado a las partes no comestibles del futo cerrando con esto el ciclo productivo del cocotero o coco.

II. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVOS GENERALES

- Dar valor agregado al fruto del coco mediante la transformación del endocarpio en carbón activado.
- Demostrar la factibilidad tecnológica de la obtención Química de carbón activado a partir del endocarpio del coco.

2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Utilizar el método apropiado para la obtención de carbón activado a partir del endocarpio del coco.
- Determinar las diferencias en decoloración entre un carbón activado experimental frente a un carbón activado comercial.
- Proponer el campo o industria en el que puede emplearse el carbón activado obtenido.

III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1. COCO (COCCUS NUCIFERA)



El Cocotero es una planta muy longeva, puede alcanzar los 100 años de vida; tiene un tronco único, alto hasta 20-30 metros, con corteza lisa y gris marcada por las cicatrices anulares de las hojas viejas.

Las hojas, de 4 a 6 m de largo, son pinnadas, compuestas por folíolos linear-lanceolados, más o menos recurvados, rígidos y de color verde brillante. Las inflorescencias, que nacen en la axila de las hojas, están envueltas por una espata carenada, son espádices ramificados en los que las flores femeninas se disponen en la base y las masculinas en el ápice. Las flores tienen pétalos lanceolados, 6 estambres y un ovario formado por 3 carpelos soldados.

El fruto, grueso como una cabeza de hombre y con 1-2 kg de masa, es una drupa con epicarpo delgado, liso y de color marrón grisáceo, mesocarpo fibroso, de unos 4-8 cm y endocarpo leñoso; siendo ligero puede ser transportado por el mar a grandes distancias, sin que su germinación sea perjudicada.

En el interior contiene una única semilla rica en sustancias de reserva localizadas en el endosperma, que es en parte líquido (leche de coco) y en parte sólido (pulpa).

3.2. Origen y distribución geográfica

El coco originario de Asia, donde se ha extendido a todo el mundo. La forma de deseminación por el mundo es todavía incierto, sin embargo las teorías asociadas a su distribución en zonas pobladas por el hombre son las más aceptadas. (*Guía técnica sobre el cultivo del coco 2001*)

Cuadro 01. Descripción General del coco

Nombre Científico:	Cocos nucifera
Familia:	Palmaceae
Variedad:	Gigantes y Enanas
Período Vegetativo:	4 - 5 años
Vida útil:	40 - 50 años.
Requerimiento de Suelo:	Franco arenoso, franco arcilloso. pH: 6.5-8.0
Épocas de Siembra:	Todo el año
Epoca de Cosecha:	Todo el año
Clima:	Tropical
Temperatura:	
Temperatura máxima	38 °C
Temperatura mínima	15 °C
Temperatura óptima	25 - 30 °C
Jornales (No/Ha):	Instalación: 40 - 50 Mantenimiento y Cosecha: 60 - 80.
Rendimientos (TM/Ha):	
Rendimientos Regionales	23.5
Rendimientos Nacionales	16.92
Rendimientos Potenciales	(80 - 100 cocos por planta)
Costo Producción (USA \$/Ha):	Instalación: 800 - 900 Mantenimiento y Cosecha: 1,000 - 1,200

Mercados demandantes:	
Mercado Nacional	Loreto, Piura, La Libertad y Lima
Mercado Internacional	Unión Europea (Aceite de coco)
Usos:	Industria: aceitero Consumo directo: refrescos

Fuente: CIPCA (www.cipca.org.pe/cipca/informacion_y_desarrollo)

3.3. VARIEDADES DE COCO

Mientras no exista una clasificación definitiva deben evitarse los nombres latinos de variedades. En cambio, los cocoteros pueden dividirse en tres grupos, altos, enanos, intermedios, conteniendo cada grupo una serie de variedades.

Híbridos, cuando se habla de hibridación; son referidos al cruce de palmeras enanas y altas. Después de los primeros resultados que se demostraron muy prometedores, la producción de híbridos de altos rendimientos es la aparición principal de los genetistas. **(OHLER)**

3.3.1. Variedades cultivadas en el Perú

En el país la variedad predominante es la gigante, alcanza 90 % del área total sembrada, mientras la variedad enana alcanza el 10 % y es de reciente introducción, especialmente en la Selva peruana (San Martín y Loreto).

a) Variedad gigante:

Se caracteriza por su estípete, no ramificado y recto de 25 a 30 metros. En condiciones favorables una plantación de cocotero gigante florece al 4^{to} año dando los primeros racimos al 5^{to} año, la producción comercial empieza a partir del noveno.

De acuerdo a la información estadística los rendimientos del cocotero en el país son los siguientes:

- TUMBES: 16.50 TM/H.
- PIURA: 15.37 TM/H.

A partir del año 50 la producción comienza a disminuir. El Instituto de investigaciones agroindustriales (I.I.A.), en un análisis efectuado determino la composición siguiente:

Cuadro 02. Composición del coco variedad gigante:

COMPONENTES	PESO (g)	PORCENTAJE EN RELACION A	
		COCO FIBRA	CON COCO SIN FIBRA
Coco con fibra	1600	100	-----
Fibra	404	25.3	-----
Coco sin fibra	1196	74.7	100
Agua	223	13.9	18.6
Cascara	240	15	20
Almendras	733	45.6	61.3
frescas	227	17.3	23.2
Copra	172	10.7	14.4
Aceite			

FUENTE: INP, UNI, BID,

b) Variedad enana

Esta variedad constituye palmas de pequeñas alturas variando de 3 a 7 metros.

Las plantaciones de cocotero enano en condiciones favorables, inicia su producción a partir del 4^{to} año; siendo a partir del 7^{mo} año en el que se tiene una producción comercial. Los rendimientos promedios del cocotero enano en el Perú (Tarapoto) alcanzan las 17.2 TM/Ha. Del análisis físico realizado por el I.I.A. en cocos enanos, procedente de Piura se ha determinado los siguientes resultados:

Cuadro 03. Composición del coco variedad enana:

COMPONENTES	PESO (g)	PORCENTAJE EN RELACION A	
		COCO CON FIBRA	COCO SIN FIBRA
Coco con fibra	846.5	100.0	
Fibra	305.2	36.6	
Coco sin fibra	541.3	64.0	100.0
Agua	113.3	13.4	20.8
Cáscara	134.0	15.8	24.9
Almendra fresca	294.0	34.7	54.3
Copra	162.5	19.2	30.0
Aceite	91.6	10.8	16.9

FUENTE: INP, UNI, BID.

3.3.2. Usos del coco

Existen aproximadamente 360 usos domésticos. Un dicho en la república de Sri Lanka indica que el coco puede ser usado de 99 maneras, pero con toda seguridad se encontrara una centena.

Algunos son:

- **Madera de coco.**- Se usa para la construcción de casas, puentes, y granjas. La corteza interior es dura y es muy útil para la fabricación de muebles. Para mejorar su calidad se deja un mes en agua salada.
- **El palmito.**- Es la yema terminal del cocotero y se consume crudo o cocido. Contiene 3% de almidón y 5% de azúcar.
- **Las raíces.**- Tienen propiedades antidiarréicas.
- **Las palmas.**- Son usadas para techos, canastas, sombreros alfombras, etc.
- **La nuez** es su principal producto. La diversidad de usos es grande dentro de ellos estan :
- **El agua de coco.**- Utilizada como bebida para saciar la sed.
- **Aceite.**- Usada en alimentos, cosmetología, combustibles y lubricantes.
- **Harina de coco.**- Es un subproducto de la extracción de aceite y se usa como alimento para ganado.
- **Copra.**- Es la carne blanca del coco, se usa como materia prima para la extracción de aceite. Tambien tiene otros usos como el coco rallado, deshidratado de conservas, etc.
- **El hueso o concha.**- Es el endocarpo que cubre la copra. Es usado como materia prima para carbón y **carbón activado**, o como combustible para calderas, cocinas, etc. tambien se usa para fabricar botones, cucharas, adornos, etc. *(Guía técnica sobre el cultivo del coco)*
- **La estopa o mesocarpo.**- De ella se extrae fibra para elaborar pitas, alfombras, sacos, etc. El polvo de la estopa se usa para enmendar suelos arenosos ya que mejora el poder de retención del agua y la textura. *(Guía técnica sobre el cultivo del coco)*

3.4. Carbón Activado

3.4.1. Definición

El nombre de carbón activado se aplica a una serie de carbones porosos preparados artificialmente para que exhiban un elevado grado de porosidad y una alta superficie interna. Estas características son las responsables de sus propiedades adsorbentes, que son utilizadas ampliamente en muchas aplicaciones tanto en fase gas como en fase líquida. El carbón activado es un adsorbente muy versátil, porque el tamaño y la distribución de sus poros en la estructura carbonosa pueden ser controlados para satisfacer las necesidades de la tecnología actual y futura. Más aún, las necesidades específicas de la industria pueden ser satisfechas mediante la posibilidad de preparar estos materiales con una gran variedad de formas físicas, tales como polvo, granular, extrusionado, fibra, fieltro e incluso tela. Por otra parte, mediante la adecuada selección del precursor, el método de activación y control de las variables del proceso de fabricación, las propiedades adsorbentes del producto pueden ser adaptadas para satisfacer necesidades tan diversas como la purificación de aguas potables o el control de las emisiones de gasolina en automóviles. *(Francisco Rodríguez Reinoso, 2000)*

Los carbones activados son materiales de alta capacidad de adsorción, extensamente utilizados para el tratamiento de efluentes tanto líquidos como gaseosos. En la industria, se emplea este adsorbente para eliminar impurezas coloreadas, pigmentos y cenizas de las soluciones azucaradas durante el refinado. *(Lizzio.A.A, Jiang.H.,Radovic 1990; citado por Norberto Miranda Zea)*

Los carbones activados son formas no grafiticas del carbón con un area superficial interna elevada, debido a la porosidad intrínseca del precursor y/o al desarrollo de está durante el proceso de activación.

El carbón activado se fabrica a partir de cualquier material carbónico como la madera, el carbón mineral, la cáscara de coco, etc., el cual es clasificado según el tamaño, carbonizado y activado para crear la enorme área de superficie y la estructura interna del poro que define al carbón activado.

Es un carbono amorfo que se presenta pulverizado, granulado o en forma de pastillas y se caracteriza por tener una gran área superficial de 500 a 1.500 m²/g, a causa de la presencia de numerosos poros finos. (*Descripción del carbón. htm*)

3.4.2. CARACTERÍSTICAS DEL CARBON ACTIVADO

Desde el punto de vista de la composición química, el CA es carbón prácticamente puro, igual que el diamante, el grafito, el negro de humo y los diversos carbones minerales o vegetales. En el CA los átomos de carbono casi siempre se encuentran combinados en forma de placas grafiticas. Estas placas son planas, están separadas y tienen distintas orientaciones, por lo que existen espacios entre ellas. Estos espacios se denominan poros y son los que brindan al Carbón Activado su principal característica: un gran área superficial y, por lo tanto, una alta capacidad adsorbente. El área de la mayoría de los carbones activados comerciales está entre 500 y 1.500 m²/g.

Las características específicas de los distintos tipos de carbones activados dependen principalmente de:

- a) La materia prima
- b) El proceso de activación utilizado

Es importante mencionar que una misma materia prima que sea activada por procesos diferentes dará como resultado carbones con propiedades diferentes.

3.4.3. PROPIEDADES DEL CARBÓN ACTIVADO

El Carbón Activado actúa como adsorbente debido a un desequilibrio de fuerzas en la superficie de las placas grafiticas. Este desequilibrio provoca atracciones intermoleculares que causan la condensación del adsorbato gaseoso o la precipitación del adsorbato de la solución. El CA, adsorberá una molécula con mayor fuerza si existen dos placas grafiticas lo suficientemente cercanas a la misma como para atraerla. Una molécula con mayor peso molecular se retendrá con mayor fuerza, siempre y cuando su tamaño le permita caber entre las placas grafiticas.

El Carbón Activado tiene una gran variedad de tamaños de poros que pueden clasificarse, en poros de adsorción y poros de transporte. Los poros de adsorción consiste en espacios entre placas grafiticas con una separación de entre una y cinco veces el diámetro de la molécula que va a retener. Los poros mayores son los de transporte, en esta clase de poros, sólo una placa ejerce atracción sobre el adsorbato y lo hace con una fuerza insuficiente para retenerlo, estos poros actúan como caminos de difusión; tienen poca influencia en la capacidad del CA, pero afecta a la cinética o velocidad con la que se lleva a cabo la adsorción.

El Carbón Activado adsorbe bien todo tipo de moléculas orgánicas. No así las inorgánicas, excepto algunas como los molibdatos, los cianuros de oro, el dicianuro de cobre, el cloruro de mercurio, el yodo y las sales de plata, entre otros. La mayoría de las moléculas orgánicas que tienen ligados átomos de cloro, bromo o yodo se adsorben con mayor fuerza.

El Carbón Activado puede fabricarse a partir de todo tipo de material carbonoso, cada materia prima brindará características y calidades distintas al producto. El tamaño de los poros y su distribución depende básicamente de la materia prima y no del método de activación. Aunque el CA puede fabricarse a partir de un sin número de materiales carbonosos, solamente se utilizan a nivel comercial la madera de pino, el carbón mineral lignítico, el carbón mineral bituminoso y la concha de coco, debido a su disponibilidad, bajo costo y a que los productos obtenidos a partir de ellos tienen las propiedades que cubren toda la gama de aplicaciones que el CA puede tener.

CUADRO 4: Materias primas para Carbón Activado.

MATERIA PRIMA	MÉTODO DE ACTIVACIÓN	DUREZA O RESISTENCIA A LA ABRASIÓN	RADIO MEDIO DE PORO
Madera de pino	Desidratación química	30 - 50	200 a 2.000 nm
Carbón mineral lignítico	Térmica	40 - 60	3.3 nm
Carbón mineral bituminoso	Térmica	70 - 85	1.4 nm
Concha de coco	Térmica	90 - 99	0.8 nm

Fuente: Descripción ICMC.htm

La dureza o resistencia a la abrasión es una propiedad muy importante en los CA que se van a utilizar en forma granular, ya que la falta de ésta provoca erosión y rompimientos durante el manejo y el uso. La reactivación de un CA que no tenga suficiente dureza no resulta rentable, ya que el proceso de reactivación somete al carbón a una serie de movimiento y de acciones erosionantes que lo rompen y disminuye su tamaño. (*Descripción ICMC.htm*)

CUADRO 5: Principales aplicaciones del CA según el tipo de materia prima.

TIPO DE CA DE ACUERDO CON SU ORIGEN	PRINCIPAL APLICACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE AGUA	OBSERVACIONES
Madera de pino	Agua residual con colores intensos y/o con cantidades sustanciales de grasas, aceites y otros compuestos de alto peso molecular. Potabilización de agua superficial con alto contenido de materia orgánica natural	Se requiere un CA macro poroso, ya que los contaminantes mencionados tienen un tamaño molecular relativamente grande. Usado en la industria textil, de alimentos y de petróleo. Como este CA es poco duro se aplica en polvo
Carbón mineral lignítico	Agua residual cuyos contaminantes sean muy diversos, como es el caso de las de procedencia municipal.	Este CA tiene poros de muy diversos tamaños, por lo que es el adecuado en el caso de que los contaminantes sean de una gran gama de tamaños moleculares. La dureza de este carbón es relativamente baja.
Carbón mineral bituminoso	Agua residual en la que predominen contaminantes de peso molecular intermedio. Potabilización de agua superficial o con un ligero color producido por algas.	La mayoría de los poros de este CA están en el rango bajo de la mesoporosidad. Es menos duro que el de coco, pero más adecuado cuando hay una alta proporción de contaminantes no volátiles
Concha de coco	Potabilización de agua de pozo. Eliminación de olor, sabor y compuestos volátiles en agua superficial. Agua residual contaminada con solventes volátiles o con otras moléculas de bajo peso molecular. Decoloración.	Es el carbón con más proporción de microporos, por lo tanto es el más adecuado para retener moléculas pequeñas. Es el carbón utilizado cuando solamente se requiere decolorar, ya que es el más duro y resistente a la abrasión.

Fuente: Descripción ICMC.htm

3.4.4. PRINCIPALES APLICACIONES DEL CARBON ACTIVADO

3.4.4.1. EN FASE LÍQUIDA

Se utiliza el carbón activo en polvo y granular. Entre las aplicaciones se encuentran la eliminación de:

- Impurezas que causan color, olor y sabor en el agua potable, líquidos de procesos alimenticios (jugos, vinagre...), líquidos de procesos químicos (solventes, fármacos...)
- Color, compuestos orgánicos tóxicos y metales ligados a moléculas orgánicas en aguas residuales de origen municipal o industrial.
- Precursores de color que pueden no tener color original, pero que lo causan en una etapa posterior del proceso o después de que el producto se ha vendido (ejemplo: glucosa de maíz).
- Contaminantes que interfieren en la cristalización o en el rendimiento de la formación de cristales (ejemplo: industrias azucarera y química).
- Compuestos que causan espuma, o procesos que la causen como aireación agitación...Impurezas que causan turbidez (ejemplo ginebra, ron y otros destilados).
- Productos de alta pureza (ejemplo: producción de ácido ascórbico utilizado en la fabricación de vitamina C).
- Trazas de iones metálicos, que se hacen reaccionar con un reactivo orgánico para adsorberlos posteriormente.
- Cloro, cloraminas u ozono del agua, se eliminan por reacción química en la superficie del CA. Otras aplicaciones que con consisten en la eliminación de impurezas son:
 - La concentración de un material valioso contenido en una solución diluida, por medio de adsorción, y con la posterior recuperación de dicho material (ejemplo: recuperación de oro y plata).
 - Como catalizador. El CA aporta su gran área superficial y su resistencia a la temperatura y a la presión. (*Lenntech, Adsorción - carbón activo*)

3.4.4.2. EN FASE GAS

Se utiliza el carbón activo granular o peletizado. Las principales aplicaciones consisten en la eliminación de:

- Olores. En lugares habitables, de esparcimiento, en almacenes y olores generados en procesos industriales o en plantas de tratamiento de aguas residuales.
- Compuestos orgánicos tóxicos en aire que va a respirar el hombre de manera inmediata.
- Vapores de ácidos, álcalis u otros compuestos no adsorbibles en CA. Esto se logra impregnando al CA con un compuesto químico que reaccione con el contaminante que quiera eliminarse. El carbón aporta su gran área superficial.
- Contaminantes orgánicos en gases que se producen industrialmente y que requieren purificarse (ejemplo: dióxido de carbono, hidrógeno, oxígeno...).
- Etileno generado por fruta y otros vegetales almacenados en bodegas, mediante la adsorción en CA impregnado con un agente oxidante. Con esta purificación, se evita una maduración prematura.
- Gases radioactivos (ejemplo: isótopos radioactivos de kriptón, xenón y yodo).
- Vapores en los tanques que almacenan productos orgánicos volátiles.
- Compuestos orgánicos en aire o en gases de escape. El CA puede tener como objetivo no sólo la purificación del aire o gas de escape, sino la recuperación del solvente. (*Lenntech, Adsorción - carbón activo*)

3.4.5. DESCRIPCIÓN DE ADSORCIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO

Las moléculas en fase de gas o de líquido serán unidas físicamente a una superficie, en este caso la superficie es de carbón activo. El proceso de la adsorción ocurre en tres pasos:

- Macro transporte: Movimiento del material orgánico a través del sistema de macro-poros del carbón activo (macro-poros > 50nm)
- Micro transporte: Movimiento del material orgánico a través del sistema de micro-poros del carbón activo (microporo < 2nm; meso-poro 2-50nm)

- **Absorción:** Adhesión física del material orgánico a la superficie del carbón activo en los meso-poros y micro-poros del carbón activo

El nivel de actividad de la adsorción depende de la concentración de la sustancia en el agua, la temperatura y la polaridad de la sustancia. Una sustancia polar (= soluble en agua) no puede ser eliminada o es malamente eliminada por el carbón activo, una sustancia no polar puede ser totalmente eliminada por el carbón activo. (*Lenntech, Adsorción - carbón activo*)

3.4.6. APLICACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO EN LA INDUSTRIA DEL AGUA

3.4.6.1. CONTAMINACIÓN DEL AGUA Y TRATAMIENTO CON CA

La aplicación del CA en el tratamiento del agua está enfocada en la retención de materia orgánica. La decoloración, constituye una excepción, porque el cloro no es de carácter orgánico, no es un contaminante, sino un desinfectante que agrega el hombre. Los contaminantes orgánicos se pueden clasificar en tres grupos, materia orgánica natural, químicos orgánicos sintéticos y subproductos de la desinfección. (*Lenntech, Adsorción - carbón activo*)

1. Materia orgánica natural.

El mayor porcentaje de materia orgánica soluble que se encuentra en el agua es de origen natural y proviene del metabolismo de la vegetación, así como de aquella que se encuentra en estado de descomposición. Es importante eliminar la materia orgánica disuelta antes de la desinfección, ya que de lo contrario se forman subproductos de la desinfección que son nocivos para la salud. El CA adsorbe de manera muy eficiente la fracción volátil, en la que se incluye el olor y sabor. (*Lenntech, Adsorción - carbón activo*)

2. Químicos orgánicos sintéticos.

Estos compuestos provienen de las descargas de aguas residuales de origen industrial o municipal, de productos químicos agrícolas y urbanos. Se encuentran en el agua, generalmente en muy bajas concentraciones y pueden ser muy diversos. Las investigaciones indican que, a largo plazo, la ingestión de combinaciones de estas sustancias, aun a niveles de trazas, pueden ser causa de cáncer y defectos congénitos. El CA es un adsorbente eficaz, excepto de aquellos químicos que son tan volátiles o más que el propano, y de los que tienen un peso molecular muy grande y no caben en los poros del carbón. (*Lenntech, Adsorción - carbón activo*)

3. Subproductos de la desinfección.

Al desinfectar el agua para consumo humano con cloro, el cloro reacciona con la materia orgánica y genera los subproductos de la desinfección que son compuestos tóxicos parecidos a los químicos orgánicos sintéticos, ambos se adsorben de forma similar por el CA, considerándose en la actualidad al CA como la mejor tecnología disponible para su eliminación del agua.

3.5. **Trihalometanos.** Son solamente algunos de los muchos subproductos de la desinfección formados durante la cloración del agua que contiene materia orgánica disuelta. Comprenden los siguientes compuestos: cloroformo (CHCl_3), bromodiclorometano (CHBrCl_2), dibromoclorometano (CHBr_2Cl) y bromoformo (CHBr_3). Estos compuestos se adsorben con mayor eficiencia que los anteriores ya que el cloro y el bromo aumentan la adsorbabilidad de los compuestos orgánicos. (*Descripción del ICMC.htm*)

3.4.6.2. Factores que influyen en la adsorción de compuestos presentes en el agua:

El tipo de compuesto que desee ser eliminado. Los compuestos con elevado peso molecular y baja solubilidad se absorben más fácilmente.

La concentración del compuesto que desea ser eliminado. Cuanta más alta sea la concentración, más carbón se necesitará.

Presencia de otros compuestos orgánicos que competirán con otros compuestos por los lugares de adsorción disponibles.

El pH del agua. Por ejemplo, los compuestos ácidos se eliminan más fácilmente a pHs bajos.

Según esto podemos clasificar algunos compuestos según su probabilidad de ser eficazmente adsorbidos por el carbón activo en el agua:

Cuadro 6.- Compuestos con *muy alta probabilidad* de ser eliminados por el carbón activo:

2,4-D	Deisopropiltatracina	Linuron
Alacloro	Desetilatraccina	Malation
Aldrin	Demeton-O	MCPA
Antraceno	Di-n-butilftalato	Mecoprop
Atraccina	1,2-Diclorobenceno	Metazaclor
Azinfos-etil	1,3-Diclorobenceno	2-Metil bencenammina
Bentazona	1,4-Diclorobenceno	Metil naftaleno
Bifenil	2,4-Diclorocresol	2-Metilbutano
2,2-Bipiridina	2,5-Diclorofenol	Monuron
Bis(2-Etilhexil) Ftalato	3,6-Diclorofenol	Naftaleno
Bromacil	2,4-Diclorofenoxi	Nitrobenceno
Bromodiclorometano	Dieldrin	m-Nitrofenol
p-Bromofenol	Dietilftalato	o-Nitrofenol
Butilbenceno	2,4-Dinitrocresol	p-Nitrofenol
Hipoclorito de calcio	2,4-Dinitrotolueno	Ozono
Carbofurano	2,6-Dinitrotolueno	Paration
Cloro	Diuron	Pentaclorofenol
Dióxido de cloro	Endosulfan	Propaccina

Clorobenceno	Endrin	Simacina
4-Cloro-2-nitrotolueno	Etilbenceno	Terbutrin
2-Clorofenol	Hezaclorobenceno	Tetracloroetileno
Clorotolueno	Hezaclorobutadieno	Triclopir
Criseno	Hexano	1,3,5-Trimetilbenceno
m-Cresol	Isodrin	m-Xileno
Cinacina	Isooctano	o-Xileno
Ciclohexano	Isoproturon	p-Xileno
DDT	Lindano	2,4-Xilenol

Fuente: Lenntech, Adsorción - carbón activo 1991

CUADRO 7: Compuestos con alta probabilidad de ser eliminados por el carbón activo:

Anilina	Dibromo-3-cloropropano	1-Pentanol
Benceno	Dibromoclorometano	Fenol
Alcohol bencílico	1,1-Dicloroetileno	Fenilalanina
Ácido benzoico	cis-1,2- Dicloroetileno	Ácido o-ftálico
Bis(2-cloroetil) éter	trans-1,2- Dicloroetileno	Estireno
Bromodichloromethane	1,2-Dicloropropano	1,1,2,2-Tetracloroetano
Bromoforno	Etileno	Tolueno
Tetracloruro de carbono	Hidroquinona	1,1,1-Tricloroetano
1-Cloropropano	Metil Isobutil Ketona	Tricloroetileno
Clorotoluron	4-Metilbencenammina	Acetato de vinilo

Fuente: Lenntech, Adsorción - carbón activo 1991

CUADRO 8: Compuestos con probabilidad moderada de ser eliminados por el carbón activo:

Ácido acético	Dimetoato	Metionina
Acrilamida	Etil acetato	Metil-tert-butil éter
Cloroetano	Etil éter	Meti etil ketona
Cloroformo	Freón 11	Piridina
1,1-Dicloroetano	Freón 113	1,1,2-Tricloroetano
1,2-Dicloroetano	Freón 12	Cloruro de vinilo
1,3-Dicloropropeno	Glifosato	
Dikegulac	Imazipur	

*(Para estos compuestos el carbón activo es una tecnología efectiva solo en ciertos casos).

Fuente: Lenntech, Adsorción - carbón activo 1991

CUADRO 9: Compuestos para cuya eliminación no es probable que el carbón activo sea efectivo. Sin embargo sí lo es en ciertos casos en los que el flujo o la concentración del compuesto son muy bajos:

Acetona	Cloruro de metileno
Acetonitrilo	1-Propanol
Acrilonitrilo	Propionitrilo
Dimetilformaldehido	Propileno
1,4-Dioxano	Tetrahidrofurano
Isopropil alcohol	Urea
Cloruro de metilo	

Fuente: Lenntech, Adsorción - carbón activo 1991

3.4.7. EL CARBÓN ACTIVADO Y EL AIRE

3.4.7.1 Factores que influyen en la adsorción de compuestos presentes en el aire:

El tipo de compuesto que desea ser eliminado: En general los compuestos de alto peso molecular, baja presión de vapor/alto punto de ebullición y alto índice de refracción son mejor adsorbidos.

- **La concentración:** Cuanto mayor sea la concentración, mayor será el consumo de carbón.
- **La temperatura:** Cuanto más baja sea la temperatura, mejor será la capacidad de adsorción.
- **Presión:** Cuanto mayor sea la presión, mayor será la capacidad de adsorción.
- **Humedad:** Cuanto más baja sea la humedad, mayor será la capacidad de adsorción. (*Lenntech, Adsorción - carbón activo 1991*)

3.5. DIFERENCIA ENTRE ADSORCIÓN Y ABSORCIÓN

Cuando una sustancia se adhiere a una superficie se habla de adsorción, es este caso, la sustancia se adhiere a la superficie interna del carbón activo. Cuando la sustancia es absorbida en un medio diferente esto es llamado absorción. Cuando un gas es atraído dentro de una solución se habla de absorción. (*Lenntech, Adsorción - carbón activo 1991*)

3.6. ELIMINACIÓN DE SUSTANCIAS INORGÁNICAS POR REACCIÓN QUÍMICA Y CATALÍTICA EN LA SUPERFICIE DEL CARBÓN ACTIVADO

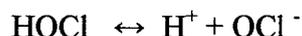
En la mayoría de las aplicaciones el CA actúa como adsorbente, sin embargo también ocurren reacciones de sustancias inorgánicas en la superficie del mismo. Estas reacciones disminuyen la capacidad del CA para adsorber moléculas orgánicas.

1. Eliminación del ozono.

El CA actúa como catalizador y el ozono se transforma en oxígeno. En fase líquida, el objetivo del CA es el de eliminar el ozono residual que queda después de la ozonización del agua. En fase gas, el CA se utiliza para eliminar el ozono, que es dañino para la salud cuando se encuentra en el aire que respira el hombre.

2. Eliminación de cloro libre.

Está es una de las principales aplicaciones del CA. El cloro es un químico que se agrega al agua, principalmente como desinfectante. En el agua, el cloro queda disuelto en forma de ácido hipocloroso (HOCl), un ácido débil que tiende a disociarse, como sigue:



Al ácido hipocloroso (HCOCl) como al ion hipoclorito (OCl-) se les denomina cloro libre. El cloro que interviene en la etapa de desinfección se combina y deja de ser libre. Un vez terminada esta etapa es necesario eliminar el cloro libre residual, porque es tóxico para el ser humano, imparte mal olor y sabor al agua, interfiere con procesos industriales, daña la mayoría de las resinas de intercambio iónico y afecta a las membranas de osmosis inversa. Para eliminar el cloro libre se utiliza CA granular, cuando el CA se expone ocurren las siguientes reacciones:



En donde CCA representa el carbón activado. CCAO y CCAO2 representan óxidos superficiales que poco a poco van ocupando espacios en la superficie del CA.

Algunos de estos óxidos se liberan hacia la solución, disolviéndose como ácido carbónico (HCO_3), dejando espacios libres que alargan la vida del CA.

Al mismo tiempo que el CA granular actúa como decolorador, adsorbe la materia orgánica presente en el agua. (*Lenntech, Adsorción - carbón activo 1991*)

2. Eliminación de cloraminas.

El cloro libre reacciona con amoníaco en agua para formar la monocloramina (NH_2Cl). Este compuesto tiene propiedades biocidas, actúa más lentamente que el cloro libre, pero tiene la ventaja de ser más persistentes. La cloramina también puede producirse sin intención, al clorar agua de abastecimientos que contienen impurezas nitrogenadas. Su presencia en agua potable es causa de olor y se considera un problema en muchas industrias.



En donde CCA es el carbón activado granular y CCAO es un óxido superficial. Después de que han reaccionado alrededor de 0,52g de NH_2Cl por g de carbón, ocurre la siguiente reacción paralela:



Aproximadamente un 50% de NH_2Cl desaparece de acuerdo con la reacción (I) y otro 50% de acuerdo con la reacción (II). En la reacción global el CA participa como catalizador. (*Lenntech- Adsorción - carbón activo 1991*)

3.7. METODOS DE ACTIVACIÓN

Muchos materiales carbonáceos, como el coque de petróleo, el aserrín, el lignito, la turba, la madera, el carbón de madera, las cáscaras de nuez y los huesos de las fruta; pueden utilizarse en la manufactura del carbón activado, pero las propiedades del producto terminado están gobernadas no sólo por la materia prima sino por el método de activación que se aplica.

La activación consiste en un cambio físico por el cual la superficie del carbón es tremendamente aumentada por la eliminación de hidrocarburos. Existen varios métodos idóneos para esta activación. El más comúnmente empleado consiste en el tratamiento del material carbonáceo con gases oxidantes, como el aire, el vapor o el dióxido de carbono, y la carbonización de la materia prima en presencia de agentes químicos como el cloruro de zinc o el ácido fosfórico. *(Austin. A. G 1989)*

El proceso de activación consiste básicamente en reordenar los átomos de carbono en anillos tipo benceno para lograr una estructura cristalina reticular similar a la del grafito, en otras palabras, la activación consiste en "multiplicar" la cantidad de poros de un carbón dando como resultado una estructura extremadamente porosa de gran área superficial disponible para llevar a cabo el proceso de adsorción de impurezas que provocan olor, color o sabor indeseable.

Existen básicamente dos procesos a través de los cuales se puede lograr la activación:

a) Proceso Físico

b) Proceso Químico

- **Activación por Proceso Físico.**- La activación física consiste en oxidar la materia prima a altas temperaturas en presencia de un agente oxidante, usualmente, vapor de agua. Debido a que la reacción es endotérmica es necesario generar una temperatura constante, normalmente y dependiendo de la materia prima, ésta es de 800 °C. *(Empresa Clarimex)*

- Se somete la madera a una carbonización, realizada a baja temperatura para que no se favorezca la grafitación. El carbón vegetal resultante se somete a temperaturas cercanas a los 1000 °C, en una atmósfera inerte o reductora, casi siempre saturada con vapor de agua. En estas condiciones, y a lo largo de un cierto tiempo, algunos átomos de carbón reaccionan y se gasifican en forma de CO₂, y otros se recombinan y condensan. El grado de activación y el rendimiento dependen de las condiciones de operación del horno de activación, que son la temperatura, la composición de los gases, el tiempo de residencia del carbón en el equipo y su flujo volumétrico. El rendimiento suele estar entre 0.25 y 0.5 Kg de carbón activo por kilo de carbón. Por grado de activación se entiende el área superficial (g/m²) generada en el carbón activo. (*Descripción del carbón. htm*)
- **Activación por Proceso Químico.-** La activación química se basa en la deshidratación de la materia prima, mediante sustancias químicas y a una temperatura media (400 a 600 °C.), ésta depende de la sustancia química a utilizar para activar el carbón. Los agentes químicos normalmente utilizados son el ácido fosfórico, el cloruro de zinc y el ácido sulfúrico. (*Empresa CLARIMEX*)
- La primera etapa consiste en deshidratar la madera mediante la acción de un químico, como ácido fosfórico, cloruro de zinc o carbonato de potasio. Posteriormente, se carboniza el material deshidratado a baja temperatura (500 a 600 °C), obteniéndose automáticamente la estructura porosa. El producto resultante se lava, con objeto de dejarlo tan libre como sea posible del químico utilizado, así como para recuperar y reutilizar este último. La rentabilidad del proceso radica, en gran medida, en la eficiencia de dicha recuperación. El grado de activación puede variarse de acuerdo con la concentración del químico deshidratante utilizado. (*Descripción del carbón. htm*)

del 50 % de pérdida por combustión. De igual forma a altas temperaturas el proceso es rápido y el rendimiento de carbón es menor.

(Transformación térmica de la madera - Monografias_com.htm)

3.10. TECNOLOGÍAS DE CARBONIZACIÓN

En esencia para obtener carbón vegetal a partir de la madera lo que se hace es crear una barrera física que aísla la madera del exterior, para evitar que al calentarla, el oxígeno del aire la incendie. De este modo se logra la carbonización.

Las diferentes tecnologías que se utilizan se basan en:

En las distintas formas de crear esta barrera física que puede ser de tierra, ladrillos, cemento armado y metal.

En las distintas formas de secar y calentar la madera. Si el calor empleado está originado por la propia madera de la carga o por algún combustible (gas, madera, fuel...) que se separa de la carga de madera que va a ser carbonizada.

En función de que el proceso de producción sea continuo o discontinuo. En los procesos continuos, el carbón se obtiene sin interrupción, frente a los procesos discontinuos en los que transcurren varios días entre una obtención de carbón y la siguiente obtención.

Las tecnologías continuas y de alta producción, con sistemas de control más o menos sofisticados, se denominan industriales a diferencia de las artesanales como la parva tradicional que es un proceso discontinuo.

3.10.1. PARVA TRADICIONAL

Se utiliza la tierra como barrera física para separar la madera que se está carbonizando del aire exterior.

Esta tecnología es la que produce un carbón más irregular, ya que el control del proceso es difícil y no se dispone de medios para mejorarlo. La calidad y sobre todo la uniformidad del carbón vegetal obtenido por este método dependen fundamentalmente de la preparación de los operarios que la realicen.

Una de las mayores ventajas de esta tecnología es su adaptabilidad, la forma y dimensiones de la parva son muy cambiantes, variando desde 500 arrobas hasta 6 ó 7.000 arrobas de carbón (1 arroba = 11,5 Kg). Al situarse junto a las zonas de

mayor abundancia de materia prima y al no exigir ningún desembolso inicial de capital hace que en la actualidad sea la tecnología más empleada. La construcción de la parva se realiza del siguiente modo: en primer lugar se colocan trozas grandes, cruzadas entre sí, para permitir el flujo de aire, colocándose sobre ellas posteriormente el resto de las trozas a carbonizar. Una vez la madera está apilada se aconseja dejarla unos días aireándose y secándose se procede a tapar la parva, utilizando en primer lugar ramillas con hojas, paja, hierbas, pasto, etc., sobre esta capa se echa otra de tierra. Se procura que en la base y en la parte superior de la parva haya huecos que permitan la entrada y salida de aire, estos huecos sirven de elementos de control del proceso, ya que a medida que se realiza la carbonización van siendo tapados con barro.

El carbón obtenido con esta técnica no es de buena calidad, el contenido en carbono fijo es menor del 70 %, al realizarse la carbonización con una humedad alta de la madera junto con una temperatura de carbonización baja que no suele superar los 300 °C, estando además el carbón producido mezclado con tierra y otros tipos de impurezas.

3.10.2. HORNO INDUSTRIAL

La mayor ventaja de los hornos industriales es la uniformidad en la calidad del carbón obtenido. Suele tener un contenido en carbono fijo igual o superior al 80%, este carbón cumple con los requisitos de las normativas propias de los países europeos (AFNOR francesa, DIN alemana,) y es útil tanto en la industria como para el consumo doméstico. Otra ventaja es su alto rendimiento superior al 25%, siendo además el proceso más rentable ya que la tecnología está muy desarrollada y la mano de obra requerida es escasa en comparación con la producción obtenida.

Como inconveniente hay que destacar que al ser una instalación fija la madera ha de ser transportada hasta el horno y al ser una instalación industrial compleja los gastos de instalación son altos y se necesita un fuerte desembolso económico inicial.

El proceso industrial de obtención de carbón vegetal a partir de leña costa de tres etapas claramente diferenciadas:

1ª. Recepción y preparación de la leña. La madera llega procedente de podas, claras o clareos, la madera utilizada en las industrias extremeñas normalmente es de eucalipto, aunque también se suele utilizar encina y olivo. Posteriormente se trocea la madera a las dimensiones adecuadas para poder realizar la carga del horno, y se apilan.

2ª. Carbonización continua. Se alimenta al horno por la parte superior, en el alma se alcanzan temperaturas de hasta 650 °C. Existen controles de temperatura en el interior del horno que indican la marcha del proceso. En la parte baja de la zona media del horno ya está formado el carbón vegetal a alta temperatura, pasando a continuación a la zona inferior, donde se enfriará en ausencia de oxígeno por medio de un circuito de agua refrigerante.

3ª. Acondicionado y envasado del carbón vegetal. Cuando el carbón sale del horno se coloca en cajones, que se tapan posteriormente con tierra, de esta forma el carbón se enfría lentamente en ausencia de oxígeno, de modo que no exista riesgo de combustión. El carbón ya frío de los cajones se almacena en una nave a salvo de la intemperie, en donde el carbón se separa de la carbonilla y se clasifica según normas granulométricas preestablecidas. Los trozos de mayor tamaño son machacados hasta entrar dentro de la clasificación. Las fracciones de granulometría menor, en una proporción del 25 al 50%, solo pueden ser comercializadas como posibles combustibles de instalaciones industriales, en cuyo caso su precio de venta descende a un 25% del precio del carbón comercializado para barbacoa. Este 25-50% de carbonilla, unido al picón, puede ser revalorizado al precio del carbón para barbacoa si son debidamente tratados, mediante la utilización de agentes aglomerantes y sometiéndolos a presiones más o menos elevadas, formando las llamadas briquetas. Una vez clasificado el carbón se procede a su envasado en sacos de papel etiquetados.

(Descripción del carbón. htm)



3.11. PIROLISIS

La pirolisis consiste en el cambio químico de los componentes de la madera por medio de calor, en ausencia de oxígeno. Se considera que la pirólisis de los materiales leñosos se inicia a temperaturas del orden de 250 - 300 °C y que transcurre con la producción, en proporciones variables, de gases, líquidos y un residuo carbonoso que es el carbón vegetal. En la pirólisis de la madera se distinguen tres fases claramente diferenciadas:

- 1.- La primera fase $30 < T < 170$ °C corresponde fundamentalmente a la deshidratación de la madera y destilación de algunos aceites esenciales; unido todo ello a una pequeña degradación de la madera.
- 2.- La segunda fase $170 < T < 270$ °C transcurre con abundante desprendimiento de gases, CO₂ y CO principalmente, y destilación de líquidos acuosos.
- 3.- La tercera fase, $270 < T < 600$ °C, es la pirólisis propiamente dicha, el desprendimiento de materiales volátiles es máximo. El residuo sólido resultante es el carbón vegetal. El rendimiento en carbón del proceso puede variar dentro de límites muy amplios dependiendo del tipo de madera, de su contenido en agua y de las condiciones en que se haya operado en la pirólisis (tiempo de calentamiento y temperatura alcanzada). Es deseable que el contenido en humedad de la madera sea lo más bajo posible y, en cualquier caso, no superior al 15 - 20%. Dado que la madera fresca recién acabada de cortar contiene un 40 - 60% de agua se aconseja una desecación previa de la misma bien al aire, o por cualquier otro procedimiento. Si se parte de madera seca puede obtenerse un rendimiento entre el 25% y 33% de carbón vegetal. El poder calorífico del carbón oscila entre 7.000 y 8.000 kcal/kg, muy superior al de la madera que oscila entre 3.000 y 5.000 kcal/kg.

(Descripción del carbón. htm)

La pirolisis puede llevarse a cabo a distintas velocidades de calentamiento, distinguiéndose así la pirolisis lenta, rápida, la pirolisis flash y la reactiva (Beenackers, A.A.C.M., 1989; Grasi, G., 1989; Hastaoglum, M.A., 1995; Kocaefe, D., 1995). La primera, también conocida como la pirolisis convencional o carbonización, ocurre a temperaturas entre 400 y 600 °C, con tiempos de residencia de horas y días la carbonización y hasta 30 minutos la pirolisis convencional, donde los productos principales son sólidos.

En el intervalo de 250 a 350 °C tiene lugar la fase cuantitativamente más importante de la pirolisis de la madera, completándose en este intervalo la descomposición térmica de la hemicelulosa y en su mayor parte la de la celulosa (Cordero, T. y col., 1989), (Zanzi, R. y col.1996). Las reacciones principales consisten en rupturas de enlaces glicosídicos con la consiguiente despolimerización parcial del componente celulósico de la madera (Shafyzadeh, F., 1984; Soltes, E.J., 1981).

El proceso de pirolisis de la madera conduce al rendimiento de diferentes cantidades de gas, líquido y carbón, según las condiciones de operación, fundamentalmente velocidad de calentamiento y temperatura final. Cuando el carbón es el principal producto a obtener, la pirolisis debe efectuarse a bajas velocidades de calentamiento y temperaturas finales moderadas (Font, R., 1993; Goldstein, I.S., 1981). (*Transformación térmica de la madera - Monografias_com.htm*)

CUADRO 11: EFECTOS DE LA TEMPERATURA EN LA PIROLISIS

TEMPERATURA (RANGO ° C)	REACCION QUIMICA
100-120	Deshidratación
250	Desoxigenación y desulfurización, disociación molecular del agua y dióxido de carbono, comienza la liberación de sulfuro de hidrógeno
340	Rotura de enlaces en compuestos alifáticos, comienza la liberación de metano y otros compuestos alifáticos ligeros
380	Fase de carbonización. Concentración de carbón en los residuos.
400	Rotura de enlaces C-O y C-N
400-600	Descomposición de los materiales bituminosos. Generación de aceites y alquitranes. Carbonización de baja temperatura.
600	Cracking de los materiales bituminosos, generación de hidrocarburos gaseosos de cadena corta e hidrocarburos aromáticos(derivados del benceno).
>600	Dimerización de las olefinas(etileno) a α -butileno, reacción de etileno a ciclohexano, generación de compuestos aromáticos volátiles.

Fuente: (Transformación térmica de la madera - Monografias_com.htm)

3.11.1. RENDIMIENTO A LA PIROLISIS DE ALGUNOS MATERIALES A 600°C

Los rendimientos a la pirolisis varían de acuerdo al tipo de materia prima utilizada, en un trabajo de tesis similar, utilizando como materia prima a la Ttola (*Baccharis tricuneata*), un arbusto andino de la región de Puno, y al cloruro de zinc como agente activador se obtuvo un rendimiento de 25.2 % considerándolo satisfactorio para distintos materiales de partida.

CUADRO 12 : RENDIMIENTO DE ALGUNOS MATERIALES

Materia prima	Rendimiento en % al 100%
Corteza de Eucalipto	25
Corteza de aroma	33
Semillas de Mamey	33
Semillas de aceituna	28
Cáscaras del fruto de la caoba africana	33
Cascaras de coco	35
Bagazo de caña de azúcar	22
Residuos agriculas cañeros	20

Fuente: Trabajo de investigacion "Agunas consideraciones sobre la factibilidad de preparar carbones activados a partir de fuentes renovables tropicales"

3.11.2. PRINCIPALES IMPORTADORES DE CARBON ACTIVADO

CUADRO 13: Importadores de Carbón Activado

Países importadores	Total importado en 2003, en miles de US\$	Cantidad importada en 2003	Unidad de Medida	Valor de Unidad US\$/Unid.	Crecimiento anual en valor entre 1999-2003,%	Crecimiento anual en cantidad entre 1999-2003,%	Crecimiento anual en valor entre 2002-2003,%	Participación en las importaciones mundiales %
Estimación Mundo	595,453	469,212	Toneladas	1.269	5	8	11	100
Japón	79,375	81,611	Toneladas	973	9	15	20	13
EEUU	66,810	56,867	Toneladas	1.175	1	6	8	11
Alemania	42,726	27,900	Toneladas	1.531	0	6	8	7
Corea del Sur	36,586	31,047	Toneladas	1.178	11	9	21	6
Bélgica	34,658	28,840	Toneladas	1.202	23	29	11	6
Italia	32,578	28,367	Toneladas	1.148	4	-4	30	5
Francia	29,752	22,071	Toneladas	1.348	9	4	22	5
Canadá	26,775	4,824	Toneladas	5550	15	-13	12	4
Reino Unido	24,981	18,420	Toneladas	1.356	2	3	16	4
Países Bajos	24,434	16,926	Toneladas	1.444	-12	-7	-29	4

FUENTE: TRADEMAP

Filipinas es uno de los principales países productores de carbón activado a base del coco; el cual le genera anualmente más de \$85 millones en ingresos de exportación.

Fuente: Ministerio de Economía del Salvador, Ileana Bolaños. Abril-2005

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. LUGAR DE EJECUCION

El presente trabajo de investigación, se realizó en los laboratorios de Análisis y Composición de Productos Agroindustriales (Anacompa), y de Tecnología de productos agroindustriales no alimentos (Tepanal) de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín.

4.2. MATERIA PRIMA

4.2.1. ENDOCARPO DE COCO

Los endocarpios de coco utilizadas se obtuvieron del caserío la Unión del Distrito de la Banda de Shilcayo, ubicado a 7.5 Km. de dicho distrito. Las variedades fueron: coco enano amarillo y coco gigante amarillo, cosechados en la propiedad de la Sra. Raydi Macedo Estrella.

4.3. EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS

4.3.1. Equipos

- Balanza analítica de precisión, marca Sartorius CMBH GOTTIGEN, made in Germany.
- Estufa, marca MEMMERT-D06062, modelo 600.
- Termómetro.
- pH metro digital a 20°C calibrado con una solución buffer de pH = 4.
- Espectrofotómetro.
- Mufla, marca Thermolyne 1300, modelo FD1520M-1, temperatura máxima 1200°C USA.
- Cronometro.
- Tamices N° 20, 40, 60, 80, 100, 200 de la norma ASTM.
- Mortero

- Molino de martillo, made in China donada por el ministerio de agricultura, serie 0021, velocidad de 5800 rpm, poder requerido de 3Kw

4.3.2. Materiales

- Matraces, probetas, buretas y pipetas.
- Crisoles de porcelana
- Placas petri.
- Bolsas de plástico.
- Cuchillos.
- Sacos de polietileno.
- Carbón activado marca Charcoal producido por el laboratorio Chemicals adquirido de la Universidad Nacional de San Martín.

4.3.3. Reactivos

- Acido sulfúrico al 98%.
- Acido fosfórico al 95%.
- Agua destilada.
- Solución buffer.
- Azul de metileno.

4.4. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

El estudio experimental se desarrollo usando la metodología para la obtención química de carbón activado, las variedades usadas fueron las variedades tradicionales: coco enano y coco gigante, se usaron dos ácidos el ácido sulfúrico y ácido fosfórico como agentes activantes, y se estudiaron 4 diferentes concentraciones (35, 40, 45, 50 ppm que se agregaron en función al peso de la materia prima). Es decir se utilizo un D.C.A. con arreglo factorial 2A X 2B X 4C.

4.5. DESCRIPCION DEL PROCESO PARA LA OBTENCIÓN QUÍMICA DE CARBÓN ACTIVADO

El presente trabajo se desarrolló teniendo en consideración las operaciones que se presentan en el siguiente flujo grama.

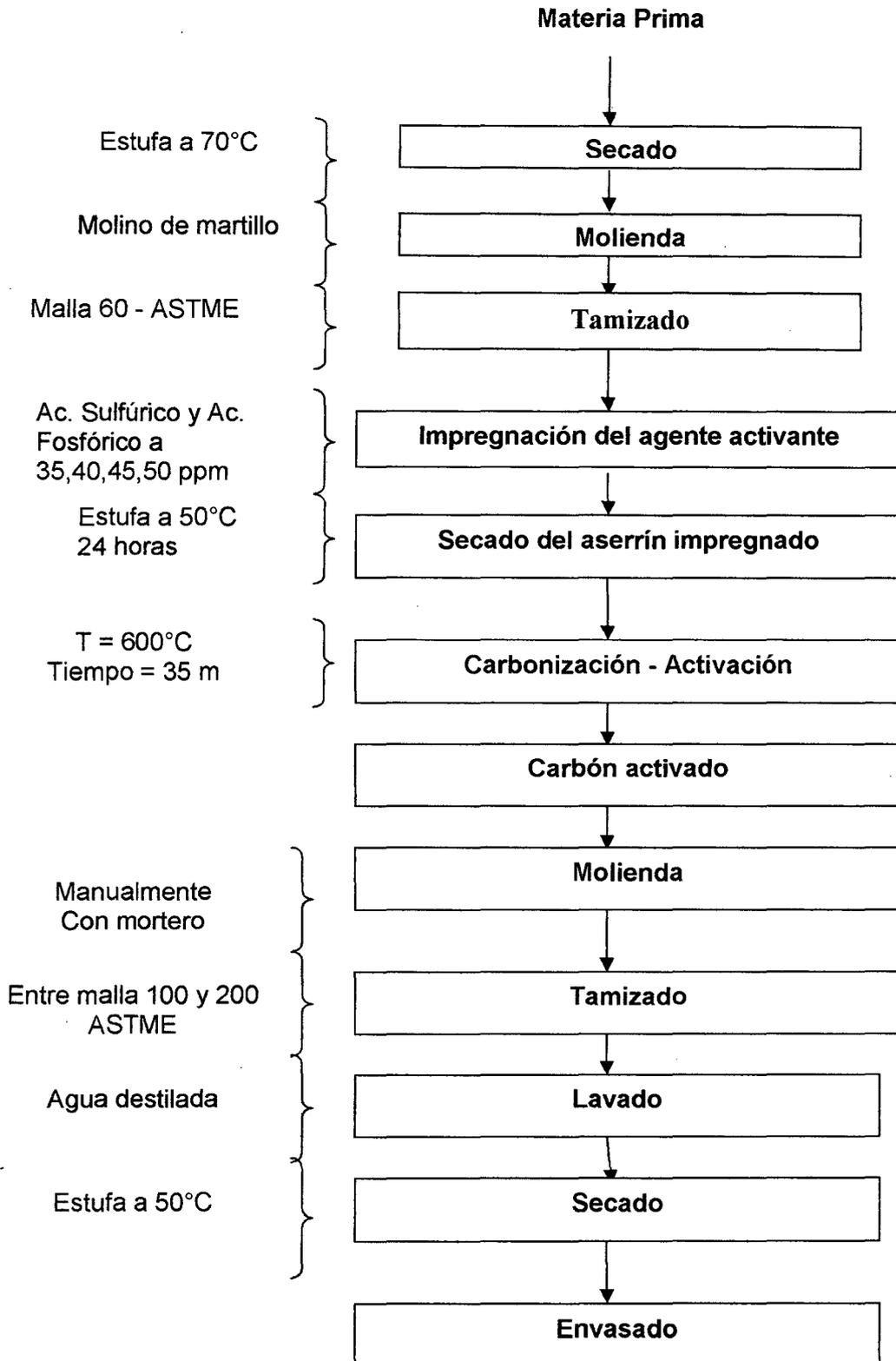


Figura 1: Flujo grama de la obtención de carbón activado

Fuente: Resumen de trabajo de tesis "Obtención Química de Carbón Activado a partir del arbusto andino Ttola (*Baccharis tricuneata*)"

4.5.1. Método de Activación Empleado

La región San Martín al poseer un sin numero de cultivos necesita de cierta tecnología para la transformación de estas, pero esta tecnología debe ir de la mano o paralelo a los recursos humanos y equipos que se posee, por hoy nuestra región no cuenta con ciertos equipos que brinden la utilización de una tecnología de punta. Es por eso la decisión de la utilizar el método químico, ya que contamos con los equipos y los reactivos que se necesitan para dicha obtención.

	Métodos de Activación	
	Método Químico	Método Físico
Temperatura °C	400-600	1000
Agente Activador	Acido Deshidratante	Vapor Sobrecalentado de agua

4.5.2. SECADO DE MATERIA PRIMA

EL endocarpio de coco fue secado en la estufa a 70 °C, hasta peso constante.

Se hizo cinco pruebas en cada una de las variedades siendo el resultado lo siguiente:

Coco Enano: $P_i=151.0943$ g y $P_f=136.3538$ g

Coco Gigante: $P_i=152.3423$ g y $P_f=137.4886$ g

4.5.3. MOLIENDA

La molienda se realizo en un molino de martillo fijo, en la planta piloto de la facultad de Agroindustrias perteneciente a la Universidad Nacional de San Martín.

4.5.4. TAMIZADO

El tamizado se realizo en los ambientes del laboratorio de control de calidad de la facultad de Ingeniería Agroindustrial. El tamizado se hace para obtener una granulometría adecuada, no tan gruesa ni tan fina que nos permita una buena carbonización y sobre todo una buena impregnación del agente activante. La

granulometría usada fue de la malla 60 de la norma ASTM, pues reunía las características de homogeneidad de muestras.

4.5.5. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Las muestras se separaron en placas petri, cada placa conteniendo 5,0 g de endocarpio molido y tamizado.

4.5.6. IMPREGNACIÓN DEL AGENTE ACTIVANTE

La impregnación se realizó con dos agentes activantes, en esta investigación, utilizando el ácido sulfúrico y el ácido fosfórico en concentraciones de 35, 40, 45, 50 ppm, La cantidad agregada fue de 5,0 ml de cada concentración.

Después de agregar el ácido respectivo se puso en la estufa a 50 °C, esto con la finalidad de acelerar la impregnación, se dejó en estufa por un periodo de 24 horas.

Se realizaron cinco repeticiones para cada tratamiento

4.5.7. CARBONIZACIÓN-ACTIVACIÓN

La carbonización se hizo en una mufla con rango de 25°C a 1200°C, con una velocidad de calentamiento de 20 °C / minuto. Llegando a 600° C en el tiempo de 35 min.

Optimizado el tiempo se procedió a la carbonización-activación. Las muestras impregnadas fueron colocadas en crisoles para poder ser carbonizadas.

Durante la carbonización se emanan ciertos olores propios del sulfuro y fósforo.

4.5.8. CARBÓN ACTIVADO

Se obtuvo la activación del carbón, que requiere de una adecuada granulometría que es la que está entre la malla 100 y 200 de la norma de ASTM.

4.5.9. MOLIENDA

La molienda se realizo manualmente con la ayuda de un mortero, hasta lograr la granulometría adecuada.

La molienda se realizo en los ambientes de laboratorio de TEPANAL de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín.

El molido se hizo a cada tratamiento y con sus repeticiones, hasta que todo el material carbonoso pase el tamiz de malla 100.

4.5.10. TAMIZADO

El tamizado se hizo con el tamiz de malla N° 100, pues según las normas un carbón activado pulverulento tiene que estar en el rango de N° de malla 100 y N° de malla 200 de la norma ASTM E.

El tamizado se realizo en los ambientes del laboratorio de Control de Calidad de la Facultad de Agroindustrias de la Universidad Nacional de San Martín.

El tamizado se hizo a cada tratamiento con sus repeticiones.

4.5.11. LAVADO

El lavado se realiza con la finalidad de dejarlo libre como sea posible del químico utilizado, así como para recuperar y reutilizar este ultimo, esto se hace mediante lixiviación. La rentabilidad de este proceso radica en gran medida, en la eficiencia de dicha recuperación.

Este proceso se hizo con la ayuda de un embudo y papel filtro. El lavado se realizo hasta que el agua quede completamente limpia y transparente.

El lavado se hizo a cada tratamiento con sus repeticiones.

4.5.12. SECADO

Luego del lavado; las muestras mas el papel filtro fueron puestos en estufa a 50 °C hasta peso constante. Una vez secos el carbón fue desprendido del papel filtro sobre papeles A4 para evitar pérdidas de material y para su posterior envasado enrollando al papel A4 en forma de U, que simula un canal.



Todos los tratamientos fueron secados, al igual que con sus respectivas repeticiones.

4.5.13. ENVASADO

Los carbones activados obtenidos fueron puestos en envases de polipropileno y después sellados.

4.6. DETERMINACIONES FISICO-QUIMICAS DE LA MATERIA PRIMA Y DEL CARBÓN EXPERIMENTAL

4.6.1. Determinación de Humedad

Se determino por desecación en estufa a 70°C a peso constante. Se utilizo la siguiente fórmula:

$$\%Humedad = \frac{P_o}{P_i} \times 100$$

Donde:

P_o = peso inicial - peso final

P_i = peso inicial

Se realizo cinco repeticiones para después sacar un promedio.

El resultado obtenido fue:

Coco Enano: 9.7558 % de humedad

Coco Gigante: 9.7502 % de humedad

Carbón Activado Experimental: 5.1203 % de humedad

Fuente: A.O.A.C 1980, Oficial Methods of Análisis of the AOAC.

JACOBS 1958, Chamental Análisis of Foods and Foods Products.

4.6.2. Determinación de Carbono fijo

Se determino en una mufla con rango de 25°C a 1200°C, solo llegando a los 600°C, con una velocidad de calentamiento de 20 °C / minuto hasta carbonización.

Se utilizo el siguiente procedimiento:

- Se colocaron 10 gr. aprox. (obteniéndose peso1) de material en un crisol pesado y tarado.
- Se puso el crisol con el material en la mufla hasta carbonización.
- Después de la carbonización se puso en una campana conteniendo material deshidratante, para que no gane humedad.
- Se peso el crisol mas el material carbonizado, se descontó el peso del crisol, (obteniéndose el peso2).

El %carbono fijo se obtiene por la siguiente formula:

$$\%C = \frac{P_2}{P_1} \times 100$$

Se realizo cinco repeticiones para después sacar un promedio.

Coco Enano: 30.7092 % Carbono fijo

Coco Gigante: 30.7108% Carbono fijo

Fuente: A.O.A.C 1980, Oficial Methods of Análisis of the AOAC.

JACOBS 1958, Chamental Análisis of Foods and Foods Products.

4.6.3. Determinación de cenizas totales

Se determino en una mufla a 800°C hasta que todo el carbón haya sido eliminado y se haya formado la ceniza. Se utilizo el siguiente procedimiento:

- Se puso 10 gr. aprox. (obteniéndose peso1) de material en un crisol pesado y tarado.
- Se puso el crisol con el material en la mufla hasta que se haya formado la ceniza.
- Una vez hecho ceniza se puso en una campana conteniendo material deshidratante, para que no gane humedad.
- Se peso muy rápidamente el crisol mas la ceniza, se descontó el peso del crisol, (obteniéndose el peso2).

El % de ceniza se obtiene con la siguiente formula:

$$\%Ceniza = \frac{P_2}{P_1} \times 100$$

Se realizo cinco repeticiones para después sacar un promedio y se obtuvieron los siguientes resultados:

Coco Enano: 0.9198 % de Ceniza

Coco Gigante: 0.9175% de Ceniza

Carbón Activado Experimental: 3.4435 % de Ceniza

Fuente: A.O.A.C 1980, Oficial Methods of Análisis of the AOAC.

JACOBS 1958, Chamental Análisis of Foods and Foods Products.

4.6.4. Determinación de materia volátil

La materia volátil se determino con la siguiente formula:

$$\%Mv = 100 - \%C - \%Ceniz\bar{a} - \%H$$

Se hicieron cinco repeticiones para después sacar un promedio y se obtuvieron los siguientes resultados:

Coco Enano: 59.5252 % de materia volátil.

Coco Gigante: 59.5315 % de materia volátil.

4.6.5. Determinación de Porosidad

La porosidad de la materia prima se calculo:

- Se coloco el material en una probeta, se midió su volumen.
- Luego se coloco agua hasta el tope del material
- Se mide el volumen agregado y se divide entre el volumen ocupado por el material.

Se hicieron cinco repeticiones para después sacar un promedio y se obtuvieron los siguientes resultados:

Coco Enano: 0.1358 % de Porosidad

Coco Gigante: 0.1449 % de Porosidad

Carbón Activado Experimental: 0.9322 % de Porosidad

Fuente: A.O.A.C 1980, Oficial Methods of Análisis of the AOAC.

JACOBS 1958, Chamental Análisis of Foods and Foods Products.

4.6.6. Determinación de densidad aparente

La densidad aparente del carbón activado se calculo de la siguiente manera:

- Se lleno una probeta de volumen conocido con granos de frejol, tratando de nivelarse con una hoja de cuchillo.
- Luego se vació el contenido y en su reemplazo se puso el carbón previamente pesado, llenándose nuevamente la probeta con las semillas, nivelándose nuevamente. Las semillas sobrantes deberán ser medidas en una probeta.

$$Dap = \frac{\text{peso(carbón)}}{\text{volumen(desplazado)}}$$

Se realizo cinco repeticiones para después sacar un promedio y se obtuvieron los siguientes resultados:

Carbón Activado Experimental: 0.36 g/cc

Fuente: A.O.A.C 1980, Oficial Methods of Análisis of the AOAC.

JACOBS 1958, Chamental Análisis of Foods and Foods Products.

4.6.7. Determinación de pH

Se determino por el método electrométrico mediante el pH-metro digital a 20°C con una solución buffer de pH =7.

Se hicieron cinco repeticiones para después sacar un promedio y se obtuvieron los siguientes resultados:

Carbón Activado: Experimental: 6.24 pH

Fuente: A.O.A.C 1980, Oficial Methods of Análisis of the AOAC.

JACOBS 1958, Chamental Análisis of Foods and Foods Products.

4.6.8. Determinación de Granulometría

La granulometría de la materia prima se hizo con en tamiz de malla 60 de la norma de ASTM.

La granulometría del carbón activado se hizo según las normas para carbones activados que manda INDECOPY, mínimo 95% malla 100 y máximo 92% malla 200, es decir debe estar entre las mallas 100 y 200.

Como referencia se muestra los rendimientos de tamizado expresados en porcentaje de la materia prima molida.

Cuadro 14: Rendimiento del tamizado de la materia prima molida

N° de Malla	Peso %
40	38
60	19
80	11
100	4
120	4
Plato	24
Total	100

Los rendimientos del tamizado del carbón activo experimental, no se hicieron pues se trabajaron en cada tratamiento con solo 5,0 g de carbón, y se molieron en forma manual hasta que pase el tamiz 100 y quede retenido en el tamiz 200.

V. RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1. PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DE LA MATERIA PRIMA

El contenido de humedad de las muestras trituradas del coco seco en sus 2 variedades presentaron un promedio de humedad de 9.7558% en el caso del coco enano y 9.7502% en el coco gigante.

Es deseable que el contenido en humedad de la madera sea lo más bajo posible y, en cualquier caso, no superior al 15 - 20%. Dado que la madera fresca recién acabada de cortar contiene un 40 - 60% de agua se aconseja una desecación previa de la misma bien al aire, o por cualquier otro procedimiento. Si se parte de madera seca puede obtenerse un rendimiento entre el 25% y 33% de carbón vegetal (*Transformación térmica de la madera*).

El contenido de materia volátil fue del 59.5252% en el coco enano y 59.5315% en el coco gigante, esto quiere decir que lo conforman en su mayoría compuestos orgánicos termolábiles como la celulosa, hemicelulosa, lignina, los que se degradan fácilmente al ser sometidos a altas temperaturas. (*Obtención Química de Carbón Activado a partir de Ttola*).

El porcentaje promedio de cenizas totales presentes en el endocarpio de coco en 0.9198% en el coco enano y 0.9175 en el coco gigante, un contenido muy bajo, es decir tiene una cantidad muy baja de minerales pesados y no pesados que pudieran tener contacto con la solución que se desea tratar.

La cantidad de carbono fijo en las variedades de coco fue de 30.7092% en el coco enano y 30.7108% en el coco gigante, corroborando este dato con la moderada cantidad de materia volátil presente en el endocarpio, siendo el parámetro que explica el poder de combustión del mismo. (*Obtención Química de Carbón Activado a partir de Ttola*).

La porosidad del material es de 0.1358 % en el coco enano y 0.1449% en el coco gigante, esto explica la dureza del material y su alta capacidad a la resistencia mecánica. Las materias primas celulositas deben su dureza a un componente químico que es la lignina, cuanto mas duro es el material mas lignina tiene, y es este compuesto que al volatilizarse con los otros compuestos formados por la deshidratación del ácido y por ende la pirolisis, los que forman la estructura porosa del carbón.

Otro parámetro de gran importancia en la calidad de los carbones activados es su resistencia mecánica, al cual la está determinada básicamente por la porosidad del material. (Heschel W) Un coeficiente de porosidad en la materia prima superior al 40% implica que los carbones obtenidos de las mismas poseen una estructura de anchos poros lo que facilita el rompimiento de la misma por la acción de fuerzas externas disminuyendo de esta forma la resistencia mecánica de los carbones activados preparados a partir de éste. Por esta razón, independientemente de los parámetros de temperatura y tiempo a la cual se realice esta última, si la morfología del material de partida es de alta macroporosidad, las posibilidades de obtener carbones activados con gran volumen de microporos es baja (Bansal citado por Medina Álvarez).

CUADRO 15: Propiedades físico-químicas de la materia prima

Propiedades físico-químicas de la materia prima		
	Coco Enano	Coco Gigante
Humedad %	9.7558	9.7502
Cenizas Totales %	0.9198	0.9175
Carbono Fijo %	30.7092	30.7108
Materia Volátil %	59.5252	59.5315
Porosidad %	0.1358	0.1449

5.2. CARBONIZACIÓN-ACTIVACIÓN

Rendimiento sin impregnación= 30.76%

Rendimiento con impregnación= 26.79%

El rendimiento promedio en la carbonización sin impregnación fue de 30.76%, un rendimiento relativamente bajo comparando con el 35 % de rendimiento de la bibliografía, estas variaciones porcentuales son atribuidos a la edad del coco, lugar de procedencia, época de corte, etc.

El rendimiento promedio en la carbonización con impregnación es de 26.79%, comparado al rendimiento de carbonización del arbusto de Ttola que es de 25.2 %, menor por 1.59 % un resultado relativamente pequeño pero que en producción a

grandes escalas estos rendimientos serian ya significantes, si bien es cierto el porcentaje de carbono fijo del endocarpio también es mayor al del arbusto de Ttola, las diferencias de los rendimientos de estos no serian por este motivo, sino serian mas bien el tipo de materia prima y el tipo de acido utilizado como agente activante, esto se debe a que el ácido actúa como un deshidratante y separa con facilidad a los grupos oxidrilos(OH) de las celulosas presentes en la materia prima, eliminándolos en forma de agua, permitiendo que la mayor parte del alquitrán se transforme en compuestos volátiles de carbono (hidrocarburos) que se volatilizan durante la pirolisis.

5.3. ENSAYOS DEL CARBÓN ACTIVADO EXPERIMENTAL

Para determinar el mejor tratamiento se agrego 0.5 gr. de cada muestra en un tubo de ensayo conteniendo azul de metileno al 75% de concentración, mezclando y dejando en reposo por 5 minutos para luego centrifugar por un tiempo de 10 minutos. Los datos obtenidos se muestran en el Anexo 1 los que nos sirvieron para hacer el posterior estudio estadístico.

CUADRO 16: ANVA

Fuente de variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F.c	n.s
Tratamientos					
A	1	0.0014	0.0014	0.0126	n.s
B	1	11.1389	11.1389	100.5497	**
C	3	524.0516	174.6839	1576.8539	**
AB	1	0.0001	0.0001	0.000902	n.s
AC	3	0.0056	0.00187	0.0169	n.s
BC	3	0.8256	0.2752	2.4842	n.s
ABC	3	0.0116	0.00387	0.0349	n.s
Error Experimental	48	5.3175	0.110781		
TOTAL	63	541.3523			

Fc =4.068 al 5% de error

Fc = 7.272 al 1% de error

Fuente: Elaboración propia

El ANVA nos indica que no hay diferencias significativas entre variedades, pero que si hay diferencias entre agentes activantes y también en sus concentraciones agregadas, por lo que es necesario realizar pruebas de comparaciones.

Al realizar la prueba de comparación de Tuckey, nos dice que no hay significancia entre los tratamientos A, E, I, M, es decir tampoco hay diferencias entre agentes activantes a 50 ppm pero si hay diferencias de esta concentración con las demás concentraciones. Ver Anexo 2 y 3

El estudio estadístico nos indica que el mejor tratamiento es el utilizar cualquiera de las dos variedades, cualquiera de los agentes activantes pero a la concentración de 50 ppm. Si bien es cierto la estadística señala estos como los métodos apropiados, los métodos que mejor decoloraron es utilizando cualquiera de las dos variedades, el ácido fosfórico a 50 ppm, decolorando un 88.63% promedio sobresaliendo en un 0.6% mas eficiente que utilizando el otro agente activante a la misma concentración. Estos porcentajes si bien parecen pequeños, cuando se trabajan a grandes cantidades son inmensos, esto conllevaría a las grandes industrias perdidas de tiempo y utilización de mayor cantidad de carbón.

Se hizo un grafico para determinar cual era el mejor tratamiento, para poder analizarlo y compararlo con el carbón comercial.

Los porcentajes promedios de decoloración que se muestran a continuación, nos permitieron realizar el grafico N° 1 y 2.

CUADRO 17: Porcentajes promedios de decoloración de los tratamientos

	V1		V2	
	A1	A2	A1	A2
C1	88.6273	87.9781	88.6274	87.9529
C2	86.9021	85.9775	86.9017	85.9765
C3	85.1275	84.0034	85.1281	83.9276
C4	80.8790	80.7525	80.8524	80.3042

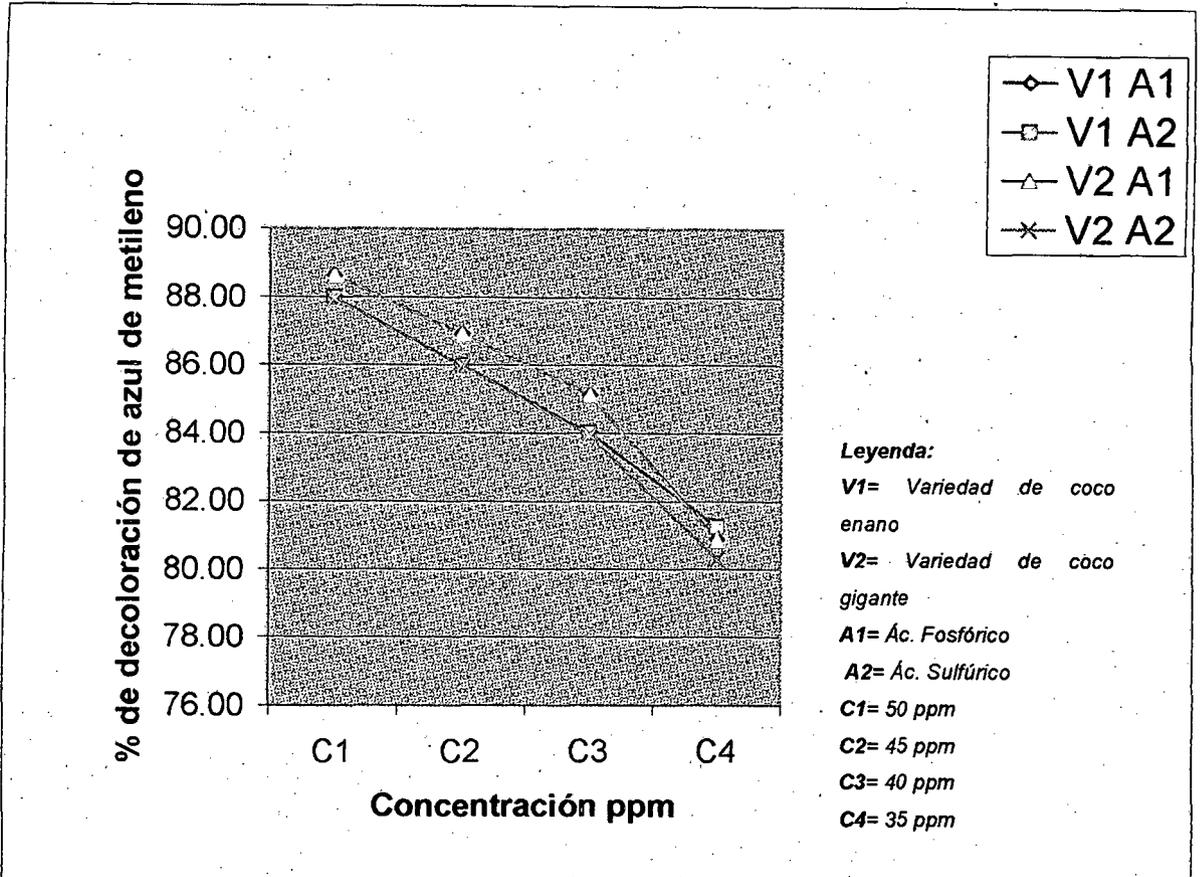


Grafico 1: Decoloración de azul de metileno

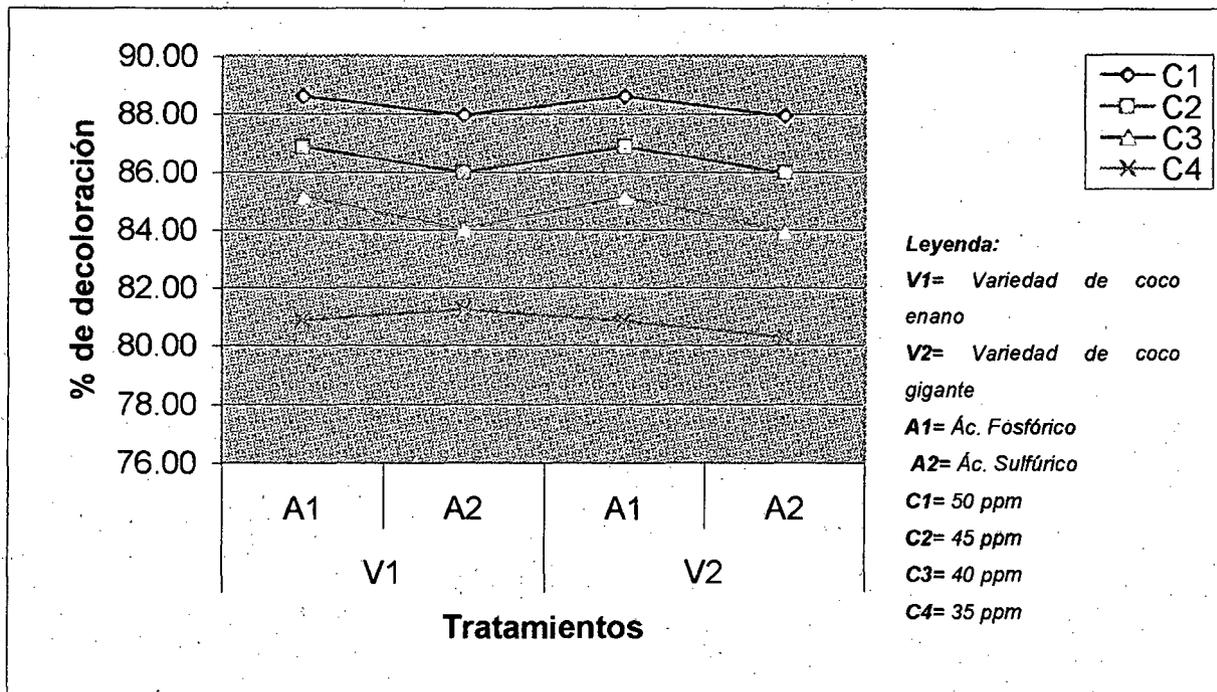


Grafico 2: Decoloración de azul de metileno por tratamientos

El agente activante responsable de la activación del carbón, genera la apertura de grandes fisuras, grietas y poros en la superficie del carbón, esto se puede apreciar en los gráficos 1 y 2; se puede decir que a mayor concentración de ácido agregado se generaran mas de estos poros y grietas a continuación se muestra un grafico donde se corrobora tal información, donde a mayor concentración de cloruro de zinc agregado, la adsorción de azul de metileno aumenta, la diferencia de porcentajes de adsorción entre los gráficos 1 y 3 se asumen a la cantidad de agregada de carbón, tiempo de contacto, porcentaje de azul de metileno, tipo de ácido utilizado como activador, así como la materia prima:

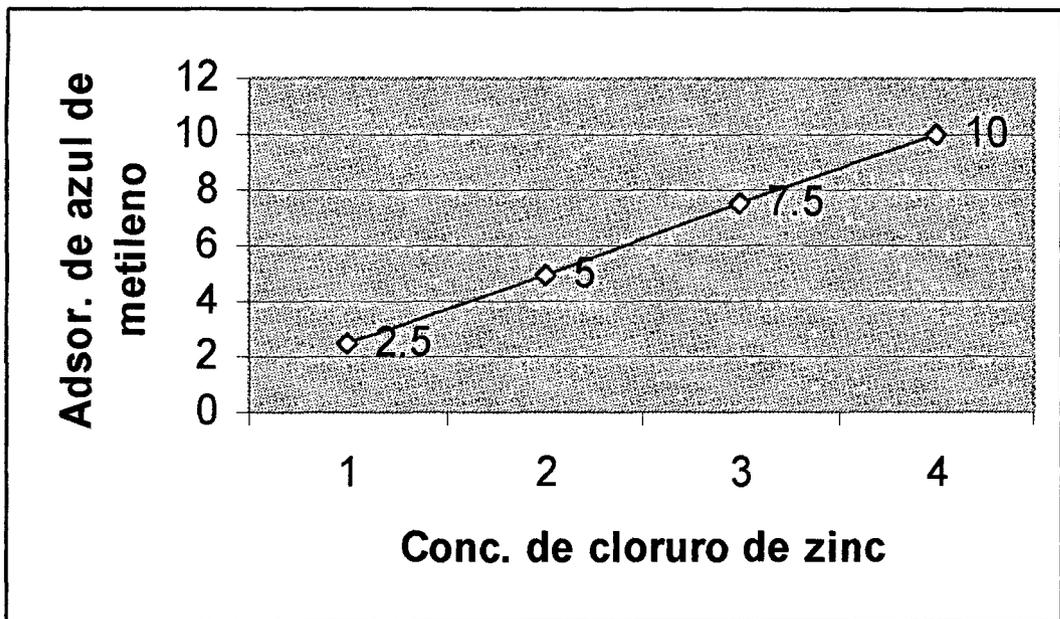


GRAFICO N° 3: Efecto de la concentración de cloruro de zinc en la adsorción de azul de metileno.

Fuente: Resumen de trabajo de tesis "Obtención Química de Carbón Activado a partir del arbusto andino Ttola (*Baccharis tricuneata*)

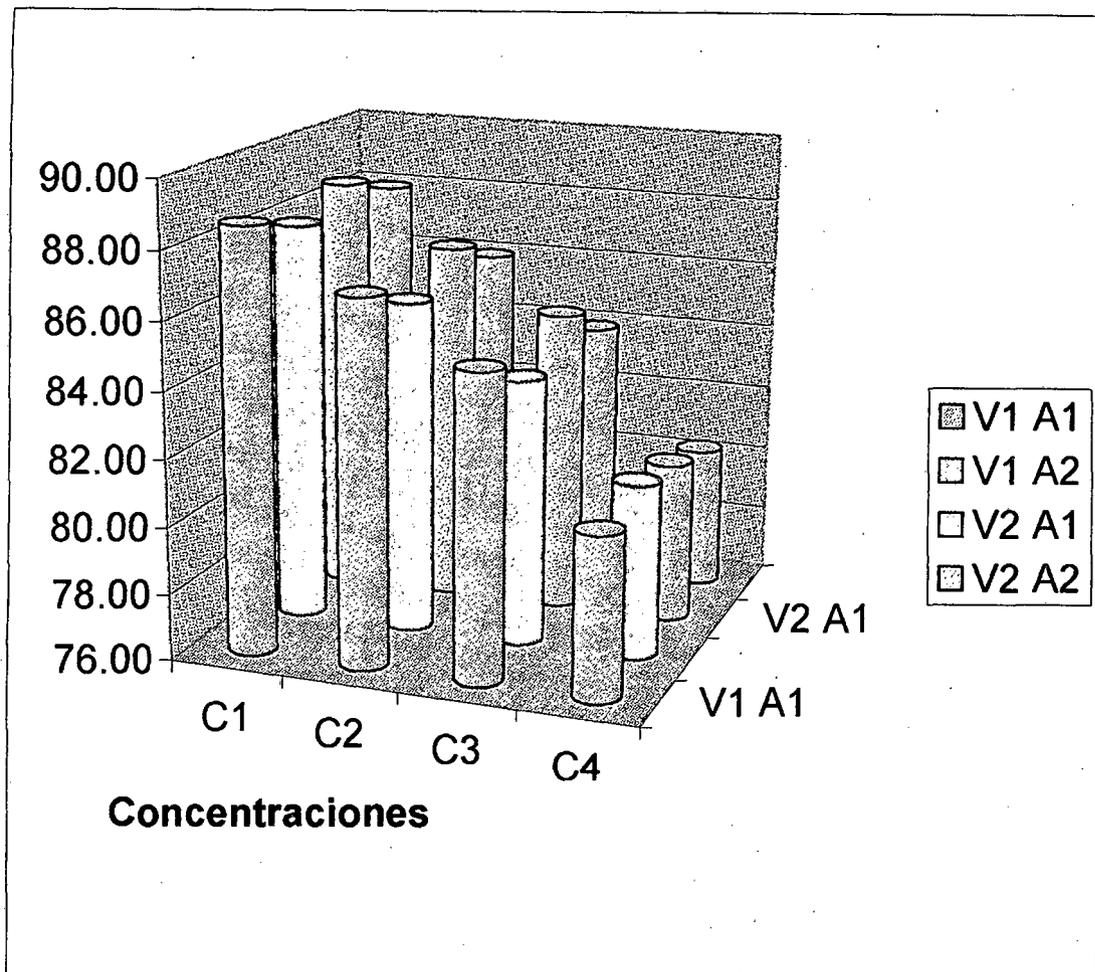


Gráfico 3: Decoloración de azul de metileno por el mejor tratamiento

En este cuadro se puede apreciar el mejor tratamiento, al no haber diferencias entre variedades es el carbón con ácido fosfórico a 50 ppm con un porcentaje de decoloración promedio de 88.63%.

El tratamiento que decoloró en menor porcentaje es con la variedad gigante, con el ácido sulfúrico como agente activador y con una concentración de 35 ppm, con un 80.30 %.

En el gráfico N° 2 se puede decir que la capacidad de decoloración de azul de metileno del carbón obtenido se incrementa a medida que se aumenta la concentración del agente activante en la preparación de carbón activado.

5.4. PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DEL CARBON ACTIVADO EXPERIMENTAL

Para la comparación tomamos como muestra al mejor tratamiento, pudiendo tomar los tratamientos V1A1C1 y V2A1C1, para este caso tomamos el tratamiento V2A1C1.

El contenido de humedad del carbón activado fue de 5.12%, el carbón activado presenta gran captación de humedad, por lo que se tuvo mucho cuidado y rapidez al realizar los análisis.

El contenido de cenizas fue de 3.44% en promedio, INDECOPI recomienda que no debe exceder de mas del 12%.

El pH es de 6.24 INDECOPI recomienda que debe estar entre 5.5-7.0.

Las dimensiones de los carbones activos elaborados fueron seleccionadas para un carbón activo pulverulento de acuerdo a las normas de INDECOPI.

La densidad aparente del carbón es de 0.36 gr/cm³, estando en el rango que exige INDECOPI.

La porosidad del carbón es 0.93 esto indica que es un material altamente poroso.

CUADRO 18: Propiedades fisicoquímicas del carbón experimental **V2A1C1**

Parámetros	
Humedad %	5.12
Cenizas Totales %	3.44
pH	6.24
Granulometría	Entre malla 100 y 200 de la norma ASTME
Porosidad %	0.93
Densidad aparente	0.36 gr/cc

5.5. CAPACIDAD DE DECOLORACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO EXPERIMENTAL EN FUNCIÓN AL PESO Y AL TIEMPO

Se hizo pruebas de decoloración en función al peso agregado de carbón en 10 ml de azul de metileno, en un tiempo de reposo de 3 minutos.

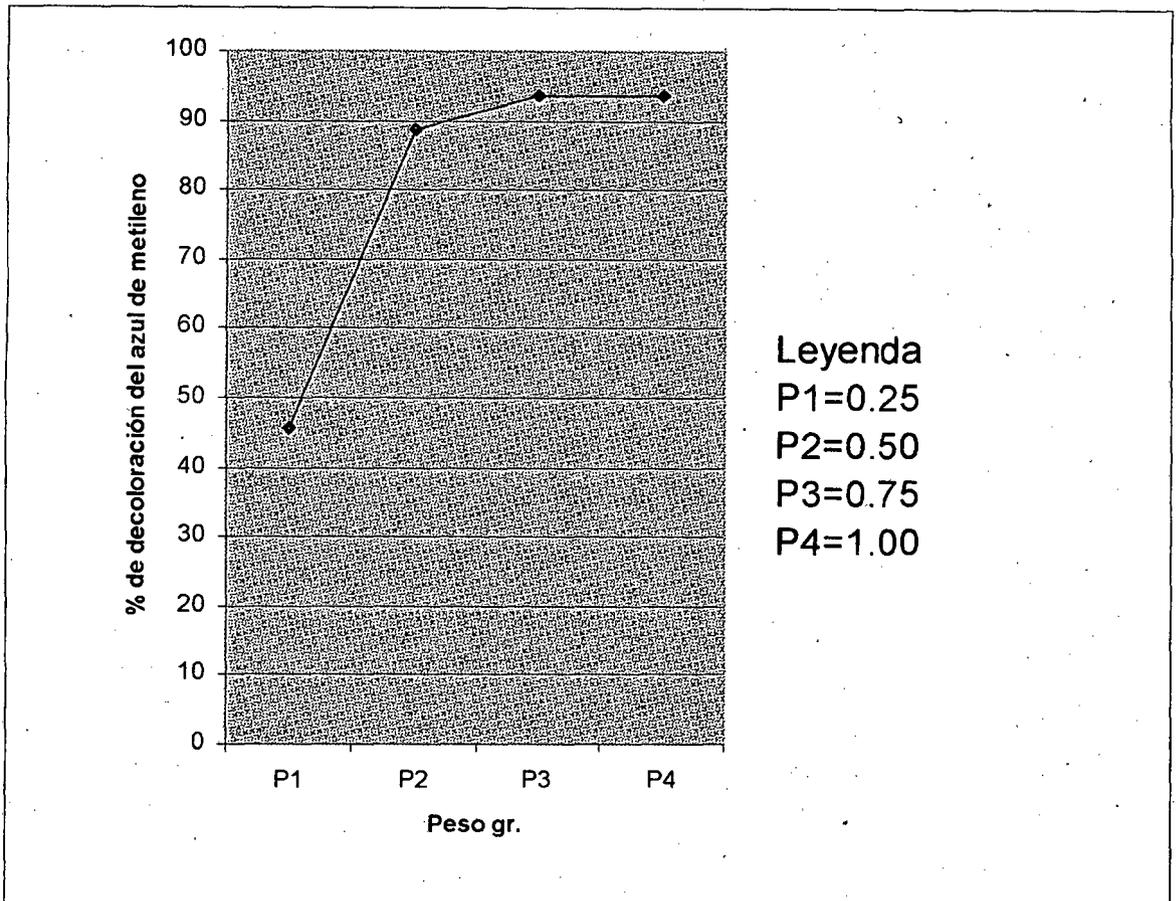


GRAFICO 4: DECOLORACIÓN EN FUNCIÓN AL PESO

Este esquema muestra como la decoloración varía en función al peso de carbón activado agregado, un peso de 0.25% decolora hasta un 45.6% , un peso de 0.5 gr. solo decolora hasta un 88.6% el azul de metileno, el peso de 0.75 gr. de carbón decolora un 93.5%, el peso de 1 gr. también decolora un 93.5%.

También se hicieron pruebas de decoloración en función al tiempo de contacto, agregándose un peso estándar de 0.5 gr. en una solución de azul de metileno.

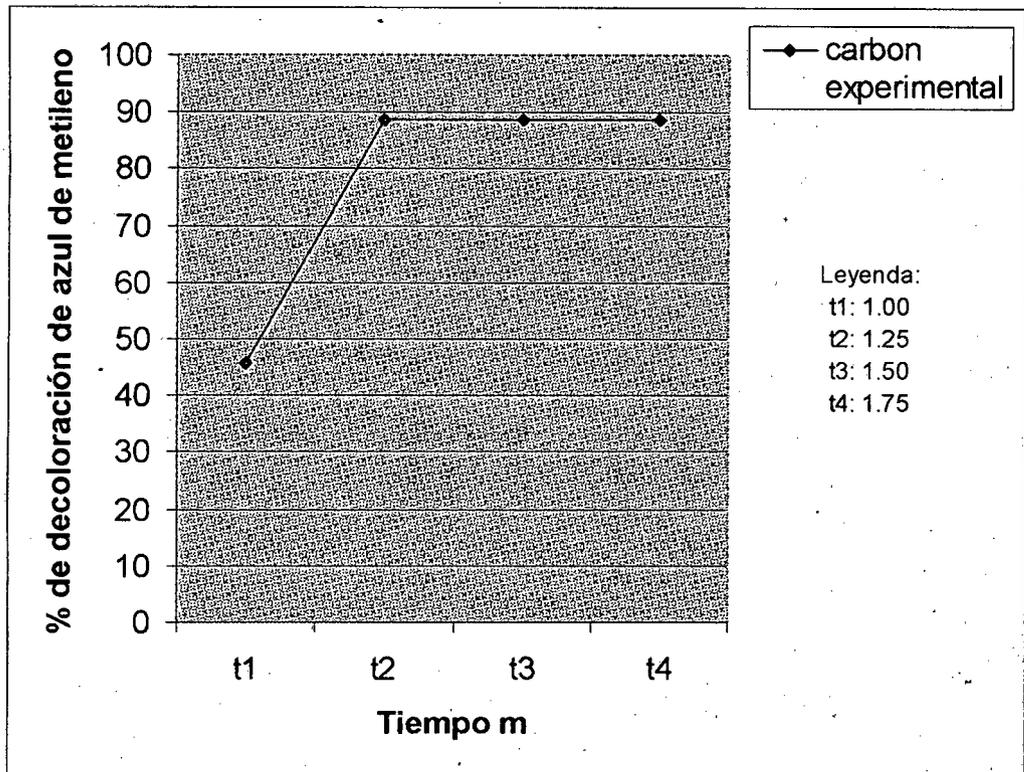


GRAFICO 5: DECOLORACIÓN EN FUNCIÓN AL TIEMPO

En un t1 el carbón experimental decolora el 45.6 % de la solución del azul de metileno, en el t2 decolora el 88.6% de la solución de azul de metileno manteniéndose constante en el t3 y t4.

En este esquema se puede apreciar como el carbón activado una vez saturado con azul de metileno ya no decolora y se mantiene constante aunque se incremente el tiempo de contacto.

El carbón obtenido a partir del arbusto de Ttola tarda 30 segundos en decolorar una solución de azul de metileno, mientras que el carbón experimental obtenido a partir del endocarpio de coco tarda 90 segundos, una diferencia muy significativa pero no determinante, esta diferencia de tiempo se asume que es debido a la cantidad agregada de carbón, pues la bibliografía revisada no especifica esta, aun asumiendo la misma cantidad de carbón esta diferencia estaría dada al tipo de ácido utilizado como agente activador.

5.6. FLUJOGRAMA DEFINITIVO DE LA PREPARACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO

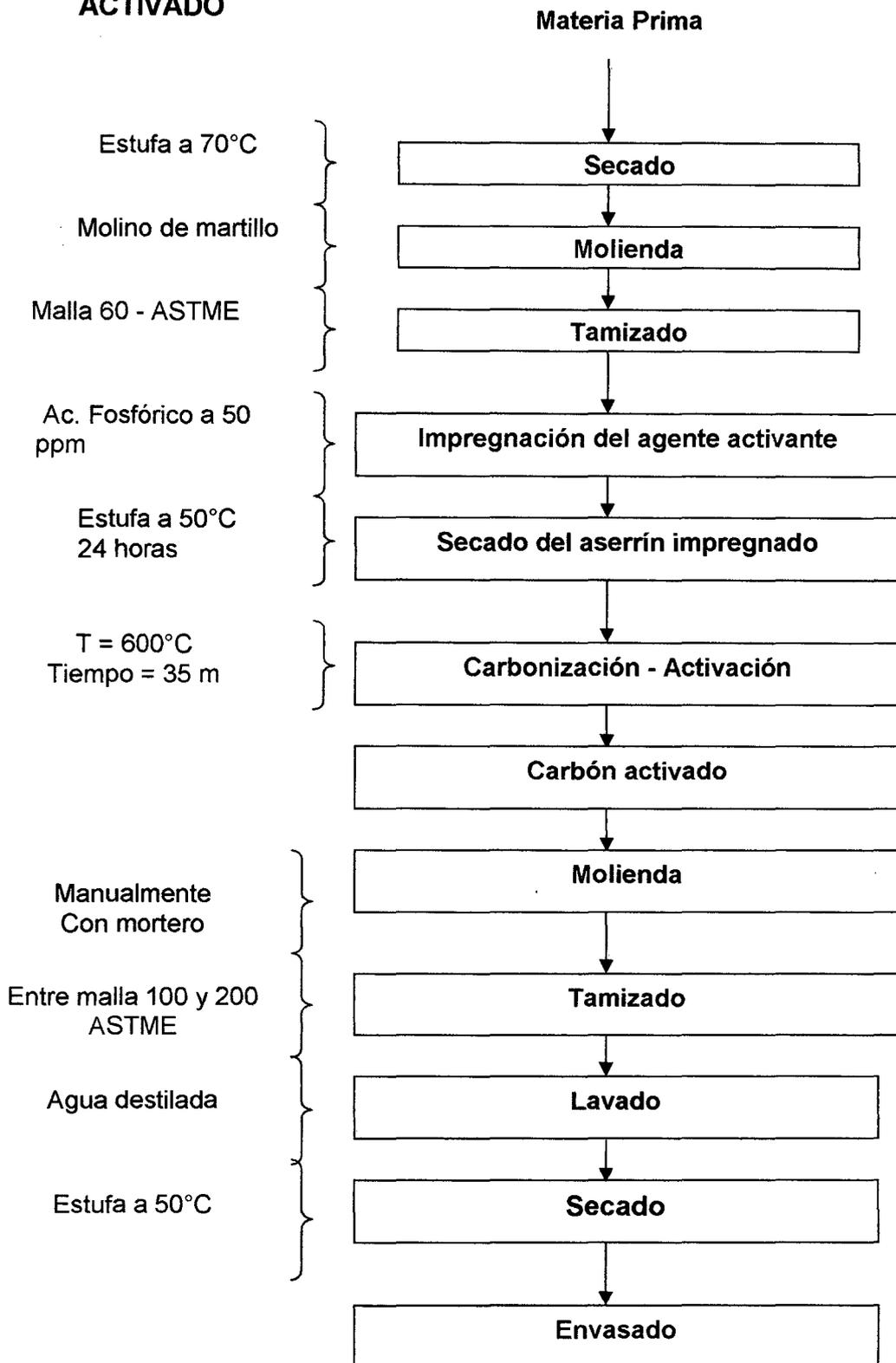
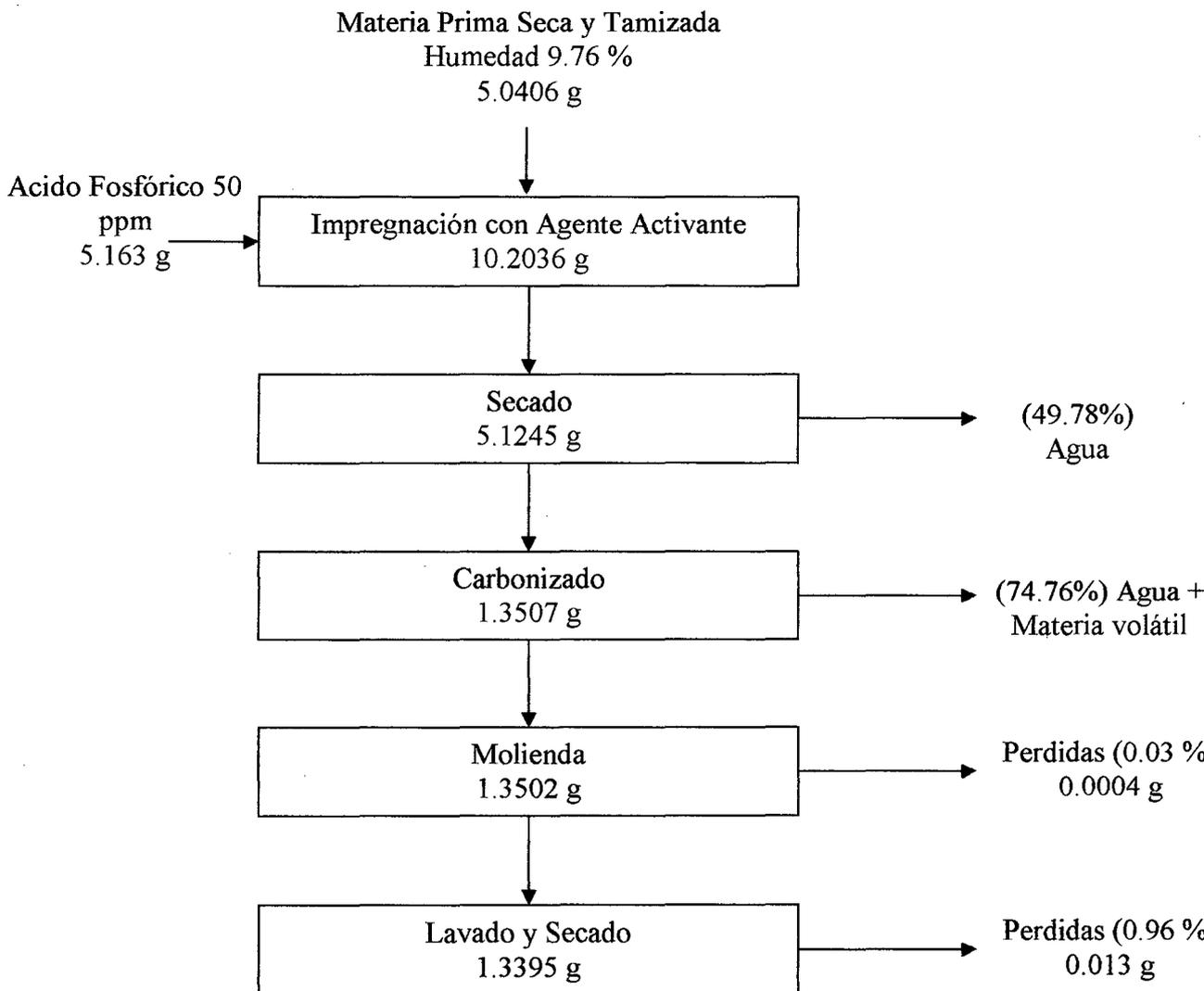


FIGURA 2: Flujo grama definitivo de la obtención de carbón activado

5.7. Diagrama de balance de Materia en la Obtención Química de Carbón Activado

Si bien es cierto los análisis fisicoquímicos de la materia prima y del carbón activado obtenido se realizaron con 10 g como ordena la bibliografía; todos los estudios y posteriores pruebas se realizaron en función a 5.0g, esto para su mejor manipulación, ya que solo se contaba con materiales e instrumentos de 5 g de capacidad, caso por ejemplo de las placas petri, tubos de ensayo, y casos muy particulares como la centrifuga y espectrofotómetro en donde solo cabían tubos de ensayo de igual capacidad.



Rendimiento: 26.57 %

Figura N° 3: Diagrama de Balance de Materia para la Obtención de Carbón Activado.

5.8. CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DEL CARBÓN EXPERIMENTAL FRENTE A UN CARBÓN COMERCIAL

El carbón activo comercial que se utilizó es el CHARCOAL producido por el laboratorio Chemicals adquirido por la Universidad Nacional de San Martín.

CUADRO 19: Propiedades fisicoquímicas del carbón Comercial

Parámetros	
Humedad %	6.52
Cenizas Totales %	3.25
pH	6.36
Granulometría	Entre malla 100 y 200 de la norma ASTME
% Porosidad	0.97
Densidad aparente	0.42 gr/cc

Se determinó en cuanto tiempo decolora totalmente el carbón activado comercial el azul de metileno, puesto que ya teníamos el dato de cuanto es el peso óptimo que era 0.75gr. de carbón experimental para 10 ml de azul de metileno, se puso la misma cantidad de carbón comercial. Se obtuvo el siguiente resultado:

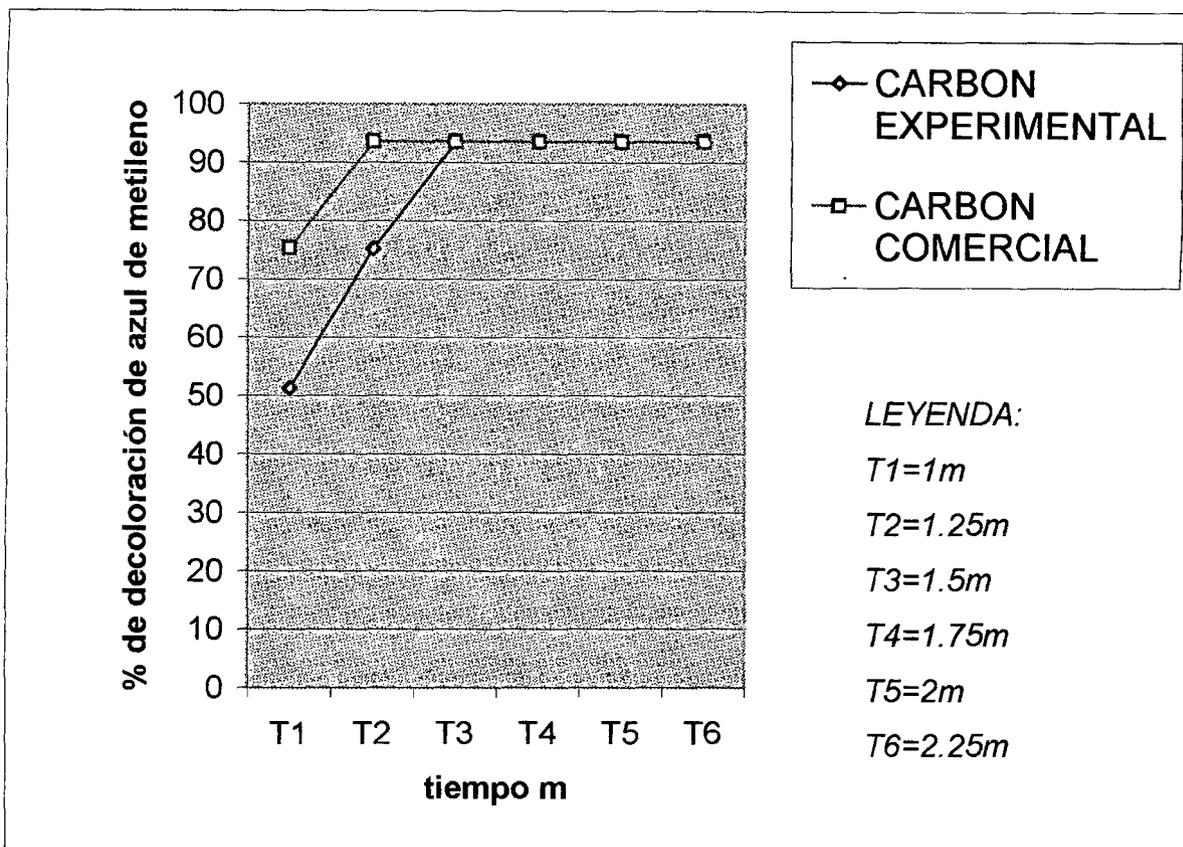


GRAFICO 6: COMPARACIÓN DEL CARBÓN EXPERIMENTAL Vs CARBÓN COMERCIAL EN FUNCIÓN AL TIEMPO

En el esquema se muestra que al T1 el carbón experimental decolora hasta el 37% y el carbón comercial hasta el 18% de la concentración inicial de azul de metileno equivalente al 51.25% y 75.43% de decoloración respectivamente.

En el T2 el carbón experimental decolora hasta el 19% y el carbón comercial decolora hasta el 5% de la concentración inicial de azul de metileno equivalente al 75.24% y 93.6% de decoloración respectivamente.

En el T3 el carbón experimental decolora hasta el 5% y el carbón comercial se mantiene en 5%, los equivalentes al 93.6% de decoloración, la concentración se mantiene constante pues si bien es cierto la sustancia esta clara, y la apariencia de decoloración es al 100%, no lo es, pues hay micro partículas que interfieren en la leyenda del espectrofotómetro.

En este cuadro se nota que el carbón comercial es más eficiente que el carbón pues decolora en un 1.25, mientras que nuestro carbón tarda en decolorar en 1.5 minuto, es decir el carbón comercial es mas efectivo en un 16.67% sobre el carbón activo experimental, la diferencia se asume que es debido a factores. Tales como la materia prima, la atmósfera de activación, la concentración de agente activante.

Se puede apreciar que a medida que los poros del carbón experimental se va saturando la adsorción y por ende la decoloración bajan de intensidad.

Luego se hizo una prueba adicional se puso en función al tiempo con diferentes pesos de carbón activo comercial en 10 ml de azul de metileno sabiendo que nuestro carbón activo experimental con 0.5 gr. solo decolora el 88.63% y aun peso de 0.75 decolora el 93.5% de la solución.

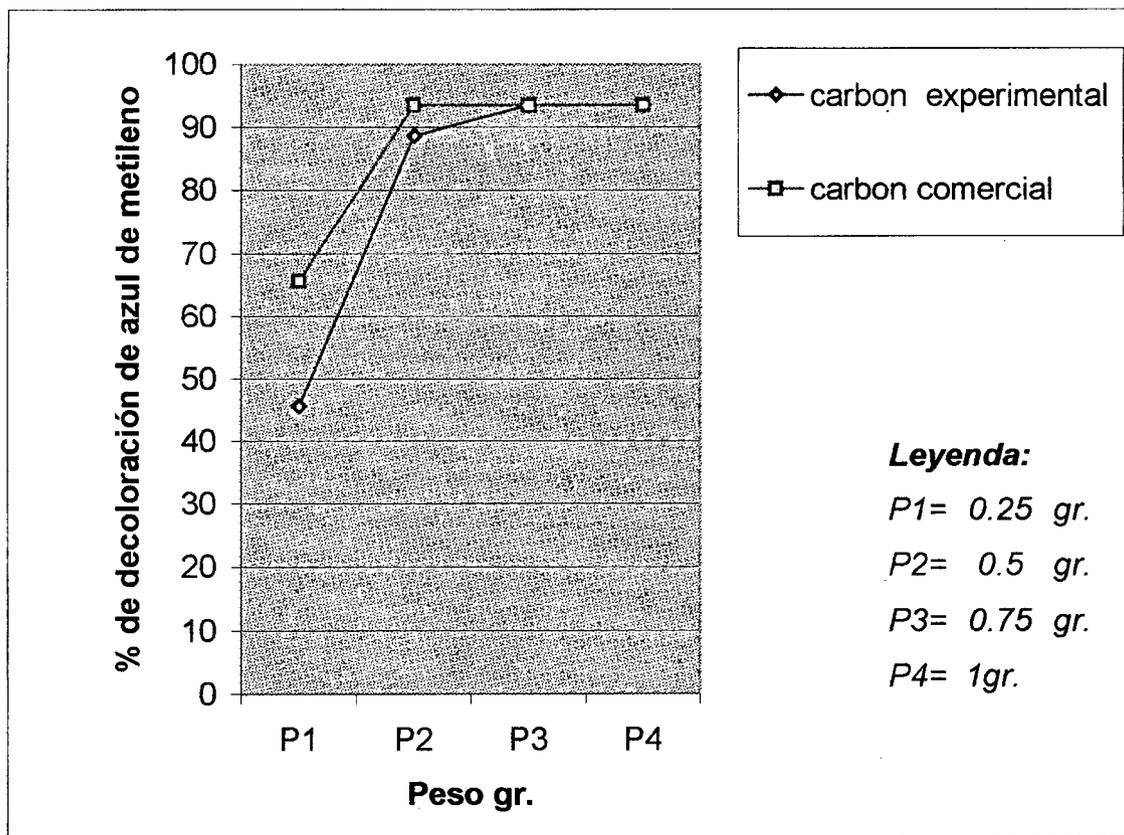


GRAFICO 7: COMPARACIÓN DEL CARBÓN EXPERIMENTAL Vs CARBÓN COMERCIAL EN FUNCIÓN AL PESO

En este esquema se muestra como el carbón activo comercial decolora al 93.5% la solución con 0.5 gr., y nuestro carbón solo logra el 88.63% siendo mas eficiente en un 5.24%. Pero hay algo que mencionar el carbón comercial con el mismo peso ocupa un mínimo de volumen más que nuestro carbón obtenido, esta diferencia se puede apreciar debido a que el carbón comercial tiene una porosidad de 0.97 comparado al carbón experimental que tiene 0.93. A continuación se muestran unos gráficos para una mejor apreciación.

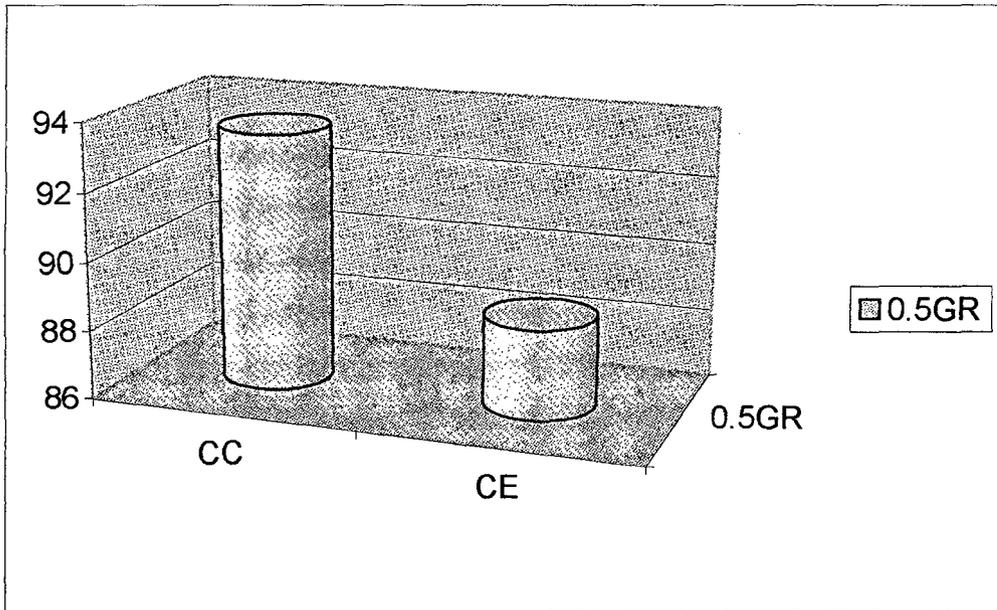


GRAFICO 9: DECOLORACIÓN A 0.5 GRAMOS

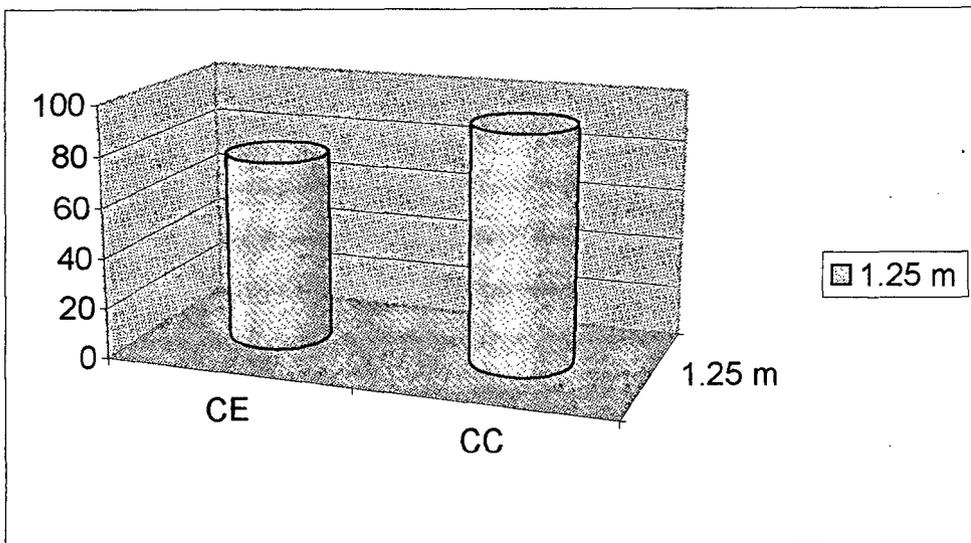


GRAFICO 10: DECOLORACIÓN A 1.25 MINUTOS

Dado estos resultados el carbón experimental si puede competir con el carbón comercial con el ajuste de algunos parámetros como el tiempo y el peso.

5.9. RENTABILIDAD DEL PROCESO

La rentabilidad de un producto radica fundamentalmente en dos estudios de factibilidad, el tecnológico y el económico, con el presente trabajo se demuestra que es factible tecnológicamente obtener un buen carbón activado; teniendo los equipos necesarios se hace mas fácil determinar los parámetros óptimos para su elaboración, pero lo tecnológico solo es rentable si es económico.

Hay factores en la región San Martín que son muy diferenciados con otras ciudades de nuestro país; por ejemplo la energía eléctrica y los combustibles son muy caros comparado con otras regiones, estos incrementan en gran medida los costos de producción, y querer compararlos con otros países estas diferencia se acrecientan aun mas; la materia prima también merece ser estudiada económicamente; si bien es cierto por hoy el costo es cero por ser un desperdicio; con este trabajo también se demuestra que es posible darle un valor agregado; entonces llegara el momento en que tendrá un valor para el productor, cuanto es el valor; no lo sabemos aun.

Por eso es necesario hacer dicho estudio para poder saber cuanto son los costos de producción en nuestra región y compararlos con los costos de otros carbones activados que se encuentran en el mercado, solo así se puede concluir si es factible su industrialización.

5.10. ENSAYO DE DECOLORACIÓN CON OTRAS SOLUCIONES

Se hizo ensayos de decoloración con 2 soluciones:

CUADRO 20: Porcentajes de decoloración de otras sustancias

CARBON ACTIVO EXPERIMENTAL	
Solución	% de decoloración
Solución azucarada al 25%	12.94
Aceite comestible usado	9.2

Estas pruebas de decoloración son generales que demuestran que nuestro carbón puede ser utilizado en diferentes industrias.

VI. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos y de los objetivos planteados en el presente trabajo de investigación se puede concluir lo siguiente.

1. Mediante el trabajo realizado se pudo demostrar que se puede obtener un carbón activado que cumple con todos los requisitos para competir en el mercado, de esta manera se estaría dando valor agregado al coco de la región San Martín, teniendo en cuenta que la materia prima utilizada es desperdiciada.
2. El endocarpio de coco es un material apropiado en la región San Martín para la elaboración de carbón activado pulverulento por el método de activación química dada su factibilidad tecnológica, pues el carbón activo obtenido cumple con todas las especificaciones que requiere INDECOPI para su comercialización en el mercado.
3. Los tratamientos que mejor decoloraron son; para cualquiera de las dos variedades de coco, utilizando ácido fosfórico a 50 ppm, sobresaliendo en un 0.6% mas eficiente respecto al otro agente activante (ácido sulfúrico), a la misma concentración.
4. De la prueba de comparación del carbón comercial con el experimental, se puede concluir que el carbón comercial supera en rendimiento en un 16.67% al experimental en función al tiempo, y un 5.24% en función al peso.
5. Los ensayos cualitativos con otras sustancias demuestran que el carbón experimental podría ser usado en diferentes industrias.

VII. RECOMENDACIONES

1. Durante la pirolisis es recomendable usar guardapolvo y mascara dada los gases tóxicos que se emana durante la carbonización.
2. Es necesario hacer el estudio de factibilidad económica y el uso de otros métodos de activación o materiales en la preparación de carbones activados.
3. Es necesario también hacer el estudio completo del uso de carbones activados en las diferentes industrias, ya que hay carbones activados para actividades específicas.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. A.O.A.C 1980, Official Methods of Analysis of the AOAC.
2. Austín, G 1989 Manual de Procesos Químicos en la Industria. 5ta Edición.
3. Bansal, R. C.; Donnet, J. B.; Stoeckli, F. *Active Carbon*, Ed. Marcel Decker, New York, 1988.
4. Beenackers, A.A.C.M. y Bridgwater, A.V, "Gasificación y pirolisis de la biomasa en Europa", en *Pyrolysis and Gasification*, Conferencia Internacional, Luxemburgo, p. 129, 1989.
5. Cordero, T., Tesis en opción al grado de Doctor en Química, Universidad de Málaga, España, p. 95-98, 1987.
6. Dougall, Mc J.S., *Afr. Inst. Min. Metall*, 91, 4, p. 109-120, 1991
7. Font, R., Marcilla, A., Devesa, J. And Verdú, E., "Kinetics study of the flash pyrolysis of almonds shells in a fluidized bed reactor at high temperatures", *Journal of Analytical and applied pyrolysis*, p. 245-246, 1993.
8. *Guía Técnica del coco*, Ministerio de agricultura y Ganadería, Programa Nacional de Frutas, Republica de San Salvador (2002).
9. Goldstein, L.S., *For. Prod. J*, 31 (10), p. 63, 1981.
10. Grasi, G., "Pyrolysis and gasification of biomass", in *Pyrolysis and Gasification*, Conferencia Internacional, Luxemburgo, p. 7, 1989.

11. Hastouglum M.A. and Hassam, M.S., "Application of a general gas-solid reaction model to flash pyrolysis of wood in a circulating fluidized bed", *Fuel*, vol. 74, No 5, p. 697, 1995.
12. Heschel W.; Klose, E. "On the Suitability of Agricultural By-product for the Manufacture of Granular Activated Carbon". *Fuel*, 74, 12, 1787-1791, 1995.
13. INP, UNI, BID 1979. Proyecto de Inversión Planta de Industrialización de Coco. Lima, Perú.
14. *JACOBS 1958, Chemical Analysis of Foods and Foods Products.*
15. J. Blanco. Castro, P.R. Bonelli, E.G. Cerrella, A.L. Cukierman Activación química de bagazo de caña de azúcar para la obtención de carbones activados
16. Kocaefe, D., Charrete, A. and Castonguay, L., "Green coke pyrolysis: investigation of simultaneous changes in gas and solid phases", vol.74, No.6, P.791-793, 1995.
17. Laboratorio de Química de la Madera, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Dpto. Tecnología de la Madera-Universidad de Chile.1982
18. Lizzio.A.A, Jiang.H.,Radovic 1990.
19. Lutteral,E. 1940 Carbones Activos. Editorial Círculo Militar de Argentina.
20. Manual de laboratorio de análisis de los alimentos, Ing. Enrique Terleira Garcia, Universidad Nacional de San Martín.

21. M.C. Basso, E.G. Cerrella, A.L. Cukierman-Tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados mediante carbones activados obtenidos de un precursor renovable 1998
22. Medina Álvarez, B.; Villegas Aguilar, P.; de las Posas del Río, C. E; B. Bucki Wasserman- Algunas consideraciones sobre la factibilidad de preparar carbones activados a partir de fuentes renovables tropicales 1998
23. M. Simón, P.R. Bonelli-“Utilización de residuos de leña para la obtención de carbones activados empleando diversos agentes activantes” Buenos Aires Argentina.2000
24. Oficina Sectorial de Estadística 1992 “ Boletín Estadístico del sector Agrario 1965 – 1979 Ministerio de Agricultura Tarapoto-Perú.
25. Ohler, J.G, El cocotero árbol de vida. Estudio FAO Producción y Producción vegetal Roma Italia.
26. P. J. Villegas Aguilar, B. F. Medina Alvarez, C. E. de las Posas del Río*, B. Bucki Wasserman-Preparación de carbones activados granulares mediante activación “física” de recursos agrícolas ceta.2001
27. P.R. Bonelli, P. A. Della Rocca, E.G. Cerrella, A.L. Cukierman-Pirolisis de residuos lignocelulósicos: un estudio para su caracterización- 2001
28. Resumen de trabajo de tesis “Obtención Química de Carbón Activado a partir del arbusto andino Ttola (Baccharis tricuneata).Norberto Miranda Zea, Jorge ayestas Ardiles UNA-Puno.1998

29. Radovic, L.R. y col., "Importance of carbon active sites in the gasification of coals chars", *Fuel*, vol. 62, p.849, 1983.
30. Rodríguez-Reinoso, F. y Linares-Solano, A., "Microporous Structure of Activated Carbon as Revealed by Adsorption Methods", in *Chemistry and Physics of Carbon*, vol. 21, p. 36-56, 1989
31. Reporte de Inteligencia Competitiva DCE, Ministerio de Economía de El Salvador Elaborado por: Ileana Bolaños. Abril-2005
32. Sasha García, Mariana Rodríguez -Efecto de la fracción de asfaltenos en la formación y crecimiento de la mesofase-2000
33. Schaeffer Kenneth /www.agualatinoamerica.com.
34. Shafyzadeh, F., *Adv Chem. Ser*, 207, 489, 1984.
35. Soltes, E.J. y Elder, T.J., "Pyrólisis in Organic Chemicals from Biomass", Goldstein, I.S. (Eds), Cap. 5, CRC Press, Boca Raton. Fla, 1981.
36. Tesis " Producción de Hojuelas dulces y saladas a partir de coco en la Región San Martín". Biblioteca Especializada de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial UNSM.
37. Van Heek, K.H. and Mühlen, H.J., "Chemical Kinetics of carbon and char gasification", in *Fundamental Issues in Control of carbon. Gasification Reactivity*, Series E:Applied Sciences, vol 192, p.2-9, 1991.
38. *Wastewater Engineering; Metcalf & Eddy; tercera edición; 1991; página 317*
39. Zanzi, R., Sjostrom, K. and Björnbom, E., "Rapid high temperature pyrolysis of biomass in a free-fall reactor", *Fuel*, vol. 75, No 5, p. 547, 1996.

40. www.cipca.org.pe/cipca/informacion_y_desarrollo.
41. www.ciarimex.com/.
42. [www.Descripci3n del carb3n.htm](http://www.Descripci3n%20del%20carb3n.htm).
43. www.dipbot.unict.it.paime.es.
44. www.excelwater.com/spa.
45. www.lenntech.com

IX. ANEXOS

ANEXO I

Resultados de la prueba de decoloración de azul de metileno

Variedades	Agentes Activantes	Concentrac.	Repeticiones			
			1	2	3	4
V1	A1	C1	88.7021	88.5014	88.7033	88.6022
		C2	87.0026	86.9026	86.8014	86.9018
		C3	85.1042	85.2023	85.2024	85.0011
		C4	80.6043	81.0041	81.1048	80.8028
	A2	C1	88.0011	88.0019	88.0049	87.9046
		C2	86.1052	85.9023	85.9012	86.0012
		C3	83.8025	84.0041	84.1023	84.1045
		C4	80.6014	79.0023	81.0022	82.4041
V2	A1	C1	88.8024	88.4010	88.5030	88.8032
		C2	87.0002	86.8023	87.0008	86.8035
		C3	85.1026	85.0042	85.3045	85.1012
		C4	80.8005	80.8045	80.8002	81.0042
	A2	C1	88.0018	87.9025	87.9042	88.0031
		C2	86.0014	86.0001	85.9034	86.0012
		C3	83.7001	84.1045	84.1013	83.8043
		C4	79.2006	80.6041	81.3072	80.1048

ANEXO 2

Resultado de la prueba de comparaciones de Tuckey

A Vs B	1.725	0.8519	*	I Vs B	1.725	0.8519	*
A Vs C	3.5	0.8519	*	I Vs C	3.5	0.8519	*
A Vs D	7.75	0.8519	*	I Vs D	7.75	0.8519	*
A Vs E	0.65	0.8519	n.s	I Vs E	0.65	0.8519	n.s
A Vs F	2.65	0.8519	*	I Vs F	2.65	0.8519	*
A Vs G	4.625	0.8519	*	I Vs G	4.625	0.8519	*
A Vs H	8.375	0.8519	*	I Vs H	8.375	0.8519	*
A Vs I	0	0.8519	n.s	I Vs J	1.725	0.8519	*
A Vs J	1.725	0.8519	*	I Vs K	3.5	0.8519	*
A Vs K	3.5	0.8519	*	I Vs L	7.78	0.8519	*
A Vs L	8.325	0.8519	*	I Vs M	0.675	0.8519	n.s
A Vs M	0.675	0.8519	n.s	I Vs N	2.65	0.8519	*
A Vs N	2.65	0.8519	*	I Vs O	4.7	0.8519	*
A Vs O	4.7	0.8519	*	I Vs P	8.325	0.8519	*
A Vs P	8.325	0.8519	*				
E Vs B	1.075	0.8519	*	M Vs B	1.05	0.8519	*
E Vs C	2.85	0.8519	*	M Vs C	2.825	0.8519	*
E Vs D	7.1	0.8519	*	M Vs D	7.075	0.8519	*
E Vs F	2	0.8519	*	M Vs F	1.975	0.8519	*
E Vs G	3.975	0.8519	*	M Vs G	3.95	0.8519	*
E Vs H	7.725	0.8519	*	M Vs H	7.7	0.8519	*
E Vs J	1.075	0.8519	*	M Vs J	1.05	0.8519	*
E Vs K	2.85	0.8519	*	M Vs K	2.825	0.8519	*
E Vs L	7.125	0.8519	*	M Vs L	7.1	0.8519	*
E Vs M	0.025	0.8519	n.s	M Vs N	1.975	0.8519	*
E Vs N	2	0.8519	*	M Vs O	4.025	0.8519	*
E Vs O	4.05	0.8519	*	M Vs P	7.65	0.8519	*
E Vs P	7.675	0.8519	*	C Vs D	4.25	0.8519	*
B Vs C	1.775	0.8519	*	C Vs F	0.85	0.8519	n.s
B Vs D	6.025	0.8519	*	C Vs G	1.125	0.8519	*
B Vs F	0.925	0.8519	*	C Vs H	4.875	0.8519	*
B Vs G	2.9	0.8519	*	C Vs J	1.775	0.8519	*
B Vs H	6.65	0.8519	*	C Vs K	0	0.8519	n.s
B Vs J	0	0.8519	n.s	C Vs L	4.275	0.8519	*
B Vs K	1.775	0.8519	*	C Vs N	0.85	0.8519	n.s
B Vs L	6.05	0.8519	*	C Vs O	1.2	0.8519	*
B Vs N	0.925	0.8519	*	C Vs P	4.825	0.8519	*
B Vs O	2.975	0.8519	*	L Vs N	5.125	0.8519	*
B Vs P	6.6	0.8519	*	L Vs O	3.075	0.8519	*
N Vs O	2.05	0.8519	*	L Vs P	0.55	0.8519	n.s
N Vs P	5.675	0.8519	*	O Vs P	3.625	0.8519	*

Anexo 3

D Vs F	5.1	0.8519	*
D Vs G	3.125	0.8519	*
D Vs H	0.625	0.8519	n.s
D Vs J	6.025	0.8519	*
D Vs K	4.25	0.8519	*
D Vs L	0.025	0.8519	n.s
D Vs N	5.1	0.8519	*
D Vs O	3.05	0.8519	*
D Vs P	0.575	0.8519	n.s
F Vs G	1.975	0.8519	*
F Vs H	5.725	0.8519	*
F Vs J	0.925	0.8519	*
F Vs K	0.85	0.8519	n.s
F Vs L	5.125	0.8519	*
F Vs N	0	0.8519	n.s
F Vs O	2.05	0.8519	*
F Vs P	5.675	0.8519	*
G Vs H	3.75	0.8519	*
G Vs J	2.9	0.8519	*
G Vs K	4.875	0.8519	*
G Vs L	3.15	0.8519	*
G Vs N	1.975	0.8519	*
G Vs O	0.075	0.8519	n.s
G Vs P	3.7	0.8519	*
H Vs J	6.65	0.8519	*
H Vs K	4.875	0.8519	*
H Vs L	0.6	0.8519	n.s
H Vs N	5.725	0.8519	*
H Vs O	3.675	0.8519	*
H Vs P	0.05	0.8519	n.s
J Vs K	1.775	0.8519	*
J Vs L	6.05	0.8519	*
J Vs N	0.925	0.8519	*
J Vs O	2.975	0.8519	*
J Vs P	6.6	0.8519	*
K Vs L	4.275	0.8519	*
K Vs N	0.85	0.8519	n.s
K Vs O	1.2	0.8519	*
K Vs P	4.825	0.8519	*

ANEXO 4

Leyenda:

A = V1A1C1 D = V1A1C4 G = V1A2C3 J = V2A1C2 M = V2A2C1
B = V1A1C2 E = V1A2C1 H = V1A2C4 K = V2A1C3 N = V2A2C2
C = V1A1C3 F = V1A2C2 I = V2A1C1 L = V2A1C4 O = V2A2C3
P = V2A2C4

Donde:

V1 = Variedad enano

V2 = Variedad Gigante

A1 = Acido Fosfórico

A2 = Acido Sulfúrico

C1 = 50 ppm

C2 = 45 ppm

C3 = 40 ppm

C4 = 35 ppm

ANEXO 4
RESULTADOS DE LA PRUEBAS DE COMPARACIÓN

TIEMPO	CARBON EXPERIMENTAL	CARBON COMERCIAL
T1	51.25	75.43
T2	75.24	93.6
T3	93.6	93.6
T4	93.6	93.6
T5	93.6	93.6
T6	93.6	93.6

PESO	CARBON EXPERIMENTAL	CARBON COMERCIAL
P1	45.6	65.6
P2	88.6	93.5
P3	93.6	93.6
P4	93.6	93.6

CALCULOS DE CARBONO FIJO DE LA MATERIA PRIMA

Endocarpio Coco Enano

$$muestra1 = \frac{3.1063}{10.1478} \times 100 = 30.6106$$

$$muestra2 = \frac{3.1061}{10.1707} \times 100 = 30.5396$$

$$muestra3 = \frac{3.1314}{10.1579} \times 100 = 30.8272$$

$$muestra4 = \frac{3.1914}{10.1129} \times 100 = 31.5577$$

$$muestra5 = \frac{3.0732}{10.2404} \times 100 = 30.0109$$

Carbono fijo promedio Coco Enano=30.7092

Endocarpio Coco Gigante

$$muestra1 = \frac{3.1123}{10.2428} \times 100 = 30.3852$$

$$muestra2 = \frac{3.1254}{10.1347} \times 100 = 30.8386$$

$$muestra3 = \frac{3.1014}{10.1579} \times 100 = 30.5319$$

$$muestra4 = \frac{3.1824}{10.1039} \times 100 = 31.4967$$

$$muestra5 = \frac{3.0700}{10.1316} \times 100 = 30.3016$$

Carbono fijo promedio Coco Gigante=30.7108

CALCULOS DE CENIZA DE LA MATERIA PRIMA

Endocarpio Coco Enano

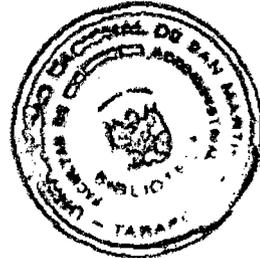
$$muestra1 = \frac{0.0953}{10.1478} \times 100 = 0.9391$$

$$muestra2 = \frac{0.0926}{10.1707} \times 100 = 0.9105$$

$$muestra3 = \frac{0.0962}{10.1579} \times 100 = 0.9470$$

$$muestra4 = \frac{0.0909}{10.1129} \times 100 = 0.8989$$

$$muestra5 = \frac{0.0925}{10.2404} \times 100 = 0.9035$$



Endocarpio Coco Gigante

Ceniza promedio Coco Enano=0.9198

$$muestra1 = \frac{0.0978}{10.2428} \times 100 = 0.9548$$

$$muestra2 = \frac{0.0934}{10.1347} \times 100 = 0.9216$$

$$muestra3 = \frac{0.0943}{10.1579} \times 100 = 0.9283$$

$$muestra4 = \frac{0.0945}{10.1039} \times 100 = 0.9353$$

$$muestra5 = \frac{0.0858}{10.1316} \times 100 = 0.8475$$

Ceniza promedio Coco Gigante=0.9175