

Universidad Nacional José Faustino Sánchez

Carrión

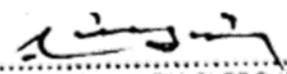
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA y

METALURGICA



**ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA METALÚRGICA**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO
METALURGICO**


ING. ALBERTO IRHAAM SANCHEZ GUZMAN
CIP 19681 DNQ 187

TITULO:

**“REACTIVACIÓN DEL CARBONO ACTIVADO POR LAVADO DE
ÁCIDO”**

AUTOR:

PASCACIO ALCANTARA KEVIN ANTONIO

ASESOR:

Dr. Sánchez Guzmán, Alberto Irhaam

HUACHO – PERU

2020

RESUMEN

Mediante el presente estudio se busca obtener carbón activado a través de la activación química empleando el endocarpio de coco denominado como “Cocos nucífera L”. Para el procedimiento se ha empleado como materia prima el residuo que se obtiene al extraer la pulpa el cual es activado utilizando ácido fosfórico a través de dos métodos que poseen concentraciones distintas, así como temperaturas y tiempos diferentes. Uno de los métodos ha empleado una temperatura de 120°C mientras que la concentración fue de 85% de ácido fosfórico con un tiempo de 24 horas y el otro método empleó 300°C de temperatura con una concentración de 40% y un tiempo de solo 2,5 horas.

Asimismo, en el presente se describen las características que presenta la materia prima como su humedad. Además, se muestran las características que presenta el producto final en base a sus parámetros como su densidad aparente.

Se obtuvo carbón activado que posteriormente fue empleado para la adsorción de Cloro residual presente en el agua potable, el resultado obtenido fue la reducción del cloro concentrado desde un 0.81 ppm a 0.3 ppm empleando Carbón activado al 40%.

Palabras claves: carbón activado, adsorción, ácido fosfórico

ABSTRACT

This study seeks to obtain activated carbon through chemical activation using the endocarp of coconut known as "Cocos nucifera L". The raw material used for the procedure is the residue obtained by extracting the pulp, which is activated using phosphoric acid through two methods that have different concentrations as well as different temperatures and times. One of the methods used a temperature of 120 ° C while the concentration was 85% of phosphoric acid with a time of 24 hours and the other method used a temperature of 300 ° C with a concentration of 40% and a time of only 2.5 hours.

Likewise, the characteristics of the raw material such as its humidity are described in the present. In addition, the characteristics of the final product are shown based on its parameters such as its apparent density.

Activated carbon was obtained that was later used for the adsorption of residual chlorine present in drinking water, the result obtained was the reduction of concentrated chlorine from 0.81 ppm to 0.3 ppm using activated carbon at 40%.

Keywords: activated carbon, adsorption, phosphoric acid

INDICE

RESUMEN	2
ABSTRACT.....	3
DEDICATORIA	7
AGRADECIMIENTO.....	8
I. INTRODUCCIÓN.....	9
II. FUNDAMENTOS.....	11
2.1 EL COCO	11
2.1.1 Origen	11
2.1.2 Clasificación	11
2.1.3 Características del fruto	12
2.1.4 Composición estructural	12
2.1.5 Variedad.....	13
2.1.6 Valor nutricional.....	14
2.1.7 Composición química	14
2.1.8 Propiedades fisicoquímicas	15
2.1.9 Producción de Cocoteros en Ecuador	15
2.1.10 Problemas ocasionados por residuos del fruto	17
2.1.11 Usos	17
2.2 CARBON ACTIVADO.....	18
2.2.1 Origen	18
2.2.2 Concepto carbón activado	19
2.2.3 Materia prima para el carbón activado	20
2.2.4 Composición química	21
2.2.5 Propiedades fisicoquímicas	21
2.2.6 Formas	23
2.2.7 Estructura porosa	25
2.2.8 Métodos de activación	27
2.2.9 Reactivación	29
2.2.10 Comercio del carbón activado	31
2.2.11 Requisitos	31
2.3 ADSORCIÓN.....	32
2.3.1 Definición	32
2.3.2 Tipos	34
2.3.3 Isotermas de adsorción	34

2.4	APLICACIONES DEL CARBÓN ACTIVADO	35
2.4.1	Purificación de Agua Potable	35
2.4.2	Tratamiento de aguas residuales.....	35
3	DESARROLLO EXPERIMENTAL	36
3.1	RECOLECCIÓN	36
3.2	SELECCIÓN	37
3.3	SECADO	37
3.4	MOLIENDA.....	38
3.5	CARACTERIZACIÓN	40
3.5.1	Material.....	40
3.5.2	Equipos	40
3.5.3	Descripción del método	40
3.5.4	Procedimiento.....	41
3.5.5	Cálculo del porcentaje de humedad.....	41
3.5.6	Datos obtenidos	41
3.6	DETERMINACIÓN DE CENIZAS.....	42
3.6.1	Materiales	42
3.6.2	Equipos	42
3.6.3	Descripción del método	42
3.6.4	Procedimiento.....	43
3.6.5	Cálculo de cenizas	43
3.6.6	Datos obtenidos	43
3.6.7	Valores obtenidos	44
3.7	ACTIVACIÓN QUÍMICA.....	44
3.7.1	CARBÓN ACTIVADO A UNA CONCENTRACIÓN DEL 85% ÁCIDO FOSFÓRICO	45
3.7.2	CARBÓN ACTIVADO A UNA CONCENTRACIÓN DEL 40% ÁCIDO FOSFÓRICO	47
3.8	LAVADO	50
3.8.1	Materiales	50
3.8.2	Reactivos	50
3.8.3	Equipos	50
3.8.4	Descripción del método.....	50
3.8.5	Proceso.....	53
3.9	SECADO	54
3.9.1	Descripción.....	54

3.10 REDUCCIÓN DE TAMAÑO	54
3.10.1 Descripción.....	54
3.11 PESADO.....	55
3.11.1 Descripción.....	55
3.11.2 Proceso.....	56
3.11.3 Porcentaje de Rendimiento alcanzado durante la Activación	56
3.12 CARACTERIZACIÓN	58
3.12.1 PORCENTAJE DE HUMEDAD	58
3.12.2 DENSIDAD APARENTE.....	61
3.11.3 ÍNDICE DE YODO.....	63
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	69
4.1 HUMEDAD.....	69
4.2 CENIZAS	70
4.3 RENDIMIENTO DEL PROCESO.....	70
4.4 HUMEDAD.....	71
4.5 DENSIDAD APARENTE.....	71
4.6 ÍNDICE DE YODO.....	71
5 CONCLUSIONES	73
6. Bibliografía	75
7 ANEXOS	77
7.1 Anexo 1. Requisitos para el agua potable según normativa	77

DEDICATORIA

La presentación va dedicada para mi familia por brindarme la motivación necesaria para desempeñarme correctamente y a mis colegas por el apoyo brindado para la conclusión de este estudio.

AGRADECIMIENTO

Principalmente quiero darle las gracias a Dios por haberme guiado y acompañado mientras yo he podido cumplir todos mis objetivos.

Asimismo, un agradecimiento especial para el Ing. Juan Diego Espinoza por haber compartido sus conocimientos los cuales han sido claves para desarrollar la presente tesis al igual que a la Ing. Veronica Saetama por colaborar con el préstamo de equipos y reactivos necesarios para realizar los procesos que se requieren en el presente.

Finalmente agradezco a mi compañera de tesis pues en conjunto hemos podido hallar fortaleza para la continuación con el desarrollo de esta tesis.

I. INTRODUCCIÓN

El Cocos nucífera L es un fruto que se obtiene de la palma de coco la cual es reconocidas como una de las más importantes palmas además de ser denominada “el árbol de la vida” pues su fruto posee una gran variedad de aplicaciones como la elaboración de aceite que será la materia prima para la obtención de detergentes, jabones y demás productos elaborados en la industria.

La mayoría de países que poseen un clima tropical tienden a realizar el cultivo de palmeras de Cocos nucífera L. El residuo que se obtiene a partir de sus frutos o en específico, de su cascara son importantes pues se adquiere carbón activado.

Se le llama carbón activado al producto obtenido de las cascara de coco el cual se caracteriza por ser poroso y contener una gran capacidad para la adsorción de gases y también líquidos.

Los países que se especializan en la producción de carbón activado son la mayoría de los denominados “países desarrollados” como Holanda, Alemania, Reino Unido, China, Japón.

Actualmente se emplea el carbón activado para su aplicación en diversos procesos importantes para la humanidad como para purificar el agua potable, tratar las aguas residuales o emplearse dentro de la industria farmacéutica.

La presente tesis tiene como objetivo la obtención de carbón activado dentro de un laboratorio en la que se desarrollaran los procesos que se describirán más adelante mediante el empleo de cascara usando la activación química utilizando ácido fosfórico en diversas concentraciones con el fin de determinar cuál es el que mejor rendimiento posee y llegar a la conclusión de cual será más conveniente para poder eliminar el cloro contenido en la composición del agua.

Asimismo, se posee una hipótesis la cual afirma que de la cascara de coco que se empleará se habrá obtenido carbón activado de una muy buena calidad que cumplirá los requisitos necesarios para ser comercializado.

La investigación permitirá demostrar que tan valiosos son los residuos que se desechan en empresas especializadas en elaborar productos en base a la pulpa del coco, de esta forma se buscará un aprovechamiento extra que no solo permitirá

ingresos económicos adicionales sino también un apoyo a la disminución de contaminantes que degradan el ambiente.

II. FUNDAMENTOS

2.1 EL COCO

2.1.1 Origen

El coco es obtenido de la palma de coco la cual es considerada como una de las más importantes y que permiten una gran economía de exportación por lo que la mayoría de países ubicados dentro de un clima tropical la aprovechan.

Ademas de servir para la alimentación, el coco ha ido obteniendo cada vez más aplicaciones y usos por lo que se le considera como un recurso multifuncional. Las fibras que posee son empleados como recurso para el material de construcción. Es común encontrar cocos en todo el litoral de todos los continentes.

2.1.2 Clasificación



Ilustración 1. Coco

Fuente: Autor

2.1.3 Características del fruto

- El fruto tiene aproximadamente una longitud de entre 15 y 20 cm.
- Posee un espesor promedio de 10 hasta 15 cm
- Mantiene un peso promedio que se aproxima a los 2kg.

2.1.4 Composición estructural

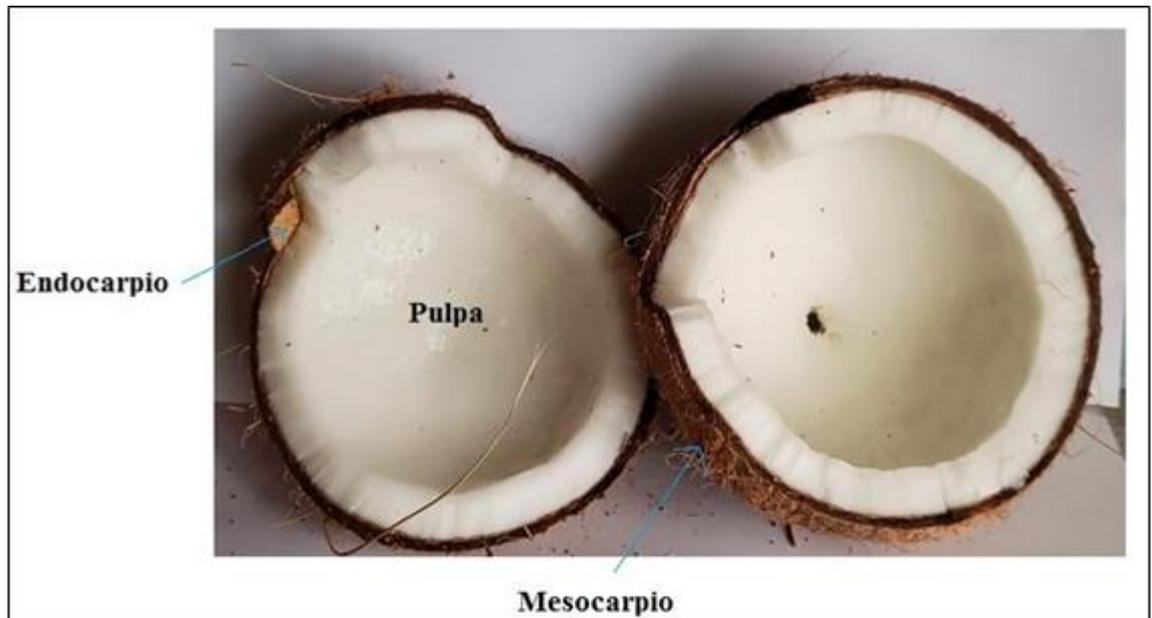


Ilustración 2. Estructura

Fuente: Autor

- **Epicarpio**
Capa externa del fruto que posee un espesor aproximado de 4 cm caracterizado por ser muy fibroso y ser duro. Al inicio posee un color verde que va transformándose en café.
- **Mesocarpio**
Es la capa más fibrosa que se encuentra en el fruto posterior al epicarpio.
- **Endocarpio**
Capa caracterizada por ser fina y a la vez dura, tiene un color muy parecido al de la madera. Tiene una composición formada por lignina, hemicelulosa y celulosa. En general, polímeros.

- Pulpa
Posee un color blanquecino y es la que sirve como envoltura para el endocarpio. Es utilizado como materia prima para fabricar diversos productos.
- Agua
Es la parte líquida que posee el fruto, contiene vitamina C pero en un porcentaje muy bajo. Además, contiene proteínas y un 5% de carbohidratos.

2.1.5 Variedad

Se conocen los siguientes:

- a) Gigantes
 - Alto contenido de agua
 - Fruto de altas dimensiones en comparación con otros
 - Un sabor que tiene menos dulzura
 - Empleado como materia prima para producir aceites
 - Copra con mayor rendimiento
 - Menor producción de frutos por planta
- b) Enanos
 - Empleados como materia prima para producir bebidas envasadas
 - Frutos pequeños en tamaño a comparación con otros
 - Agua con un mejor sabor
 - Copra con una baja calidad
- c) Híbridos
 - Obtenidos a partir del cruce de cocoteros enanos con gigantes
 - Poseen un buen sabor
 - Los frutos tienen una dimensión media
 - La copra tiene buen rendimiento.

2.1.6 Valor nutricional

A continuación se muestra el contenido nutricional presente en 100g de Coco.

Cuadro 1. Contenido nutricional perteneciente al fruto

Calorías	633 kcal
GRASA	62 Gr.
Colesterol	0 Mg.
Sodio	28 Mg.
Carbohidratos	6,40 Gr.
Proteínas	5,60 Gr.
Fibra	13,70 Gr.
Calcio	23 Mg.
Hierro	3,60 Gr.
Vitamina C.	1 Mg
Vitamina B3	2 Mg.

Fuente: Rodeotropicalfruit.com

2.1.7 Composición química

A continuación se muestra las proporciones en porcentajes de los componentes químicos que constituyen al coco.

Tabla 1. Composición Química

Compuesto químico	Porcentaje
% Extractivo	6.4
% Holocelulosa	56.3
α- celulosa	44.2
% Lignina	32.8
% Ceniza	2.2

Fuente: Autor

Las fibras que poseen los cocos tienen como compuesto más abundante a la lignina. La lignina es considerada un polímero que otorga la dureza a las fibras así como resistencia lo que permite endurecer las paredes celulares.

2.1.8 Propiedades fisicoquímicas

A continuación se muestran las propiedades fisicoquímicas que posee la cascara del coco.

Tabla 2. Propiedades Fisicoquímicas

PROPIEDADES FÍSICAS		PROPIEDADES QUÍMICAS	
Análisis próximo (%masa base húmeda)		Análisis último (% masa base seca)	
Humedad	12.01	C	44.76
Volátiles	71.45	O ₂	44.73
Carbón Fijo	15.28	H ₂	8.92
Cenizas	1.26	N ₂	0.16
		S	0.03
		Cenizas	1.40
Total	100	Total	100

Fuente: Autor

2.1.9 Producción de Cocoteros en Ecuador

Ecuador es uno de los países en desarrollo que se especializa en producir palmas de coco, estas se ubican en tres provincias ubicadas en la costa y solo una ubicada por la zona sierra.

Dentro de estas cuatro zonas se encuentran algunas variedades de la especie nucífera los cuales son:

- Guayas
- Loja
- Manabí
- Esmeraldas

Tabla 3. Producción del año 2013

Provincia	Tonelada/anual	%producción
Esmeraldas	7010	63.1
Guayas	1620	14.6
Manabí	770	6.9
Sucumbíos	760	6.8
Loja	585	5.3
Napo	260	2.3
Orellana	95	0.9
Galápagos	6	0.1

Fuente: Centro de información proyectos SICA

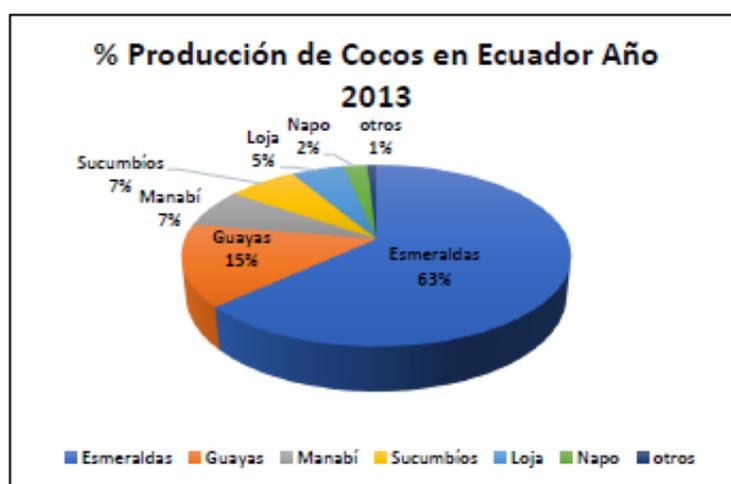


Ilustración 3. Producción de cocos en Ecuador

De acuerdo con los datos recogidos se reconoce que es Esmeraldas el punto en que se realiza una mayor producción de palmas pues tiene un 63.1% de la producción total del país.

El ministerio de agricultura, acuicultura, ganadería y pesca informa que este sector es trabajado en su totalidad por micro empresas que buscan establecer proyectos que permitan el mayor aprovechamiento del coco para diversas producciones.

2.1.10 Problemas ocasionados por residuos del fruto

Solo en la ciudad de Cuenca se encuentra gran cantidad de residuos de coco que son desechados por comerciantes, el mismo mercado y pequeñas empresas especializadas en emplear como insumo solo el agua o la pulpa.

Cuando se extrae la pulpa del fruto se descarta lo restante y es arrojado hacia el basurero aunque hay casos en que son arrojados hacia las calles por acción de vendedores informales que cada vez son más pues hay un buen negocio de productos de coco en la localidad. No obstante estas malas prácticas hacen que se produzcan efectos adversos que afectan los paisajes además de producir un impacto en el medio ambiente debido a que los residuos tardan de entre 8 y 12 años para ser degradados.

Se necesita considerar que el residuo del coco el cual es la cascara no es inservible pues se puede emplear para la producción de nuevos insumos.

Por ejemplo, ya existen algunos productos que nacen empleando la cascara, este es el caso de la producción de costales, cuerdas o cepillos en base a las fibras presentes.

En conclusión, tener demasiados residuos desechados es una problemática considerable si se tiene en cuenta que significa gran fuente de aprovechamiento para la elaboración de productos que pueden significar un ingreso económico.

2.1.11 Usos

El fruto es muy bien valorado por las empresas que se especializan en utilizar al coco como materia prima- Sin embargo, la parte más importante para la producción es solo el endospermo sólido el cual es secado para convertirse en copra el cual es la materia prima para poder realizar la elaboración de aceite que a su vez sirve para permitir la fabricación de detergentes o jabones.

Por otra parte, también son aprovechadas las fibras del fruto para permitir la fabricación de cepillos, costales o esteras mientras que el endocarpio duro va destinado a formar carbón vegetal y el endospermo líquido como bebida.

2.2 CARBON ACTIVADO

2.2.1 Origen

Al descubrir sus propiedades para poder eliminar o retener olores y sabores ha sido empleado para diversas aplicaciones como por ejemplo en las prácticas médicas. Asimismo, se empleó el carbón activado para ser situado en contenedores de agua con el fin de evitar olores y sabores desagradables que a su vez podrían causar enfermedades por lo que para evitar dichas consecuencias se aplicaba.



Ilustración 4. Carbón activado

Fuente: Autor

El carbón activado fue aplicado por primera vez en el año 1974 en el Reino Unido para poder decolorar el azúcar, aplicación que fue conservada secretamente hasta realizar la patente correspondiente. No obstante sus aplicaciones ya habían sido empleadas para otros sectores, pues en 1854 se aplicaron para el tratamiento de gases. Fue en Londres donde se aplicó el carbón activado en filtros de aire para permitir la elaboración de las primeras mascarillas capaces de eliminar los gases tóxicos que se emitían en procesos dentro de las industrias químicas, esto sucedió durante el año 1872.

Durante el año 1881 surge el término “adsorción” pues Kaiser es el encargado de dar a conocer la propiedad que poseen ciertos materiales para atrapar gases. Por

su parte, R Von Ostrejko realiza la publicación de dos métodos para la activación del carbón vegetal los cuales son la carbonización de materiales con cloruros de metales conocida actualmente como “Activación química del carbón” y la carbonización con vapor de agua considerada actualmente como “Activación física”.

Como se tenía en contexto la primera guerra mundial se dio una muy buena aplicación del carbón activado pues existía presencia de gases tóxicos. Es por esta razón que se produce un gran desarrollo de la industria del carbón activado.

2.2.2 Concepto carbón activado



Ilustración 5. Carbón activado seco

Fuente: Autor

Según Martínez de Yuso (2012) el carbón activado es un producto caracterizado por presentar una considerable y gran porosidad con una capacidad para desarrollar áreas superficiales altas comprendidas entre 500 hasta 1500 m² por gramo de Carbón. Es preciso mencionar que el área superficial dependerá de qué tipo de activación y de que materia prima se empleará. Al proceder con la activación se le brindará al material una porosidad que le permitirá adquirir la capacidad de adsorción de líquidos, gases, vapores, entre otros.

El carbón activado es considerado como uno de los productos con mayor cotización en comercios internacionales pues posee diversidad de aplicaciones dependiendo de qué industria la requiera.

2.2.3 Materia prima para el carbón activado

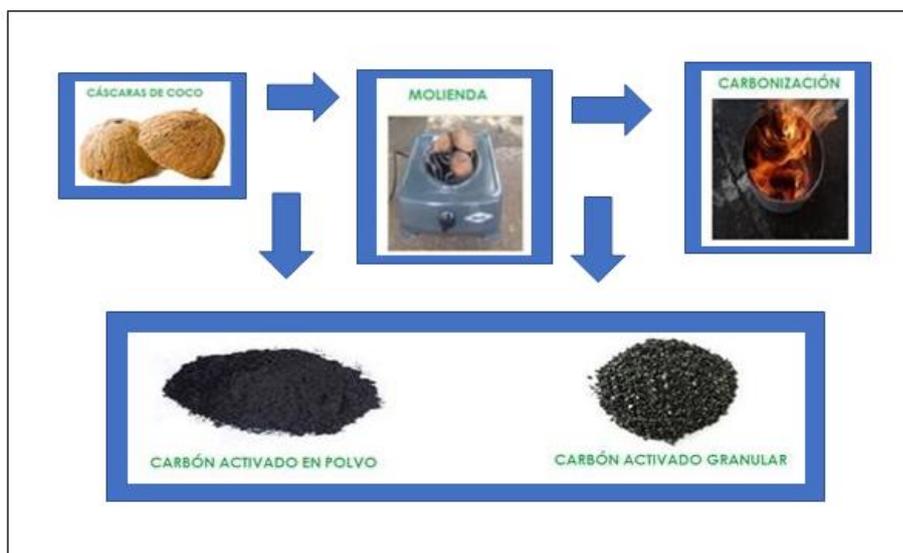


Ilustración 6. Proceso de obtención

Fuente: Autor

Para producir el carbón activado se emplearán diversos materiales considerados como carbonosos, estos son la madera o el serrín los cuales son los más empleados para la producción.

El carbón empleado para la activación posee una clasificación de acuerdo a si es mineral o vegetal, estos se consideran a continuación:

- a) Carbón mineral
 - Turba
 - Lignito
 - Antracita
 - Hulla bituminosa
- b) Carbón vegetal
 - Residuos de madera
 - Madera
 - Cascara del coco
 - Huesos de frutas
 - Bagazo

El carbón activado adquiere propiedades que dependerán de qué materia prima ha sido empleada para su elaboración, asimismo depende de la activación que haya sido utilizada. Por ejemplo, si el carbón activado ha sido elaborado empleando como materia prima la cascara de coco entonces tendrá como propiedades una alta densidad y distribución de tamaño más estrecha permitiéndole una mayor capacidad para la adsorción de gases.

2.2.4 Composición química

El carbón activado posee una composición química con una distribución como la que se muestra a continuación.

Tabla 4. Composición química del carbón activado

Componente	Cantidad
Carbono	75-80%
Cenizas	5-10%
Oxigeno	60%
Hidrogeno	0.5%

Fuente: Autor

2.2.5 Propiedades fisicoquímicas

Las propiedades fisicoquímicas que presenta un carbón activado que se encuentra apto para ser comercializado se muestran a continuación:

Tabla 5. Propiedades de carbón activado comercial

PROPIEDAD	UNIDAD	RANGO
Área específica BET	m ² /g	600-1500
Área Macroporos	m ² /g	100-800
Volumen poro total	cm ³ /g	0.6-1.8
Volumen macroporos	cm ³ /g	0.2-1.3
Densidad aparente	g/cm ³	0.25-0.7
Granulometría		
Polvo	mm	0.05-0.1
Granular	mm	0.1-2
Coefficiente de uniformidad	Grano	1.4-2
Porcentaje de cenizas	%	1-12
Índice de yodo	mg/g	500-1200

Fuente: Bastidas, Buelvas, Márquez, Rodríguez, 2010

Se consideran como las propiedades más importantes para el carbón activado granular a la dureza que presente y el tamaño de partícula que comprenda.

Para un carbón activado en polvo se considerará como propiedad más importante la densidad aparente que presente y su filtrabilidad.

Se considera al índice de yodo como la medida de la actividad que realiza el carbón activado por lo que se estima que si un carbón activado comprende un alto índice de yodo tendrá una mayor capacidad para adsorber contaminantes a diferencia de un carbón activado con bajo índice de yodo.

Es fundamental reconocer la distribución de grupos superficiales que comprende un carbón activado pues son ellos los que le permiten poseer la capacidad para comprender un área superficial alta además de una también alta capacidad de adsorción.

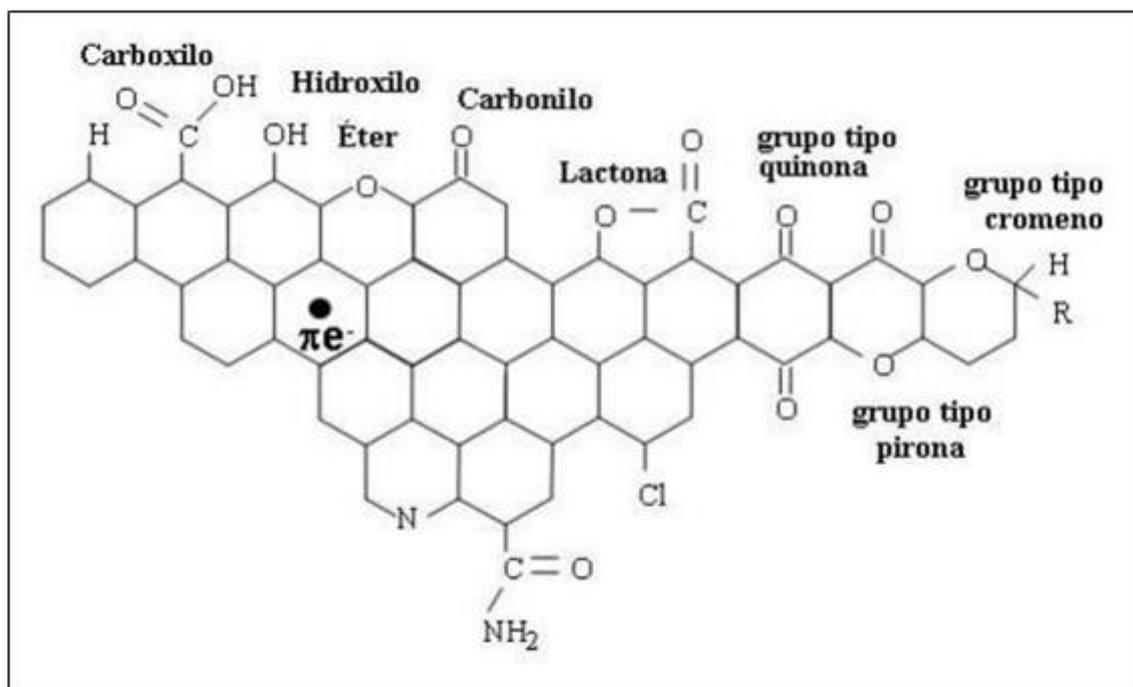


Ilustración 7. Distribución de grupos superficiales

Fuente: Universidad de Sevilla

2.2.6 Formas

Dispone de tres formas las cuales dependen de su aplicación y el área en donde sea empleado.

- a) Carbón activado en forma de polvo
- Empleado para clarificar y purificar los líquidos
 - Tamaño máximo de 0.25mm
 - Aplicado en industrias como Coca cola para clarificar jarabes
 - Amplitud de poro mayor
 - Área superficial elevada



Ilustración 8. Forma de polvo

Fuente: Pazmiño Ayala, 2007

b) Carbón activado en forma granular

- Empleado para purificar gases y también líquidos
- Tamaño por encima de los 0.25mm
- Aplicado para eliminar el cloro contenido en el agua y para hacer que el agua sea potable
- Área superficial elevada



Ilustración 9. Forma granular

Fuente: Autor

c) Carbón activado en pellets

- Forma de cilindro con diversas longitudes
- Empleado para purificar solo gases
- Posee un diámetro comprendido entre 0.8 y 3 mm



Ilustración 10. Forma de pellets

Fuente: Pazmiño Ayala, 2007

2.2.7 Estructura porosa

La particularidad más relevante del carbón activado es su estructura porosa la cual posee en su interior diversos heteroátomos o en otras palabras átomos que no son de carbono que interactúan con los átomos que si son de carbono permitiendo la formación de grupos superficiales haciendo que se forme la estructura que permite la capacidad de adsorción.

Tabla 6. Diferencias en propiedades en base a la temperatura

Temperatura de carbonización (°C)	S _{BET} (m ² /g)	V total (cm ³ /g)	Diámetro (nm)
400	130	0.19	5.93
600	186	0.27	5.78
800	576	0.44	3.07
1000	702	0.53	3.03

Fuente: Pazmiño Ayala, 2007

La IUPAC considera que la estructura porosa presenta la siguiente clasificación de acuerdo con la amplitud que se presenta;

- Mesoporos: Amplitud comprendida entre 2 y 50nm
- Macroporos: Amplitud mayor a 50nm
- Microporos: Amplitud menor a 2nm

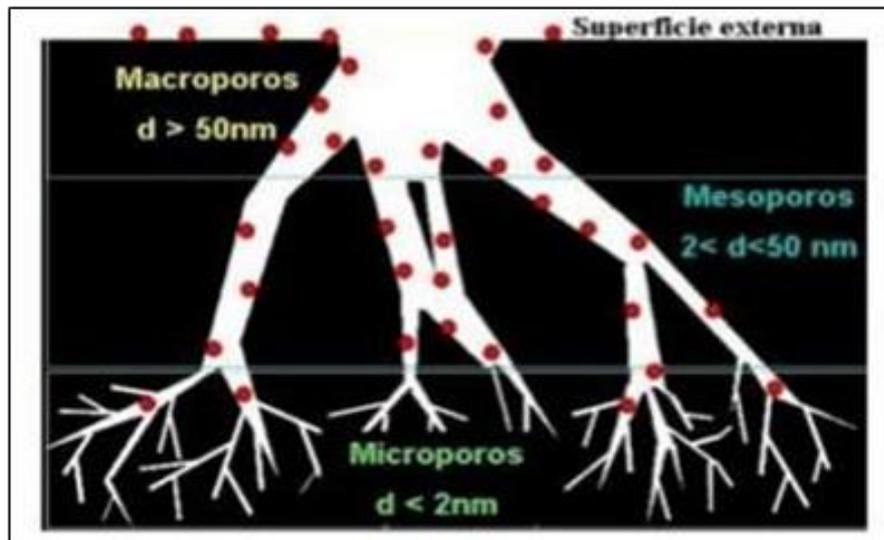


Ilustración 11. Adsorción dentro de la estructura del carbón activado

Fuente: Pilamonta Mañay, 2013

Debido al diminuto tamaño que presentan y se caracterizan los microporos poseen cierta ventaja para realizar la adsorción de sustancias como es el caso de compuestos volátiles presentes en el agua como los solventes, los olores y hasta sabores.

Por su parte, los mesoporos se caracterizan por tener la capacidad de retención de partículas intermedias. Presenta una distribución de poros la cual muestra una dependencia a los siguientes factores:

- El origen que posee la materia prima
- El tipo de activación empleado
- Tiempo que ha durado el proceso de activación

Finalmente, los macroporos tienen por característica la capacidad de retener partículas grandes como por ejemplo los ácidos húmicos y Fúlvicos generados al descomponerse la materia orgánica.

2.2.8 Métodos de activación

Existen diversos métodos que permiten la activación del carbón activado, no obstante, estas son repartidas en dos grupos los cuales son:

a) Activación química

El procedimiento consiste en someter a la materia prima junto a un agente químico como por ejemplo el ácido fosfórico o cloruro de zinc para luego ser calentada. Es preciso mencionar que una vez obtenido el carbón activado se debe proceder a realizar un lavado empleando una solución neutra con el fin de descartar residuos del agente químico que se ha empleado. Los factores más importantes en este tipo de activación química son su temperatura de activación, relación de impregnación y el tiempo de residencia.

- Activación con $ZnCl_2$

Debido al impacto ambiental que se produce ya no es aplicado en la actualidad, sin embargo en 1970 fue el más aplicado para permitir la activación de los residuos de madera.

- Activación con H_3PO_4

El ácido fosfórico posee la capacidad para deshidratar la materia prima mediante su aceleración además de degradar la materia prima que se encuentra impregnada.

- Activación con KOH

Agente químico que suele ser utilizado para fuentes de carbono mineral como por ejemplo el coque de petróleo, esto debido a que tiene una menor volatilidad.



Ilustración 12. Activación empleando ácido fosfórico

b) Activación Física

El procedimiento consta de realizar la carbonización de toda la materia prima lo cual se consigue al ponerse en contacto con temperaturas que comprenden desde los 500 hasta los 1200°C descartando el oxígeno. Posteriormente, se gasifica de forma parcial el carbón resultante empleando oxígeno, dióxido de carbono o vapor de agua para permitir la activación del material que ha sido carbonizado.

Para realizar la activación completa se necesita que la reacción del carbón con el vapor de agua o CO₂ absorba calor.



Ilustración 13. Activación física

2.2.9 Reactivación

Conforme se realiza la adsorción se va perdiendo cada vez más la capacidad para poder adsorber por lo que se requiere de una reactivación con el fin de adquirir ventajas de su uso y un ahorro.

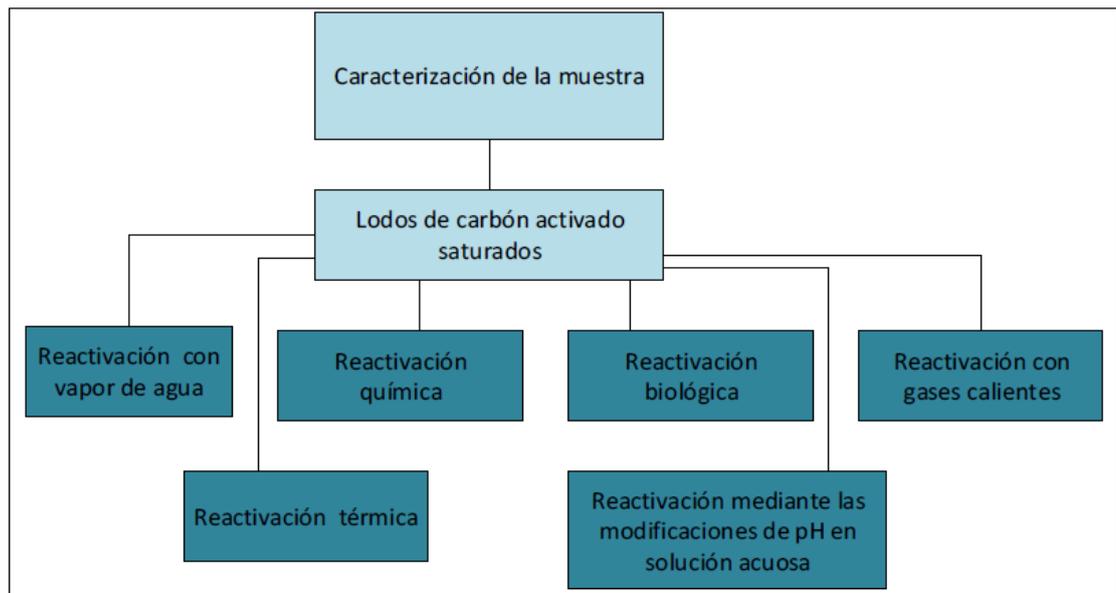


Ilustración 14. Esquema de la caracterización

- a) Reactivación con vapor de agua
Se realiza la circulación de vapor de agua entre el carbón activado saturado para poder realizar la desorción de moléculas orgánicas que poseen una volatilidad parecida a la que posee el agua.
Se dispone de una proporción la cual indica que mientras se tenga una presión de vapor de agua mayor se tendrá una mayor temperatura haciendo posible la capacidad para desorber compuestos mucho más pesados.
- b) Reactivación mediante gases calientes
Muy similar al procedimiento en que se emplea vapor de agua con la única diferencia que en este caso se emplearán gases de combustión para permitir la desorción.
- c) Reactivación térmica
Conforma uno de los métodos más empleados en la actualidad debido a que es eficiente para la eliminación de gran parte de las sustancias orgánicas que se encuentran retenidas por efecto de la fisicorción y la quimisorción. Su aplicación es usualmente para plantas que utilicen el carbón activado para aplicarse en decloración o eliminación de agentes oxidantes.
- d) Reactivación química
El método requiere del uso de cualquier tipo de ácido, uno de los más usados es el ácido clorhídrico con el cual se realiza un lavado con una duración aproximada de 10 a 14 horas.
- e) Reactivación mediante la modificación del pH en solución acuosa
Método empleado solo en casos en el que se ha empleado el carbón activado para la adsorción de una sustancia como el fenol.
- f) Reactivación biológica
Método empleado la reactivación del carbón activado empleado para tratar las aguas residuales. El procedimiento tarda unos 96 horas en donde se podrá obtener cerca del 80% carbón activado regenerado.

2.2.10 Comercio del carbón activado

En la actualidad la cotización del carbón activado es alto en el comercio internacional y esto se debe a la cantidad de aplicaciones que posee en diversas industrias.

En Ecuador durante los últimos años se estableció la producción y venta de este producto. En su capital se encuentran muchas empresas como Erafi o Ekokarbones las cuales se especializan en producir comercio en base al carbón activado que obtienen.

La producción de carbón activado en Ecuador parte desde la toma de materia prima conformada por tallos, hojas de plantas y frutos. A continuación se muestra una ficha técnica correspondiente al carbón activado que se obtiene en Erafi.

Tabla 7. Ficha técnica

ESPECIFICACIONES			
TIPO		Granular	Polvo
CODIGO		CA-G	CA-P
MATERIA PRIMA		Coco de palma africana	Coco de palma africana
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS			
Densidad aparente	Kg/m ³	450-500	450-500
Humedad empaque	%	Max6%	Max6%
Cenizas	%	Max12%	Max12%
Método activación	-	High temperatura steam	
Volumen poro	cc/g	0.3-0.4	-
Área superficial	m ² /g	700	700
Yodo	mg/g	700	700

Fuente: Industrias de producción

2.2.11 Requisitos

Existen diversos parámetros que se deben tener en cuenta para reconocer que el carbón activado ya está apto para ser comercializado. Sin embargo, dependiendo del uso que se le va a dar dichos parámetros variarán.

Tabla 8. Parámetros

PARAMETRO	UNIDADES DE MEDIDA	RANGO DE VALORES	NORMATIVA
Numero de yodo	mg/g de carbón	500-1200	ASTM D-4607
Área superficial	m ² /g	500-1200	ASTM D-3037 BET
Radio medio de poro y volumen total de poro	nm y cm ³	0.7-500 y 0.2-1	ASTM C-699
Densidad aparente	g/cm ³	0.25-0.65	ASTM D -2854
Dureza	Adimensional	30-99	ASTM D -3802
Rango de tamaño de partícula	Malla estándar americana	4x8-20x50	ANSI/AWWA B604-90
Tamaño efectivo de partícula	Mm	0.4-3.3	ANSI/AWWA B604-90
Coefficiente de uniformidad	Adimensional	<2.1	ANSI/AWWA B604-90
Contenido de cenizas totales	%base seca	3-15	ASTM D -2866
Solubles en agua	%base seca	0.5-7	ASTM D -5029
pH del extracto acuoso	pH	2-11	ASTM D -3838
Humedad (al empacar)	%	2-15	ASTM D -2867
Longitud de semi decloración	cm	2-10	DIN 19603

Fuente: Reactivacion del carbón activado

La tabla mostrada anteriormente detalla los parámetros necesarios que debe poseer el carbon activado de acuerdo con los requisitos que exigen las normas internacionales.

2.3 ADSORCIÓN

2.3.1 Definición

Proceso en el que los átomos presentes en la superficie de un sólido tienen la capacidad para atraer y retener moléculas provenientes de otros compuestos empleando unas fuerzas denominadas como “Fuerzas de Van Der Waals”.

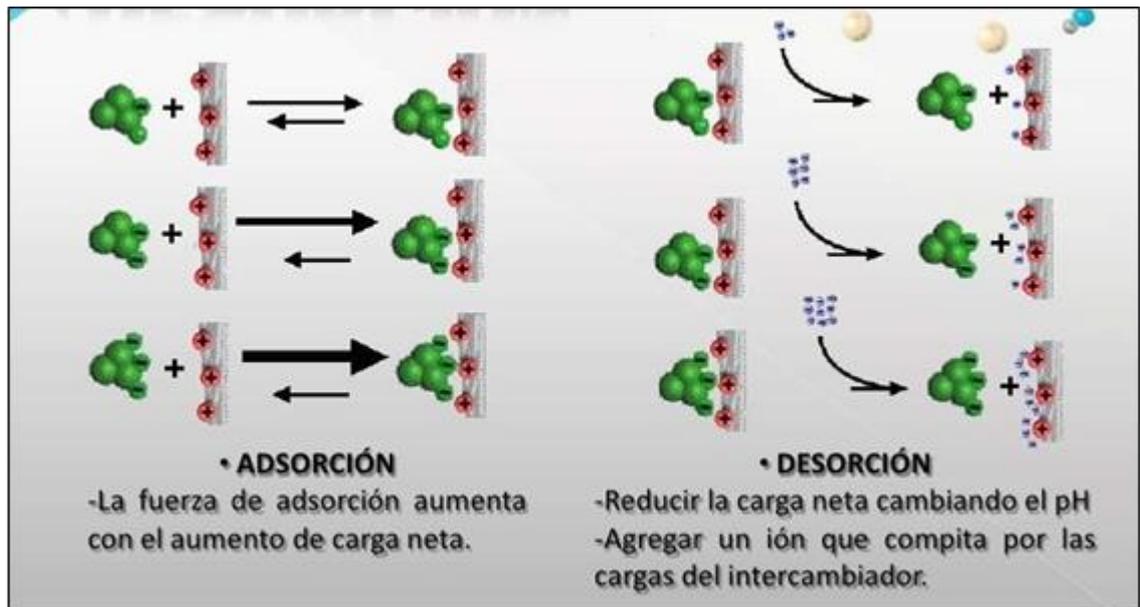


Ilustración 15. Adsorción y desorción

Fuente: Huerta Ochoa

Para realizar una adsorción se consideran las fases presentadas a continuación:

- a) Contacto del adsorbente (en este caso el carbón activado) con la solución.
- b) Unión del soluto con la superficie del adsorbente
- c) Lavado del adsorbente para ser reutilizado realizando el proceso de desorción.

Asimismo, el proceso para una adsorción se da de la siguiente manera:

- a) Macrotransporte; Movimiento que da el material orgánico entre los macroporos que el carbón activado presenta.
- b) Microtransporte; Movimiento que da el material orgánico entre los microporos presentes en el carbón activado.
- c) Adsorción; Los átomos presentes en la superficie de un sólido tienen la capacidad para atraer y retener moléculas provenientes de otros compuestos.

2.3.2 Tipos

a) Adsorción por intercambio

Por medio de fuerzas electrostáticas se produce la atracción entre el soluto y el adsorbente.

b) Adsorción por fuerzas de Van der Waals

Denominado también como fisisorción, se caracteriza por no tener

c) Adsorción química

Conocida también quimisorción se realiza la interacción química entre el adsorbato y el adsorbente.

2.3.3 Isotermas de adsorción

Se define como la relación que se da entre la cantidad de sustancia que ha sido adsorbida por acción del adsorbente.

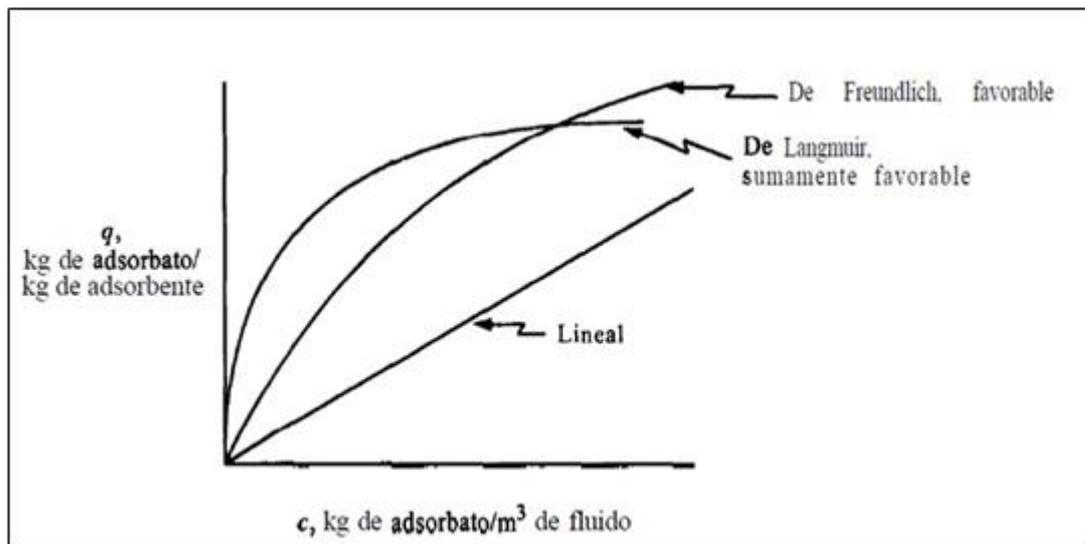


Ilustración 16. Representación

Fuente: Pilamonta Mañay

2.4 APLICACIONES DEL CARBÓN ACTIVADO

Una de las características más notorias del carbón activado es sin duda la gran cantidad de aplicaciones que posee. Se conoce que actualmente se está pasando por una crisis ambiental originada por los contaminantes presentes en el ambiente y que lo degradan mediante su efecto. Pues bien, el carbón activado es clave para ser aplicado en diversas investigaciones que se basan en:

- Purificación del agua potable
- Adsorción de la materia orgánica
- Tratamiento de las aguas residuales
- Eliminación del cloro presente en la composición del agua que va destinada para formar bebidas
- Purificación de los gases
- Decoloración de los aceites
- Clarificación del jarabe de azúcar
- Purificación de la glicerina
- Desodorización de las bebidas alcohólicas

2.4.1 Purificación de Agua Potable

Es empleado el carbón activado para purificar el agua potable pues tiene la capacidad para eliminar el exceso de cloro presente en la composición acuosa, eliminar aquellas sustancias que le da un olor desagradable, eliminar compuestos que le da un sabor desagradable, descarta los metales pesados, descarta materia orgánica, entre otros.

2.4.2 Tratamiento de aguas residuales

Al usar productos químicos, las empresas descartan las aguas que las contienen haciendo que se dé una contaminación y se afecte ciertos ecosistemas. La aplicación del carbón activado es importante pues permite tratar estas aguas contaminadas para hacer que sean renovables y poder darles un nuevo uso permitiendo evitar el impacto ambiental.

3 DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.1 RECOLECCIÓN

Se emplearon algunos materiales para poder recolectar la materia prima esencial para realizar el procedimiento:

- a) 3kg de cascara del fruto
- b) 3 fundas



Ilustración 17. Residuos

La materia prima a emplear se ha obtenido gracias a la recolección de los residuos desechados por vendedores que se dedican al comercio de agua de coco y del mismo fruto.

Los puntos en donde se recolectaron los residuos fueron los siguientes:

- Sector de Pasamanería se recolectó 5kg por día
- Sector Terminal Terrestre se recolectó 2kg por día.
- Sector Basílica se recolectó 3kg por día

La recolección se dio durante toda una semana adquiriendo un total de 50kg de peso.

3.2 SELECCIÓN

Lo recolectado presenta cantidad de pulpa, cáscaras y residuos irrelevantes por lo que se necesita hacer una selección de solo cáscara por lo que se necesitó los siguientes materiales

- a) 50kg de residuos de coco
- b) 2 saquillos



Ilustración 18. Selección de cáscara de coco

Se procedió a la selección de la cascara de coco en la que se obtuvo 35kg de la materia prima necesaria y se descartó un peso de 15kg de residuos innecesarios los cuales fueron desechados.

Posteriormente se realizó un muestreo al azar mediante cuarteo con el fin de solo obtener 120kg los cuales serán empleados para realizar los procesos necesarios para adquirir carbón activado.

3.3 SECADO

Para el proceso de secado se usaron los siguientes materiales:

- a) 10 kg de cascara de coco
- b) 3 fundas hechas de plástico

Posteriormente a la selección de los 10kg de cascara de coco se realizará el secado el cual consta en ponerlo a secar de forma tradicional encima de una funda plástica al aire libre durante un tiempo de 48 horas.



Ilustración 19. Secado de materia prima

Se realiza un pesado luego de pasar las 48 horas notando que se ha perdido en peso 1 kg por lo que ahora el nuevo peso será de 9 kg de materia prima.

3.4 MOLIENDA

Se han utilizado los siguientes materiales los cuales permitieron realizar el proceso de molienda:

- a) 9kg de cascara de coco
- b) Un molino de martillos con 1kg de capacidad máxima
- c) Una criba 3/8
- d) Dos saquillos



Ilustración 20. Preparación

Se ha empleado un molino de martillos como el que se muestra a continuación con el que se realizará la molienda.



Ilustración 21. Molino de martillo

En base a la medida que tiene el molino de martillo se fabricó la criba de 3/8.

El procedimiento de la molienda consiste en colocar en cantidades de 200g de materia prima hasta completar 1 kg dentro del molino con un tiempo aproximado de 30 minutos para cada kilo, los tiempos se dan debido a la dureza que presenta la cascara de coco.



Ilustración 22. Posterior a criba de 3/8

Posteriormente se pesa la cantidad que se ha obtenido pues se considera que probablemente exista una pérdida de peso. Efectivamente se conoce que se ha perdido cerca de 100g de peso debido a que se han pulverizado las partículas. Seguidamente se dará reposo en saquillos limpios hasta llegar al proceso de activación

3.5 CARACTERIZACIÓN

3.5.1 Material

- 2.5kg de cáscara de coco
- Una pinza metálica
- Un desecador
- Una capsula de porcelana

3.5.2 Equipos

- Balanza analítica de marca Sartorius CP224S
- Estufa de marca Memmert SN75

3.5.3 Descripción del método

- a) Se pesa la capsula de porcelana y se verifica de que se encuentre seca y limpia
- b) Pesar 2kg de cascara dentro de la capsula de porcelana

- c) Realizar un precalentamiento de la estufa a $103\pm 3^{\circ}\text{C}$
- d) Meter la muestra a la estufa con un tiempo de duración de 2 horas.
- e) Retirar la muestra y colocarla en el desecador con un tiempo de duración de 15 minutos
- f) Realizar el peso de la muestra
- g) Realizar repeticiones hasta que se consiga obtener un peso constante

3.5.4 Procedimiento

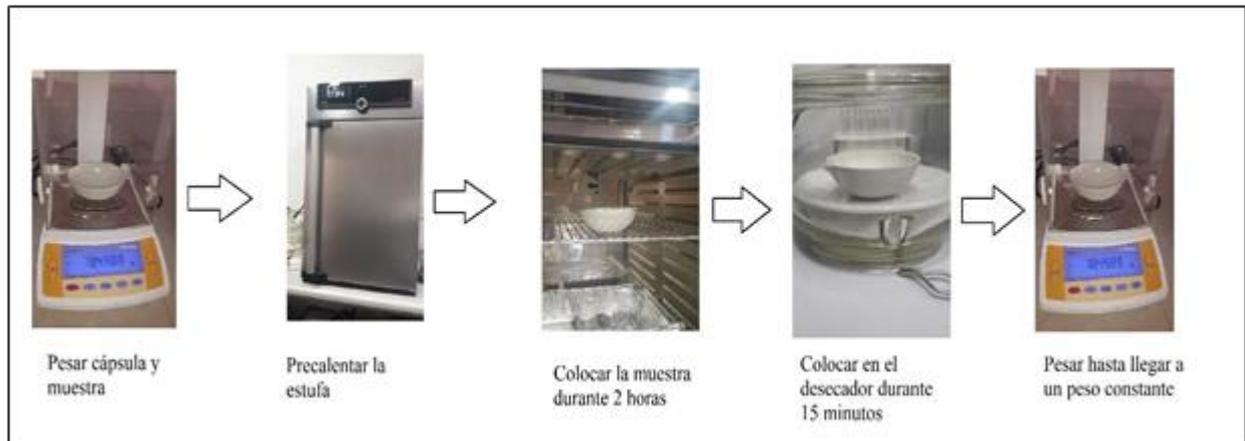


Ilustración 23. Proceso

3.5.5 Cálculo del porcentaje de humedad

$$\%H = \frac{P1 - P2}{P1 - P} \times 100$$

Ecuación 1. Cálculo del % de humedad

En la que P representa la capsula vacía mientras que P1 es la cápsula con la muestra húmeda y P2 es la capsula con la muestra seca.

3.5.6. Datos obtenidos

Tabla 9. Pesos iniciales

P	Peso Cápsula	78.4988g
P ₁	Peso Cápsula + muestra	80.7158g
-	Peso muestra	2.217g

Tabla 10. Pesos obtenidos

N	Hora	Peso
1	10:00	80.7158g
2	12:26	80.4592g
3	12:55	80.4555g
4	13:30	80.4528g
5	14:00	80.4526g

%H=11.87

3.6 DETERMINACIÓN DE CENIZAS

3.6.1 Materiales

- Una cocineta
- Dos crisoles
- Una pinza de metal

3.6.2 Equipos

- Una mufla
- Una balanza analítica

3.6.3 Descripción del método

- a) Se procede a pesar empleando la balanza analítica, lo que se requiere es solo un 0.1g
- b) Quemar la muestra empleando una cocineta hasta que la misma deje de emanar humo.
- c) Someter la muestra a una temperatura de 500°C por un tiempo aproximado de 4 horas.
- d) Situar la muestra en un desecador durante un tiempo de 15 minutos
- e) Se pesa la muestra
- f) Se ha realizado un doble ensayo

3.6.4 Procedimiento



Ilustración 24. Proceso

3.6.5 Cálculo de cenizas

Para calcular las cenizas totales se emplea la formula mostrada a continuación:

$$\%Cenizas\ totales = \frac{P2 - P0}{P1 - P0} \times 100$$

Ecuación 1. Cálculo del porcentaje de cenizas totales

En la que P0 representa el peso del crisol vacío mientras que P1 es el peso del crisol junto a la muestra y P2 es la el peso del crisol con la ceniza.

3.6.6 Datos obtenidos

Tabla 11. Pesos iniciales

Datos	Nomenclatura	Pesos
Peso Crisol 1	P ₀	24.9769g
Peso Crisol 1 +muestra	P ₁	25.8388g
Peso muestra	-	0.8619g
peso muestra calcinada + crisol	P ₂	24.9845g

Tabla 12. Pesos obtenidos

Datos	Nomenclatura	Pesos
Peso Crisol 2	P ₀	29.5385g
Peso Crisol 2 +muestra	P ₁	30.5315g
Peso muestra 2	-	0.993g
peso muestra calcinada+ crisol	P ₂	29.5473g

3.6.7 Valores obtenidos

a) Cálculo de cenizas totales de la muestra 1

$$\%Cenizas\ totales\ 1 = \frac{24.9845g - 24.9765g}{25.8388g - 24.9769g} \times 100$$

$$\%Cenizas\ totales\ 1 = 0.882$$

b) Calculo de cenizas totales de la muestra 2

$$\%Cenizas\ totales\ 1 = \frac{29.5473g - 29.5385g}{30.5315g - 29.5385g} \times 100$$

$$\%Cenizas\ totales\ 2 = 0.886$$

c) Calculo de cenizas totales en promedio

$$Promedio = \frac{0.882 + 0.886}{2}$$

$$= 0.884$$

3.7 ACTIVACIÓN QUÍMICA

Para esta presentación se ha realizado dos métodos que permiten la activación química del carbón teniendo por diferencias la concentración y temperatura que posee cada uno.

- 1er método=85% ácido fosfórico + 120°C de temperatura
- 2do método=40% ácido fosfórico + 300°C de temperatura.

3.7.1 CARBÓN ACTIVADO A UNA CONCENTRACIÓN DEL 85% ÁCIDO FOSFÓRICO

a) Material

- 8.5kg de cascara de coco
- 4 cápsulas de porcelana con una capacidad de 200cm³
- 4 cápsulas de porcelana con una capacidad de 100cm³
- Tres bandejas de aluminio
- Una espátula
- Una pipeta volumétrica de 20cm³
- 1.8m de papel aluminio

b) Reactivo

- 600cm³ de ácido fosfórico con 85% de concentración

c) Equipo

- Una balanza analítica de marca Sartorius CP224S
- Una estufa marca Memmert SN75 a una temperatura de 110°C

d) Descripción del método

- Para empezar con el procedimiento se verificó que el laboratorio en el que se establezca sea adecuado.
- Se procede a muestrear por cuarteo el total de cáscaras disponibles disminuyendo el peso total en 1.5kg por efecto de las pruebas requeridas para determinar la humedad, el total de cenizas y pérdidas que se dan mientras se realiza el muestreo.
- El total en peso actual sería de 6kg de los cuales se seleccionará solo 670g para cada concentración de ácido fosfórico. La selección es así pues la capacidad que posee la estufa no permite trabajar con cantidades mayores además de tener en consideración que el ácido fosfórico por tener propiedad corrosiva puede afectar los equipos dentro del laboratorio.

- Se ha pesado dentro de las capsulas de 100cm³ un aproximado de 50g de la muestra mientras que en los de capacidad 250cm³ el peso aproximado es de 100g. Ambos han recibido un agregado de ácido fosfórico 85%.
- Cada capsula es tapada con ayuda del papel aluminio realizándoles agujeros para poder descartar el vapor.
- Las capsulas son colocadas en las bandejas de aluminio y transportadas a la estufa que se encuentra precalentada a 120°C por un tiempo de 24h.
- Se retira la muestra y se enfría.



Ilustración 25. Hoyos en papel aluminio

e) Proceso

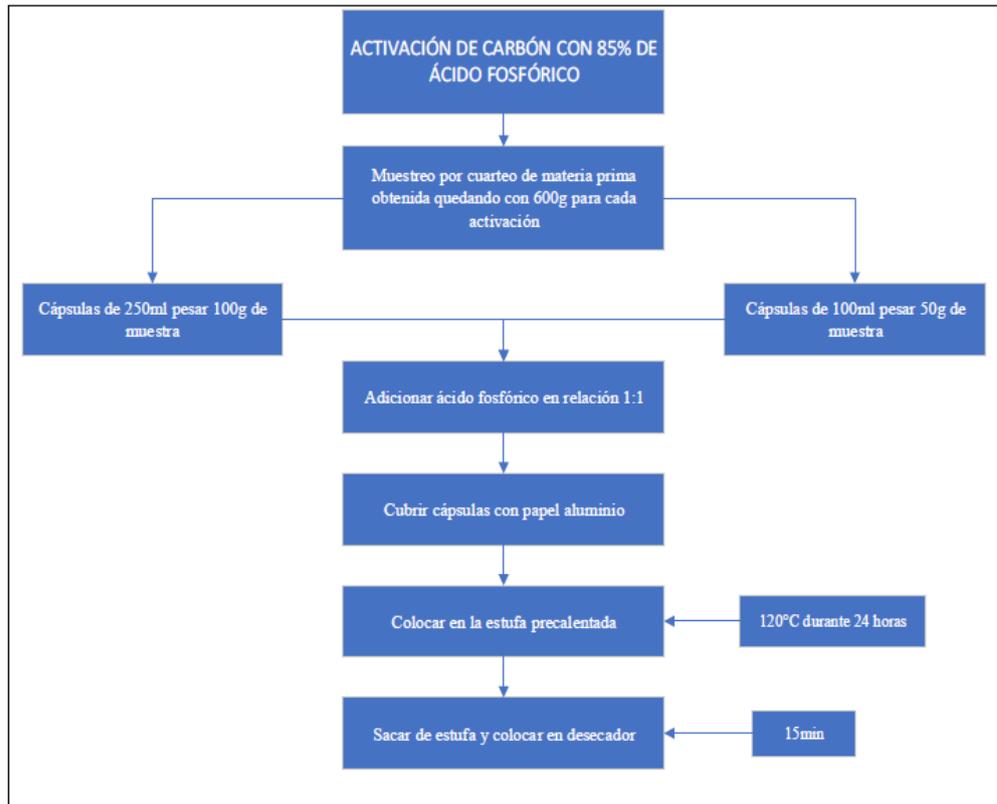


Ilustración 26. Diagrama de flujo

3.7.2 CARBÓN ACTIVADO A UNA CONCENTRACIÓN DEL 40% ÁCIDO FOSFÓRICO

a) Materiales

- 680g de cascara de coco
- 2 cápsulas de porcelana con una capacidad de 250cm³
- Guantes térmicos
- 4 cápsulas de porcelana con una capacidad de 100cm³
- Una espátula
- Un termómetro
- Una pipeta volumétrica de 20cm³
- 1.8m de papel aluminio

b) Reactivos

- 1100cm³ de ácido fosfórico con 40% de concentración

c) Equipos

- Una balanza analítica de marca Sartorius CP224S
- Una cocina industrial

d) Descripción del método

- Para empezar con el procedimiento se verificó que el laboratorio en el que se establezca sea adecuado además de encontrarse alejado de la población para evitar efectos por los vapores emanados.
- Se procede a pesar unos 600g de cascara.
- Se ha pesado dentro de las capsulas de 100cm³ un aproximado de 100g de la muestra mientras que en los de capacidad 250cm³ el peso aproximado es de 150g y otro de 120g. Ambos han recibido un agregado de ácido fosfórico 40%.
- Cada capsula es tapada con ayuda del papel aluminio realizándoles agujeros para poder descartar el vapor.
- Se deja en reposo a la muestra por un tiempo de 16h realizando una agitación no constante.
- Se carboniza la muestra empleando una cocina industrial que posee una temperatura de $300 \pm 5^{\circ}\text{C}$ por un tiempo de 2.5h.
- Se retira la muestra y se enfría.

e) Disolución de Ácido Fosfórico al 85% para la obtencion de ácido al 40% de concentración

Se requiere de un volumen el cual será hallado empleando la ecuación mostrada a continuación:

$$C1 \times V1 = C2 \times V2$$

Ecuación 3. Determinación del volumen necesario

Donde C1 es la representación de concentración inicial mientras que V1 representa al volumen inicial, C2 representa la concentración final y V2 es la representación del volumen final.

Por lo que se realizan los reemplazos obteniendo:

$$V_1 = 2352,94 \text{ ml}$$

Volumen de ácido (85%)

Lo que se traduce como: La disolución de 2352.94ml de ácido fosfórico concentrado al 85% con agua destilada en 2647.07ml da como producto unos 5000ml de disolución de ácido fosfórico 40%.

f) Proceso

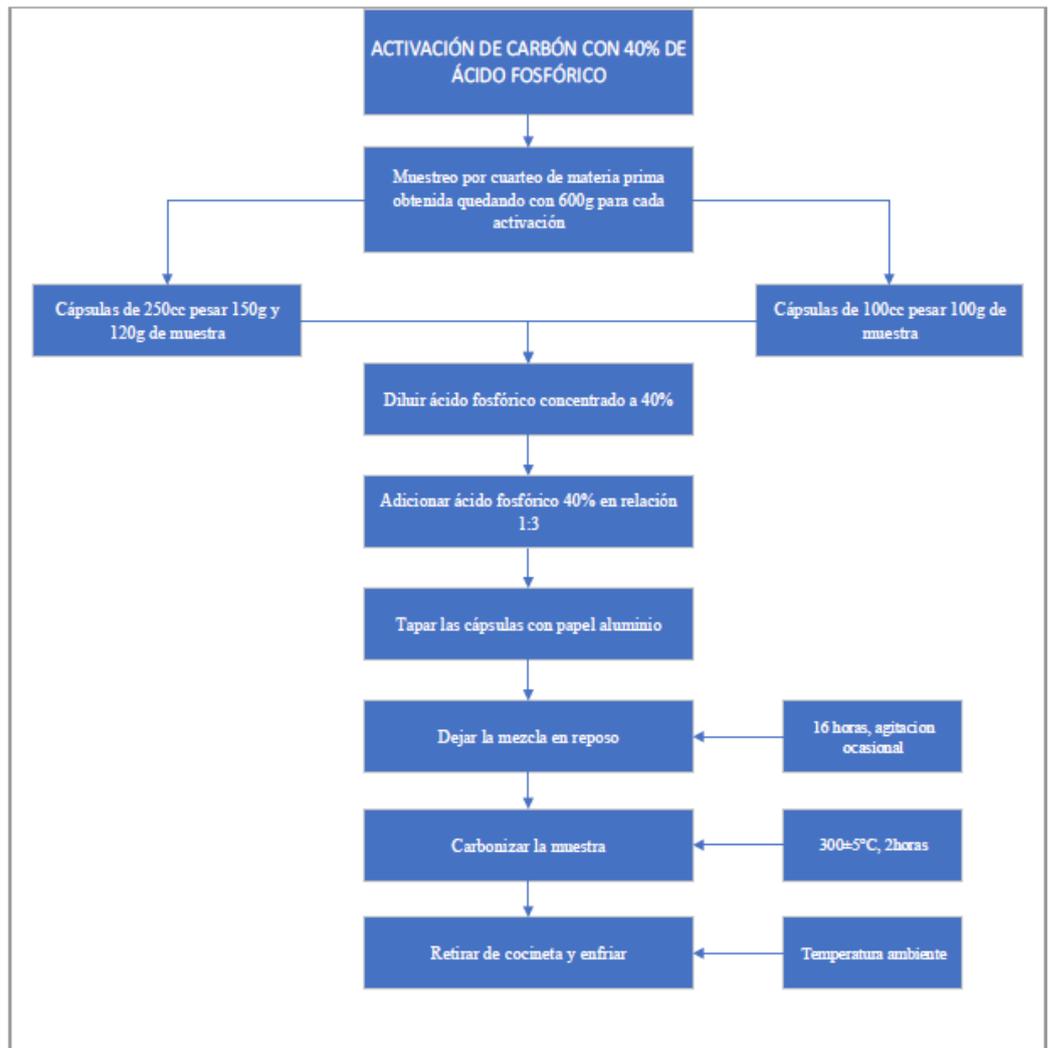


Ilustración 27. Diagrama de flujo correspondiente al proceso de activación

3.8 LAVADO

3.8.1 Materiales

- 600g de carbón activado
- Una balanza analítica
- Una espátula
- Una cocineta
- Una piceta
- Un metro de papel filtro
- Un termómetro
- Dos varillas
- Cuatro embudos
- Una probeta
- Un vaso de precipitado de 1000ml
- Dos vasos de precipitado de 500ml
- Tres vasos de precipitado de 100ml

3.8.2 Reactivos

- 4 litros de NaOH 1N
- 40 litros de agua destilada

3.8.3 Equipos

- Peachímetro marca Hanna Edge

3.8.4 Descripción del método

- Se usa el vaso de precipitado para contener el agua destilada que será calentada con ayuda de la cocineta hasta una temperatura de 80°C.
- Al tener el agua destilada caliente se depositará en las capsulas de porcelana

- Dependiendo de las dimensiones del embudo se realizará el corte del papel filtro.
- Se adiciona carbón en el papel filtro situado en el embudo y se agrega agua destilada para el lavado respectivo realizando unas 10 repeticiones.



Ilustración 28. Lavado

- Se realiza la medición del pH hasta que se indique es neutro de lo contrario se harán repeticiones de lavado hasta alcanzar dicho punto.
- Si ya se ha realizado los 20 lavados y aun no se llega al pH adecuado se realizaría otro lavado pero empleando hidróxido de sodio.
- Dar un último lavado empleando agua destilada y realizar la medición del pH.



Ilustración 29. pH

3.8.5 Proceso

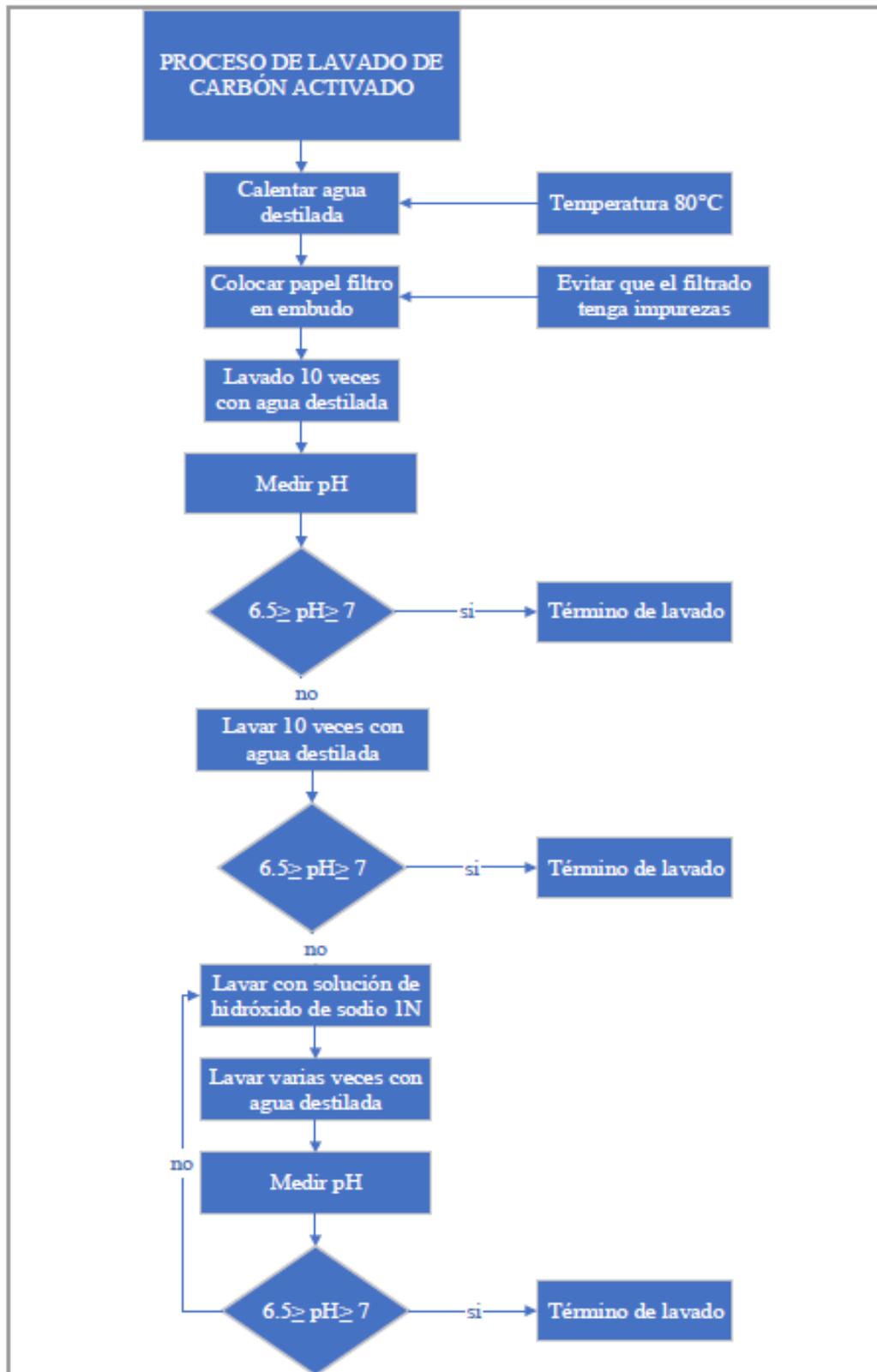


Ilustración 30. Diagrama de flujo correspondiente al lavado

3.9 SECADO

3.9.1 Descripción

- Se sitúa el carbón activado resultante dentro de las capsulas de porcelana
- Se hace un precalentamiento de la estufa a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$
- Durante 48 horas mantener las capsulas dentro de la estufa
- Retirar de la estufa



Ilustración 31. Posterior al secado

3.10 REDUCCIÓN DE TAMAÑO

3.10.1 Descripción

- Utilizando un mortero se realiza la pulverización de la muestra de carbón activado que se ha obtenido con las concentraciones.



Ilustración 32. Pulverizado

- Realizar un tamizado



Ilustración 33. Tamizado

- Almacenamiento dentro de recipientes de plástico

3.11 PESADO

3.11.1 Descripción

- Realizar el pesado



Ilustración 34. Pesado de carbón activado obtenido

- Se determina cuanto es el rendimiento que alcanza

3.11.2 Proceso

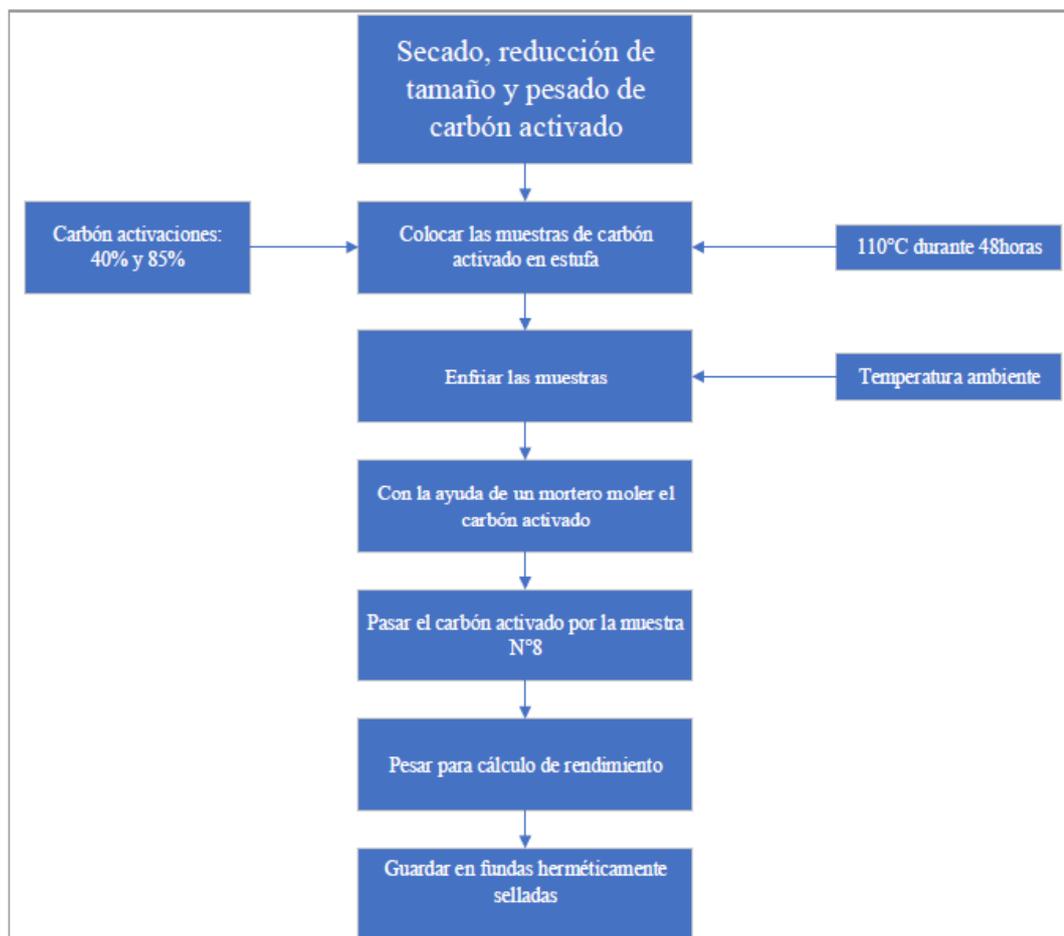


Ilustración 35. Diagrama de flujo perteneciente al secado y reducción de tamaño

3.11.3 Porcentaje de Rendimiento alcanzado durante la Activación

Se determina empleando la siguiente ecuación:

$$\%R = \frac{R. Real}{R. teorico} \times 100$$

Ecuación 4. Porcentaje de rendimiento

- a) Datos correspondientes al carbón activado 40%

Tabla 13. Muestras

Muestras de cáscara de coco	
Nº cápsula	Peso
1	120.12
2	150.1
3	100.05
4	100.13
5	100.11
6	100.14
TOTAL	670.65g

Porcentaje de rendimiento del carbón activado correspondiente sería de
%R=65.4

b) Datos correspondientes al carbón activado 85%

Tabla 14. Muestras

Muestras de cáscara de coco	
Nº cápsula	Peso
1	60.12
2	60.11
3	60.12
4	60.11
5	100.04
6	100.1
7	50.02
8	50.06
9	60.05
10	60.09
TOTAL	660.82 g

Porcentaje de rendimiento del carbón activado correspondiente sería de
%R=62

3.12 CARACTERIZACIÓN

3.12.1 PORCENTAJE DE HUMEDAD

El porcentaje de humedad es la denominación que recibe la cantidad de agua que se muestra dentro de la estructura de la muestra. Para su determinación se analizará la pérdida de peso que demuestre una vez que haya sido sometido a altas temperaturas dentro de la estufa seguidamente de una transformación de valores a porcentajes.

a) Material

- 1g de carbón activado
- Una espátula
- Un desecador
- Una capsula de porcelana

b) Equipo

- Una balanza analítica
- Una estufa

c) Descripción

- Se realiza el pesado de la muestra. Se requiere de un gramo situado dentro de la capsula.
- Se coloca la estufa a un precalentamiento de $145 \pm 5^{\circ}\text{C}$
- Muestra dentro de la estufa por una duración de una hora.
- Posteriormente se coloca la muestra en el desecador.
- Se realiza el pesado de la muestra.
- Repeticiones del proceso hasta conseguir un peso constante.

d) Procedimiento

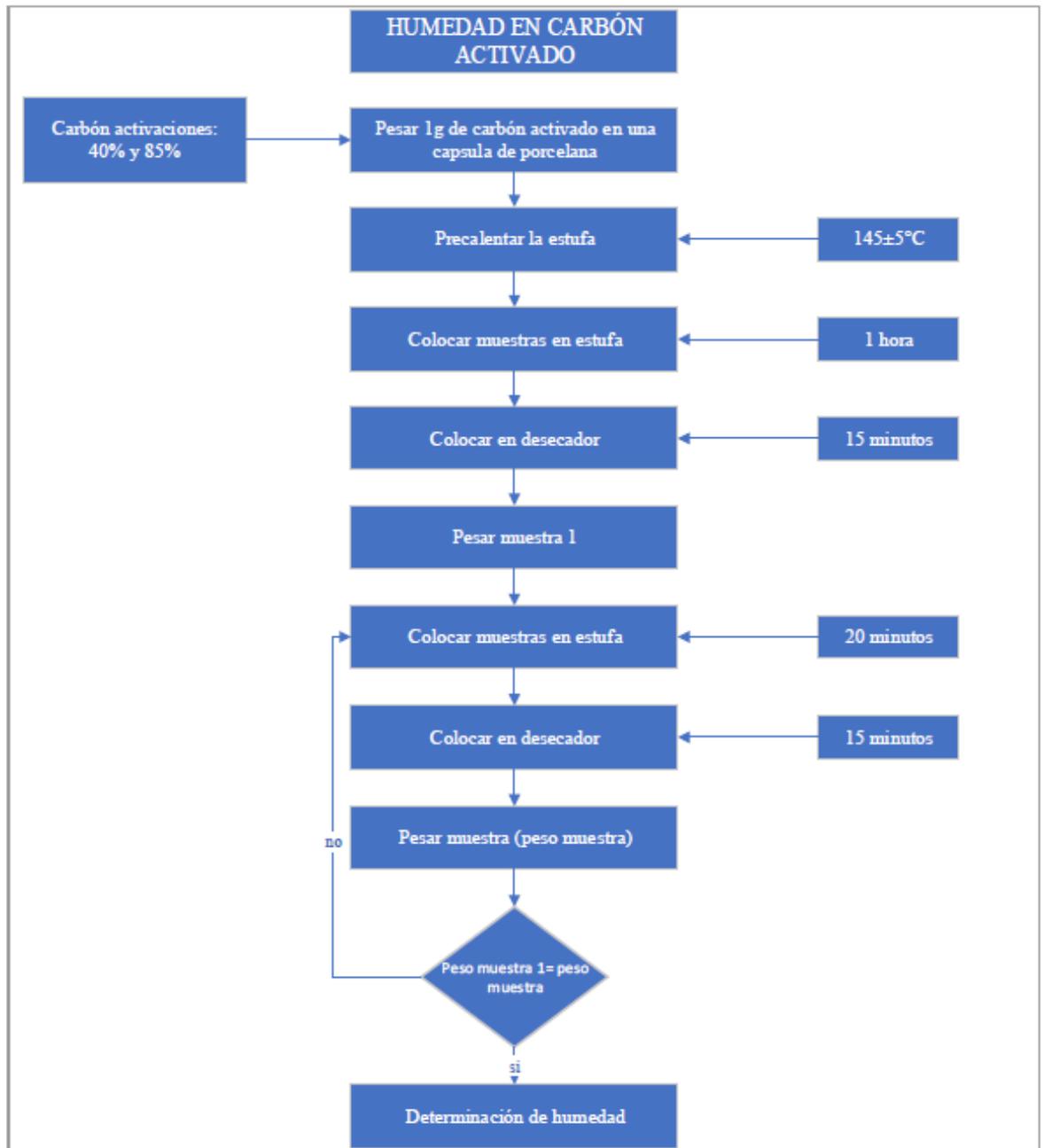


Ilustración 36. Diagrama de flujo de porcentaje de humedad

e) Cálculos

El porcentaje de humedad se desarrolla empleando la siguiente ecuación:

$$\%H = \frac{P1 - P2}{P1 - P} \times 100$$

Ecuación 5. %humedad

Donde P es la representación de la capsula vacía, P1 es la capsula junto con la muestra húmeda y P2 es la representación de la capsula junto con la muestra seca.

f) Carbón activado al 40%

Tabla 15. Datos

Cápsula	Cantidad
P	143.5552 g
P ₁	144.6135 g
m ₁	1.0583 g

Tabla 16. Pesos

Nº muestra	Tiempo	Peso
1	10:00	144.6135 g
2	11:15	144.5245 g
3	12:10	144.5118 g
4	12:43	144.5115 g

Tomando en cuenta la ecuación de porcentaje de humedad se determina que:

$$\%H=9.638$$

g) Carbón activado al 85%

Tabla 17. Datos correspondientes al carbón activado al 85%

Cápsula	Peso
P	114.5234 g
P ₁	115.5787 g
m ₂	1.0553 g

Tabla 18. Pesos correspondientes al carbón activado al 85%

Nº muestra	Tiempo	Peso
1	10:00	115.5787 g
2	11:15	115.4857 g
3	12:10	115.4807 g
4	12:43	115.4806 g

Tomando en cuenta la ecuación de porcentaje de humedad se determina que:

$$\%H=9.296$$

3.12.2 DENSIDAD APARENTE

Para determinar la densidad aparente será necesario conocer los datos de humedad obtenidos anteriormente. Tomando en consideración ello se establece la siguiente ecuación:

$$dap = \frac{m1x(100 - \%H)}{10000}$$

Ecuación 6. Densidad Aparente

a) Material

- Una espátula
- Una probeta
- Un embudo

b) Equipo

- Una balanza analítica

c) Descripción

- Se realiza el pesado de la probeta con el fin de descartar su valor posteriormente con la muestra
- Se coloca el embudo dentro de la probeta
- Agregar la muestra hasta 100cm^3



Ilustración 37. Muestra de carbón activado

- Pesado de la muestra



Ilustración 38. Pesado de Probeta más muestras

- Finalmente, realizar el cálculo de la densidad aparente

d) Proceso

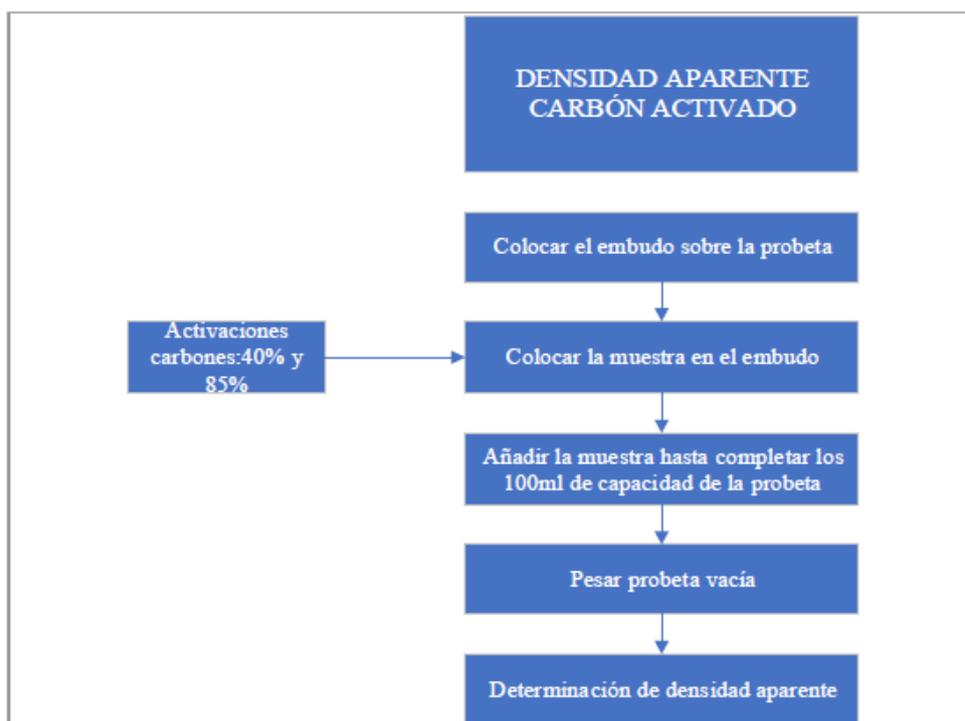


Ilustración 39. Diagrama de flujo perteneciente a la densidad aparente

e) Cálculo de la densidad para el Carbón Activado al 40%

Considerando de que se posee por datos un $m_1=55.1\text{g}$ y un $\%H=9.638$ se realiza el reemplazo dentro de la ecuación correspondiente obteniendo finalmente:

$$D_{ap}=0.4979 \text{ g/cm}^3$$

f) Cálculo de la densidad para el Carbón Activado al 85%

Considerando de que se posee por datos un $m_1=72.2\text{g}$ y un $\%H=9.296$ se realiza el reemplazo dentro de la ecuación correspondiente obteniendo finalmente:

$$D_{ap}=0.6548 \text{ g/cm}^3$$

3.11.3 ÍNDICE DE YODO

Se considera al índice de yodo como la medida de la actividad que realiza el carbón activado por lo que se estima que si un carbón activado comprende un alto índice de yodo tendrá una mayor capacidad para adsorber contaminantes a diferencia de un carbón activado con bajo índice de yodo.

a) Material

- 2 gramos de carbón activado
- Cuatro vasos de precipitado con capacidad de 250ml
- Cuatro vasos de precipitado con capacidad de 500ml
- Dos varillas
- Papel filtro
- Dos buretas
- Dos pinzas
- Dos soportes
- Una espátula
- Un desecador
- Dos capsulas de porcelana
- Una cocineta

b) Equipo

- Una estufa
- Una balanza analítica

c) Reactivo

- 20ml de ácido clorhídrico
- 14ml de tiosulfato de sodio
- 200ml de yodo 0.1N
- 2ml de solución de almidón

d) Descripción

- Se realiza un precalentamiento de la estufa a 145°C
- Emplear las capsulas para hacer el pesado del carbón activado, se requiere unos 2g.
- Muestra dirigida a la estufa en donde permanecerá por 2 horas.
- Retirar las muestras y situarlas por 15 minutos en el desecador.
- Hacer el pesado de 1.5g de carbona activado el cual será colocado dentro de cada muestra contenida en un vaso de precipitado.
- Se agrega 10ml de HCl 5% y se realizan movimientos para hacer que el carbón activado contenido se humedezca.



Ilustración 40. Adición de ácido

- Se sitúan los vasos de precipitado encima de una cocineta para hacer que el contenido entre en un estado de ebullición.



Ilustración 41. Ebullición con HCl

- Posteriormente se hace el enfriamiento de los vasos de precipitado dejándolos en reposo en el ambiente hasta que adquiera su temperatura.
- Se hace el agregado de 100ml de solución estándar de yodo empleando una pipeta volumétrica.



Ilustración 42. Solución estándar de yodo agregada.

- Se tapan los vasos y se realizan agitaciones por unos 30 segundos.
- Situar el embudo en cada soporte y realizar el filtrado de las soluciones empleando el papel.
- Se descartan los primeros 30ml filtrados
- Realizar un pipeteo de 50ml de filtrado final el cual será situado en un balón de aforo para realizar la titulación.

- Llenado de buretas con tiosulfato de sodio 0.1N
- Titulación del filtrado hasta conseguir la eliminación del color amarillo rojizo.



Ilustración 43. Cambio en el color mediante titulación

- Se agrega 1ml de solución de almidón por muestra observándose como el color ahora ha variado a azul.
- Continuar con la titulación hasta el punto en que se elimine el color azul.
- Realizar las anotaciones del volumen de titulación.

e) Proceso

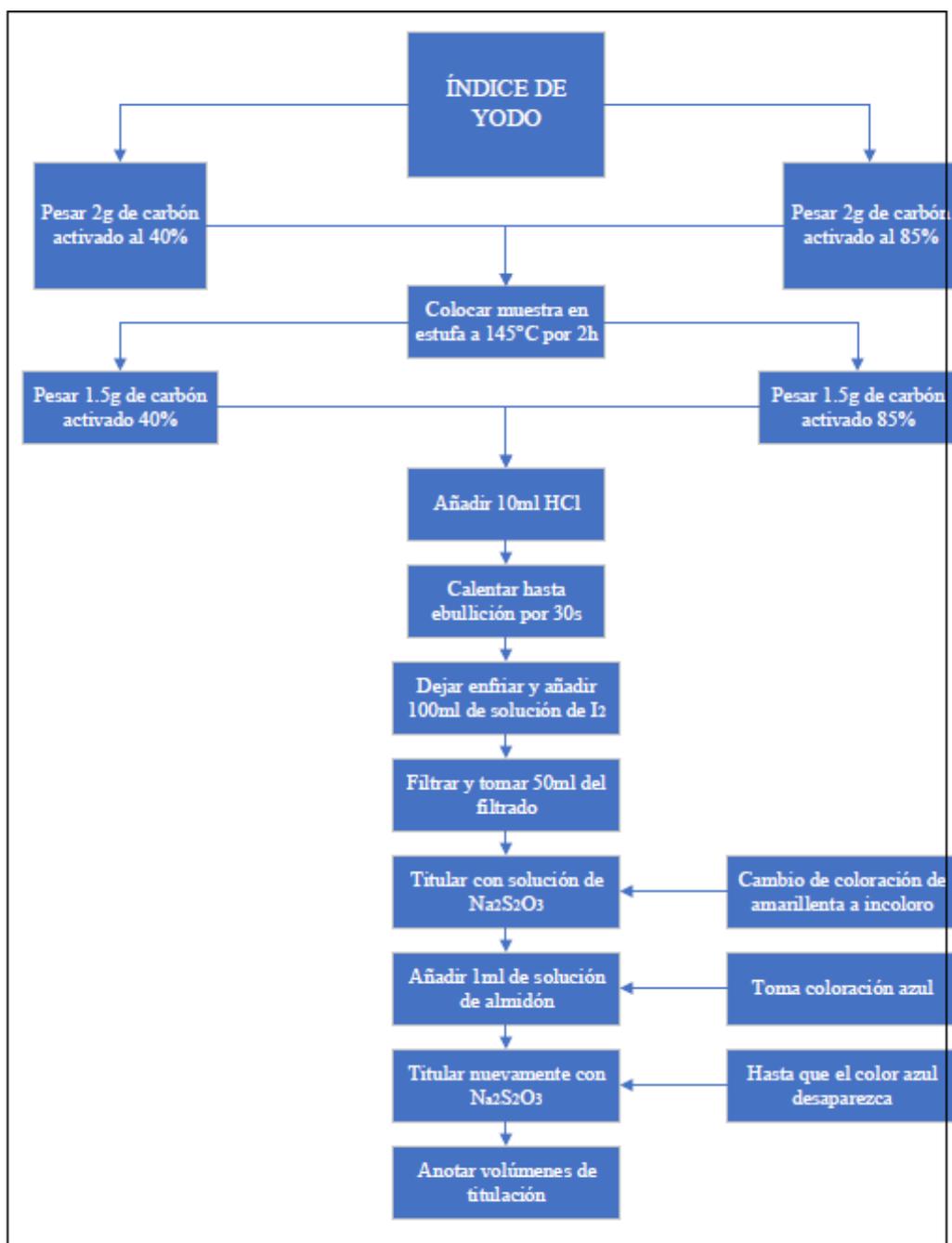


Ilustración 44. Determinación de Índice de Yodo

f) Cálculos

Para calcular el índice de Yodo será necesario realizar el reemplazo de los datos dentro de la ecuación mostrada a continuación:

$$\text{Índice de Yodo} = \frac{V}{m} \times f$$

Ecuación 7. Cálculo del índice de yodo

g) Datos obtenidos

Tabla 15. Datos de peso y volumen de titulación para hallar el índice de yodo en 40% de ácido fosfórico

Concentración 40% Ácido Fosfórico		
P₁	Peso cápsula vacía	139.5011g
P₂	Peso cápsula + muestra	141.5524g
P	Peso de muestra	2.0513g
mc	Masa carbón activado seco	1.5975g
V₁	Volumen Na ₂ S ₂ O ₃	9 ml
N₁	Normalidad de Solución de Yodo	0.098N
N₂	Normalidad de Solución de Tiosulfato de Sodio	0.099N

Tabla 16. Datos de peso y volumen de titulación para hallar el índice de yodo en 85% de ácido fosfórico

Concentración 85% Ácido Fosfórico		
P₁	Peso cápsula vacía	141.4432g
P₂	Peso cápsula + muestra	143.7024g
P	Peso de muestra	2.2592g
mc	Masa carbón activado seco	1.6392g
V₁	Volumen Na ₂ S ₂ O ₃	15ml
N₁	Normalidad de Solución de Yodo	0.097N
N₂	Normalidad de Solución de Tiosulfato de Sodio	0.099N

Se dan los reemplazos correspondientes obteniendo:

- Índice de yodo de carbón activado 40% de ácido fosfórico
I. Yodo=627.76 mg/g
- Índice de yodo de carbón activado 85% de ácido fosfórico
I. Yodo=467.94 mg/g

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvieron resultados los cuales se encuentran clasificados de acuerdo a donde pertenecen como es el caso de la materia prima, el rendimiento del proceso empleado y el producto final obtenido.

Se trabajó en base a dos carbones activados los cuales marcan diferencias por mostrar concentraciones desiguales además de temperaturas también diferentes. De acuerdo a estas condiciones se obtienen parámetros diferentes para cada producto.

Tabla 17. Resultados de caracterización

CARACTERIZACIÓN MATERIA PRIMA	
% humedad	11.87
% cenizas totales	0.884

La tabla mostrada anteriormente contiene los resultados que se han conseguido al realizar el análisis de las características que presento la materia prima de la que se basa esta investigación. Se muestran los parámetros de humedad y cenizas totales los cuales son necesarios para determinar que el producto final este cumpliendo con lo requerido por normativas.

4.1 HUMEDAD

Para realizar el análisis se empleó una molienda a la que la cascara fue sometida obteniendo material con forma no uniforme por efecto de la irregularidad que presenta la forma de la cascara.

Como resultado se ha obtenido un porcentaje de humedad de 11.87% lo cual es aceptable pues se considera como un valor referencial un 12.01% de acuerdo a lo evidenciado en la bibliografía.

4.2 CENIZAS

Se realizó el análisis obteniendo como resultado un total de cenizas de cascara de 0.884% el cual es un valor aproximado al que se mostró en una revista boliviana con autoría de Correa y Velásquez quienes obtienen 0.74% lo que da a entender de que el rango aceptable se toma en cuenta desde 0.7% hasta 1.1%.

Se entiende que el contenido de cenizas totales es claro indicador de cómo se encuentra la calidad que posee el carbón activado que será obtenido. Esto se debe a que se considera la relación de que mientras se obtenga un menor valor de cenizas se obtendrá una mejor calidad del producto.

4.3 RENDIMIENTO DEL PROCESO

Tabla 18. Resultados de rendimiento

RENDIMIENTO DEL PROCESO DE OBTENCIÓN	
Carbón activado 40%	65.4%
Carbón activado 85%	62%

Al realizar los procedimientos para obtener carbón activado se realizan pérdidas por efecto de la activación y lavado por lo que se requiere calcular el rendimiento del proceso para determinar su rentabilidad de cara a una futura mayor producción. Por ello se muestran los resultados presentados en la siguiente tabla.

Tabla 19. Resultados de caracterización

	CARACTERIZACIÓN CARBÓN ACTIVADO 40%	CARACTERIZACIÓN CARBÓN ACTIVADO 85%
% humedad	9.638	9.296
Densidad aparente	0.4976g/cm ³	0.6548g/cm ³
Índice de yodo	627.76 mg/g	467.94 mg/g
Área superficial	660.287m ² /g	No se determinó

4.4 HUMEDAD

Se presentan como resultado que el porcentaje de humedad presente en el carbón activado de 85% será de 9.29% mientras que para el carbón activado de 40% será un valor de 9.63%, valores que son considerados como aceptables si se toma en consideración y se basa en los requisitos presentes en la normativa ASTM D-2867.

Se estima que la humedad presente se debe a que se da una adsorción de humedad del aire rápidamente lo que hace que se gane muy rápidamente humedad al exponer a los carbones activados al ambiente.

Se considera que el máximo de humedad que el carbón activado podría presentar es de 15% pues si se tuviera un valor mayor habría una tendencia a la pérdida de dureza lo que haría que sea fácil de romperse, efecto que no se desea pues se requiere para fundición.

4.5 DENSIDAD APARENTE

Como resultado se ha obtenido una densidad aparente correspondiente al carbón activado de 40% un valor de 0.4976g/cm^3 mientras que para el carbón activado de 85% un valor de 0.6548g/cm^3 . Se considera que los valores obtenidos se encuentran dentro del rango denominado aceptable si se toma en consideración a los requerimientos que exige la norma ASTM D-2854.

La variable obtenida será importante para poder determinar el volumen que posee cierto contenido de carbón activado granular. Por lo tanto, se considera que este valor es necesario para determinar el volumen de agua que se necesita para un relavado del carbón activado.

4.6 ÍNDICE DE YODO

Se obtuvo por resultado un índice de yodo correspondiente al carbón con 40% de activación un valor de 627.76mg/g mientras que para el carbón con 85% de activación un valor de 467.94mg/g . Dichos valores son considerados dentro del rango que la normativa ASTM D-4607 establece.

Se considera que el índice de yodo es fundamental pues permite reconocer la calidad que posee el carbón activado como producto pues se estima que un mayor índice de yodo exista habrá una mayor capacidad para adsorber.

Por otra parte se muestra una equivalencia que estima que el índice de yodo es directamente proporcional al área superficial pues por el tamaño que tiene el yodo es capaz de alojarse dentro de poros de un diminuto tamaño, los mismos en los que se da la adsorción.

5 CONCLUSIONES

Se han obtenido como producto dos carbones activados granulares gracias al proceso de activación química que se ha realizado empleando ácido fosfórico y teniendo como materia prima la cascara de coco procesada como se ha mencionado dentro del contenido de esta presentación.

Se ha realizado una comparación entre los carbones activados presentados y se ha determinado que el carbón activado con 40% de ácido fosfórico presenta mejores propiedades fisicoquímicas basándose en los rangos que considera la normativa ASTM D-3037 BET y ASTM D-4607. Por lo tanto, se concluye que posee una mayor capacidad para adsorber que su par.

Al realizarse el proceso de activación se muestra una notable reducción del volumen que presenta la cascara. Asimismo al realizar el proceso para reducir tamaños se consiguió carbón activado granular y en polvo, el último fue descartado.

Según los datos obtenidos y los resultados mostrados anteriormente se considera que el carbón activado de 40% es el que posee un mayor rendimiento pues presenta menos pérdida de producto.

Al realizarse el proceso de adsorción se empleó el cloro presente dentro del agua potable determinando que el carbón activado de 40% presenta una mayor adsorción.

Los carbones activos empleados para esta investigación han sido dos y han presentado como índice de yodo distintos valores, al compararlos se ha determinado que quien posee un mayor potencial será el carbón activado de 40% pues al tener un mayor valor se considera que posee una mayor capacidad para adsorber.

Se ha producido por residuo un porcentaje de ácido fosfórico el cual fue obtenido de los lavados, este podrá ser recuperado lo que permite que no se genere contaminación.

Con la finalización del estudio se ha determinado por conclusión de que el proceso más conveniente y que ha presentado una mayor capacidad para adsorber ha sido el carbón activado de 40% trabajado con una temperatura de 300°C y un tiempo de 2.5 horas. Este presenta un cumplimiento de los requerimientos que las normativas con las que se ha trabajado exigen.

6. Bibliografía

- Ting, C.-C., y col., A one-pot route to synthesize highly ordered mesoporous carbons and silicas through organic-inorganic self-assembly of triblock copolymer, sucrose and silica. *Microporous and Mesoporous Materials*, 2010. 128(1-3): p. 1-11.
- Kisliuk, P. (1957). «The sticking probabilities of gases chemisorbed on the surfaces of solids». *Journal of Physics and Chemistry of Solids* (en inglés) 3 (1-2): 95-101.
- Narayan, R. L.; King, T. S. (1998). «Hydrogen adsorption states on silica-supported Ru-Ag and Ru-Cu bimetallic catalysts investigated via microcalorimetry». *Thermochimica Acta* (en inglés) 312 (1-2): 105-114.
- Minchev, C., y col., Iron oxide modified mesoporous carbons: Physicochemical and catalytic study. *Microporous and Mesoporous Materials*, 2005. 81(1-3): p. 333-341.
- Cortés, J., Giraldo, L., García, A., García C., Moreno J., Oxidación de un carbón activado comercial y caracterización del contenido de grupos ácidos superficiales, *Revista Colombiana de Química*, 37, 55-65, 2008.
- Duff, D., Ross, S., Vaughan, D., Adsorption from solution. An experiment to illustrate the Langmuir adsorption isotherm, *Journal of Chemical Education*, 65, 815-816, 1988.
- Ramalho R. S., 1996: “Teoría y práctica de la aireación” en *Tratamiento de Aguas Residuales*: Ed. Reverte. España.
- P. Roche, C. Volk, F. Carbonnier y H. Paillard, *Ozone Sci. Engin.*, 16, 135-155 (1994).
- Rodríguez F. A., Letón G. P., Rosal G. R., Dorado V. M., Villar F. M., Sanz G. J. (2006). *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales*.
- American National Standart Institute (1977b). *Method of Determination of α Cellulose*. Norma ANSI/ASTM.

Bah, A.I. (2012). Preparación y caracterización de carbón activado a partir de residuos de biomasa y su utilización en tratamientos de descontaminación del agua. Universidad de Extremadura.

Rodríguez-Reinoso, F., "Preparation and characterization of activated carbons", Carbon and Coal Gasification Science and technology, p.608-609 1986.

Rodríguez-Reinoso, F., "The combined use of different approaches in the characterization of microporous carbons", Carbon, vol.27, No1, p. 24-26, 1989.

7 ANEXOS

7.1 Anexo 1. Requisitos para el agua potable según normativa



Quito – Ecuador

**NORMA
TÉCNICA
ECUATORIANA**

NTE INEN 1108
Quinta revisión
2014-01

AGUA POTABLE. REQUISITOS

DRINKING WATER. REQUIREMENTS

Correspondencia:

Esta Norma Técnica Ecuatoriana es una adaptación de las Guías para la calidad del agua potable de la OMS, 4ta. Ed, 2011.

DESCRIPTORES: Protección ambiental y sanitaria, seguridad, calidad del agua, agua potable, requisitos.
ICS: 13.080.20

10
Páginas

Fuente: Extraído de (NORMA NTE INEN 1108, 2014)

Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	AGUA POTABLE REQUISITOS	NTE INEN 1108:2014 Quinta revisión 2014-01
--------------------------------------	-------------------------	--

1. OBJETO

1.1 Esta norma establece los requisitos que debe cumplir el agua potable para consumo humano.

2. CAMPO DE APLICACIÓN

2.1 Esta norma se aplica al agua potable de los sistemas de abastecimiento públicos y privados a través de redes de distribución y tanqueros.

3. REFERENCIAS NORMATIVAS

APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water World Association) y WEF (Water Environment Federation). *Métodos Estandarizados para el Análisis de Aguas y Aguas Residuales* (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater) en su última edición.

Ministerio de salud Pública *REGLAMENTO DE BUENAS PRÁCTICAS DE MANUFACTURA PARA ALIMENTOS PROCESADOS* Decreto Ejecutivo 3253, Registro Oficial 696 de 4 de Noviembre del 2002

4. DEFINICIONES

4.1 Para efectos de esta norma se adoptan las siguientes definiciones:

4.1.1 **Agua potable.** Es el agua cuyas características físicas, químicas microbiológicas han sido tratadas a fin de garantizar su aptitud para consumo humano.

4.1.2 **Agua cruda.** Es el agua que se encuentra en la naturaleza y que no ha recibido ningún tratamiento para modificar sus características: físicas, químicas o microbiológicas.

4.1.3 **Límite máximo permitido.** Representa un requisito de calidad del agua potable que fija dentro del ámbito del conocimiento científico y tecnológico del momento un límite sobre el cual el agua deja de ser apta para consumo humano. Para la verificación del cumplimiento, los resultados se deben analizar con el mismo número de cifras significativas establecidas en los requisitos de esta norma y aplicando las reglas para redondear números, (ver NTE INEN 052).

4.1.4 **ufc/ml.** Concentración de microorganismos por mililitro, expresada en unidades formadoras de colonias.

4.1.5 **NMP.** Forma de expresión de parámetros microbiológicos, número más probable, cuando se aplica la técnica de los tubos múltiples.

4.1.6 **mg/l.** (miligramos por litro), unidades de concentración de parámetros físico químicos.

4.1.7 **Microorganismo patógeno.** Son los causantes potenciales de enfermedades para el ser humano.

4.1.8 **Plaguicidas.** Sustancia química o biológica que se utiliza, sola, combinada o mezclada para prevenir, combatir o destruir, repeler o mitigar: insectos, hongos, bacterias, nemátodos, ácaros, moluscos, roedores, malas hierbas o cualquier forma de vida que cause perjuicios directos o indirectos a los cultivos agrícolas, productos vegetales y plantas en general.

4.1.9 **Desinfección.** Proceso de tratamiento que elimina o reduce el riesgo de enfermedad que pueden presentar los agentes microbianos patógenos, constituye una medida preventiva esencial para la salud pública.

4.1.10 **Subproductos de desinfección.** Productos que se generan al aplicar el desinfectante al agua, especialmente en presencia de sustancias húmicas.

4.1.11 **Cloro residual.** Cloro remanente en el agua luego de al menos 30 minutos de contacto.

4.1.12 **Sistema de abastecimiento de agua potable.** El sistema incluye las obras y trabajos auxiliares construidos para la captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y sistema de distribución.

4.1.13 **Sistema de distribución.** Comprende las obras y trabajos auxiliares construidos desde la salida de la planta de tratamiento hasta la acometida domiciliaria.

5. REQUISITOS

5.1 Los sistemas de abastecimiento de agua potable deberían acogerse al Reglamento de buenas prácticas de Manufactura (producción) del Ministerio de Salud Pública.

5.2 El agua potable debe cumplir con los requisitos que se establecen a continuación, en las tablas 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7.

TABLA 1. Características físicas, sustancias inorgánicas y radiactivas

PARAMETRO	UNIDAD	Límite máximo permitido
Características físicas		
Color	Unidades de color aparente (Pt-Co)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	---	no objetable
Sabor	---	no objetable
Inorgánicas		
Antimonio, Sb	mg/l	0,02
Arsénico, As	mg/l	0,01
Bario, Ba	mg/l	0,7
Boro, B	mg/l	2,4
Cadmio, Cd	mg/l	0,003
Cianuros, CN ⁻	mg/l	0,07
Cloro libre residual*	mg/l	0,3 a 1,5 ¹⁾
Cobre, Cu	mg/l	2,0
Cromo, Cr (cromo total)	mg/l	0,05
Fluoruros	mg/l	1,5
Mercurio, Hg	mg/l	0,006
Níquel, Ni	mg/l	0,07
Nitratos, NO ₃ ⁻	mg/l	50
Nitritos, NO ₂ ⁻	mg/l	3,0
Plomo, Pb	mg/l	0,01
Radiación total α **	Bq/l	0,5
Radiación total β ***	Bq/l	1,0
Selenio, Se	mg/l	0,04

¹⁾ Es el rango en el que debe estar el cloro libre residual luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos
 ** Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ²¹⁰Po, ²²⁶Ra, ²²⁸Ra, ²³²Th, ²³⁴U, ²³⁸U, ²³⁹Pu
 *** Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ⁶⁰Co, ⁸⁸Sr, ⁹⁰Sr, ¹³²I, ¹³¹I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ²¹⁰Pb, ²¹⁴Ra

Fuente: Extraído de (NORMA NTE INEN 1108, 2014)

NTE INEN 1108

2014-01

TABLA 2. Sustancias orgánicas

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Hidrocarburos policíclicos aromáticos HAP	mg/l	0,0007
Benzo [a] pireno		
Hidrocarburos:		
Benceno	mg/l	0,01
Tolueno	mg/l	0,7
Xileno	mg/l	0,5
Estireno	mg/l	0,02
1,2dicloroetano	mg/l	0,03
Cloruro de vinilo	mg/l	0,0003
Tricloroetano	mg/l	0,02
Tetracloroetano	mg/l	0,04
Di(2-etilhexil) ftalato	mg/l	0,008
Acrylamida	mg/l	0,0005
Epiclorohidrina	mg/l	0,0004
Hexaclorobutadieno	mg/l	0,0006
1,2Dibromoetano	mg/l	0,0004
1,4- Dioxano	mg/l	0,05
Acido Nitrilotriacético	mg/l	0,2

TABLA 3. Plaguicidas

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Atrazina y sus metabolitos cloro-s-triazina	mg/l	0,1
Isoproturón	mg/l	0,009
Lindano	mg/l	0,002
Pendimetalina	mg/l	0,02
Pentaclorofenol	mg/l	0,009
Dicloroprop	mg/l	0,1
Alacloro	mg/l	0,02
Aldicarb	mg/l	0,01
Aldrín y Dieldrín	mg/l	0,00003
Carbofuran	mg/l	0,007
Clorpirifós	mg/l	0,03
DDT y metabolitos	mg/l	0,001
1,2-Dibromo-3-cloropropano	mg/l	0,001
1,3-Dicloropropeno	mg/l	0,02
Dimetoato	mg/l	0,006
Endrín	mg/l	0,0006
Terbutilazina	mg/l	0,007
Clordano	mg/l	0,0002
Hidroxiatrazina	mg/l	0,2

NTE INEN 1108

2014-01

TABLA 4. Residuos de desinfectantes

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Monocloramina,	mg/l	3
Si pasa de 1,5 mg/l investigar: N-Nitrosodimethylamine	mg/l	0,000 1

TABLA 5. Subproductos de desinfección

	UNIDAD	Límite máximo permitido
2,4,6-triclorofenol	mg/l	0,2
Trihalometanos totales	mg/l	0,5
Si pasa de 0,5 mg/l investigar:	mg/l	0,06
• Bromodichlorometano	mg/l	0,3
• Cloroformo		
Tricloroacetato	mg/l	0,2

TABLA 6. Cianotoxinas

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Microcistina-LR	mg/l	0,001

5.3 El agua potable debe cumplir con los siguientes requisitos microbiológicos.

TABLA 7. Requisitos Microbiológicos

	Máximo
Coliformes fecales (1): Tubos múltiples NMP/100 ml ó Filtración por membrana ufc/ 100 ml	< 1,1 * < 1 **
<i>Cryptosporidium</i> , número de ooquistes/ litro	Ausencia
<i>Giardia</i> , número de quistes/ litro	Ausencia
* < 1,1 significa que en el ensayo del NMP utilizando 5 tubos de 20 cm ³ o 10 tubos de 10 cm ³ ninguno es positivo ** < 1 significa que no se observan colonias (1) ver el anexo 1, para el número de unidades (muestras) a tomar de acuerdo con la población servida	

6. INSPECCIÓN

6.1 Muestreo

6.1.1 El muestreo para el análisis microbiológico, físico, químico debe realizarse de acuerdo a los métodos estandarizados para el agua potable y residual (Standard Methods).

6.1.2 El manejo y conservación de las muestras para la realización de los análisis debe realizarse de acuerdo con lo establecido en los métodos estandarizados para el agua potable y residual (Standard Methods).