



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**COMPARACIÓN DE LOS DISTINTOS TRATAMIENTOS PARA LA OBTENCIÓN DE
CARBÓN ACTIVADO A NIVEL LABORATORIO A PARTIR DEL ENDOCARPIO DEL COCO
(*Cocos nucifera*), CON BASE EN EL ÍNDICE DE YODO**

Jorge Pablo Obregón Espino

Asesorado por el Ing. Jorge Mario Estrada Asturias

Guatemala, septiembre de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**COMPARACIÓN DE LOS DISTINTOS TRATAMIENTOS PARA LA OBTENCIÓN DE
CARBÓN ACTIVADO A NIVEL LABORATORIO A PARTIR DEL ENDOCARPIO DEL
COCO (*Cocos nucifera*), CON BASE EN EL ÍNDICE DE YODO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JORGE PABLO OBREGÓN ESPINO

ASESORADO POR EL ING. JORGE MARIO ESTRADA ASTURIAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADORA	Inga. Dinna Lissette Estrada Moreira
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
EXAMINADOR	Ing. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

COMPARACIÓN DE LOS DISTINTOS TRATAMIENTOS PARA LA OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A NIVEL LABORATORIO A PARTIR DEL ENDOCARPIO DEL COCO (*Cocos nucifera*), CON BASE EN EL ÍNDICE DE YODO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 28 de noviembre de 2014.

Jorge Pablo Obregón Espino

Guatemala, 12 de mayo de 2016

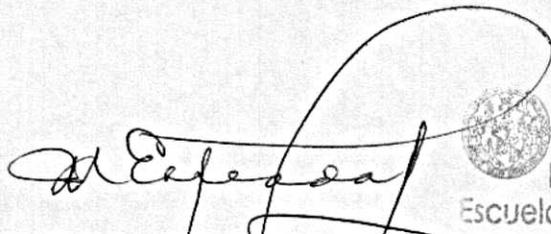
Ingeniero
Carlos Salvador Wong
Director de Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Ciudad Universitaria
Presente

Estimado Ingeniero Wong:

Atentamente me dirijo a usted para informarle que ha sido aprobado el informe final del trabajo de graduación titulado "**Comparación de los distintos tratamientos para la obtención de carbón activado a nivel laboratorio a partir del endocarpio del coco (cocos nucifera), con base en el índice de yodo**" desarrollado por el estudiante de Ingeniería Química Jorge Pablo Obregón Espino carne No. 201122969

Me permito informarle que después de haber realizado la revisión del respectivo informe y haberle realizado las correcciones pertinentes, considero que llena los requisitos para su aprobación.

Atentamente,



Ingeniero Químico **Jorge Mario Estrada Asturias**
Colegiado 685
Asesor

 Jorge Mario Estrada Asturias
Ingeniero Químico Col. 685
Profesor Titular
Escuela de Inq. Química USAC



Guatemala, 09 de agosto de 2016.
Ref. EIQ.TG-IF.039.2016.

Ingeniero
Carlos Salvador Wong Davi
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **097-2014** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por el estudiante universitario: **Jorge Pablo Obregón Espino**.
Identificado con número de carné: **2011-22969**.
Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO**.

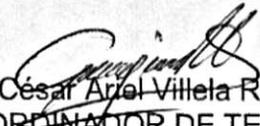
Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

COMPARACIÓN DE LOS DISTINTOS TRATAMIENTOS PARA LA OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A NIVEL LABORATORIO A PARTIR DEL ENDOCARPIO DEL COCO (*cocos nucifera*), CON BASE EN EL ÍNDICE DE YODO

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Jorge Mario Estrada Asturias**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Ing. César Ariel Villeda Rodas
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación

C.c.: archivo



Ref.EIQ.TG.053.2016

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación de la estudiante, **JORGE PABLO OBREGÓN ESPINO** titulado: **"COMPARACIÓN DE LOS DISTINTOS TRATAMIENTOS PARA LA OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A NIVEL LABORATORIO A PARTIR DEL ENDOCARPIO DEL COCO (*Cocos nucifera*), CON BASE EN EL ÍNDICE DE YODO"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Carlos Salvador Wong Davi
Director
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, septiembre 2016

Cc: Archivo
CSWD/ale

Universidad de San Carlos
de Guatemala

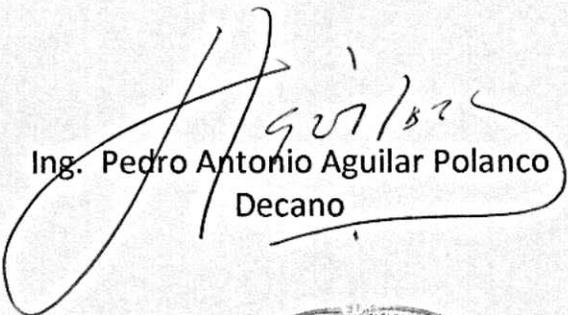


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 440.2016

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **COMPARACIÓN DE LOS DISTINTOS TRATAMIENTOS PARA LA OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A NIVEL LABORATORIO A PARTIR DEL ENDOCARPIO DEL COCO (*Cocos nucifera*), CON BASE EN EL ÍNDICE DE YODO**, presentado por el estudiante universitario: **Jorge Pablo Obregón Espino**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, septiembre de 2016

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser la fuerza espiritual que me ayudó en los buenos y malos momentos de la carrera.
- Mis padres** Jorge Guillermo Obregón (q. e. p. d.) por haber sido mi ejemplo a seguir y apoyarme mientras estuvo conmigo. Celia Beatriz Espino, por ser esa madre luchadora que lo ha dado todo por mí y que me ha enseñado a ser una gran persona.
- Mis abuelos** Elvira Castillo, Jorge Obregón y Marta Reyna, por haberme cuidado en mi infancia y ser mis ángeles guardianes.
- Universidad de San Carlos de Guatemala** Por ser mi *alma mater* y brindarme la oportunidad de ser un profesional.
- Emilia Virginia Pontacq** Por haber logrado esta meta juntos, estar conmigo durante toda la carrera, tanto en los buenos como en los malos momentos, por ser mi fuente de inspiración y por brindarme su amor incondicional.

AGRADECIMIENTOS A:

- Facultad de Ingeniería** Por haberme formado como ingeniero químico y darme las enseñanzas necesarias para servir a mi país.
- Mis hermanos** Herberth y Josseline Obregón, por haber formado parte de mi vida y acompañarme en todo momento.
- Mis tíos** Leonel López, Lubia Villeda, Sandra Espino, Yoli Obregón, Roberto Herrera, Francisco Obregón, Dora Obregón, Otto Obregón, y Delia Dávila, por siempre darme ánimos y motivarme a conseguir mis metas.
- Departamento de Matemática** Por darme la oportunidad de aprender y haber laborado como auxiliar de cátedra.
- Mis amigos de la “229”** Rodrigo Valle, Carlos García, Gerald Roca, Javier Samayoa, Pablo José Rosales, Byron Méndez, gracias por su amistad tan duradera y por echarme porras en todo momento.

Mis amigos de la “U”

Ronald Mendizábal, Obed Orozco, José Mejía, Daniel Vallejo, Adriana López, Gabriela Gálvez, Juan Fra Chajón y Nicolás de León, por haber sido un gran grupo y apoyarnos, mutuamente durante la carrera.

Ing. Jorge Mario Estrada Asturias

Por su valiosa amistad, ser un gran profesor y por apoyarme en este trabajo de graduación.

Licda. Ingrid Lorena Benitez

Por ser una gran catedrática y apoyarme en la realización de la parte experimental de este trabajo. La quiero mucho.

Cementos Progreso

Especialmente a Carmela Barrientos, Shilonen Camposeco, Oliver y Michelle Ozaeta, por ser parte fundamental en la realización de la parte experimental de este trabajo.

Equipo del XXI COLAEIQ

Pablo Aldana, Mario Sosa, Selvyin Solórzano, Gabriel Solórzano, Manolo Rodríguez, Andrea Paz, Andrea Aldana y Ángel Hernández, por haber compartido una gran experiencia y haber sido un gran equipo de trabajo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
Hipótesis.....	XIV
INTRODUCCIÓN	XV
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Termogravimetría	3
2.2. Secado	4
2.2.1. Cantidad de humedad en los sólidos.....	5
2.2.1.1. Humedad en base húmeda.....	5
2.2.1.2. Humedad en base seca.....	5
2.2.1.3. Contenido crítico de humedad.....	5
2.3. Condiciones de secado	6
2.3.1. Condiciones externas	6
2.3.2. Condiciones internas	6
2.4. Curvas de secado.....	7
2.5. Adsorción.....	8
2.5.1. Tipos de adsorción	8
2.6. Carbón.....	9
2.7. Carbón activado	10

2.7.1.	Propiedades	11
2.7.2.	Características físicoquímicas	12
2.7.2.1.	Composición química	12
2.7.2.2.	Estructura física.....	12
2.7.2.3.	Tamaño de poros	13
2.7.3.	Proceso de activación	14
2.7.3.1.	Proceso físico.....	14
2.7.3.2.	Proceso químico.....	16
2.7.4.	Aplicaciones del carbón activado	17
2.8.	Coco.....	18
2.8.1.	Variedades	18
2.8.2.	Aplicaciones del coco	19
2.9.	Carbón activado a partir de la cáscara de coco	20
2.10.	Norma ASTM D 4607	21
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	23
3.1.	Variables	23
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	24
3.2.1.	Área de conocimiento.....	24
3.2.2.	Proceso	24
3.2.3.	Ubicación.....	25
3.2.4.	Clima	25
3.3.	Recursos humanos disponibles	25
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	25
3.4.1.	Equipos auxiliares	25
3.4.2.	Instrumentos de medición	26
3.4.3.	Cristalería	26
3.4.4.	Reactivos.....	26
3.5.	Técnica cuantitativa.....	27

3.6.	Recolección y ordenamiento de la información	27
3.6.1.	Preparación de reactivos	27
3.6.2.	Preparación de carbón activado	28
3.6.3.	Evaluación del índice de yodo	29
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	31
3.7.1.	Plan de análisis de los resultados.....	33
3.7.1.1.	Curva de secado.....	33
3.7.1.2.	Densidad aparente	33
3.7.1.3.	Índice de yodo	33
3.7.1.4.	Programas a utilizar para el análisis de datos.....	34
3.8.	Análisis estadístico	34
4.	RESULTADOS	37
4.1.	Análisis termogravimétrico.....	37
4.2.	Determinación de la curva de secado	38
4.3.	Microscopía de los carbones activados obtenidos	40
4.4.	Densidad específica	45
4.5.	Índice de yodo	45
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	49
5.1.	Análisis termogravimétrico del endocarpio de coco.....	49
5.2.	Curvas de secado.....	50
5.3.	Microscopía de los carbones activados obtenidos	50
5.4.	Densidad específica	51
5.5.	Índice de yodo	51
5.6.	Comparación con el carbón activado comercial	53
5.7.	Índice de yodo en función de la temperatura.....	53

CONCLUSIONES.....55
RECOMENDACIONES57
BIBLIOGRAFÍA.....59
APÉNDICES.....63
ANEXOS.....73

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ejemplo típico de una curva termogravimétrica	4
2.	Curvas típicas de secado	7
3.	Estructura hipotética del carbón activado.....	11
4.	Diagrama de los diferentes procesos que puede tener lugar en la activación térmica.....	15
5.	Diagrama de activación química	16
6.	Análisis termogravimétrico del endocarpio de coco	37
7.	Curva de secado (temperatura de secado 105 °C)	39
8.	Carbón activado con H ₃ PO ₄ a una temperatura de 750 °C	40
9.	Carbón activado con H ₃ PO ₄ a una temperatura de 550 °C	41
10.	Carbón activado con H ₃ PO ₄ a una temperatura de 350 °C	41
11.	Carbón activado con H ₂ SO ₄ a una temperatura de 750 °C	42
12.	Carbón activado con H ₂ SO ₄ a una temperatura de 550 °C	42
13.	Carbón activado con H ₂ SO ₄ a una temperatura de 350 °C	43
14.	Carbón activado con CaCl ₂ a una temperatura de 750 °C	43
15.	Carbón activado con CaCl ₂ a una temperatura de 550 °C	44
16.	Carbón activado con CaCl ₂ a una temperatura de 350 °C	44
17.	Gráfica de índice de yodo en función de la temperatura, utilizando como activador ácido fosfórico	46
18.	Gráfica de índice de yodo en función de la temperatura, utilizando como activador ácido sulfúrico	46
19.	Gráfica de Índice de yodo en función de la temperatura, utilizando como activador cloruro de calcio	47

TABLAS

I.	Variables a manipular	23
II.	Tabla para porcentaje de humedad de la materia inicial.....	31
III.	Datos para generar la curva de secado de la materia inicial	31
IV.	Datos para la densidad aparente de cada carbón activado	32
V.	Mililitros de tiosulfato de sodio usados para el índice de yodo	32
VI.	Composiciones del endocarpio de coco	38
VII.	Datos para obtener el porcentaje de humedad de la muestra	38
VIII.	Datos de la curva de secado	39
IX.	Densidad específica de cada carbón activado.....	45
X.	Índice de yodo para cada carbón activado	45
XI.	Índice de yodo para el carbón activado comercial	45
XII.	Tabla de descripción de las gráficas del índice de yodo en función de la temperatura.....	47

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
H	Cantidad de ácido clorhídrico agregado
F	Cantidad de yodo agregado
X	Cantidad de yodo adsorbido
CV	Coeficiente de variación
B	Concentración de tiosulfato de sodio inicial
A	Concentración de yodo inicial
Xbs	Contenido de humedad (base seca)
ρ	Densidad
D	Factor de corrección de índice de yodo
DF	Factor de dilución
°C	Grados celcius
g	Gramo
M	Masa de carbón usado
\bar{x}	Media
ml	Mililitros
N₁	Normalidad de solución de tiosulfato
N₂	Normalidad de solución de yodo
C	Normalidad del filtrado residual
Σ	Sumatoria
V	Volumen
S	Volumen gastado de tiosulfato de sodio

GLOSARIO

Adsorbato	Sustancia adsorbida en la superficie de un adsorbente.
Adsorbente	Un sólido que tiene la capacidad de retener sobre su superficie un componente presente en corrientes líquidas o gaseosas.
Adsorción	Fenómeno por el cual un sólido o un líquido atrae y retiene en su superficie gases, vapores, líquidos o cuerpos disueltos.
Alícuota	Una parte que se toma de un volumen (alícuota líquida) o de una masa (alícuota sólida) iniciales, para ser usada en una prueba de laboratorio.
Correlación	Correspondencia o relación recíproca entre dos o más acciones o fenómenos.
Curva de secado	Es la dependencia de la humedad del material y de la intensidad de evaporación con el tiempo o variables relacionadas con este.

Densidad	Relación entre la masa y el volumen de una sustancia, o entre la masa de una sustancia y la masa de un volumen igual de otra sustancia tomada como patrón.
Endocarpio	Es la capa más interior del pericarpio, es decir, la parte del fruto que rodea a las semillas.
Linealización	Se refiere al proceso de encontrar la aproximación lineal a una función en un punto dado.
Mufla	Es un horno destinado normalmente para la cocción de materiales cerámicos y para la fundición de metales a través de la energía térmica.
Niple	Tubo de metal u otro material con rosca, en sus dos extremos, que se utiliza para alargar cañerías.
Normalidad	Es el número de equivalentes de soluto entre el volumen de la disolución en litros.
Tamiz	Utensilio que se usa para separar las partes finas de las gruesas de algunas cosas y que está formado por una tela metálica o rejilla tupida que está sujeta a un aro.
Titulación	Es un método de análisis químico cuantitativo en el laboratorio, que se utiliza para determinar la concentración desconocida de un reactivo conocido.

RESUMEN

El presente trabajo muestra los resultados de la comparación de los distintos tratamientos para la obtención de carbón activado, utilizando como materia el endocarpio del coco.

La investigación se realizó en las instalaciones de Cementos Progreso y en la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC). Este trabajo se realizó para satisfacer la necesidad de investigar si ciertos desechos vegetales, tales como el endocarpio de coco, que no son reutilizados en la industria son factibles para ser utilizados como carbón activado.

Previamente, a la activación, se realizó un análisis termogravimétrico del endocarpio de coco en un módulo TGA 1 SF/1100/255 de Mettler Toledo y se encontró que dicha materia contiene carbón puro, celulosa, hemicelulosa y lignina. Posteriormente se determinó el porcentaje de humedad del mismo, obteniendo un valor de 9,68 %. Por otra parte, se secó la materia en un secador de bandejas hasta llegar a peso constante y así iniciar la activación química.

Dicha activación se llevó a cabo con 3 activadores distintos los cuales fueron: ácido sulfúrico, ácido fosfórico y cloruro de calcio. El tratamiento térmico se llevó a cabo en niples de hierro galvanizado, los cuales fueron sometidos a tres distintas temperaturas. Una vez obtenido el carbón activado se calculó la densidad de cada carbón activado por medio del balón de Le Chatelier.

Por último, se hizo la evaluación del índice de yodo. Mediante este parámetro se determinó que la capacidad de adsorción de los carbones

activados obtenidos fue aumentando con respecto a la temperatura de activación, obteniendo una temperatura de activación óptima de 750 °C. Al comparar dichos carbones con un carbón activado comercial marca Merck, se encontró que el mejor tratamiento fue con ácido sulfúrico a la temperatura antes mencionada.

Las condiciones de trabajo fueron constantes durante la experimentación, con una presión atmosférica de 771 mmHg y una temperatura ambiente que fue variando entre los 25 a los 28 °C.

OBJETIVOS

General

Comparar por medio del índice de yodo los distintos tratamientos para la obtención del carbón activado a nivel laboratorio a partir del endocarpio del coco.

Específicos

1. Generar un análisis termogravimétrico del endocarpio del coco, previo a la activación.
2. Obtener curvas de secado, para el endocarpio del coco, previo a la activación.
3. Obtener carbón activado, a partir del endocarpio del coco, por medio de 3 activadores (ácido fosfórico, ácido sulfúrico y cloruro de calcio).
4. Obtener imágenes de cada carbón activado obtenido a partir de un microscopio electrónico.
5. Determinar la densidad específica de cada carbón activado, por medio del balón de Le Chatelier.
6. Determinar la temperatura de activación óptima para cada activador.

7. Comparar los carbones activados obtenidos con el carbón comercial marca Merck.
8. Obtener gráficas y correlaciones de la capacidad de adsorción, en función de la temperatura de activación.

Hipótesis

Los residuos vegetales tales como el endocarpio de coco pueden ser utilizados como la materia prima para la obtención de carbón activado.

Hipótesis nulas

- **H_{01}** : la capacidad de adsorción medida, por medio del índice de yodo, de los carbones activados obtenidos mediante distintos tratamientos no tiene diferencia significativa sobre los activadores.
- **H_{02}** : la capacidad de adsorción medida por medio del índice de yodo de los carbones activados obtenidos mediante distintos tratamientos no tiene diferencia significativa sobre las temperaturas de activación.

Hipótesis alternativas (H_1):

- **H_{11}** : la capacidad de adsorción medida por medio del índice de yodo de los carbones activados obtenidos mediante distintos tratamientos tiene diferencia significativa sobre los activadores.
- **H_{12}** : la capacidad de adsorción medida por medio del índice de yodo de los carbones activados obtenidos mediante distintos tratamientos tiene diferencia significativa sobre las temperaturas de activación.

INTRODUCCIÓN

“La producción de carbón activo a nivel industrial se ha incrementado en los últimos tiempos. Esto debido a la importancia que este tiene como decolorante y purificador en las industrias de alimentos, farmacéutica, licorera y tratamiento de aguas. En la actualidad una de las actividades más interesantes dentro de la formación a nivel de ciencias es el estudio los materiales.”¹ Esto se debe a su amplia aplicabilidad en diversas áreas como la química ambiental, la industria y la medicina. Sin embargo, dichos carbones varían de acuerdo a sus propiedades texturales y químicas.

La demanda creciente, en el mercado nacional e internacional por el carbón activado, ha propiciado que en muchos países industrializados se busquen nuevos materiales de partida. La madera es una gran alternativa para suplir tal necesidad; por lo cual es una oportunidad para el aprovechamiento de los recursos forestales, que han sido utilizados en forma desintegrada, manteniéndose solo en madera para construcción y plantas de pulpa y no contemplando otros productos secundarios.

El carbón activado es un material de origen biológico de amplia estructura porosa, con grandes propiedades adsorptivas. Sus principales aplicaciones son para tratamiento de aguas residuales, purificación en industrias azucareras, en la industria cosmética y producción de fármacos.

El presente trabajo tiene como objetivo aprovechar las disponibilidades de materia prima nacional para la producción de carbón adsorbente, a partir de

¹ DONNET STOECKLI, Bansal. *Ullamn*’s. p. 16.

materiales de desecho. Posteriormente compara los distintos tratamientos para la activación y determina cuál es el más efectivo. El índice de yodo será el parámetro a evaluar para determinar la capacidad de adsorción. Debido a que este ensayo no requiere de reactivos de alto costo y se puede llevar a cabo en un laboratorio de análisis.

Generalmente, en Guatemala los desechos vegetales como la cascara de coco y las semillas de palma no se les ha dado un uso secundario. Estos desechos pueden ser utilizados como carbón activado debido a que la su composición principal de carbono.

1. ANTECEDENTES

El carbón activado siempre ha tenido un tema de estudio muy amplio. Esto se debe a su amplia aplicabilidad en diversas áreas como la Química ambiental, la industria y la medicina. El carbono activo es utilizado en la industria como filtro, especialmente en la recuperación de gases, control de emisiones, eliminación de olores en aguas industriales y residuales. Sin embargo, dichos carbones varían de acuerdo a sus propiedades texturales y químicas.

La primera aplicación industrial del carbón activo tuvo lugar en 1794, en Inglaterra, utilizándose como agente decolorante en la industria del azúcar. Esta aplicación permaneció en secreto durante 18 años hasta que en 1812 apareció la primera patente. En 1854 tiene lugar la primera aplicación a gran escala del carbón activo en fase gas, cuando el alcalde de Londres ordena instalar filtros de carbón vegetal en los sistemas de ventilación de las cloacas. En 1872 aparecen las primeras máscaras con filtros de carbón activo utilizadas en la industria química para evitar la inhalación de vapores de mercurio.

La Primera Guerra Mundial, y el uso de agentes químicos durante esta contienda, trajo como consecuencia la necesidad urgente de desarrollar filtros de carbón activo para máscaras de gas. Sin duda este acontecimiento fue el punto de partida para el desarrollo de la industria del carbón activo, y de un buen número de carbones activos usados no solo en la adsorción de gases tóxicos sino en la potabilización de agua. A partir de este momento, tuvo lugar el desarrollo de multitud de carbones activos para aplicaciones más diversas:

depuración de gases y aguas, aplicaciones médicas, soporte de catalizadores, entre otros.

Desde los años 30 se usó para eliminar el sabor y olor del agua, y desde entonces hasta la actualidad el carbón activo se ha utilizado de manera extensiva en muchas industrias. Esto para eliminar o recuperar compuestos orgánicos como tintes o disolventes de las aguas o purificar el aire, así como en las plantas potabilizadoras, donde se usan los lechos de carbón activo para la depuración del agua de suministro urbano.

En la actualidad está ampliamente implantado el empleo de carbón activo en diversos campos de la industria tales como la industria de los azúcares, la industria química, la industria farmacéutica, entre otros. Además, se está incrementando su uso cada vez más en el tratamiento de aguas residuales, potables y en procesos industriales, ya que, el carbón activo es la sustancia adsorbente por excelencia.

En 1981, Elisa Hamm Zavala realizó en la Universidad de San Carlos de Guatemala la investigación a nivel de tesis *Ensayos sobre el empleo del mesocarpio y endocarpio de la orbignya para la producción de carbón activo*. Donde se hizo una investigación de las propiedades como adsorbente, del carbón activo obtenido a partir del mesocarpio y endocarpio del mencionado fruto. Se realizó también una investigación acerca de las disponibilidades de materia prima existente en el país.

En conclusión, se obtuvieron carbones activos con características de adsorción comparables a las de los carbones activos industriales, y en algunos casos superiores. Esto, en conjunto con las disponibilidades de materia prima, dejaron ver un panorama prometedor para el desarrollo de una industria de esta naturaleza

2. MARCO TEÓRICO

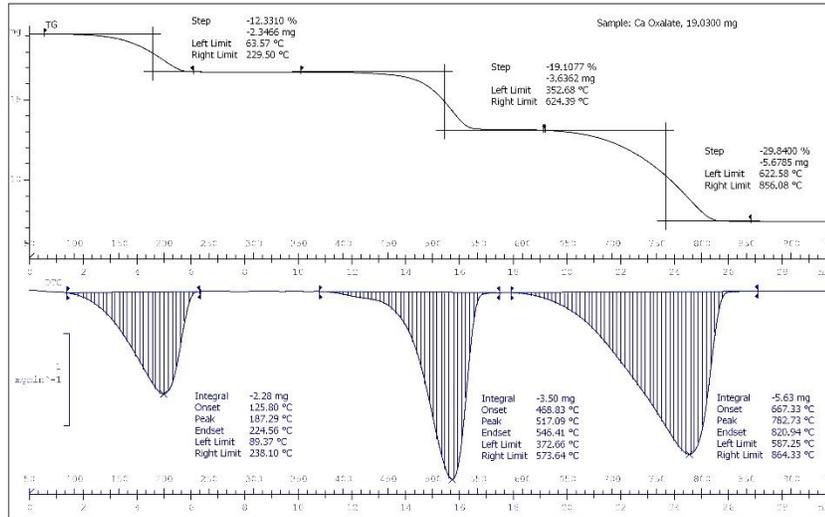
2.1. Termogravimetría

Se define como la técnica en que se mide el peso de una muestra frente al tiempo o a la temperatura, mientras se somete la muestra a un programa de temperatura controlado en una atmósfera específica.

El procedimiento es mantener la temperatura constante (isotermo), calentamiento a velocidad constante (el más habitual junto al isotermo), enfriamiento o cualquier combinación de ellos. Lo habitual es que se produzca una pérdida de peso, pero también es posible que haya una ganancia de peso. La atmósfera puede ser estática o dinámica con un caudal determinado (también se emplean condiciones de presión reducida) y los gases más habituales son N_2 , aire, Ar, CO_2 . También se usan H_2 , Cl_2 , o SO_2 .

Una característica fundamental de la termogravimetría es que solo permite detectar procesos en los que se produce una variación de peso. Algunos ejemplos son: descomposiciones, sublimaciones, reducción, desorción, absorción, entre otros. mientras que no permite estudiar procesos como fusiones transiciones de fase, y otros.

Figura 1. Ejemplo típico de una curva termogravimétrica



Fuente: *Termogravimetria*. <https://it.wikipedia.org/wiki/Termogravimetria>.

Consulta: enero de 2015.

2.2. Secado

La operación de secado es una operación de transferencia de masa de contacto gas-sólido, donde la humedad contenida en el sólido se transfiere por evaporación hacia la fase gaseosa. Esto es con base en la diferencia entre la presión de vapor ejercida por el sólido húmedo y la presión parcial de vapor de la corriente gaseosa. Cuando estas dos presiones se igualan, se dice que el sólido y el gas están en equilibrio y el proceso desecado cesa.

El secado es un método de conservación. Consistente en extraer el agua de un sólido, lo que inhibe la proliferación de microorganismos y dificulta la putrefacción. El agua suele eliminarse por evaporación (secado al aire, al sol, ahumado o al viento) pero, en el caso de la liofilización, los alimentos se congelan en primer lugar y luego se elimina el agua por sublimación.

2.2.1. Cantidad de humedad en los sólidos

El contenido de humedad de un producto puede expresarse sobre la base del peso húmedo, masa de agua por unidad de masa de producto húmedo, o sobre la base del peso seco. Así como en masa de agua por unidad de masa de componentes sólidos desecados. El último método se utiliza más frecuentemente en los cálculos de la desecación.

2.2.1.1. Humedad en base húmeda

Es la humedad de un sólido expresado con base en el peso del sólido húmedo. El contenido de humedad de un sólido o solución generalmente se describe en función del porcentaje en peso de humedad; a menos que se indique otra cosa, se sobreentiende que está expresado en base húmeda.

$$\% X_{BH} = \frac{kg \text{ agua}}{kg \text{ sólido}} * 100$$

2.2.1.2. Humedad en base seca

Es la cantidad de agua referida al sólido seco

$$\% X_{BS} = \frac{kg \text{ agua}}{kg \text{ sólido seco}} * 100$$

2.2.1.3. Contenido crítico de humedad

Es el contenido de humedad promedio cuando concluye el periodo de velocidad constante.

2.3. Condiciones de secado

A continuación se explicarán las condiciones de secado.

2.3.1. Condiciones externas

Durante la transferencia de calor en la cual se pretende eliminar la cantidad de agua, en forma de vapor de la superficie de la partícula, algunas condiciones toman un papel importante como lo son: la temperatura, el flujo de aire, la humedad, área de la superficie expuesta al calor y la presión. Ya que estas condiciones durante la etapa inicial del secado son importantes para remover la humedad de la superficie.

En algunos materiales el exceso de evaporación en la superficie puede causar encogimiento. Esto debido a que la humedad inicial ha sido removida dando lugar a altos porcentajes de humedad interior hacia la superficie, formando tensiones dentro del material y ocasionando deformaciones.

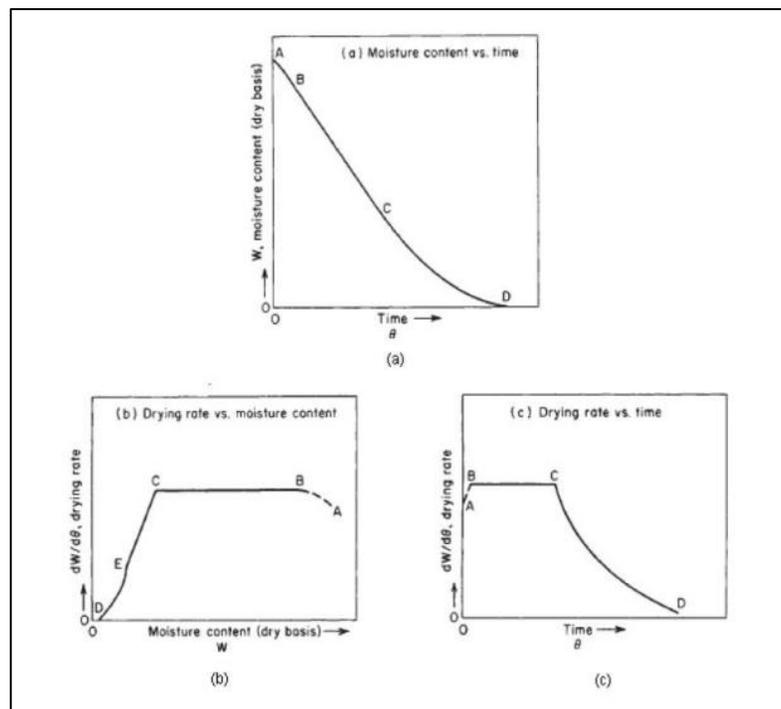
2.3.2. Condiciones internas

Los factores que pueden determinar la rapidez del secado son: la temperatura, su contenido de humedad y la naturaleza interna de la partícula. Durante la transferencia de calor hacia un material húmedo, un gradiente de temperatura se genera dentro del material mientras la evaporación de la humedad ocurre en la superficie. Esto, sucede a través de mecanismos de extracción de la humedad, dependiendo de la naturaleza de su ubicación tanto interna como externa, como son: difusión, flujo capilar o capilaridad, presión interna causada por el encogimiento durante el secado.

2.4. Curvas de secado

Cuando un sólido se deseca experimentalmente, casi siempre se obtienen datos que asocian el contenido de humedad con el tiempo. Estos datos se presentan gráficamente como contenido de humedad con base seca X_{bs} en función del tiempo t . Esta curva representa el caso general en que los sólidos mojados pierden humedad, primero por evaporación desde una superficie saturada del sólido, a lo cual sigue un periodo de evaporación de la superficie saturada que tiene un área gradualmente decreciente. Por último cuando el agua se evapora en el interior del sólido.

Figura 2. Curvas típicas de secado



Fuente: GREEN. *Manual de Ing. Químico Perry y Green*. p. 12-32.

2.5. Adsorción

Es un proceso por el cual átomos, iones o moléculas son atrapados o retenidos en la superficie de un material en contraposición a la absorción, que es un fenómeno de volumen. Es un proceso en el cual un contaminante soluble (adsorbato) es eliminado del agua por contacto con una superficie sólida (adsorbente).

En el campo de las separaciones gaseosas, la adsorción se utiliza para deshumidificar aire y otros gases. Esto para eliminar olores e impurezas desagradables de gases industriales como dióxido de carbono, para recuperar vapores valiosos de disolventes a partir de mezclas diluidas con aire y otros gases y para fraccionar mezclas de gases.

2.5.1. Tipos de adsorción

Se debe distinguir para principiar entre dos tipos de fenómenos de adsorción: físicos y químicos.

La adsorción física, o adsorción de Van der Waals, es un fenómeno fácilmente reversible. Es el resultado de las fuerzas intermoleculares de atracción entre las moléculas del sólido y la sustancia adsorbida. Por ejemplo, cuando las fuerzas atractivas intermoleculares entre un sólido y un gas mayores que las existentes entre moléculas del gas mismo, el gas se condensará sobre la superficie del sólido. Esto aunque su presión sea mayor que la presión de vapor que corresponde a la temperatura predominante.

Quimisorción, o adsorción activa, es el resultado de la interacción química entre el sólido y la sustancia adsorbida. La fuerza de la unión química puede

variar considerablemente y puede suceder que no se formen compuestos químicos en el sentido usual, empero, la fuerza de adhesión es generalmente mucho mayor que la observada en la adsorción física. El calor liberado durante la quimisorción es comúnmente grande y es parecido al calor de una reacción química.

2.6. Carbón

Es un mineral de origen orgánico constituido básicamente por carbono. Su formación es el resultado de la condensación gradual de la materia de plantas parcialmente descompuestas a lo largo de millones de años. Las plantas al descomponerse forman una capa llamada turba. Hay tres tipos básicos de carbón:

- **Lignito:** se forma una vez comprimida la turba. Es el carbón de menor valor calórico, porque se formó en épocas más recientes y contiene menos carbón (30 %) y más agua. Es una sustancia parda y desmenuzable en la que se pueden reconocer algunas estructuras vegetales.
- **Hulla:** se origina por la compresión del lignito. Tiene un importante poder calorífico, por lo que se utiliza en las plantas de producción de energía. Es dura y quebradiza, de color negro. La concentración de carbono está entre el 75 y el 80 %.
- **Antracita:** procede de la transformación de la hulla. Es el mejor de los carbones, muy poco contaminante y de alto poder calorífico. Arde con dificultad, pero desprende mucho calor y poco humo. Es negro, brillante y muy duro. Tiene una concentración de hasta el 95 % de carbono.

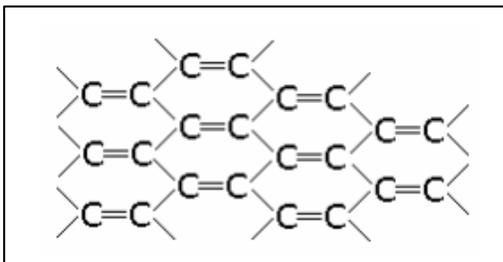
2.7. Carbón activado

Es un producto que posee una estructura cristalina reticular similar a la del grafito; es extremadamente poroso y puede llegar a desarrollar áreas superficiales del orden de $1\ 500\ \text{m}^2$, por gramo de carbón.

Todos los átomos de carbón en la superficie de un cristal son capaces de atraer moléculas de compuestos que causan color, olor o sabor indeseables. La diferencia con un carbón activado consiste en la cantidad de átomos en la superficie disponibles para realizar la adsorción. En otras palabras, la activación de cualquier carbón consiste en multiplicar el área superficial creando una estructura porosa. Es importante mencionar que el área superficial del carbón activado es interna. Para dar una idea más clara de la magnitud de la misma, imagine un gramo de carbón en trozo el cual moleremos muy fino para incrementar su superficie, como resultado se obtiene un área aproximada de 3 a $4\ \text{m}^2$, en cambio, al activar el carbón logramos multiplicar de 200 a 300 veces este valor.

La diferencia fundamental entre uno y otro tipo de carbón radica en la estructura, o arreglo de sus átomos. En el caso del carbón activo, estos se encuentran combinados en forma de placas graníticas, que pueden representarse de acuerdo a la siguiente figura.

Figura 3. **Estructura hipotética del carbón activado**



Fuente: E.U. Politécnica, Universidad de Sevilla. *Manual del Carbón Activo*. p. 39.

2.7.1. Propiedades

La elevada capacidad de eliminación de sustancias se debe a la alta superficie interna que posee, si bien porosidad y distribución de tamaño de poros juegan un papel importante. En general, los microporos le confieren la elevada superficie y capacidad de retención, mientras que los mesoporos y macroporos son necesarios para retener moléculas de gran tamaño. Estos pueden ser colorantes o coloides, y favorecer el acceso y la rápida difusión de las moléculas a la superficie interna del sólido.

Las propiedades adsorbentes de un carbón activado no dependen únicamente de la superficie y la porosidad. En particular, las sustancias polares se retienen débilmente sobre la superficie (apolar) del carbón. En estos casos, la fijación al carbono de heteroátomos, principalmente oxígeno e hidrógeno. Estos forman estructuras o grupos funcionales tipo ácido carboxílico, lactosas, carbonilo, y otros que elevan la afinidad de las sustancias polares por la superficie del adsorbente y pueden imprimir un carácter ácido-base al carbón.

2.7.2. Características físicoquímicas

A continuación se mencionan algunas de las características que poseen los carbones activados.

2.7.2.1. Composición química

Desde el punto de vista de la composición química, el carbón activo es carbón prácticamente puro, al igual que lo es el diamante, el grafito, el negro de humo y los diversos carbones minerales o de leña. Todos ellos poseen la propiedad de adsorber, que consiste en un fenómeno físicoquímico en el que un sólido llamado adsorbente atrapa en sus paredes a cierto tipo de moléculas, llamadas adsorbatos y que están contenidas en un líquido o gas.

La composición química del carbón activo es aproximadamente un 75-80 % en carbono, 5–10 % en cenizas, 6 % en oxígeno y 0,5 % en hidrógeno.

2.7.2.2. Estructura física

El carbón activo posee una estructura microcristalina que recuerda en cierta medida a la del grafito. Esta estructura que presenta el carbón activo da lugar normalmente a una distribución de tamaño de poro bien determinada. Así, se pueden distinguir tres tipos de poros según su radio: macroporos ($r > 25$ nm), mesoporos ($25 > r > 1$ nm) y microporos ($r < 1$ nm).

2.7.2.3. Tamaño de poros

El carbón activo tiene una gran variedad de tamaños de poros. Estos pueden clasificarse de acuerdo a su función, en poros de adsorción y poros de transporte.

Los poros mayores que los de adsorción son de transporte y tienen un rango muy amplio de tamaño. Estos van hasta el de las grietas que están en el límite detectable por la vista, y que corresponde a 0, 1mm. En esta clase de poros, solo una placa ejerce atracción sobre el adsorbato y entonces lo hace con una fuerza menor, o incluso insuficiente para retenerlo. Actúan como caminos de difusión por los que circula la molécula hacia los poros de adsorción en los que hay una atracción mayor. Por lo tanto, aunque tiene poca influencia en la capacidad del carbón activo afectan a la cinética o velocidad con la que se lleva a cabo la adsorción.

Otra clasificación de los poros, es el de la International Union of Pure and Applied Chemists (IUPAC). Estos se basan en el diámetro de los mismos, de acuerdo a lo siguiente:

- Microporo: menores a 2 nm
- Mesoporos: entre 2 y 50 nm
- Macroporos: mayores a 50 nm (típicamente de 200 a 2 000 nm)

Los microporos tienen un tamaño adecuado para retener moléculas pequeñas que aproximadamente corresponden a compuestos más volátiles que el agua. Estos son olores, sabores y muchos solventes.

Los macroporos atrapan moléculas grandes. Algunas son cloradas o las sustancias húmicas (ácidos húmicos y fúlvicos) que se generan al descomponerse la materia orgánica. Los mesoporos son los apropiados para moléculas intermedias entre las anteriores.

Por lo tanto, la capacidad de un carbón activo para retener una determinada sustancia no solo depende de su área superficial, sino también de la proporción de poros internos que tenga dicho carbón. Así como tamaño de los mismos (un tamaño adecuado para un poro debe oscilar entre 1 y 5 veces el diámetro de la molécula a retener).

2.7.3. Proceso de activación

A continuación se explicaran los tipos de procesos de activación.

2.7.3.1. Proceso físico

El proceso se inicia con la etapa de carbonización, de modo que se logre la deshidratación y la desvolatilización de forma controlada, obteniéndose un carbonizado con elevado por ciento en carbono fijo y una estructura porosa inicial. Durante la carbonización los elementos no carbonosos, como el hidrógeno y oxígeno, presentes en la materia prima, son eliminados en parte por la pirolisis del material y los átomos de carbono se organizan en estructuras microcristalinas conocidas como cristalitas gráficas elementales. Entre estos microcristales hay espacios libres, debido a que su ordenamiento es irregular.

Estos espacios o intersticios son bloqueados por carbono amorfo, alquitranes y otros residuos de la descomposición pirolítica del material celulósico. Como resultado de ello, los carbones producto de la carbonización

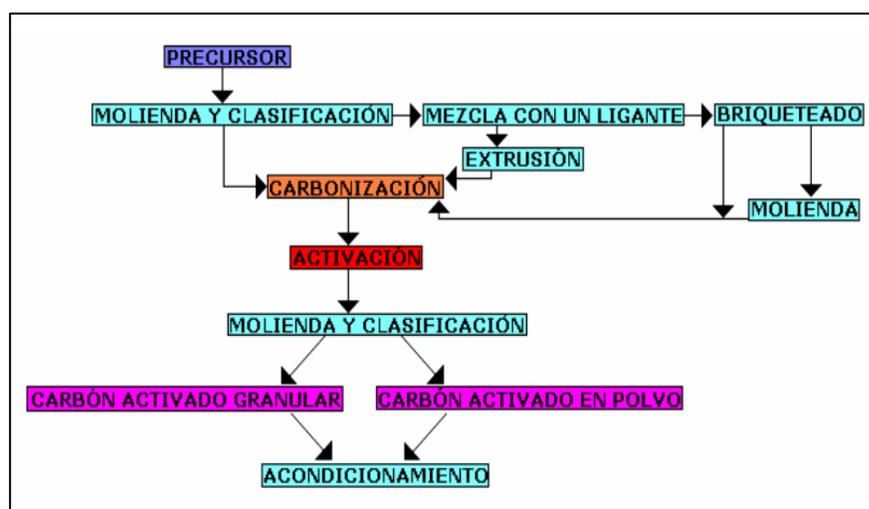
solo presentan una pequeña capacidad de adsorción aumentándose esta capacidad a través del proceso de activación.

El proceso físico de activación consiste en carbonizar la materia prima llegando al rojo vivo para expulsar los hidrocarburos, pero sin el suficiente aire para llegar a la combustión, obteniéndose así un carbón primario.

Luego se expone este a un agente oxidante, normalmente el vapor de agua. La reacción es endotérmica por lo que es necesario generar una temperatura constante (800 –1 000 °C).

El proceso físico también se conoce como activación térmica a pesar de que la activación se produce debido a una reacción (química) del agente activante (un oxidante como el aire, vapor de agua, CO² y otros).

Figura 4. **Diagrama de los diferentes procesos que puede tener lugar en la activación térmica**



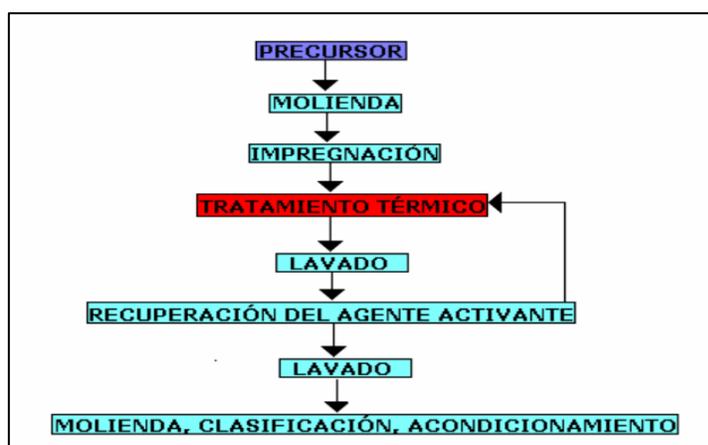
Fuente: E.U. Politécnica, Universidad de Sevilla. *Manual del Carbón Activo*. p. 16.

2.7.3.2. Proceso químico

Este proceso se desarrolla en una sola etapa, calentando en atmósfera inerte una mezcla del agente activante con el material de partida. Las sustancias más son: ácido fosfórico (H^3PO^4), Cloruro de cinc ($ZnCl^2$), ácido sulfúrico (H^2SO^4), aunque también se han usado sulfuros y tiocianatos de potasio, cloruros de calcio y magnesio, hidróxidos de metales alcalinos, entre otras sustancias. Siempre en dependencia de la materia prima original a utilizar y el mayor o menor volumen de poros de un tipo o de otro que se quiera obtener.

La activación química se basa en la deshidratación mediante sustancias químicas y a una temperatura media (400 – 600 °C). Esta depende de la sustancia química a utilizar para activar el carbón. En este caso la activación suele tener lugar en una única etapa a temperaturas que pueden variar entre 450 y 900 °C. No obstante, es necesaria una etapa posterior de lavado del carbón activado para eliminar los restos del agente activante.

Figura 5. Diagrama de activación química



Fuente: E.U. Politécnica, Universidad de Sevilla. *Manual del Carbón Activo*. p. 16.

2.7.4. Aplicaciones del carbón activado

Sus aplicaciones en medio líquido abarcan la decoloración de licores de azúcar, potabilización de aguas (eliminación de olor, color, sustancias químicas, bacterias, tratamientos de aguas residuales, decoloración de aguas para su uso en la fabricación de bebidas refrescantes, decoloración y mejora de bebidas alcohólicas (vinos, ron), purificación de grasas y aceites comestibles, purificación de proteínas, como medicamento en la desintoxicación de personas, purificación de plasma sanguíneo, separación de elementos metálicos (oro, plata), entre otras.

En general, el carbón pulverizado se aplica en medio líquido. Mientras el granulado puede ser aplicado en ambos medios. Recopilando las múltiples aplicaciones, se destacan:

- Eliminación de impurezas que causan color, olor y sabor en agua potable (mejora de las propiedades organolépticas en el agua).
- Tratamiento de aguas residuales (tratamiento terciario de aguas residuales).
- Tratamiento de agua en procesos industriales
- Depuración de aguas subterráneas
- Depuración de aguas para piscinas
- Refinamiento de las aguas residuales tratadas
- Tratamiento de emisiones atmosféricas
- Purificación de aire y gases
- Decoloración de vinos, zumos y vinagres
- Decoloración de azúcar y caramelo
- Mascarillas de gases
- Eliminación de olores en plantillas de zapatos

- Potabilización de agua superficial y de pozo
- Eliminación de cloro libre en agua potable

2.8. Coco

Es una fruta tropical obtenida del cocotero (*Cocos nucifera*), la palmera más cultivada a nivel mundial. Tiene una cáscara exterior gruesa (exocarpio) y un mesocarpio fibroso y otra interior dura, vellosa y marrón (endocarpio) que tiene adherida la pulpa (endospermo), que es blanca y aromática. Mide de 20 a 30 cm y llega a pesar 2,6 kg.

2.8.1. Variedades

Propio de las islas de clima tropical y subtropical del océano Pacífico, su cultivo se ha extendido por Centroamérica, el Caribe y África tropical. Los tipos de cocoteros se clasifican en gigantes, enanos e híbridos y, dentro de cada grupo, existe un gran número de variedades.

- Gigantes: se emplean para la producción de aceite y los frutos para consumo fresco. Su contenido de agua es elevado y su sabor poco dulce. Entre sus ventajas destacan el tamaño del fruto y el contenido elevado de copra. Las variedades gigantes más cultivadas son: Gigante de Malasia (GML), Gigante de Renell (GRL) de Tahití, G+iGante del Oeste Africano (GOA) de Costa de Marfil, Alto de Jamaica, Alto de Panamá, Indio de Ceilán, Java Alta, Laguna, Alto de Sudán, entre otros.
- Enanos: las variedades más cultivadas son Amarillo de Malasia (AAM), Verde de Brasil (AVEB) de Río Grande del Norte, Naranja Enana de la India. Debido al buen sabor del agua y el pequeño tamaño de estos

cocos, se emplean fundamentalmente para la producción de bebidas envasadas. La copra es de mala calidad.

- Híbridos: producto del cruce entre las anteriores variedades. Son frutos de tamaño mediano o grande, buen sabor y buen rendimiento de copra. El híbrido más cultivado es MAPAN VIC 14; un cruce entre Enano de Malasia y Alto de Panamá y Colombia, específicamente Sabaneta.

2.8.2. Aplicaciones del coco

A continuación se describen las aplicaciones del coco.

- Industria: la copra se usa como materia prima para la extracción de aceite de uso alimenticio y en productos de higiene corporal y cosmética. El hueso que cubre la copra se emplea para producir carbón y carbón activado o como combustible para calderas.
- Ganadería: la harina de coco es un subproducto de la extracción del aceite y se usa como alimento para el ganado. Las hojas se emplean como forraje para el ganado vacuno en épocas de escasez.
- Agricultura: el polvo de la estopa se usa en suelos arenosos, ya que mejora la retención de agua y la textura del suelo. Además, los productos residuales de la extracción del aceite se utilizan para preparar abonos orgánicos. La fibra de coco puede usarse como sustrato hortícola alternativo en el cultivo sin suelo.

- **Construcción:** la madera se emplea para la fabricación de casas, puentes y granjas y las palmas, en techos. Con la corteza también se elaboran muebles.
- **Artesanía:** las palmas se usan para hacer canastas, sombreros, alfombras, y otros. La concha se emplea para fabricar botones, cucharas, adornos, y otros. La fibra, resistente al agua de mar, se utiliza para cables y aparejos de naves, hacer mantas y bolsos o incluso escobas y cepillos.
- **Medicina:** por su potencial acción antiséptica y diurética, en muchos países tropicales se emplea como remedio popular contra el asma, la bronquitis, contusiones, quemaduras, estreñimiento, disentería, tos, fiebre, gripe y otras.
- **Ecología:** la presencia de estos árboles contribuye a la regulación del microclima y a la protección de los suelos.
- **Turismo:** los cocoteros constituyen los paisajes costeros y embellecen las playas.
- **Jardinería:** en las calles o como plantas de interior; también con la madera del tronco se hacen macetas.

2.9. Carbón activado a partir de la cáscara de coco

A partir de la cáscara de coco es posible obtener diferentes tipos de carbones activados para aplicaciones diversas variando las condiciones de preparación. Por ejemplo, activando la cáscara de coco a alta temperatura

(800 °C) en presencia de vapor de agua se puede obtener un carbón hidrofílico (afinidad con el agua), microporoso (con ultramicroporos de diámetros < 0,7 nm), apropiado para aplicaciones que involucran separación de gases; pero, si se activa a menor temperatura (450 °C) usando un agente químico, como ácido fosfórico o cloruro de zinc, se puede obtener un carbón hidrofílico de poros más anchos (con mesoporos > 2 nm) apropiado para aplicaciones en fase líquida.

Además de obtener una amplia distribución de poros, el carbón activado obtenido de la cáscara de coco resulta con mayor dureza y resistencia, comparado con el obtenido de madera. Otra ventaja que ofrecen los carbones activados obtenidos de materiales orgánicos, en relación a los obtenidos de materiales inorgánicos, es que, en los primeros, el porcentaje de cenizas es menor.

El coco como materia prima a nivel mundial es muy abundante. Se produce en más de 90 países en el mundo, no obstante, solo en una docena de ellos se concentra el 91,1 % de superficie plantada con este cultivo. Los países asiáticos son los que cuentan con la mayor extensión. Los dos únicos países en América que forman parte de este grupo son Brasil con 2,4 % y México con 1,4 % ocupando el doceavo lugar. En México, el estado de Guerrero es el que presenta la mayor superficie (51,8 %) plantada por cocoteros. En el 2002 México reportó una producción anual de coco de 959 000.

2.10. Norma ASTM D 4607

Este método de ensayo cubre la determinación del nivel de activación relativa de átomos de carbono no utilizados o reactivado por la adsorción de

yodo de solución acuosa. La cantidad de yodo adsorbido por 1 g de carbono utilizando se denomina el número de yodo.

Este método de ensayo se basa en una isoterma de adsorción de tres puntos. Una solución estándar de yodo se trata con tres pesos diferentes de carbón activado en las condiciones especificadas. Las soluciones de carbón tratada se filtran para separar el carbón de la solución de yodo tratada. El yodo que queda en los filtrados se mide por valoración. La cantidad de yodo eliminado por gramo de carbono se determinó para cada dosis de carbono y los datos resultantes se utilizan para trazar una isoterma de adsorción. La cantidad de yodo adsorbido por gramo de carbono a una concentración de yodo residual de 0,02 N se reporta como el número de yodo.

La concentración de yodo en la solución estándar afecta a la capacidad de un carbón activado para la adsorción de yodo. Por tanto, la normalidad de la solución de yodo estándar debe ser mantenida a un valor constante para todas las mediciones de índice de yodo.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Las variables analizadas se dividen en 2 grupos: Factores potenciales del experimento. Estas enlistan las variables que permanecerán constantes y no constantes en la parte experimental y el tipo de variable, el cual indica si es independiente o dependiente.

Tabla I. **Variables a manipular**

Núm.	Variable	Unidad	Factor Potencial del experimento		Tipo de Variable	
			Constantes	Núm. constante	Independiente	Dependiente
1	Masa de cascara de coco	g	X		X	
2	Concentración de activante empleado	mol/L	x		X	
3	Tiempo de activación	s	X		X	
4	Temperatura de activación	°C		X	X	
5	Gramos de yodo sobre gramos de carbón activado	mg l/g carbón		X		X

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación del campo de estudio

El estudio se limitará a determinar si es posible obtener carbón activado a partir del endocarpio de coco, mediante la evaluación del índice de yodo.

Primero se triturará en un molino de discos para posteriormente, secar la materia en un secador de bandejas a una temperatura de 100 °C. Una vez terminado este paso se procederá a la activación química, mediante los 3 activantes indicados en las secciones anteriores y se variará la temperatura de activación para cada activador. Al final se obtendrán 9 tipos de carbón activado.

Luego se encontrará el índice de yodo, para cada carbón activado y se determinará a qué temperatura y con qué activador se obtuvo el mayor índice de yodo.

3.2.1. Área de conocimiento

Fundamento de conocimiento: Química General, Química Analítica, Química Orgánica, Fisicoquímica y Transferencia de Masa.

3.2.2. Proceso

Obtención de carbón activado mediante distintos tratamientos y caracterizar la capacidad de adsorción para cada uno de ellos, mediante el índice de yodo.

3.2.3. Ubicación

Los reactivos a utilizar serán proveídos por la USAC y Cementos Progreso, así como la parte experimental se llevará a cabo en los mismos lugares mencionados.

3.2.4. Clima

La ciudad de Guatemala tiene un clima semitemplado, con temperaturas promedio entre los 19 y 21 °C, una humedad relativa media porcentual entre 75 % y 81 %, y una presión atmosférica entre 640 mm Hg y 642 mm Hg, según la altura por sobre el nivel del mar.

3.3. Recursos humanos disponibles

A continuación se explicarán los recursos humanos disponibles.

- Jorge Pablo Obregón Espino
- Ing. Jorge Mario Estrada Asturias

3.4. Recursos materiales disponibles

A continuación se explicarán los materiales disponibles.

3.4.1. Equipos auxiliares

A continuación se describen los equipos auxiliares.

- Molino para trituración de partículas

- Mufla eléctrica
- Secador de bandejas
- Tamizador
- Estufa eléctrica con agitador magnético
- Niples de hierro galvanizado

3.4.2. Instrumentos de medición

A continuación se describe los instrumentos de medición.

- Balanza analítica, con precisión de $\pm 0,0001$ g.

3.4.3. Cristalería

A continuación se describe la cristalería.

- Vidrio de reloj
- Bureta de 10mL y 5 mL
- Erlenmeyer de 250 mL
- Frascos ámbar
- Pipetas volumétricas de 5, 10, 25 y 50 mL
- *Beaker* de 600 mL
- *Beaker* de 400 mL

3.4.4. Reactivos

A continuación se describen los reactivos.

- Ácido clorhídrico

- Tiosulfato de sodio
- Carbonato de sodio
- Bicarbonato de sodio
- Iodo sublimable
- Yoduro de potasio
- Yodato de potasio
- Ácido sulfúrico
- Ácido fosfórico
- Ácido nítrico
- Almidón soluble
- Hidróxido de potasio

3.5. Técnica cuantitativa

La técnica especificada para estimar el índice de yodo se efectúa bajo el manual Test Methods for Activated Carbon.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

A continuación se describe la recolección y ordenamiento de la información.

3.6.1. Preparación de reactivos

A continuación se explicará la preparación de reactivos.

- Preparar 1 000 ml de yodo 0,1N
- Preparar una solución de tiosulfato de sodio 0,1N

- Preparar 3 soluciones concentradas de ácido fosfórico, sulfúrico y cloruro de calcio.

3.6.2. Preparación de carbón activado

El carbón activado se prepara mediante activación química, donde los activantes a utilizar son: ácido sulfúrico, ácido fosfórico y cloruro de calcio. La activación tiene lugar en una etapa a temperaturas que pueden variar entre 350 y 750 °C.

El procedimiento para la obtención de carbón activado mediante activación química es el siguiente:

- Por medio de un secador de bandejas se seca el endocarpio de coco hasta llegar a peso constante.
- Se tritura el endocarpio de coco por medio de un molino para generar partículas más pequeñas.
- Posteriormente se agrega una cantidad de activante químico (ácido sulfúrico, ácido fosfórico o cloruro de calcio) en un *beaker* y se deja en agitación durante 5 horas.
- Se traslada la muestra a un crisol y se coloca en un horno a una temperatura de 80 °C durante una hora.
- Una vez esté seco, se coloca la materia ya tratada en niples de hierro galvanizado y se cierran con tapones hembra en ambos lados hasta que el niple esté totalmente lleno del material.

- Se colocan los nipples dentro de una mufla durante 5 horas a las temperaturas de trabajo definidas y posteriormente se retiran de la mufla hasta que lleguen a temperatura ambiente.
- Se lava el carbón activado obtenido con agua destilada, se filtra y se deja secar en un horno a 120 °C durante 24 horas.

3.6.3. Evaluación del índice de yodo

El procedimiento aplica para carbón activado en polvo o granular. Cuando el carbón granular se va a evaluar, moler una muestra representativa de carbón hasta que el 95 % de su peso o más pase a través de un tamiz 325. El carbón recibido en polvo puede necesitar molienda adicional para cumplir con el requisito de tamaño de partícula dado anteriormente.

- Agregar 10,0 ml de una solución de ácido clorhídrico 5 % en peso a cada matraz conteniendo carbón.
- Tape cada matraz y agite lentamente hasta que el carbón esté completamente mojado. Afloje los tapones para ventilar los matraces, coloque en un plato caliente en una campana extractora, y lleve el contenido a ebullición.
- Dejar hervir suavemente por 30 ± 2 s para eliminar cualquier azufre que pueda interferir con los resultados de la prueba. Remueva los matraces del plato caliente y enfríe a temperatura ambiente.
- Agregar 100,0 ml de una solución de yodo 0,100 N a cada matraz. Estandarice la solución de yodo justo antes de su uso. Alterne la adición

de yodo a los tres frascos para que no se hallen retrasos en la manipulación.

- Inmediatamente tape los matraces, y agite vigorosamente sus contenidos por 30 ± 1 s.
- Rápidamente filtre por gravedad cada mezcla a través de una hoja de papel filtro doblado (Whatman núm. 2V o equivalente) en un vaso de precipitados (*beaker*). El equipo de filtración debe ser preparado con anticipación para que no se encuentre ningún retraso en el filtrado de las muestras.
- Para cada filtrado, use los primeros 20 a 30 ml para enjuagar una pipeta. Deseche las porciones de enjuague. Utilice *beakers* limpios para recolectar los filtrados restantes.
- Mezcle cada filtrado por agitación en el *beaker* y pipetee 50,0 ml de cada filtrado a un matraz Erlenmeyer limpio de 250 ml.
- Titule cada filtrado con una solución estándar de tiosulfato de sodio 0,100 N hasta que la solución se torne a un amarillo pálido.
- Agregue 2 ml de la solución indicadora de almidón y continúe la titulación con la solución de tiosulfato de sodio hasta que una gota produzca una solución incolora.
- Registre el volumen de tiosulfato de sodio utilizado.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

En esta sección se detallan las tablas utilizadas para recolectar los resultados, así como los métodos empleados para obtener los resultados con base en ellos.

Tabla II. **Tabla para porcentaje de humedad de la materia inicial**

Peso inicial (g)	
Peso Constante (g)	
Porcentaje de humedad (%)	

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Datos para generar la curva de secado de la materia inicial**

tiempo (h)	Peso (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Datos para la densidad aparente de cada carbón activado**

Activante químico	corrida	350 °C		550 °C		750 °C	
		m (g)	v(ml)	m (g)	v(ml)	m (g)	v(ml)
H ₃ PO ₄	1						
	2						
	3						
H ₂ SO ₄	1						
	2						
	3						
CaCl ₂	1						
	2						
	3						

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Mililitros de tiosulfato de sodio usados para el índice de yodo**

Activante químico	corrida	350 °C	550 °C	750 °C
		C (mL)	C (mL)	C (mL)
H ₃ PO ₄	1			
	2			
	3			
H ₂ SO ₄	1			
	2			
	3			
CaCl ₂	1			
	2			
	3			

Fuente: elaboración propia.

3.7.1. Plan de análisis de los resultados

Los métodos de cálculo utilizados para tratar los datos empíricos obtenidos se detallan a continuación.

3.7.1.1. Curva de secado

Para elaborar la curva de secado se pesará cierta cantidad de materia inicial y se procederá a ingresarla al secador de bandejas. Se pesará la misma muestra en intervalos de una hora durante 12 horas o hasta llegar a peso constante.

Una vez obtenidos los pesos en cada intervalo, se graficarán en función del tiempo, para obtener la curva de secado.

3.7.1.2. Densidad aparente

Se determinará la densidad aparente de cada carbón activado mediante el balón de Le Chatelier. El procedimiento consiste en utilizar un balón de Le Chatelier (el cual se describe en los anexos) y en medir la diferencia de volumen que y con ese valor se determinará el volumen exacto de cada carbón activado.

3.7.1.3. Índice de yodo

El método para la determinación de la capacidad de adsorción se basa en una isoterma de adsorción, donde posteriormente se encuentra el índice de yodo. Este indica la cantidad de miligramos de yodo adsorbidos por gramo de carbón activado. A mayor número de yodo, mejor calidad de carbón activado. La isoterma de adsorción está definida como:

$$\frac{X}{m} = Kc^{\frac{1}{n}}$$

La isoterma de adsorción de Freundlich o ecuación de Freundlich es una isoterma de adsorción. Esta es una curva que relaciona la concentración de un soluto en la superficie de un adsorbente, con la concentración del soluto en el líquido con el que está en contacto.¹ Fue desarrollada por el matemático, físico y astrónomo alemán Erwin Finlay Freundlich. Básicamente hay dos tipos de isotermas de adsorción bien establecidas: la isoterma de adsorción de Freundlich y la isoterma de adsorción de Langmuir.

Para el caso de esta investigación el valor de X/m representa el índice de yodo. Este se determinará mediante valoración yodométrica, titulando con tiosulfato de sodio y utilizando como indicador almidón.

3.7.1.4. Programas a utilizar para el análisis de datos

A continuación se explicarán los programas a utilizar para el análisis de datos.

- Microsoft Excel 2013
- Microsoft Word 2013
- Qtiplot

3.8. Análisis estadístico

Este se realizará mediante el análisis de la metodología experimental mediante el uso del análisis de varianzas. El análisis de varianzas evalúa la

variación de una variable independiente en función de las variaciones de la variable dependiente. El análisis de varianzas requiere el uso de repeticiones y de tratamientos, donde los tratamientos refieren las variaciones de la variable dependiente.

Se evaluará mediante el análisis de varianzas si las capacidades de adsorción de los carbones activados obtenidos tienen diferencia significativamente al del carbón comercial marca Merck.

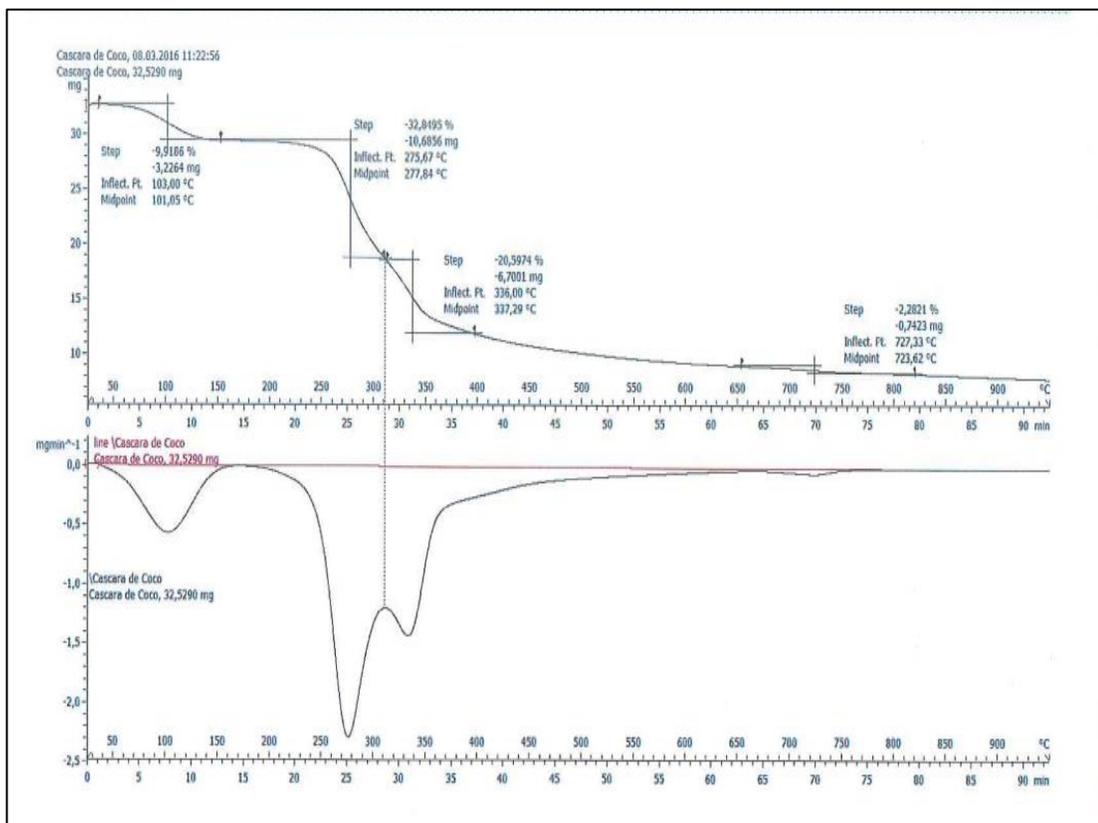
El criterio a utilizar se basará en el criterio de la F de Fisher, el cual, deberá de indicar un mismo resultado: la aprobación o rechazo de las hipótesis planteadas (ver: hipótesis).

4. RESULTADOS

4.1. Análisis termogravimétrico

Por medio del equipo TGA modelo se realizó el análisis termogravimétrico para determinar la composición de la materia prima

Figura 6. Análisis termogravimétrico del endocarpio de coco



Fuente: elaboración propia, empleando Software TGA/DSC by Metter Toledo.

Tabla VI. **Composiciones del endocarpio de coco**

Paso	Rango de Temperatura Teórica (°C)	Temperatura experimental (°C)	Masa perdida (%)	Fenómeno
1	100	103,00	9,92	Deshidratación
2	170-300	275,67	32,85	Descomposición de hemicelulosa
3	245-300	336,00	20,60	Degradación de celulosa
4	250-600	727,33	2,28	Descomposición de lignina

Fuente: elaboración propia.

4.2. **Determinación de la curva de secado**

A continuación se presentan los resultados de la muestra secada previo a la activación.

Tabla VII. **Datos para obtener el porcentaje de humedad de la muestra**

Peso inicial (g)	0,5
Peso Constante (g)	0,484
Porcentaje de humedad (%)	9,68

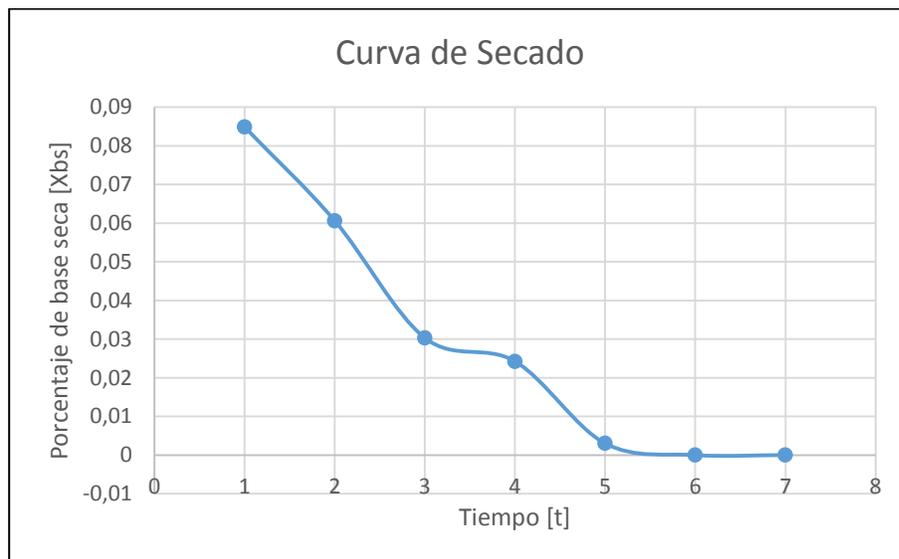
Fuente: balanza de humedad CETEC, Cementos Progreso.

Tabla VIII. **Datos de la curva de secado**

tiempo (h)	Xbs
1	0,0848
2	0,0606
3	0,0303
4	0,0242
5	0,0030
6	0,0000
7	0,0000

Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Curva de secado (temperatura de secado 105 °C)**

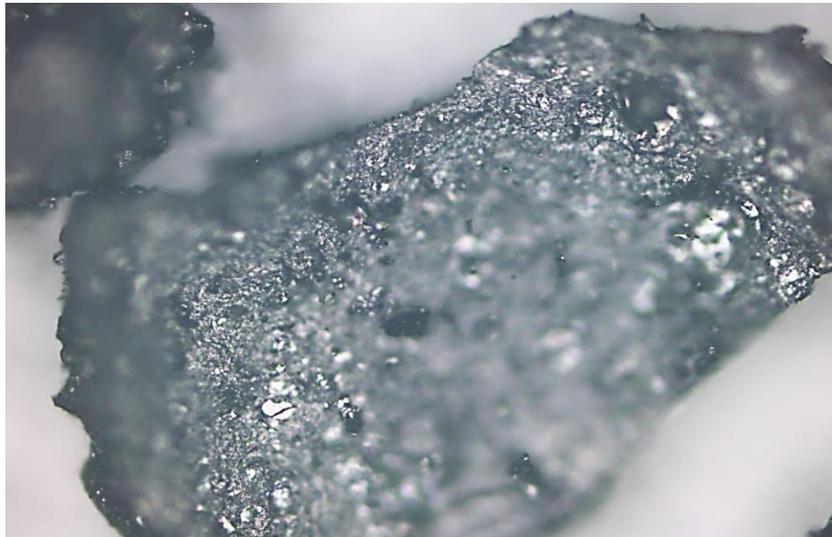


Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla VI.

4.3. Microscopía de los carbones activados obtenidos

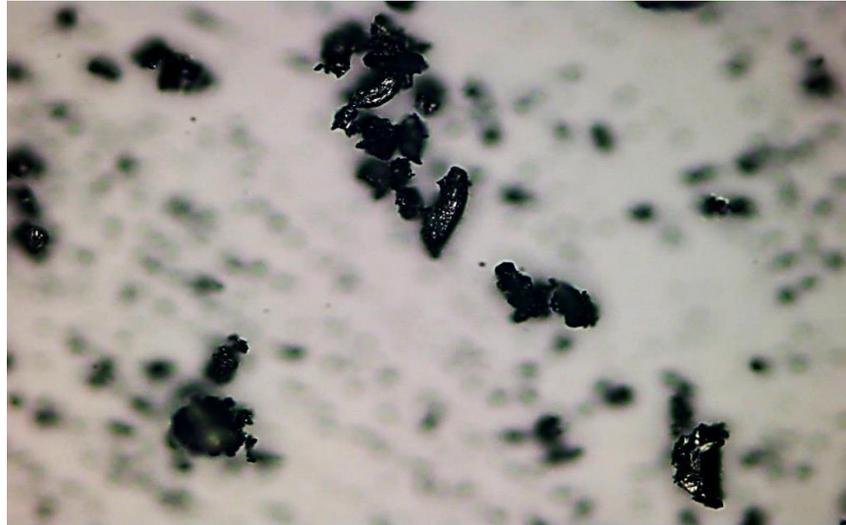
Por medio de un microscopio electrónico se observó cada carbón activado para ver si se obtuvo la porosidad que los caracteriza. Cada uno posee un aumento de 20X.

Figura 8. **Carbón activado con H_3PO_4 a una temperatura de 750 °C**



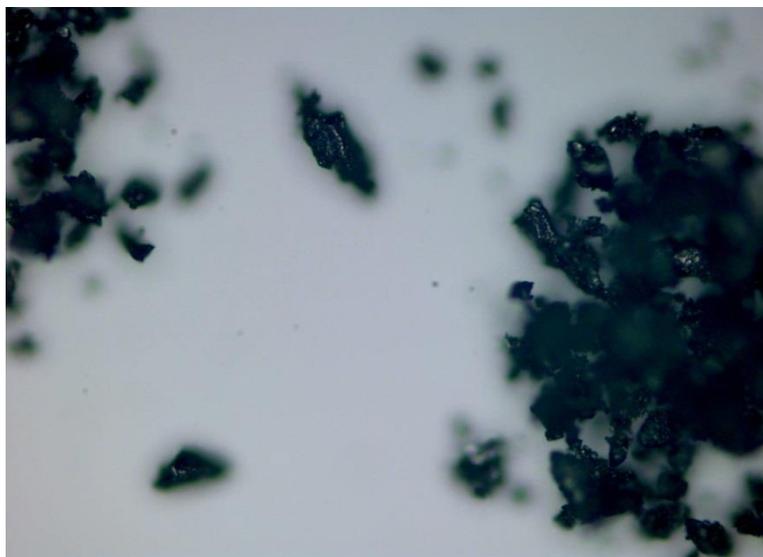
Fuente: microscopio marca Olympus, Cementos Progreso.

Figura 9. **Carbón activado con H_3PO_4 a una temperatura de 550 °C**



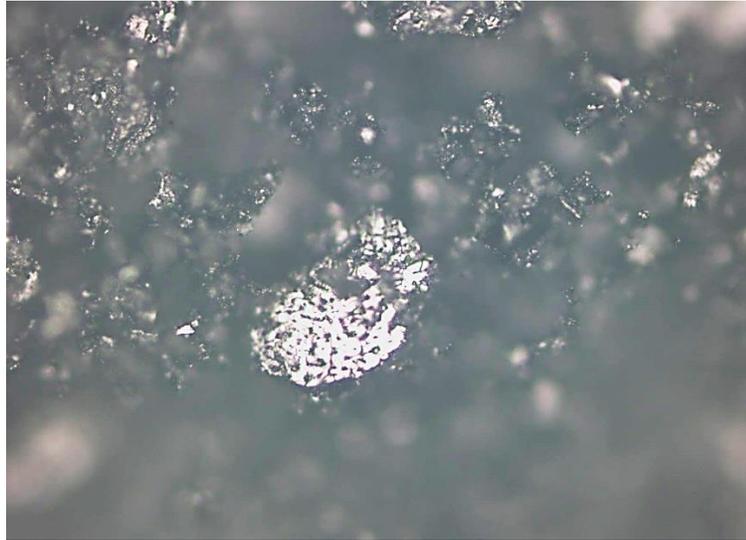
Fuente: microscopio marca Olympus, Cementos Progreso.

Figura 10. **Carbón activado con H_3PO_4 a una temperatura de 350 °C**



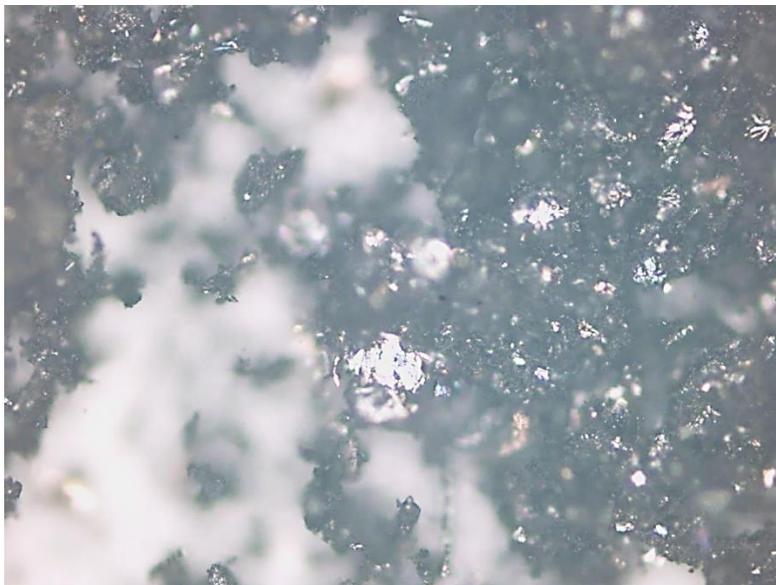
Fuente: microscopio marca Olympus BX51, Cementos Progreso.

Figura 11. **Carbón activado con H_2SO_4 a una temperatura de 750 °C**



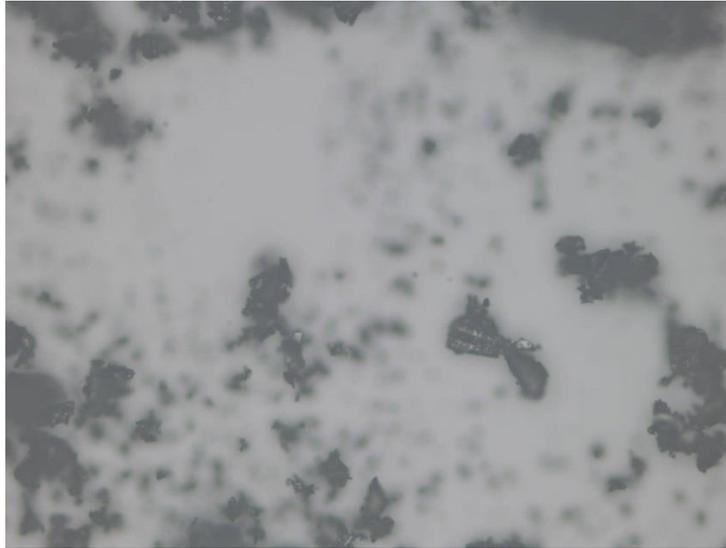
Fuente: microscopio marca Olympus, Cementos Progreso.

Figura 12. **Carbón activado con H_2SO_4 a una temperatura de 550 °C**



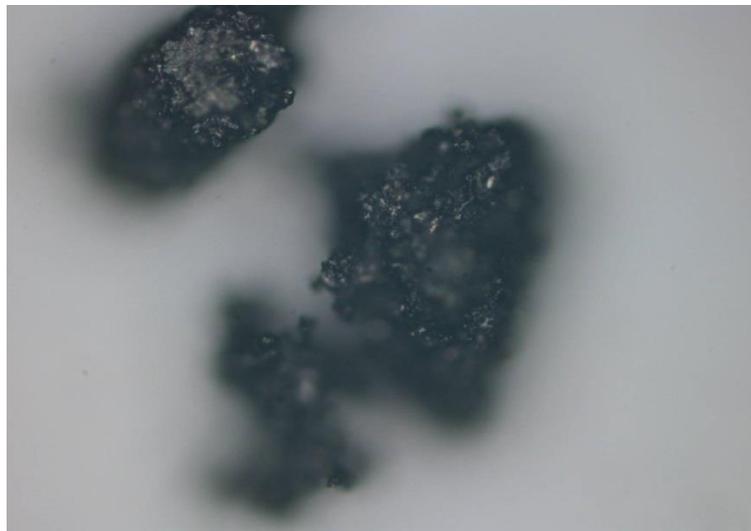
Fuente: microscopio marca Olympus, Cementos Progreso.

Figura 13. **Carbón activado con H_2SO_4 a una temperatura de 350 °C**



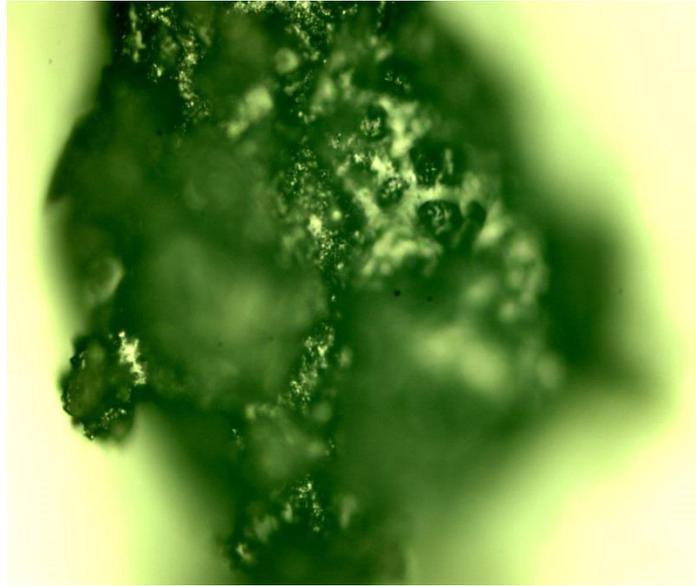
Fuente: microscopio marca Olympus, Cementos Progreso.

Figura 14. **Carbón activado con CaCl_2 a una temperatura de 750 °C**



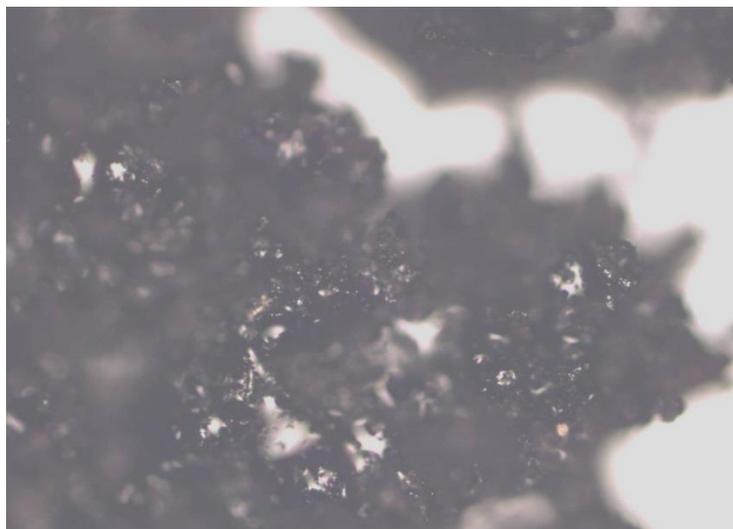
Fuente: microscopio marca Olympus, Cementos Progreso.

Figura 15. **Carbón activado con CaCl_2 a una temperatura de 550 °C**



Fuente: microscopio marca Olympus, Cementos Progreso.

Figura 16. **Carbón activado con CaCl_2 a una temperatura de 350 °C**



Fuente: microscopio marca Olympus, Cementos Progreso.

4.4. Densidad específica

A continuación se describe la densidad específica.

Tabla IX. Densidad específica de cada carbón activado

Activante químico	350 °C	550 °C	750 °C
	m (g/cm)	m (g/cm)	m (g/cm)
H ₃ PO ₄	1,53	1,60	1,74
H ₂ SO ₄	1,78	1,67	1,46
CaCl ₂	1,35	1,40	1,46

Fuente: elaboración propia.

4.5. Índice de yodo

A continuación se describe el índice de yodo.

Tabla X. Índice de yodo para cada carbón activado

Activante químico	350 °C	550 °C	750 °C
	X/M (mg/g)	X/M (mg/g)	X/M (mg/g)
H ₃ PO ₄	363,27	434,63	577,34
H ₂ SO ₄	544,56	605,15	726,55
CaCl ₂	415,00	550,24	633,20

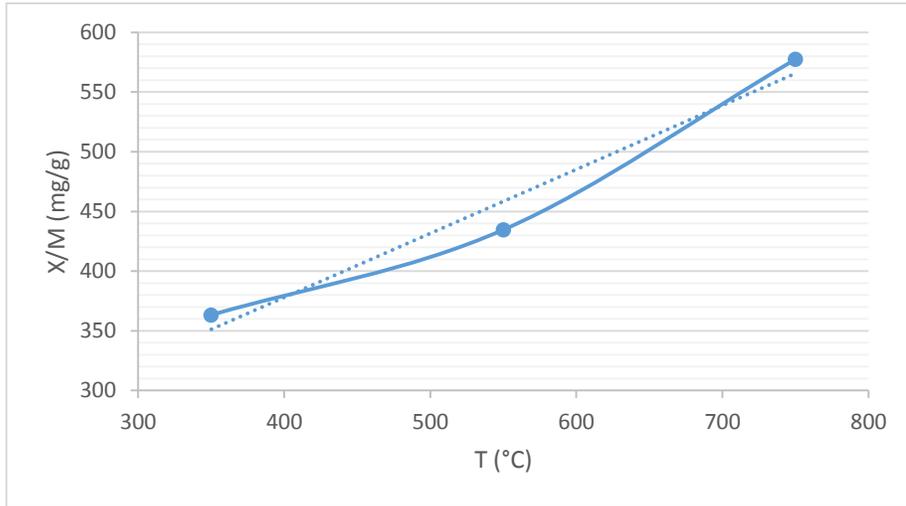
Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. Índice de yodo para el carbón activado comercial

	X/M (mg/g)
Carbón marca Merck	844,99

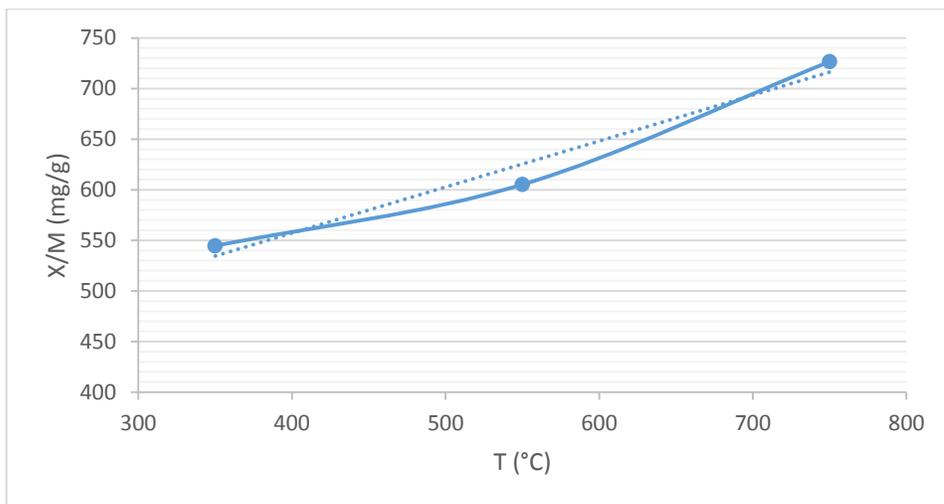
Fuente: elaboración propia.

Figura 17. **Gráfica de índice de yodo en función de la temperatura, utilizando como activador ácido fosfórico**



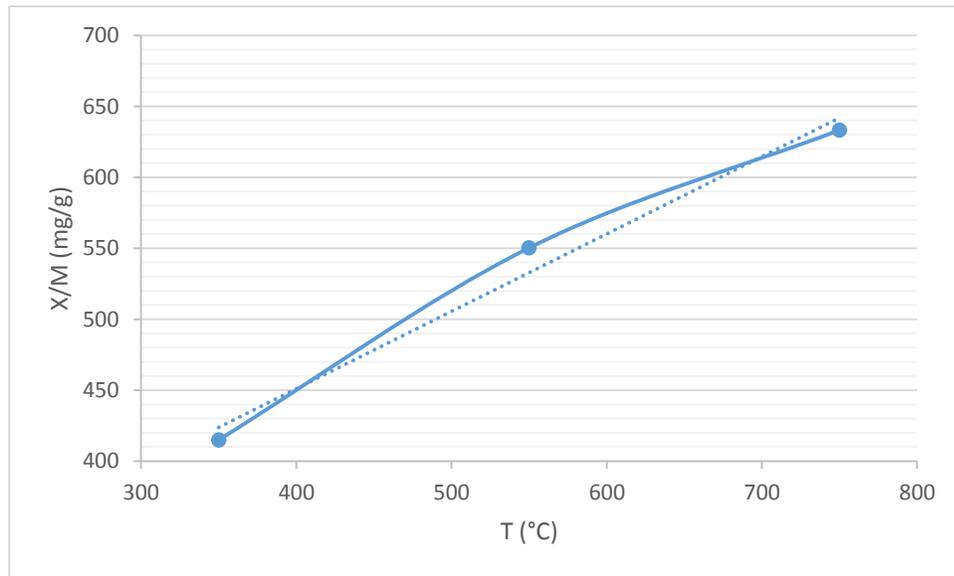
Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla X.

Figura 18. **Gráfica de índice de yodo en función de la temperatura, utilizando como activador ácido sulfúrico**



Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla X.

Figura 19. **Gráfica de índice de yodo en función de la temperatura, utilizando como activador cloruro de calcio**



Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla X.

Tabla XII. **Tabla de descripción de las gráficas del índice de yodo en función de la temperatura**

Gráfica	Modelo matemático	R ²	Intervalo de validez
H ₃ PO ₄	$\frac{X}{M} = 0,5352 * T + 164,07$	0,9643	[350, 750] °C
H ₂ SO ₄	$\frac{X}{M} = 0,455 * T + 375,18$	0,9641	[350, 750] °C
CaCl ₂	$\frac{X}{M} = 0,5455 * T + 232,79$	0,9812	[350, 750] °C

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El objetivo de este trabajo fue determinar bajo qué tratamiento químico se obtiene el mejor carbón activado, con el fin de investigar si es posible utilizar desechos vegetales para la obtención del mismo. Se analizó bajo qué condiciones se obtiene el mejor carbón activado y si es posible compararlo con un carbón activado comercial. A continuación, se presenta cada parte realizada en esta investigación y su respectiva interpretación.

5.1. Análisis termogravimétrico del endocarpio de coco

La identificación de los fenómenos de descomposición térmica fue realizada por termogravimetría en un módulo TGA 1 SF/110/265 de Mettler Toledo de 25 °C a 950 °C a una velocidad de calentamiento de 10 °C/min en una atmósfera inerte de Nitrógeno bimolecular con flujo de 20mL/min. Dicho análisis fue llevado a cabo en las instalaciones del Centro de Investigación y desarrollo de Cementos Progreso. La curva obtenida se presenta en la figura 6 y los fenómenos ocurridos durante dicho análisis se presentan en la tabla VI.

Se encontró que el endocarpio de coco contiene hemicelulosa, celulosa y lignina, donde el elemento que se presentó en mayor porcentaje es la hemicelulosa. se puede observar que la temperatura de descomposición de la hemicelulosa, celulosa y lignina son 275,67 °C, 335 °C y 727,33 °C respectivamente. El resto de masa sobrante corresponde a carbón puro, el cual es el más importante para obtener carbón activado.

Debido a que las temperaturas de activación están en el rango de 350 °C a 750 °C se esperaría que dichos compuestos sean eliminados parcialmente o en su totalidad al momento del tratamiento térmico. Esto dependerá de la temperatura de activación que sea usada.

5.2. Curvas de secado

Previo a la activación se secó la materia prima con el objetivo de conocer el porcentaje de humedad del mismo, obtener la curva de secado y determinar cuánto tiempo es necesario para que dicha materia contenga la menor humedad posible. Para secar uniformemente el material se procedió a triturarlo en un molino de discos proporcionado por Cementos progreso. Una vez triturado y homogenizado se procedió a generar la curva de secado. El peso se fue midiendo cada hora en un lapso de 7 horas. En la figura 7 se puede observar que, al transcurrir 6 horas, el contenido de humedad comienza a ser constante. Esto indica que se necesitan 7 horas para que el endocarpio del coco contenga el mínimo porcentaje de humedad y llegue a peso constante.

Para verificar que el contenido de humedad obtenido es el correcto, se verificó dicho valor por medio de una balanza de humedad, propiedad de Cementos Progreso. En la tabla VII se presentan los resultados obtenidos y se confirma que dichos valores son correctos.

5.3. Microscopía de los carbones activados obtenidos

Una vez obtenido el carbón activado por medio de cada activador químico y a cada una de las temperaturas de trabajo planteadas, se evaluó de forma cualitativa dichos carbones. Gracias a la ayuda de un microscopio electrónico se observó la estructura de cada uno de los carbones activados obtenidos.

Para la activación con ácido fosfórico se puede observar en las figuras que, a mayor temperatura, la porosidad del carbón activado iba aumentando. Esto quiere decir que la carbonización se ve favorecida a mayores temperaturas. Dicho comportamiento se puede observar desde la figura 8 hasta la figura 16, las cuales corresponden a la activación con ácido fosfórico, ácido sulfúrico y cloruro de calcio.

5.4. Densidad específica

Las densidades fueron calculadas en las instalaciones de Cementos Progreso, en el laboratorio de análisis físico del Centro de Investigación y desarrollo. Dichos cálculos se hicieron bajo la Norma ASTM C188, en la cual se utiliza el frasco de Le Chatelier y Keroseno para determinar la densidad de ciertos sólidos. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla IX. Debido que la densidad está definida como la relación de la masa sobre volumen, se esperaría que el carbón activado posea un valor de densidad pequeño. Los tratamientos que presentaron el menor valor de densidad para el carbón activado fueron con ácido sulfúrico y cloruro de calcio, ambos a una temperatura de 750 °C.

5.5. Índice de yodo

La finalidad de este trabajo de investigación es comparar por medio del índice de yodo la capacidad de adsorción de los carbones activados obtenidos, por tanto, este valor es el más importante en dicha investigación. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla X. Se puede observar que, a mayor temperatura, el índice de yodo va aumentando y por ende, su capacidad de adsorción. Esta tendencia afirma que conforme la temperatura aumenta, los elementos tales como hemicelulosa, celulosa y lignina van desapareciendo y esto favorece a que la capacidad de adsorción sea la máxima. Adicionalmente,

a mayores temperaturas se obtiene una mejor carbonización y una mayor deshidratación de la materia orgánica proveniente del endocarpio de coco, provocando que aumente la porosidad del carbón.

Sin embargo, se obtuvieron valores de índice de yodo bajos en algunos casos, específicamente cuando se trabajó a una temperatura de 350 °C. Una razón por la cual, se obtuvieron estos resultados se debe a que a una temperatura de 350 °C no se carboniza de manera efectiva la materia y por tanto, se obtiene cierta cantidad de ceniza que desfavorece la porosidad de un carbón activado.

Al comparar el índice de yodo entre activadores químicos se puede observar que con ácido sulfúrico se obtuvieron los valores más altos. Cabe mencionar que al agregar dicho compuesto al endocarpio de coco, este comenzó a tornarse de color negro. Esto se debe a que el ácido sulfúrico tiene un gran efecto deshidratante sobre las moléculas hidrocarbonadas. Esto quiere decir que es capaz de captar sus moléculas en forma de agua, dejando libre los átomos de carbono con la consiguiente formación de carbono puro. Por dicha propiedad el ácido sulfúrico es usado comúnmente para obtener carbón activado con otras fuentes de carbón.

El segundo activador que tuvo mejores resultados fue el cloruro de calcio. Normalmente se utiliza cloruro de zinc debido a que es un agente secante más fuerte. Sin embargo, el cloruro de calcio anhidro, que fue el reactivo utilizado para esta investigación, posee la misma propiedad. Con base en los resultados, se puede afirmar que es un buen precursor para la activación química.

Por último, el ácido fosfórico obtuvo los valores bajos de índice de yodo, comparado con los otros activadores. En la bibliografía se había encontrado

que este ácido es un buen agente activante debido a sus propiedades químicas, sin embargo, no se obtuvieron los resultados deseados. Una de las posibles causas fue la de utilizar este reactivo sin saber si había sido reutilizado o si tenía años de estar envasado, lo que provoca que este ácido pierda su calidad.

5.6. Comparación con el carbón activado comercial

En la tabla XI se presenta el valor del índice de yodo para el carbón activado comercial marca Merck. Al comparar este valor con los valores obtenidos para los carbones activados se encuentra que, el que se acerca más al carbón comercial fue el carbón activado con ácido sulfúrico a una temperatura de 750 °C. Se concluye entonces que para obtener carbón activado a escala laboratorio se puede utilizar ácido sulfúrico y activarlo a la temperatura antes mencionada.

5.7. Índice de yodo en función de la temperatura

Las figuras 16, 17 y 18 se presentan las gráficas correspondientes al índice de yodo en función de la temperatura de activación, para el ácido fosfórico, ácido sulfúrico y cloruro de calcio respectivamente. Se obtuvieron modelos lineales para cada uno de los activadores químicos para saber si existe una dependencia lineal del índice de yodo con respecto a la temperatura y dichos modelos se presentan en la tabla XII. Al observar los coeficientes de correlación se puede concluir que los puntos obtenidos no corresponden a una tendencia lineal.

CONCLUSIONES

1. Se encontró que el endocarpio de coco contiene hemicelulosa, celulosa y lignina, donde el elemento que se presentó en mayor porcentaje es la hemicelulosa.
2. Se necesitan 7 horas de secado, a una temperatura de 105 °C para que el endocarpio del coco contenga el mínimo porcentaje de humedad y llegue a peso constante.
3. Se determinó por medio de un microscopio electrónico que, a mayor temperatura, la porosidad del carbón activado fue aumentando.
4. Los tratamientos que presentaron el menor valor de densidad para el carbón activado fueron con ácido sulfúrico y cloruro de calcio, ambos a una temperatura de 750 °C.
5. Se concluyó que, a mayor temperatura de activación, el índice de yodo va aumentando y, por ende, su capacidad de adsorción.
6. La temperatura óptima de activación para todos los activadores químicos fue de 750 °C
7. Al comparar el índice de yodo entre activadores químicos se determinó que con ácido sulfúrico se obtienen los valores más altos del mismo.

8. El ácido fosfórico obtuvo los valores más bajos de índice de yodo, comparado con los otros activadores químicos.
9. Al comparar el índice de yodo del carbón activado comercial marca Merck con el resto de carbones activados se encontró que el valor más cercano al carbón comercial fue el carbón activado con ácido sulfúrico a una temperatura de 750 °C.
10. Se encontró que no existe una dependencia lineal entre el índice de yodo y la temperatura de activación.

RECOMENDACIONES

1. Usar otros desechos vegetales y determinar por termogravimetría qué elementos contiene para saber si es una buena fuente para obtener carbón activado.
2. Previo a la activación, secar la materia a utilizar hasta que contenga el menor porcentaje de humedad posible.
3. Utilizar otros activadores químicos para una futura investigación.
4. Al momento de llevar a cabo la activación, verificar que los niples de hierro estén completamente cerrados y trabajar dentro de una campana de extracción.
5. Después de obtener el carbón activado, secar el mismo para eliminar la humedad que pueda absorber después de la activación.
6. Al determinar el índice de yodo, verificar que los reactivos estén estandarizados.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ahmadpour y D. D. Do. *The Preparation Of Activated Carbon From Macadamia Nutshell By Chemical Activation*. 132 p.
2. CABRERA SEIS, Jadenón Vinicio. *Guía teórica y práctica del curso de cimentaciones I*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1994. 155 p.
3. CHANG, Raymond. *Química*. 10a ed. México: McGraw-Hill, 2010. ISBN: 978-607-15-0307-7. 594 p.
4. HAMM ZAVALA, Elisa. *Ensayos sobre el empleo del mesocarpio y endocarpio de la orbignya para la producción de carbón activo*. Trabajo de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1981. 248 p.
5. HERRERA BUILES, Jhon Fredy. *El carbón activado como producto secundario del bosque*. Trabajo de Tesis de la Maestría en Bosques y Conservación Ambiental. Universidad Nacional de Colombia, 2004. 560 p.
6. LEÓN, Anundo Polanía. *Evaluación del Cuesco de palma africana y del carbón del cerrejón para producir carbón activado*. [en línea]. <<http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/rcolquim/article/view/15241/16032>>. [Consulta: mayo de 2015].

7. LEVINE, Ira N. *Fisicoquímica: Volumen 1*. 5ta ed. México: McGraw-Hill, 2004. ISBN: 84-481-3786-8. 280 p.
8. PANDOLFO, Gael; Amini-Amoli, M. y J. S. Killingley. *Activated Carbons Prepared From Shells Of Different Coconut Varieties*. Carbon, 1994. 140 p.
9. PAR JURACAN, Zarqueo. *Evaluación del comportamiento en la capacidad de absorción del carbón activo, obtenido a partir de desechos vegetales, en función de la concentración del cloruro de zinc, temperatura y tiempo de activación*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1993. 158 p.
10. Rey Mafull CA. *Carbón activado de producción nacional como antídoto en humanos*. Tesis de Máster en Ciencia de Materiales, Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales, Universidad de la Habana, 2007. 248 p.
11. RUIZ ASTURIAS, Jorge Max. *Obtención de carbón activado a partir de desechos agrícolas*. Trabajo de Graduación de Ing Química. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala 1970.
12. TOLES, Summer; Rimmer y J. C. Hower. *Production Of Activated Carbons From A Washington Lignite Using Phosphoric Acid Activation*, USA: Mc-Graw Hill. 1996. 700 p.

13. Universidad de Sevilla. *Manual de carbón activo*. [en línea]. <<http://www.elaguapotable.com/Manual%20del%20carb%C3%B3n%20activo.pdf>>. [Consulta: 28 de octubre de 2014].

14. VILLATORO DEL VALLE, Mayra del Rosario. *Obtención de carbón activo a partir de residuos vegetales mediante la utilización de atmósfera inerte y activación química*. Tesis de pregrado para conferírsele el título de: Ingeniera Química. Universidad de San Carlos de Guatemala. 1993.

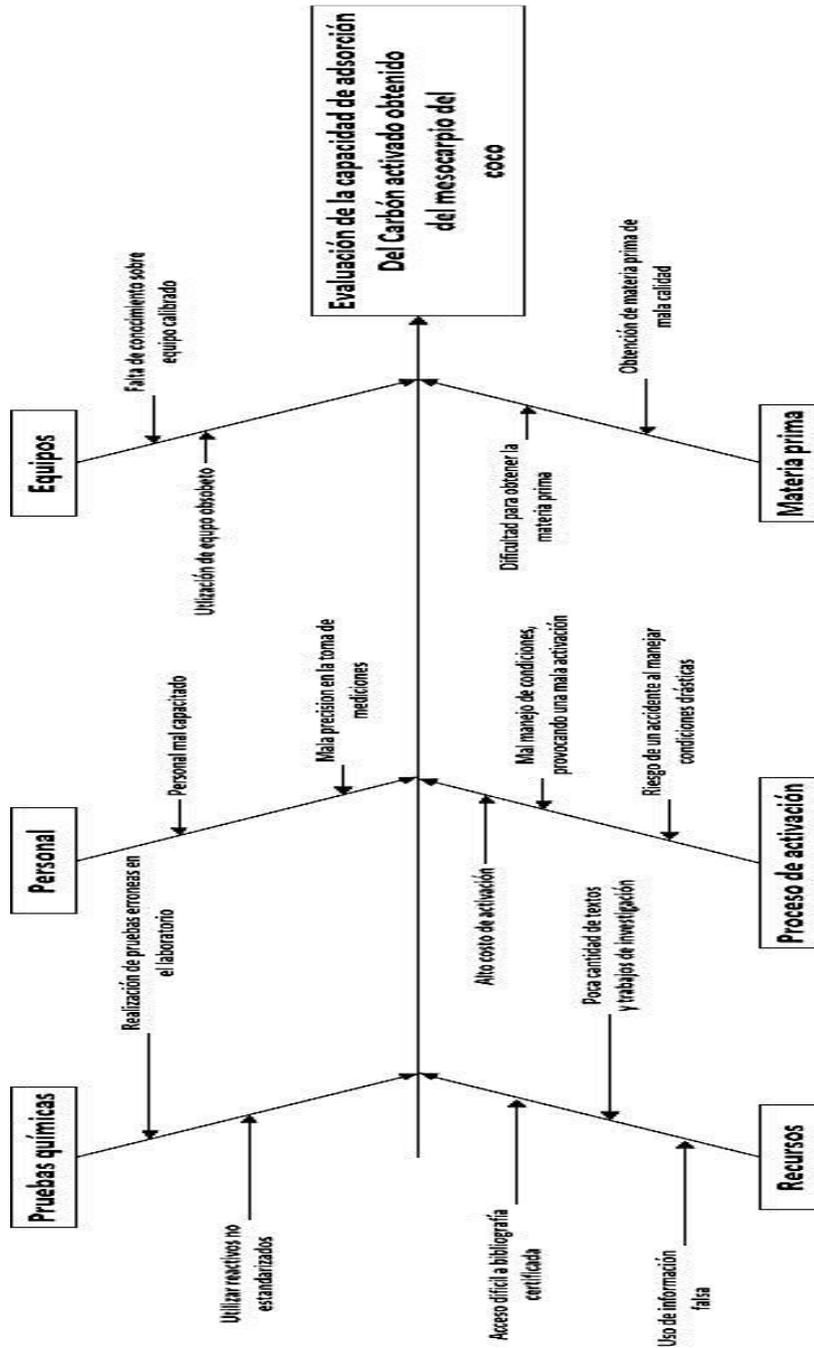
APÉNDICES

Apéndice 1. **Tabla de requerimientos académicos**

Carrera	Área	Curso	Temática
Ingeniería Química	Área de Química	Química 3	Estequiometría. Reacciones químicas.
		Química 4	Expresión de concentraciones. Equilibrio químico (generalidades)
		Química Orgánica 1	Morfología del carbón
		Análisis Cuantitativo	Yodometría
	Área de Físicoquímica	Físicoquímica 1	Equilibrio de fases.
		Laboratorio de Físicoquímica 1	Diseño experimental de una investigación.
		Cinética de procesos químicos	Ley de la velocidad: velocidad de adsorción y desorción.
	Área de Operaciones Unitarias	Transferencia de masa	Difusión, adsorción y desorción
		Operaciones unitarias complementarias IQ-6	Manejo de sólidos: Tamizado
	Área de ciencias básicas y complementarias	Estadística 1	Estadística descriptiva.
		Estadística 2	Análisis de varianza

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Metodología de cálculo

A continuación, se hará el detalle de la metodología de cálculo utilizada para obtención de los resultados de interés para la experimentación.

1.1. Curvas de Secado

- **Contenido de humedad en base seca**

$$\% X_{BS} = \frac{kg \text{ agua}}{kg \text{ solido seco}} * 100$$

1.2. Índice de yodo

La capacidad de un carbón para cualquier adsorbato es dependiente de la concentración del adsorbato en solución. Las concentraciones de la solución estándar de yodo y los filtrados deben ser especificados o conocidos. La cantidad de muestra de carbón para ser utilizado en la determinación se rige por la actividad del carbón. Si las normalidades del filtrado (C) no están dentro del rango de 0,008 a 0,040 N, se debe repetir el procedimiento utilizando diferentes pesos de carbón.

- **Concentración de yodo inicial**

Es la cantidad de yodo presente en la muestra inicial, previo a la adición del carbón activado

$$A = (N_2)(12\ 693,0)$$

Continuación del apéndice 3.

- Concentración de tiosulfato de sodio inicial

Es la cantidad de tiosulfato de sodio que se encuentra en la solución preparada.

$$B = (N_1)(126,93)$$

- Factor de dilución

Es un valor que servirá para calcular el yodo adsorbido por cada gramo de carbón activado.

$$DF = \frac{I + H}{F}$$

- Filtrado residual

. Si este valor se encuentra fuera de rango de 0,008 a 0,0334, la determinación debe ser repetida ya sea con una mayor o menor cantidad de carbón activado

$$C = \frac{N_1 \cdot S}{F}$$

- Miligramos de yodo adsorbidos por gramo de carbón activado

Se encuentra mediante el planteamiento de la isoterma de Freundlich, y con los valores mencionados anteriormente

$$X/M = \frac{[A - (DF)(B)(S)]}{M} * D$$

Continuación del apéndice 3.

D está dada en la tabla de anexos. D puede variar de 1,1625 a 0,925 y se lee con el valor de C encontrado.

Volumen de tiosulfato de sodio gastado y cantidad de carbón activado usado

	H₃PO₄			H₂SO₄			CaCl₂		
	M (g)	S (mL)		M (g)	S (mL)		M (g)	S (mL)	
350°C	2.20	15,00	14,97	2,00	8,00	8,00	2,50	9,00	9,03
		15,00			7,90			9,00	
		14,90			8,10			9,10	
550°C	2.00	13,00	13,03	1,50	12,00	12,03	1,80	10,10	10,03
		13,10			12,00			10,00	
		13,00			12,10			10,00	
750°C	1.80	8,90	8,97	1,10	14,90	14,97	1,50	11,00	10,97
		9,00			15,00			10,90	
		9,00			15,00			11,00	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Datos para obtener el índice de yodo para cada carbón activado obtenido**

	H₂SO₄			CaCl₂			H₃PO₄		
	750 °C	550 °C	350 °C	750 °C	550 °C	350 °C	750 °C	550 °C	350 °C
N1	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
N2	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
A	1 269,30	1 269,30	1 269,30	1 269,30	1 269,30	1 269,30	1 269,30	1 269,30	1 269,30
B	12,69	12,69	12,69	12,69	12,69	12,69	12,69	12,69	12,69
I	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
H	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
F	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
DF	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20
S	14,97	12,03	8,00	10,97	10,03	9,03	8,97	13,03	14,97
M	1,10	1,50	2,00	1,50	1,80	2,50	1,80	2,00	2,20
X/M	773,91	622,26	522,96	641,99	549,58	406,86	566,02	452,74	386,96
Nr	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
D	0,09	0,97	1,04	0,98	1,00	1,02	1,02	0,96	0,94
(X/M)*D	726,55	605,15	544,56	633,20	550,24	415,00	577,34	434,63	363,27

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Volumen de tiosulfato de sodio gastado y cantidad de carbón activado usado para carbón activado comercial**

Carbón marca Merck		
M (g)	S (mL)	
1,10	10,00	10,00
	9,90	
	10,10	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6.

Datos para obtener el índice de yodo para cada carbón activado comercial

	Carbón marca Merck
N1	0,10
N2	0,10
A	1 269,30
B	12,69
I	100,00
H	10,00
F	50,00
DF	2,20
S	10,00
M	1,10
X/M	900,07
C	0,02
Nr	0,02
D	0,94
(X/M)*D	844,98

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7.

Datos para la obtención de la curva peso vs tiempo

tiempo (h)	peso (g)	Xbs
1	358	0,0848
2	350	0,0606
3	340	0,0303
4	338	0,0242
5	331	0,0030
6	330	0,0000
7	330	0,0000

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. Análisis de error

El análisis estadístico se realizó mediante el uso del análisis de varianzas. El análisis de varianzas evalúa la variación de una variable independiente en función de las variaciones de la variable dependiente.

Se evaluó mediante el análisis de varianzas si las variaciones del tipo de activador químico y la temperatura de activación tienen diferencia significativa sobre el índice de yodo. El criterio utilizado fue el de la F de Fisher

Los datos obtenidos del índice de yodo se ordenaron de tal manera que los tratamientos (tipo de activador químico) fueran las filas, mientras que las columnas representan los bloques (temperatura de activación).

<i>RESUMEN</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
H3PO4	3	1 375,24	458,413333	11 880,7264
H2SO4	3	1 876,26	625,42	8 588,2447
CaCl2	3	1 598,44	532,813333	12 130,5765

350°C	3	1 322,83	440,943333	8 721,30843
550°C	3	1 590,02	530,006667	7 576,30843
750°C	3	1 937,09	645,696667	5 683,03103

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Filas	42 002,581	2	21 001,2907	42,8879	0,00198519	6,9442
Columnas	63 240,381	2	31 620,1905	64,5733	0,00090252	6,9442
Error	1 958,714	4	489,678594			
Total	107 201,677	8				

Dado que el valor de la F de Fisher es mayor que el valor crítico de F ($F > F_c$) se rechaza la hipótesis nula. Esto indica que la capacidad de adsorción medida por medio del índice de yodo de los carbones activados obtenidos mediante distintos tratamientos tiene diferencia significativa sobre los activadores y sobre las temperaturas de activación.

Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. Trituración de endocarpio de coco



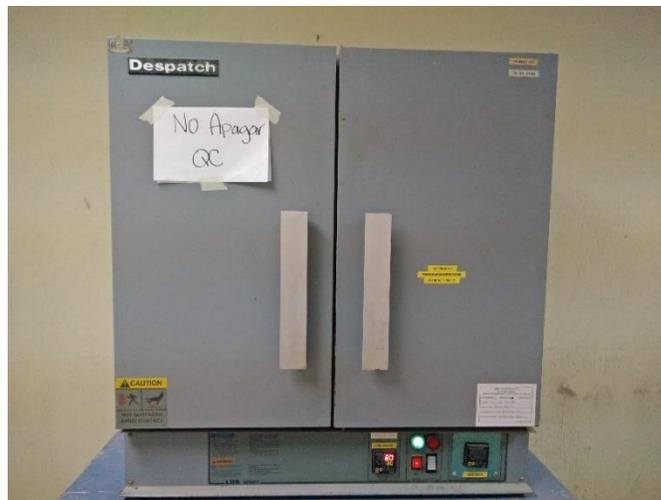
Fuente: Centro de I+D, Cementos Progreso, Planta la Pedrera.

Anexo 2. **Molino de discos utilizado para la trituración**



Fuente: Centro de I+D, Cementos Progreso, Planta la Pedrera.

Anexo 3. **Secador de bandejas**



Fuente: Centro de I+D, Cementos Progreso, Planta la Pedrera.

Anexo 4. Endocarpio de coco molido y secado



Fuente: Centro de I+D, Cementos Progreso, Planta la Pedrera.

Anexo 5. Activación del endocarpio de coco



Fuente: Centro de I+D, Cementos Progreso, Planta la Pedrera.

Anexo 6. Niple de hierro galvanizado para la activación.



Fuente: Centro de I+D, Cementos Progreso, Planta la Pedrera.

Anexo 7. Recuperación de activante químico



Fuente: Centro de I+D, Cementos Progreso, Planta la Pedrera.

Anexo 8. **Mufla utilizada para la carbonización**



Fuente: Centro de I+D, Cementos Progreso, Planta la Pedrera.

Anexo 9. **Carbón activado obtenido**



Fuente: Centro de I+D, Cementos Progreso, Planta la Pedrera.

Anexo 10. Solucion de yodo después de agregar carbón activado



Fuente: Laboratorio de análisis fisicoquímico, Facultad de Ingeniería, USAC.

Anexo 11. Solución de yodo después de agregar tiosulfato de sodio



Fuente: Laboratorio de análisis fisicoquímico, Facultad de Ingeniería, USAC.

Anexo 12. Factores de corrección para calcular el índice de yodo

CORRECTION FACTOR FOR IODINE ADSORPTION

Residual filtrate Normality	0.0000	0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005	0.0006	0.0007	0.0008	0.0009
0.0080	1.1625	1.1613	1.1600	1.1575	1.1550	1.1533	1.1513	1.1500	1.1475	1.1463
0.0090	1.1438	1.1425	1.1400	1.1375	1.1363	1.1350	1.1325	1.1300	1.1288	1.1275
0.0100	1.1250	1.1238	1.1225	1.1213	1.1200	1.1175	1.1163	1.1150	1.1138	1.1113
0.0110	1.1100	1.1088	1.1075	1.1063	1.1038	1.1025	1.1000	1.0988	1.0975	1.0963
0.0120	1.0950	1.0938	1.0925	1.0900	1.0888	1.0875	1.0863	1.0850	1.0838	1.0825
0.0130	1.0800	1.0788	1.0775	1.0763	1.0750	1.0738	1.0725	1.0713	1.0700	1.0688
0.0140	1.0675	1.0663	1.0650	1.0625	1.0613	1.0600	1.0583	1.0575	1.0563	1.0550
0.0150	1.0538	1.0525	1.0513	1.0500	1.0488	1.0475	1.0463	1.0450	1.0438	1.0425
0.0160	1.0413	1.0400	1.0388	1.0375	1.0375	1.0363	1.0350	1.0333	1.0325	1.0313
0.0170	1.0300	1.0288	1.0275	1.0263	1.0250	1.0245	1.0238	1.0225	1.0208	1.0200
0.0180	1.0200	1.0188	1.0175	1.0163	1.0150	1.0144	1.0138	1.0125	1.0125	1.0113
0.0190	1.0100	1.0088	1.0075	1.0075	1.0063	1.0050	1.0050	1.0038	1.0025	1.0025
0.0200	1.0013	1.0000	1.0000	0.9988	0.9975	0.9975	0.9963	0.9950	0.9950	0.9938
0.0210	0.9938	0.9925	0.9925	0.9913	0.9900	0.9900	0.9888	0.9875	0.9875	0.9863
0.0220	0.9863	0.9850	0.9850	0.9838	0.9825	0.9825	0.9813	0.9813	0.9800	0.9788
0.0230	0.9788	0.9775	0.9775	0.9763	0.9763	0.9750	0.9750	0.9738	0.9738	0.9725
0.0240	0.9725	0.9708	0.9700	0.9700	0.9688	0.9688	0.9675	0.9675	0.9663	0.9663
0.0250	0.9650	0.9650	0.9638	0.9638	0.9625	0.9625	0.9613	0.9613	0.9606	0.9600
0.0260	0.9600	0.9588	0.9588	0.9575	0.9575	0.9563	0.9563	0.9550	0.9550	0.9538
0.0270	0.9538	0.9525	0.9525	0.9519	0.9513	0.9513	0.9506	0.9500	0.9500	0.9488
0.0280	0.9488	0.9475	0.9475	0.9463	0.9463	0.9463	0.9450	0.9450	0.9438	0.9438
0.0290	0.9425	0.9425	0.9425	0.9413	0.9413	0.9400	0.9400	0.9394	0.9388	0.9388
0.0300	0.9375	0.9375	0.9375	0.9363	0.9363	0.9363	0.9363	0.9350	0.9350	0.9346
0.0310	0.9333	0.9333	0.9325	0.9325	0.9325	0.9319	0.9313	0.9313	0.9300	0.9300
0.0320	0.9300	0.9294	0.9288	0.9288	0.9280	0.9275	0.9275	0.9275	0.9270	0.9270
0.0330	0.9263	0.9263	0.9257	0.9250	0.9250					

Reprinted from B 600-78 — AWWA Standard for activated carbon, by permission.
Copyright © 1978, the American Water Works Association.

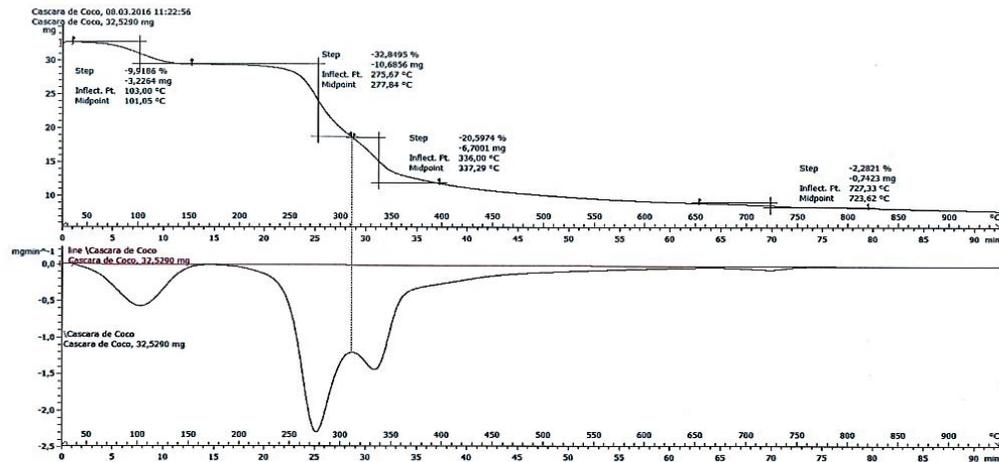
Fuente: American Water Associations. *Test methods for activated carbon*, p. 25.

Anexo 13. Informe de ensayo obtenido en Cementos Progreso

 <p>CEMENTOS PROGRESO S. A. CENTRO TECNOLÓGICO 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 22864178 Fax: 22864181 cctec@cempro.com</p>		OT	27895
		FECHA	2016-04-06
		PÁGINA	1 DE 1
		ÁREA DE LAB.	QC
Cliente	CENTRO DE I + D / CETEC	Procedencia	ESCUINTLA
Dirección	15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA	Muestra	ENCOCARPIO DE COCO (<i>Cocos nucifera</i>)
Contacto	LUIS VELASQUEZ	Analista(s)	SHILONEN CAMPOSECO
Teléfono	2286-4100	Fecha de Ensayo	08/03/2016

INFORME DE ENSAYO LABORATORIO QUÍMICO

ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO



Paso	Rango de temperatura teórica (°C)	Temperatura experimental (°C)	Masa perdida (%)	Fenómeno
1	100	103.00	9.92	Deshidratación
2	170-300	275.67	32.85	Descomposición de hemicelulosa
3	245-300	336.00	20.60	Degradación de celulosa
4	250-600	727.33	2.28	Descomposición de lignina

Observaciones: La identificación de los fenómenos de descomposición térmica fue realizada por termogravimetría en un módulo TGA 1 SF/1100/265 de Mettler Toledo, de 25°C a 950°C a una velocidad de calentamiento de 10°C/min en una atmósfera inerte de N₂ con flujo de 20ml/min.

ANALISTA:



AUTORIZADO POR:



Jefe de laboratorio / Coordinador

Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.

Fuente: Centro de I+D, Cementos Progreso, Planta la Pedrera.

Anexo 14. **Informe de ensayo para determinar la densidad específica**

	CEMENTOS PROGRESO S. A. CENTRO TECNOLÓGICO 15 Av. 18 - 01 Zona 6, La Pedrera Tel: 2286 - 4178 Fax: 2286 - 4181 laboratoriocetec@cempro.com			OT:	27969
				FECHA:	2016-04-21
				PÁGINA:	1 DE 1
				IMPRESIÓN:	2016-04-28
CLIENTE:	CENTRO DE INVESTIGACION & DESARROLLO/CETEC	CONTACTO:	LUIS VELASQUEZ		
DIRECCION	15 AVENIDAD 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA	TELEFONO	2286-4100		
PROYECTO	PRUEBAS EXPERIMENTALES PARA CARBON ACTIVADO TESIS PABLO OBREGON	ANALISTA (S)	SP	LABORATORIO	CE

INFORME DE ENSAYOS FISICOS

MUESTRA	PROCEDENCIA	NORMA ASTM	C 430	C 204	C 188
		FECHA	Fineza 325 (% Pasa)	Sup.Especifica Blaine(cm ² /g)	Densidad (g/cm ³)
1.2 ACIDO FOSFORICO 550 °C	ESCUINTLA	27/04/2016	-	-	1.60
1.3 ACIDO FOSFORICO 750 °C	ESCUINTLA	27/04/2016	-	-	1.74
2.2 ACIDO SULFURICO 550 °C	ESCUINTLA	27/04/2016	-	-	1.67
2.3 ACIDO SULFURICO 750 °C	ESCUINTLA	27/04/2016	-	-	1.46
3.2 CLORURO DE CALCIO 550 °C	ESCUINTLA	27/04/2016	-	-	1.40
3.3 CLORURO DE CALCIO 750 °C	ESCUINTLA	27/04/2016	-	-	1.46

OBSERVACIONES:

Los resultados de ensayo se refieren a las muestras presentadas por el Cliente.

SGL-CT-CE-IE-03 / Rev 0


Responsable


Jefe de Laboratorio / Coordinador

Fuente: Centro de I+D, Cementos Progreso, Planta la Pedrera.

