



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS



MODALIDAD INVESTIGACIÓN

TEMA:

“APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE CACAO Y COCO
PARA LA OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO, EN EL
CANTÓN MILAGRO, PROVINCIA DEL GUAYAS”

TRABAJO DE TITULACIÓN PRESENTADO COMO REQUISITO PREVIO PARA
OPTAR AL GRADO DE **QUÍMICAS Y FARMACÉUTICAS**.

AUTORAS:

GABRIELA ELIZABETH BURGOS CAMPUZANO
JOMAYRA LORENA JARAMILLO QUIROZ

TUTORA:

Ing. Qca. YAIMÉ DELGADO ARCAÑO, M.Sc.

GUAYAQUIL – ECUADOR

2015

APROBACIÓN DEL TUTOR

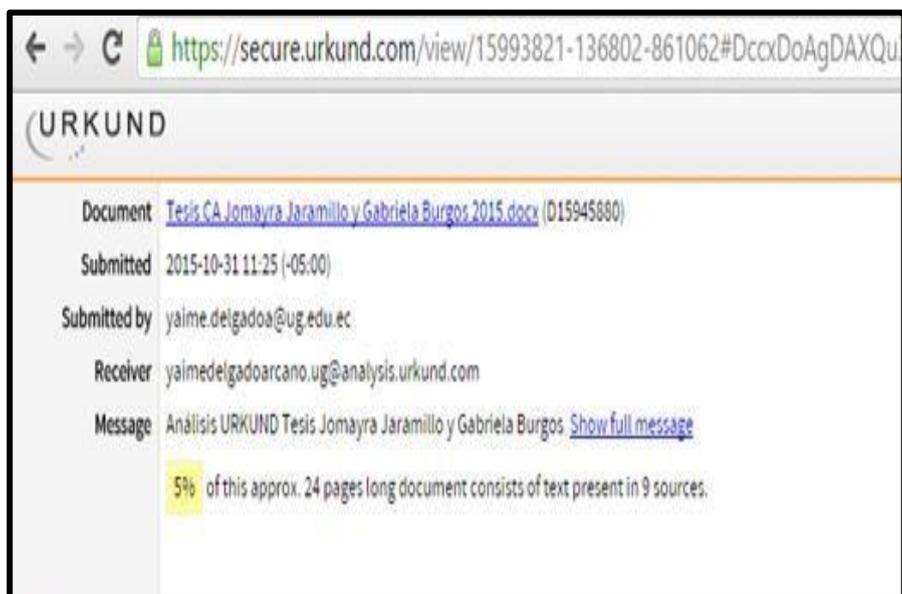
En calidad de tutora del Trabajo de Titulación, Certifico: Que he asesorado, guiado y revisado el trabajo de titulación en la modalidad de investigación, cuyo título es, “APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE CACAO Y COCO PARA LA OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO, EN EL CANTÓN MILAGRO, PROVINCIA DEL GUAYAS”, presentado por **GABRIELA ELIZABETH BURGOS CAMPUZANO**, con cédula de ciudadanía **N° 0924210677** y **JOMAYRA LORENA JARAMILLO QUIROZ**, con cédula de ciudadanía **N° 0921976775** , previo a la obtención del título de Química y Farmacéutica.

Este trabajo ha sido aprobado en su totalidad y se adjunta el informe de Antiplagio del programa URKUND. Lo Certifico.

Guayaquil, 4 de Noviembre del 2015



Ing. Qca. Yaimé Delgado Arcaño, MSc.
TUTORA DE TESIS

INFORME DE ANTI-PLAGIO DEL PROGRAMA URKUND

The screenshot shows a web browser window with the URL <https://secure.orkund.com/view/15993821-136802-861062#DccxDoAgDAXQu>. The page header displays the URKUND logo. The main content area lists the following details:

- Document:** [Tesis CA Jomayra Jaramillo y Gabriela Burgos 2015.docx](#) (D15945680)
- Submitted:** 2015-10-31 11:25 (-05:00)
- Submitted by:** yaimedelgado@ug.edu.ec
- Receiver:** yaimedelgadoarcano.ug@analysis.orkund.com
- Message:** Análisis URKUND Tesis Jomayra Jaramillo y Gabriela Burgos [Show full message](#)

A yellow highlight in the message section indicates that 5% of this approximately 24-page document consists of text present in 9 sources.

El plagio encontrado en el Proyecto de Titulación cuyo tema es “APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE CACAO Y COCO PARA LA OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO, EN EL CANTÓN MILAGRO, PROVINCIA DEL GUAYAS”, fue del 5% según lo certifica el programa del Urkund.



Ing. Qca. Yaimé Delgado Arcaño, MSc.
TUTORA DE TESIS

CERTIFICADO DEL TRIBUNAL**Acta de Registro de la Sustentación Final**

El Tribunal de Sustentación del Trabajo de Titulación de la Srta. **GABRIELA ELIZABETH BURGOS CAMPUZANO** y la Srta. **JOMAYRA LORENA JARAMILLO QUIROZ**, después de ser examinado en su presentación, memoria científica y de defensa oral, da por aprobado el Trabajo de Titulación.

**Q.F. LEYLA PRÍAS MOGRO, M.Sc.**

DECANA - PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

**Lcdo. ADONIS BELLO ALARCÓN, Ph.D.**DOCENTE – Oponente
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**Q.F. PATRICIA ZAMBRANO MORA**DOCENTE – Oponente
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**Lcda. MIGDALIA MIRANDA MARTÍNEZ, Ph.D.**DOCENTE
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**Ing. NANCY VIVAR CÁCERES**

SECRETARIA ENCARGADA



CARTA DE AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Guayaquil, 4 de Noviembre del 2015

Nosotras, **GABRIELA ELIZABETH BURGOS CAMPUZANO Y JOMAYRA LORENA JARAMILLO QUIROZ**, autoras de este trabajo declaramos ante las autoridades de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Guayaquil, que la responsabilidad del contenido de este TRABAJO DE TITULACIÓN, nos corresponde a nosotras exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Guayaquil.

Declaramos también es de nuestra autoría todo el material escrito, salvo el que está debidamente referenciado en el texto. Además ratificamos que este trabajo no ha sido parcial ni totalmente presentado para la obtención de un título, ni en una Universidad Nacional, ni una Extranjera.


Gabriela Elizabeth Burgos Campuzano
C.I. 0924210677


Jomayra Lorena Jaramillo Quiroz
C.I. 0921976775

DEDICATORIA

A nuestros padres, hermanos, amigos y en especial a un ángel Fanny Lorena Quiroz, por brindarnos su apoyo incondicional en todo momento.

AGRADACIMIENTO

A un ser maravilloso, nuestra tutora que ha sido nuestro empuje y motivación a seguir, al Instituto Oceanográfico de la Armada por permitirnos realizar los análisis en sus instalaciones, al Dr. Luis Alfredo Burgos López por brindarnos asesoría y a todas aquellas personas que contribuyeron en la realización de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TUTOR	I
CERTIFICADO DEL TRIBUNAL.....	III
CARTA DE AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	IV
DEDICATORIA	V
AGRADACIMIENTO	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VII
ÍNDICE DE GRÁFICOS	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XI
RESUMEN.....	XII
ABSTRACT	XII
INTRODUCCIÓN	1
PROBLEMA	3
Planteamiento del Problema	3
Formulación del Problema.....	4
Justificación.....	4
OBJETIVO.....	5
Objetivo general	5
Objetivos específicos.....	5
HIPÓTESIS	5
VARIABLES	6
Tabla I	6
<i>Variable dependiente e independiente</i>	6
CAPÍTULO I	7
1.1. Marco teórico	7
1.1.1. Antecedentes.....	7
1.2. Fundamentos teóricos.....	11
1.2.1. <i>Química verde</i>	11
1.2.2. <i>Biomasa y residuos lignocelulósicos</i>	12
1.3. Carbón activado	13

1.3.1	<i>Propiedades físicas y químicas de los carbones activados</i>	14
1.3.2	<i>Tipos de carbones activados</i>	16
1.3.3	<i>Usos del carbón activado</i>	17
1.3.4	<i>Fuentes de obtención de carbón activado</i>	18
1.3.5	<i>Métodos de obtención del carbón activado</i>	18
1.3.6	<i>Importación de carbón activado en el Ecuador</i>	20
1.4.	Materias primas empleadas en este trabajo para obtener el carbón activado: cáscara de coco y cáscara de cacao.	21
1.4.1.	<i>Cacao (Theobroma cacao L.)</i>	21
1.4.1.	<i>Coco (Coco nucifera L.)</i>	26
1.5.	Glosario: Definición de términos básicos	29
CAPÍTULO II		32
1.6.	Metodología de la investigación	32
1.6.1.	<i>Métodos científicos empleados en la investigación</i>	32
2.2	Metodología	32
2.2.1.	<i>Localización del experimento</i>	33
2.3.	Unidad Experimental	33
2.3.1.	<i>Preparación del adsorbente</i>	33
2.3.2.	<i>Modificación de la superficie del material mediante tratamiento térmico (activación física)</i>	34
2.3.3.	<i>Deshidratación y pérdida de volátiles</i>	34
2.3.4.	<i>Reducción de tamaño</i>	35
2.3.5.	<i>Lavado con agua destilada y secado del material</i>	35
2.4.	Comprobación del poder adsorbente del carbón activado	35
2.4.1.	<i>Preparación del adsorbato (azul de metileno)</i>	36
2.4.2.	<i>Control de calidad</i>	36
2.5.	Materiales y reactivos	37
2.5.1.	<i>Materiales y Equipos</i>	37
2.5.2.	<i>Reactivos</i>	37
2.6.	Tipo de Investigación	37
2.7.	Diseño experimental de la investigación	37
2.8.	Población y muestra	38

2.9. Diagrama de flujo para la obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco y cáscara de cacao.	39
CAPÍTULO III.....	40
3.1. Recolección de datos: análisis e interpretación de resultados	40
3.1.1. Caracterización físico - química de la materia prima sin procesar.....	40
3.1.2. Resultados del diseño experimental.....	41
3.1.3. Pesos de la materia prima para la obtención de carbón activado.	42
3.1.4. Rendimiento de la Materia Prima.....	43
3.1.5. Parámetros de Calidad del Carbón Activado Obtenido.....	44
3.1.6. Prueba de adsorción con azul de metileno al carbón activado obtenido.	47
CONCLUSIONES.....	51
RECOMENDACIONES	52
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
ANEXOS.....	57

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico I: Rendimiento de la cáscara de coco y el de la cáscara de cacao	44
Gráfico II: Porcentaje de humedad del carbón activado obtenido con relación al carbón activado comercial.....	45
Gráfico III: Porcentaje de ceniza del carbón activado obtenido con relación al carbón activado comercial.....	46
Gráfico IV: Determinación de la Densidad aparente del carbón activado obtenido con relación al carbón activado comercial.....	47
Gráfico V: Absorbancia de azul de metileno en carbón activado de coco.....	48
Gráfico VI: Absorbancia de azul de metileno en carbón activado comercial.....	49
Gráfico VII: Absorbancia de azul de metileno en carbón activado de cacao	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I: Variable dependiente e independientes	6
Tabla II: Aplicaciones industriales del carbón activado	17
Tabla III: Composición química de la cáscara de la mazorca de cacao.....	26
Tabla IV: Composición del cacao.....	27
Tabla V: Composición del coco.....	28
Tabla VI: Composición del albumen del coco.....	28
Tabla VII: Diseño Experimental- Temperatura Vs. Tiempo de la Cáscara de coco y Cacao	38
Tabla VIII: Caracterización de la materia prima.....	41
Tabla IX: Resultados de las mejores condiciones para obtener carbón activado	42
Tabla X: Pesos para la obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco y cáscara de cacao	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I. Estructura de un carbón activado	13
Figura II. Representación esquemática de la estructura de un carbón activado.	13
Figura III. Gránulo de carbón activado.....	14
Figura IV. Principales grupos funcionales presentes en la superficie de un carbón activado.....	15
Figura V. Tipos de Carbones Activados	16
Figura VI. Importaciones de Carbón activado en el Ecuador año 2014	20
Figura VII. Cacao Nacional y CCN – 51	22
Figura VIII. Exportaciones ecuatorianas de Cacao 2006-2011	23
Figura IX. Evolución de las exportaciones totales de cacao.....	24
Figura IX. Exportaciones de Cacao en Grano 2014 – Principales países de Destino.....	24

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1	57
Anexo 2.....	61
Anexo 3.....	63
Anexo 4.....	65

RESUMEN

El presente trabajo consiste en aprovechar los residuos de las cáscaras de cacao y coco provenientes del cantón Milagro, provincia del Guayas, para la obtención de carbón activado. Se realizó un diseño experimental, variando temperaturas y tiempo para analizar la influencia de ambas variables en la calidad de adsorción, la cual se comprobó mediante parámetros técnicos. Para ambas materias primas las mejores condiciones de tratamiento fueron a 200°C por 120 minutos, obteniendo la carbonización total. Partiendo de 500 g en peso seco de ambas materias primas, se obtuvo un rendimiento de carbón activado de 36.8% a partir de la cáscara de coco y de 30% a partir de la cáscara de cacao. En los análisis de humedad, cenizas totales y densidad aparente, se obtuvo los siguientes resultados: coco 9,84%, 12,75 % y 0,40 g/ml respectivamente, cacao 15,41%, 27,12% y 0,23 g/ml y en carbón activado comercial 19,2%, 12,3% y 0,29 g/ml. Esto indica que el carbón activado de coco está dentro de los rangos según los requisitos de la norma INEN 1991:94 para carbón activado en polvo y el cacao está fuera del rango. En la prueba de adsorción con azul de metileno, la concentración del carbón activado de coco va disminuyendo conforme avanza el tiempo, mientras que en el carbón activado de cacao no hay mucha diferencia de concentración entre 3 y 6 horas. Finalmente observamos que con el carbón activado comercial la concentración del azul de metileno disminuye considerablemente entre 1, 3 y 6 horas. Con los resultados de este trabajo se concluye que el carbón activado a partir de la cáscara de coco es mejor que el de cacao, presentando un mayor rendimiento y cumple con los requisitos de la Norma INEN 1991:24.

Palabras claves: Adsorción, Cáscara de Coco, Cáscara de Cacao, Azul de Metileno, Humedad, Cenizas Totales y Densidad Aparente.

ABSTRACT

This work is to harness waste from cocoa and coconut shells from the canton Milagro, Guayas province, to obtain activated carbon. An experimental design was carried out, varying temperatures and time to analyze the influence of both variables in the quality of adsorption, which was checked by technical parameters. For both materials the best treatment conditions were at 200 ° C for 120 minutes to obtain total carbonization. I based on 500 g dry weight of both raw materials, activated carbon performance of 36.8% from coconut shell and 30% from the cocoa shell was obtained.

In moisture analysis, bulk density and total ash, the following results were obtained: 9.84% coconut, 12.75% and 0.40 g / ml respectively, cocoa 15.41%, 27.12% and 0, 23 g / ml and commercial activated carbon 19.2%, 12.3% and g / ml. This indicates that the coconut activated carbon is within the ranges as required by the standard INEN 1991: 10 for powdered activated and cocoa coal is out of range. In the adsorption test with methylene blue, the concentration of activated coconut charcoal decreases as time passes, while the activated carbon cocoa not much difference in concentration between 3 and 6 hours. Finally we note that commercial activated carbon with the concentration of methylene blue is considerably lower among 1, 3 and 6 hours. With the results of this study it is concluded that activated from coconut shell charcoal is better than cocoa, featuring higher performance and meets the requirements of Standard INEN 1991: 24.

Keywords: Adsorption, coconut shells, cocoa shells, Methylene Blue, humidity, total ash and Bulk Density.

INTRODUCCIÓN

Ecuador exporta alrededor del 70% de la producción mundial de cacao fino de aroma y a su vez es un gran productor de coco. La problemática luego de la cosecha es la excesiva acumulación de cáscaras. Estos desechos pueden ser empleados para transformarlos en productos que le aporten mayor valor agregado, como: sustancias nitrogenadas, grasas, fibras, combustible, harina, abono y además la obtención de carbón activado.

Según el Banco Central del Ecuador (BCE), el país en el 2014 importó carbón activado con un total de egreso de \$1.991.570 dólares de más de 15 países. Esta situación debe revertirse a corto o mediano plazo. El gobierno actual incentiva la transformación de la matriz productiva. Este cambio convertirá al país en generador y exportador de mayor valor agregado a través del aprovechamiento del conocimiento y el talento humano, asegurando de esta manera el Buen Vivir.

El carbón activado tiene propiedad adsorbente por lo que la aplicación más utilizada es en tratamiento de aguas residuales, eliminando los metales pesados con alta efectividad. No obstante, su alto costo hace que su aplicación sea limitada a nivel industrial. Por lo que se han desarrollado otras alternativas como materiales adsorbentes.

Los estudios para desarrollar nuevos adsorbentes se han enfocado a producir carbón activado a partir de materiales de desecho. Se han preparado carbones activados a partir del bagazo de caña de azúcar, cáscara de coco, cáscara de cacao, cáscara de naranja, entre otros más. Los desechos agroindustriales presentan alto contenido de material lignocelulósico, por lo que pueden ser una fuente importante para la obtención de adsorbentes. Además que son económicos y se producen en grandes cantidades, dando como resultado adsorbentes de bajo costo.

Este proyecto tiene como finalidad obtener carbón activado a partir de materia nacional: cáscara de cacao y cáscara de coco.

Para llevarlo a cabo se ha propuesto los siguientes objetivos específicos:

- ✓ Evaluar cómo influye la temperatura y el tiempo en la obtención del carbón activado, a través de un diseño experimental.
- ✓ Establecer los parámetros de calidad del carbón activado obtenido.
- ✓ Comparar los carbones activados obtenidos con una muestra comercial.

El presente trabajo consiste en aprovechar la cáscara de la mazorca de cacao y la cáscara de coco para la obtención de carbón activado, mediante una activación física de las cáscaras. El proceso para desarrollar este material adsorbente servirá como referencia para otros estudios tanto a nivel artesanal como industrial.

PROBLEMA

Planteamiento del Problema

Ecuador siendo uno de los mayores exportadores de cacao a nivel mundial y productor de coco, carece de una agroindustria que utilice los desechos que se generan, para transformarla en un producto sustentable de un material con mayor valor agregado, como: sustancias nitrogenadas, grasas, cenizas, fibras, combustible, harina, abono y además la obtención de carbón activado.

Una de las situaciones que ocurre con mayor frecuencia en la industria de coco y cacao del Ecuador es la gran acumulación de cáscaras de estos productos como desechos. Algunos de los usos que pueden tener estos residuos es su aprovechamiento para obtener carbón activado de distintas grados de adsorción para usos como: descontaminantes de aguas, recuperación de solventes, control de emisiones, decoloración de líquidos, eliminación de olores, soportes catalíticos, entre otros usos (Bastidas, Buelvas, Márquez, & Rodríguez, 2009).

Otra problemática es la cantidad de dinero que hay que invertir al importar el carbón activado, pudiendo elaborarse este producto en nuestro país, lo que conlleva a un ahorro de divisas y generación de empleo.

En el país abundan las especies *Theobroma cacao*, y *Cocos nucifera L.* La explotación de estos recursos genera grandes cantidades de residuos, por lo que puede ser favorable su empleo en la obtención de carbón activado. Este trabajo se enfocará en elaborar carbón activado empleando el mismo procedimiento en ambas materias primas.

Formulación del Problema

Luego de este planteamiento, surge la siguiente interrogante:

¿Es posible obtener carbón activado a partir del aprovechamiento de los residuos de la cáscara de coco y cacao?

Justificación

Las cáscaras de coco y cacao son residuos lignocelulósicos procedentes de la agricultura, mediante el cual se puede obtener carbones activados. La obtención del carbón activo a partir de este tipo de desechos beneficiará al campo industrial a nivel agrícola, debido que al aprovechar un producto de origen orgánico que es considerado como residuo, se lo puede tratar para la obtención de adsorbente y finalmente comercializarlo.

La demanda creciente de estos adsorbentes ha incentivado la búsqueda de nuevas fuentes de materias primas, de disponibilidad segura y bajo costo, centrándose la atención especialmente en materiales renovables. En ese sentido, residuos agroindustriales, tales como cáscaras de coco y cacao, han sido investigados como precursores mediante diferentes técnicas de activación.

El Ecuador es uno de los mayores productores de coco y cacao. De los exportadores a nivel mundial, Ecuador tiene una participación del 63% (Ponce Cevallos, 2015). Es indispensable el aprovechamiento de los residuos orgánicos que se generan en la agroindustria, para el incremento del valor agregado a la actividad de producción de cáscara de coco y cacao. De este modo aumentarían los ingresos económicos, surgirían nuevos empleos y se reducirían las importaciones.

Todo desecho orgánico sufre un proceso de degradación que pueden actuar como contaminante. Al sacarle provecho aportaría de forma positiva al medio ambiente (Ruiz Cortines, 2012).

En este trabajo se estudiará el carbón activado obtenido a partir de las cáscaras de coco y cacao, empleando el método de activación física. Se enfocará en hacer un estudio comparativo del grado de adsorción y eficacia del carbón activado como resultado de la transformación de los residuos orgánicos.

OBJETIVO

Objetivo general

Obtener carbón activado a partir de materia prima nacional: cáscara de cacao y cáscara de coco.

Objetivos específicos

- ✓ Evaluar cómo influye la temperatura y el tiempo en la obtención del carbón activado, a través de un diseño experimental.
- ✓ Establecer los parámetros de calidad del carbón activado obtenido.
- ✓ Comparar los carbones activados obtenidos con una muestra comercial.

HIPÓTESIS

“Se puede aprovechar los residuos de cáscara de coco y cacao para obtener carbón activado nacional, en nuestras condiciones. Empleando la misma metodología con buenos rendimientos y similar calidad”.

VARIABLES

Tabla I

Variable dependiente e independiente

VARIABLE	CONCEPTUALIZACIÓN	INDICADOR-MEDICIONES
Dependiente	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Parámetro de calidad del carbón activado: Material poroso absorbente, que cumple con parámetros de calidad (cenizas, humedad y densidad aparente), dispuestos en normas. ✓ Rendimiento: Es la relación entre el rendimiento real y el rendimiento teórico, multiplicada por 100. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Los valores del porcentaje de humedad para carbón activado en polvo y granular debe ser máximo un 12%. ✓ Los valores del porcentaje de cenizas totales para carbón activado en polvo y granular debe ser máximo un 12% ✓ La densidad aparente para carbón activado en polvo y granular debe ser máximo de 0,20 g/cm³
Independiente	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Temperatura: Es una propiedad de la materia que está relacionada con la sensación de calor o frío que se siente en contacto con ella. ✓ Tiempo: Una magnitud física fundamental, el cual puede ser medido utilizando un proceso periódico, entendiéndose como un proceso que se repite de una manera idéntica e indefinidamente. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ El carbón se activa a temperaturas cercanas a 500°C. La temperatura se expresa en grados centígrados (°C). ✓ El tiempo se expresa en minutos.

CAPÍTULO I

1.1. Marco teórico

1.1.1. Antecedentes

En el 2007 fue realizado un trabajo investigativo en la Universidad Azcapotzalco de México (UAM), con el título “Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco”, por Donaciano L., González A., Gordon M., Martín

M. Se presentó un estudio sobre la obtención de carbón activado mediante la activación física y química de la cáscara de coco, además de una propuesta del diseño teórico de una unidad piloto. Esta investigación tuvo como base un horno rotatorio para la obtención de carbón activado, material que tiene un alto valor agregado, a partir de la cáscara del coco, materia prima nacional, de menor valor y que México posee en abundancia. La unidad piloto constó de tres partes: a) el molino, b) el horno rotatorio y c) la cámara de enfriamiento. El diseño propuesto utilizó materiales fabricados en el país, con costos accesibles y una capacidad de producción de media tonelada de carbón cada seis horas. Por otro lado, utilizaron vapor de agua como agente de activación, el cual es más económico y menos corrosivo que los agentes químicos lo que puede facilitar y simplificar el proceso. (Donaciano, González, Gordon & Martín, 2007)

En el 2011 fue presentado en la Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas de la Universidad Industrial de Santander de Bucaramanga, un estudio denominado “Aprovechamiento de la cáscara de la mazorca de cacao como adsorbente”, por Ardila C. y Carreño Jerez C. La investigación consistió en la implementación de un tratamiento térmico para la modificación química de la superficie de la cáscara de mazorca de cacao. Las pruebas de adsorción de soluciones de azul de metileno y sulfato de cobre presentaron una remoción de más de 99% del adsorbato en 10 minutos y 20 minutos respectivamente. En el caso de las soluciones de hierro, cromo y níquel se observó remociones de 99%, 43% y 88%, respectivamente en 60 minutos. Mediante pruebas de

espectrofotometría UV-VIS y adsorción atómica se determinó cuantitativamente la capacidad de adsorción del material. Este trabajo demostró que es posible obtener un adsorbente a partir de la cáscara de mazorca de cacao por medio del tratamiento térmico del material. Tomando en cuenta que la velocidad de adsorción depende del adsorbato. (Ardila & Carreño Jerez, 2011)

En la investigación de Martínez de Yuso (2012) como tesis doctoral, desarrolló en la Universidad de San Jorge, Instituto del Medio Ambiente y la Sustentabilidad, un estudio con el título de “Desarrollo de carbones activados a partir de residuos lignocelulósicos para la adsorción y recuperación de tolueno y n-hexano”. El objetivo principal de la investigación fue el desarrollar carbones activados a partir de cáscara de almendra para la adsorción y recuperación de dos compuestos orgánicos volátiles, tolueno y n-hexano, en baja concentración en corrientes de gas. Se realizó una activación química con H_3PO_4 y se empleó diferentes atmósferas de activación, una inerte y otra oxidante. Los carbones activados obtenidos siguieron un diseño experimental caracterizado por diferentes técnicas analíticas e instrumentales. Los resultados de la caracterización mostraron que los carbones activados poseen altas áreas específicas (mayores de $1100m^2/g$ en muchos casos) y una gran cantidad de grupos funcionales oxigenados ácidos, resultado de la activación con H_3PO_4 . Además, las capacidades máximas de adsorción fueron de valores de más del 60% en peso para tolueno y mayores del 40% para n-hexano, que corresponden a los carbones activados obtenidos a temperaturas de activación bajas e intermedias y a ratios de impregnación medios.

Peña K., Giraldo L., Moreno J., realizaron en el Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia en el 2012, una investigación acerca de la preparación de carbón activado a partir de la cáscara de naranja. Se obtuvieron carbones activados mediante activación química a partir de cáscara de naranja. Se elaboraron diferentes concentraciones de 32%, 36%, 40% y 48% p/V, a una temperatura de 373 °K y con 3h de tiempo de residencia, obteniendo rendimientos alrededor del 36%.

Para caracterizar la textura poroso de los carbones activados se realizó la adsorción física de N₂ a 77 °K. El estudio mediante las titulaciones tipo Boehm y la determinación del fósforo residual, así como el infrarrojo (IR) permitieron analizar cómo la variación en la concentración del agente activante muestra una influencia sobre la química superficial del material carbonoso a obtener, es decir al aumentar la cantidad de agente activante se aumentan los valores de las propiedades superficiales, porque se presenta una mayor interacción con el precursor lignocelulósico, desarrollando una mayor porosidad. (Peña, Giraldo & Moreno, 2012)

Investigaciones llevadas a cabo en el Instituto Tecnológico de Aguascalientes, México por Rivera Hernández, Lara Luevano, Zertuche Silva, Montañez Muñoz, (2012), señalan que se obtuvo carbón activado a partir de tres tipos de residuos de madera, caoba, cedro y pino, como agentes de activación, ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, cloruro de calcio y cloruro de zinc a concentraciones de 5, 10, 15 y 20% en peso, luego se aplicaron doce procedimientos experimentales para obtener 48 muestras de carbón activado a la temperatura de 400°C y 48 muestras a 700°C, el tiempo de carbonización que se empleó para cada una de las muestras de residuos de madera fue de 1 hora. Concluyeron que el rendimiento de obtención de carbón activado a partir de los residuos de madera se aumenta al incrementarse el porcentaje en peso de los agentes químicos de activación en el caso del cloruro de calcio y del cloruro de zinc. Además, las eficiencias de adsorción se lograron con las sustancias de activación al 20% en peso de cloruro de calcio y cloruro de zinc para las disoluciones de ácido acético y azul de metileno. Sus resultados indicaron que los residuos de madera de caoba, cedro y pino son factibles para producir carbón activado y aplicados en industrias de la región para disminuir los contaminantes que contienen las aguas residuales.

En la investigación de Solís-Fuentes, Morales-Téllez, Ayala-Tirado, (2012) se utilizaron tres residuos agroindustriales importantes de la región central del Estado de Veracruz, México: cáscara de naranja, cascarilla de café y bagazo de caña de azúcar para la elaboración de carbón activado (CA). El proceso de obtención se realizó por activación física. También se realizó deshidratación de las muestras impregnándolas con ácido fosfórico en concentraciones de 20, 40 y 85% durante 16 horas tiempos de carbonización de 1 hora a 500°C. Los CA obtenidos de las materias primas, se evaluaron y fueron comparados las capacidades de remoción de los compuestos cromóforos de jugos de caña de primera extracción y clarificado, provenientes de un ingenio azucarero. Este estudio demostró que las mayores capacidades de adsorción se obtuvieron con el carbón activado a partir del bagazo de caña. La cascarilla de café fue el segundo adsorbente más efectivo mientras que la cáscara de naranja obtuvo resultados de relevancia menor. El precursor como agente activante más efectivo fue el ácido fosfórico con ventajas como alcanzar mayores rendimientos y capacidades de adsorción. (Solís-Fuentes, Morales-Téllez, Ayala-Tirado, 2012).

Jiménez Bustamante (2014) estudiante de la Facultad de Ciencias Químicas en Xalapa, México presentó como tesis de grado el "Aprovechamiento de residuos celulósicos de piña para la producción de carbón activado", el cual mediante activación química utilizando al ácido fosfórico como agente activante, se obtiene carbón activado. La experimentación del trabajo se realizó en dos etapas. La primera etapa consistió en la activación química de los residuos de piña, variando el volumen de agente activante (10 y 30 ml) y la temperatura de pirólisis (500, 550 y 600°C). La segunda etapa consistió en la capacidad de adsorción de los CA mediante la adsorción del azul de metileno, a partir de una solución de 100 ppm de concentración. El porcentaje de rendimiento fue el siguiente CA entre 5.50% (corona, 10 ml de ácido fosfórico, 500°C) y 11.50% (cáscara, 30 ml de ácido fosfórico, 550°C). Finalmente, para todos los CA obtenidos la capacidad de remoción del azul de metileno fue superior al 90%. Los carbones denominados mesoporosos presentan dichas características (Jiménez Bustamante, 2014).

1.2. Fundamentos teóricos

1.2.1. Química verde

La química verde es sinónimo de salud y mantenimiento ambiental alineado a buscar opciones para sintetizar sustancias químicas y así lograr un ambiente amigable.

El fundamento consiste en introducir en la fase de diseño y desarrollo de nuevas sustancias, previsiones acerca del su potencial impacto en la salud y el medio ambiente y desarrollar alternativas que minimicen dicho impacto.

Desde su inicio y decisivo impulso, en torno a 1991, la Química Verde ha desarrollado a nivel internacional como un enfoque especial en la Química. Se han creado organismos, redes, instituciones, revistas y programas educativos relacionados con la Química Verde.

La química verde se basa en 12 principios formulados originalmente a finales de los años 90 del pasado siglo por Paul Anastas y John Warner en su libro *Green Chemistry: Theory and Practice*:

- Evitar los residuos siempre será mejor que tener que tratarlos o eliminarlos luego.
- El producto acabado en los diseños de síntesis ha de incorporar el máximo posible de materiales utilizados durante el proceso.
- Minimizar la toxicidad en el diseño de los métodos sintéticos debe ser una prioridad. Idealmente no ha de tener ninguna, y en la práctica siempre ha de minimizarse en la medida de lo posible.
- Preservar la eficacia ha de ser compatible con reducir o eliminar la toxicidad.
- Uso mínimo de sustancias auxiliares (disolventes, adsorbentes, etc.), siempre optando por las más inocuas.

- Aplicar procesos a presión y temperatura ambiental con preferencia para lograr la eficiencia energética.
- Los materiales renovables siempre serán prioritarios.
- Evitar derivaciones cuando sea posible, como los grupos de bloqueo o, por ejemplo, los pasos de protección y desprotección.
- Sustituir los reactivos estequiométricos por reactivos catalíticos siempre que se pueda.
- Diseñar los productos de modo que resulten biodegradables.
- Vigilar el proceso para evitar que se formen sustancias peligrosas.
- Reducir el riesgo de accidente también mediante la selección de los procesos y las sustancias (Isan, 2015).

1.2.2. Biomasa y residuos lignocelulósicos

Se conoce como biomasa a la materia orgánica renovable causada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, aprovechable como fuente de energía. Ha resultado fundamental en la historia de la humanidad, pero con la aparición de los combustibles fósiles perdió importancia, disminuyendo su uso como fuente de energía en la industria. Hoy día, las principales aplicaciones que tiene la biomasa son con fines energéticos y térmicos, pero en ocasiones no se le da ninguna utilidad desechándose como residuos. De ahí la importancia de analizar este material como materia prima para la elaboración de nuevos productos (Martínez de Yuso, 2012).

Existen distintos tipos de residuos biomásicos como resultado de actividades industriales, agrícolas y urbanas. Dentro de la biomasa residual seca se encuentran los residuos lignocelulósicos. El material lignocelulósico está compuesto por tres polímeros: celulosa, hemicelulosa y lignina, que interactúan de forma compleja compleja, y varía según el residuo lignocelulósico del que se trate. Los residuos lignocelulósicos se originan de la agricultura y se utiliza de manera amplia en la preparación de carbones activados para el control de emisiones (Martínez de Yuso, 2012).

1.3. Carbón activado

El carbón activado es un material microcristalino, carbonoso, y no grafitico, obtenido por el proceso de carbonización a partir de materias orgánicas, que pueden ser de origen vegetal y mineral, cuyo proceso de activación puede ser mediante gases oxidantes, o adición de productos químicos, con la finalidad de propósito de ampliar su porosidad y desarrollar su superficie interna, lo que confiere una alta capacidad adsorbente (Martínez de Yuso, 2012).

Un carbón activado lo componen estructuras bidimensionales de planos hexagonales estos planos se encuentran desplazados unos respecto a otros y solapando entre sí, como se muestra en la **Figura I**, por lo que muestra una estructura altamente desordenada, es por eso que se los denomina “carbones no grafiticos” (Martínez de Yuso, 2012).

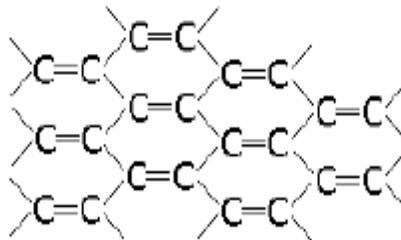


Figura I. Estructura de un carbón activado

Esta estructura del carbón activado, formada por un conjunto irregular de capas de carbono con espacios producidos por los huecos creados por el plegamiento de las capas, es lo que le confiere la porosidad. Esta estructura se muestra en la **Figura II**.



Figura II. Representación esquemática de la estructura de un carbón activado

1.3.1 Propiedades físicas y químicas de los carbones activados

La estructura porosa interna de los carbones activados es tan desarrollada y accesible a los procesos de adsorción, que le otorga su principal característica, su gran capacidad adsorbente.

Los carbones activados son materiales adsorbentes muy versátiles debido a que el tamaño y la distribución de los poros pueden ser controlados mediante la elección del precursor, el método de activación y el control de las condiciones de preparación.

De acuerdo a la clasificación de la IUPAC, los poros se clasifican en función de su tamaño de diámetro en tres grupos principales, como se muestra en la **Figura III:**

- Microporos: diámetro de poro menor de 2 nm.
- Mesoporos: diámetro de poro entre 2 nm y 50 nm.
- Macroporos: diámetro de poro mayor de 50 nm.



Figura III. Gránulo de carbón activado

Aunque los principales responsables de la adsorción en un carbón activado son los microporos, ya que son los que contribuyen en mayor medida a la superficie específica del carbón, los mesoporos y macroporos son igualmente importantes, ya que facilitan el acceso de los adsorbatos a los microporos.

Las propiedades adsorbentes de los carbones activados se deben a su estructura porosa y también se ve definitivos por su naturaleza química, ya que poseen en su estructura pequeñas cantidades de hidrógeno, oxígeno, o nitrógeno, lo que da como resultado que sustancias polares sean retenidas sobre la superficie del carbón activado. Esto es debido a que los átomos de carbono situados en los bordes no están saturados de átomos de carbono y poseen electrones libres.

En la **Figura IV** se muestran una representación esquemática de los grupos superficiales más importantes que pueden encontrarse en un carbón activado.

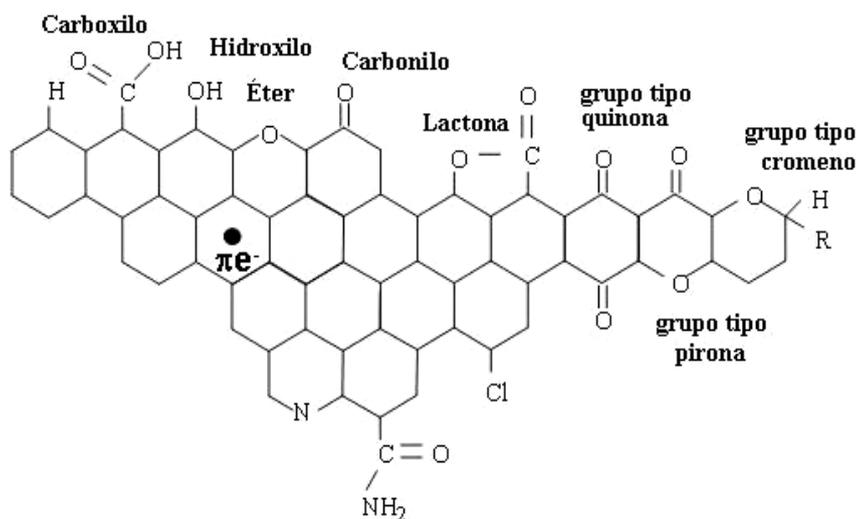


Figura IV. Principales grupos funcionales presentes en la superficie de un carbón activado

El carbón activado tiene una naturaleza química anfótera debido a la a los grupos ácidos y básicos presentes. Esto dependerá de la concentración de estos grupos y el contenido de heteroátomos que puede modificar las propiedades ácido-base de las disoluciones que se ponen en contacto con el carbón (Martínez de Yuso, 2012).

1.3.2 Tipos de carbones activados

Los carbones activados pueden clasificarse de acuerdo al tamaño de las partículas, como lo muestra la **Figura V**, existiendo dos grupos:

- **Carbón activado en polvo (CAP).**

Los CAP presentan tamaños menores a 100 nm, siendo los tamaños típicos entre 15nm y 25nm.

- **Carbón activado granular (CAG).**

Los CAG presentan un tamaño de partícula entre 1mm y 5mm. Los CAG se dividen en dos categorías:

- a) Carbón activado troceado: Los carbones activados troceados se obtienen por molienda, tamizado y clasificación de trozos más grandes.
- b) Carbón activado conformado: Los carbones conformados pueden obtenerse por extrusión de carbón en polvo mezclado con distintos tipos de aglomerantes.

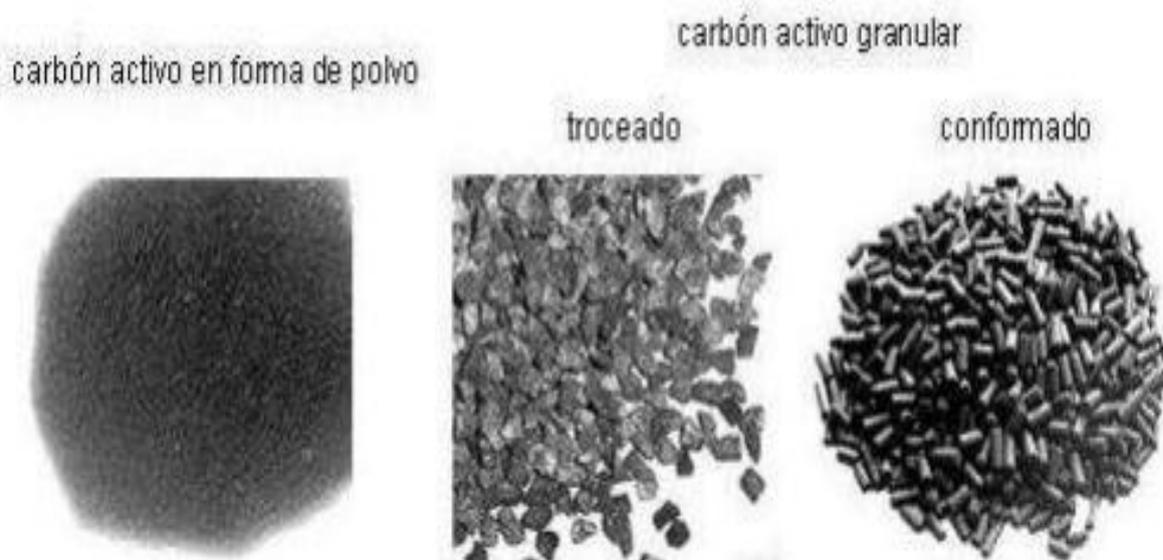


Figura V. Tipos de Carbones Activados

1.3.3. Usos del carbón activado

El carbón activado tiene como aplicaciones principales aquellas relacionadas con el tratamiento de aguas potables y residuales, industria alimenticia, y farmacéuticos, decoloración y edulcorantes, la **Tabla II** muestra las principales aplicaciones del carbón activado.

Tabla II

Aplicaciones industriales del carbón activado

Aplicacione	Descripción
Tratamiento de agua potable	Remoción de contaminantes orgánicos, emisión de olores y clarificación.
Industria alimenticia	Descolorización del vinagre, remoción de etileno de las plantas de almacenamiento de frutas.
Producción de bebidas	Remoción de grasas, sabores indeseables, aldehídos y fenoles de brandy y la cerveza.
Industria Hidrometalurgia	Recuperación de oro por proceso de carbón en pulpa, en lecho y en columna.
Industria petroquímica	Clarificación del crudo, remoción de contaminantes hidrocarburíferos, reciclaje de condensado de vapor para alimentar calderos.
Tratamiento de aguas residuales industriales	Reducción de halógenos totales de la demanda biológica (BOD) y química (COD).
Industria química	Recuperación de solventes orgánicos para reciclaje, control de emisiones de vapor, soporte para catalizar reacciones.
Medicina	Remoción de toxinas bactericidas y como antídoto para envenenamiento con alcaloides, fósforo, fenoles y hongos.
Respiradores industriales	Remoción de vapores tóxicos.
Cigarrillos	Retención de elementos perjudiciales del humo del cigarrillo, tales como la nicotina.

Fuente: Pazmiño Ayala, 2007

1.3.4. Fuentes de obtención de carbón activado

Los carbones activados más comunes son del tipo celulósico o lignocelulósico, tales como maderas, residuos de la agricultura, cáscaras de frutas, principalmente cáscara de coco, pero también es muy utilizada la cáscara de arroz y de frutos secos como de pistacho, de nuez, de almendra, de avellana o de cacahuete.

El uso como precursores de los materiales lignocelulósicos, se da debido a que al ser considerados residuos sin ninguna aplicación tienen bajo precio. Al mismo tiempo, estos son producidos en zonas aledañas a la producción de carbón activado en forma periódica por lo que va a disminuir su costo, siendo una gran ventaja a nivel económico. Otro beneficio es que su carbonización no contribuye al aumento de las emisiones de CO₂ aportando un beneficio medioambiental y además de la darle valorización de un residuo. (Martínez de Yuso, 2012).

1.3.5. Métodos de obtención del carbón activado

Al preparar carbón activado, se lo debe hacer mediante el la reacción de pirólisis en atmósfera inerte para deshidratar el material y volatilizar sustancias, mediante la carbonización, eliminando el oxígeno y el nitrógeno. El material obtenido es carbón organizados entre sí en microcristales, con huecos intersticiales taponados con residuos de carbonización y alquitranes, lo que le confiere una adsorción baja, por lo que para aumentar su adsorción se lo someterá a proceso de activación (eliminación de taponamiento de microcristales). Este proceso aumenta la superficie interna, el volumen de poro y de microporos de los carbones, aumentando la capacidad de adsorción del carbón activado. En función del agente activante empleado en el proceso, así como en el rendimiento que se obtiene, se pueden distinguir dos tipos de activaciones: **física y química** (Martínez de Yuso, 2012).

- a) **Activación física:** Se lleva a cabo en dos etapas: la carbonización del precursor y la gasificación controlada del carbonizado. La carbonización es la transformación de la materia prima a carbón en la cual se eliminan el hidrógeno y el oxígeno del precursor, para dar lugar a un esqueleto carbonoso con una estructura porosa rudimentaria. Este proceso se realiza en ausencia de oxígeno a temperaturas inferiores a 600°C.

En la activación se expone a una atmósfera oxidante a temperaturas entre 800°C y 1000°C, que elimina los productos volátiles, aumentando el volumen de poros, es decir se forman millones de poros microscópicos en la superficie del carbón.

La carbonización y la activación se realizan principalmente en hornos rotatorios construidos en acero inoxidable y materiales refractarios para soportar las altas temperaturas de activación, cercanas a 1000°C. Cuando se utiliza como materia prima un material orgánico (ya sea, cáscara de coco, huescos de frutas u otro), el proceso debe comenzar con la carbonización del material. Es en estos casos en el cual se debe optar por la fabricación de carbón activado mediante activación física. (Soto Paredes, 2007)

- b) **Activación Química:** En este caso el precursor, normalmente un material lignocelulósico como madera, se impregna con un agente químico, preferentemente ácido fosfórico (aunque también se puede utilizar cloruro de cinc), y el material impregnado se calienta en un horno a 500 - 700°C. Los agentes químicos utilizados reducen la formación de material volátil y alquitranes, aumentando el rendimiento en carbono.

El carbón resultante se lava para eliminar los restos del agente químico usado en la impregnación. Adicionalmente, estos carbones

pueden ser activados térmicamente por gasificación parcial con CO₂ o vapor de agua para obtener carbones activados con elevadas áreas superficiales (Soto Paredes, 2007).

1.3.6. Importación de carbón activado en el Ecuador

El Ecuador importa carbón activado desde más de 16 países, solo en el 2014 se tuvo un gasto de 1.991.57 dólares (Vinueza, 2014).

En la **Figura VI** nos muestra que en el 2014 el país con mayor exportación de carbón activado, es Estados Unidos con 288.32 toneladas métricas y un CIF- DÓLAR de 725.87.

SUBPARTIDA NANDINA	DESCRIPCION NANDINA	PAIS	TONELADAS	FOB-DOLAR	CIF-DOLAR	%/TOTAL FOB-DÓLAR
3802100000	CARBÓN ACTIVADO	ESTADOS UNIDOS	288.32	649.83	725.87	35.28
		SRI LANKA	132.00	343.47	364.21	18.65
		CHINA	78.81	205.33	216.09	11.15
		INDIA	70.00	151.59	162.91	8.23
		MEXICO	77.00	127.46	131.90	6.92
		COLOMBIA	16.30	93.80	95.32	5.10
		HOLANDA	13.20	86.98	89.82	4.73
		TAILANDIA	20.00	45.80	50.16	2.49
		FILIPINAS	20.00	42.04	46.25	2.29
		PERU	15.07	39.28	40.33	2.14
		BRASIL	4.03	34.83	43.45	1.90
		REINO UNIDO	0.70	12.65	15.26	0.69
		BELGICA	0.80	7.56	8.25	0.42
		TAIWAN	0.11	0.87	0.99	0.05
		ALEMANIA	0.07	0.47	0.53	0.03
		ESPAÑA	0.04	0.26	0.29	0.02
TOTAL GENERAL:			736.42	1,842.15	1,991.57	100.00

Figura VI. Importaciones de Carbón activado en el Ecuador año 2014

Fuente: <http://www.portal.bce.fin.ec>

1.4. Materias primas empleadas en este trabajo para obtener el carbón activado: cáscara de coco y cáscara de cacao.

1.4.1. Cacao (*Theobroma cacao* L.)

Las categorías más reconocidas a nivel de mercado son: cacao “fino o de aroma”, producido por árboles de cacao de variedad Criollo o Trinitario y el cacao “al granel” o “común” derivado del árbol Forastero. El 95% de la producción mundial anual es cacao al granel, el cual se produce en su mayor parte en el África, Asia y Brasil (Ponce Cevallos, 2013). El otro 5%, es del cacao fino o de aroma, para la fabricación de chocolates de alta calidad.

El Ecuador posee un chocolate de fermentación muy corta y dando con resultado un chocolate suave de buen sabor y aroma, por lo que ha sido reconocido a nivel mundial como cacao fino o de aroma

Las provincias que cuentan con una mayor superficie cosechada de cacao son Manabí, Los Ríos y Guayas, también tiene una participación Esmeraldas, el Nororiente, El Oro. Las principales provincias de la región Sierra que cultivan cacao son Cotopaxi, Bolívar, Cañar, pero en menor participación. La región que concentra la mayor superficie cosechada de cacao es la región Costa, que en el 2009 registro el 80% de la superficie total a nivel nacional (Ponce Cevallos, 2013).

El Ecuador posee más del 70% de la producción mundial de Cacao Fino y de Aroma, convirtiéndonos en el mayor productor de cacao de aroma del mundo. Del total de la exportación ecuatoriana se estima que un 80% es cacao fino de aroma mientras que el restante 20% pertenece a otras variedades como el **CCN51** (Ponce Cevallos, 2013).

A. Principales especies que se cosecha en el Ecuador:

- **Cacao Nacional Arriba:** Conocido como la pepa de oro, es procesando industrialmente para obtener semielaborados de aroma y sabor únicos del cacao ecuatoriano, y de alta calidad como: Licor, manteca, torta y polvo de cacao, con los que se logra un producto final; desde la chocolatería más fina y gourmet, hasta productos de belleza y que son de grandes beneficios confirmados para la salud humana (Moncayo, 2015).
- **CCN – 51:** Sus frutos tienen una coloración rojiza en su estado de desarrollo y en su madurez. Contienen grandes cantidades de grasa y muy poca cáscara. Es una variedad que se caracteriza por su capacidad productiva, siendo esta cuatro veces mayor a las clásicas producciones y a su vez por ser resistente a las enfermedades y por la gran productividad de los árboles obtenidos que superan en cuatro veces el rendimiento de las variedades clásicas. A partir de él se obtienen los chocolates más finos del mundo (Moncayo, 2015).



Figura VII. Cacao Nacional y CCN – 51

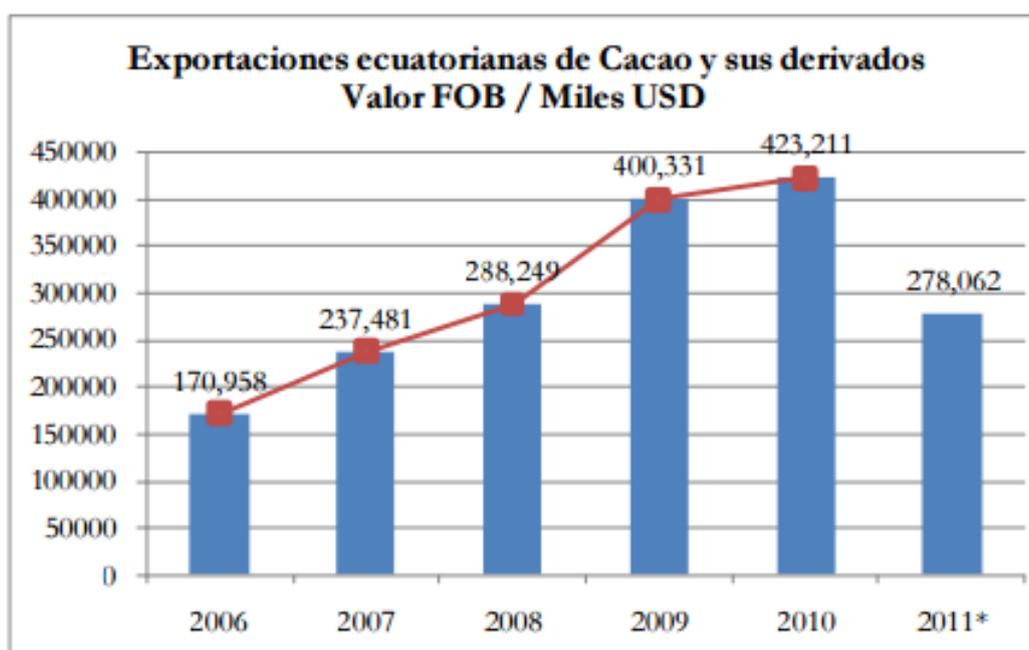
Fuente: <http://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/cacao-ccn-51-paso-de.html>

B. Exportaciones de cacao

Las exportaciones del cacao y sus derivados han registrado un crecimiento constante durante el período 2006-2010, alcanzando una Tasa de Crecimiento Promedio Anual (TCPA) de 25.45%.

En el 2010, las exportaciones ecuatorianas de este producto fueron de USD 423, 211,000 y para julio de 2011 ya se registran USD 278, 062,000. Con relación al volumen exportado, se han registrado fluctuaciones, alcanzando durante el mismo período una TCPA de 7.42%.

En el 2009 se registró un aumento del volumen exportado a 143,304 toneladas métricas, mientras que el 2010 disminuyó la cantidad exportada a 133,056 WQ (Aspiazu Coello, Castro Granda & Zambrano Vera, 2012).



*Hasta julio de 2011

Fuente: Banco Central del Ecuador (BCE)

Elaboración: Dirección de Inteligencia Comercial e Inversiones/ PRO ECUADOR

Figura VIII. Exportaciones ecuatorianas de Cacao 2006-2011

Fuente: Asociación Nacional de Exportadores de cacao



Figura IX: Evolución de las exportaciones totales de cacao 2003-2014.

Fuente: Asociación Nacional de Exportadores de cacao

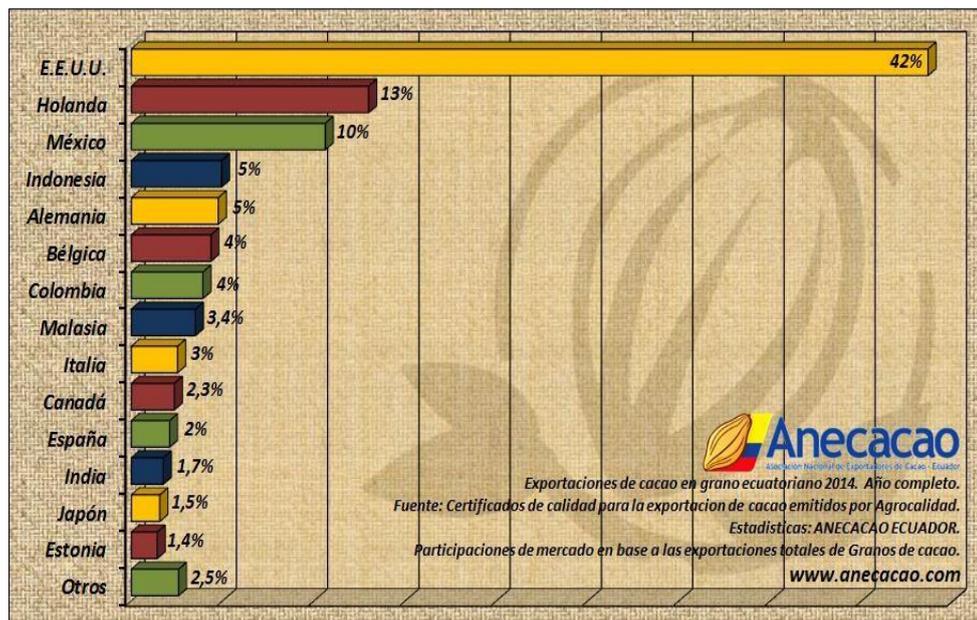


Figura X. Exportaciones de Cacao en Grano 2014 – Principales países de Destino

Fuente: Asociación Nacional de Exportadores de cacao

Los Estados Unidos de Norte América como principal socio comercial para las exportaciones ecuatorianas de cacao en grano participaron en un 42% durante el 2014, Holanda subió 2 puntos a un 13%, mientras México desciende un punto a 10% de la participación.

C. Desechos de la cáscara de cacao

La cáscara de la mazorca de cacao corresponde al 90% del fruto, siendo este el principal desecho en la producción de cacao. Tanto para industrias cacaoteras del país como del mundo, representa un grave problema deshacerse de este desecho, debido a que su actividad genera un impacto ambiental negativo.

Ante esta situación se han propuesto diversas aplicaciones para el uso de la cáscara de la mazorca de cacao entre las que se destacan el aprovechamiento como alimento para animales de granja, precursor para la elaboración de sales de potasio para jabón y obtención de carbón activado entre otras (Sanchez Castro, 2014).

Los desechos agrícolas están compuestos principalmente de lignina y celulosa y pueden incluir además otros compuestos funcionales polares como alcoholes, aldehídos y fenoles.

Los desechos agrícolas que presentan alto contenido celulósico muestran capacidad de adsorción de metales y otros contaminantes. Siendo la cáscara de cacao un desecho agrícola, la **Tabla III** nos indica los componentes que presenta dicha cáscara (Sanchez Castro, 2014).

Tabla III

*Composición química de la cáscara de cacao variedad TCS 01
Theobroma Corpoica.*

Componente	%p/p
Humedad	8.5
Proteínas	1.07
Minerales	1.41
Grasa	0.02
Fibra	5.45
Carbohidratos	7.05
N	0.171
P	0.026
K	0.545
Pectinas	0.89

Fuente: Ardila, C., Carreño Jerez, C., 2011

1.4.1. Coco (*Coco nucifera L.*)

En Ecuador existen 504,29 km² destinados al cultivo de cocotero, en las provincias de Esmeraldas y Manabí, principalmente. Las palmeras de coco producen un promedio de 80 cocos al año, esta producción depende del clima y el suelo (Andino Moscoso & Bustos, 2012).

El coco es una drupa, que consta de: el albúmen, donde se aloja el agua; el endocarpo, que envuelve al albumen, el mesocarpo y la epidermis. Mide de 20 a 30 cm y llega a pesar 2,5 kg (Lizano, 2015).

El cocotero, proporcionan a muchos pobladores rurales de alimento, bebidas, combustible y alojamiento. Aunque su uso predominante es el de la producción de copra (la carne seca del coco), de la que se obtiene aceite, muy bien cotizado en las industrias de alimentos y cosméticos, y los residuos que

quedan, se usan para pasto animal. La cáscara dura o endocarpio del coco se usa como combustible de alto valor calorífico (7500–7600 cal/g), y también sirve de materia prima para la obtención de **carbón activado** (Donaciano et al. 2007).

A. Composición del coco y cacao

Composición del cacao: La **Tabla IV** muestra la composición química de los granos de cacao.

Tabla IV

Composición del cacao variedad TCS 01 Theobroma Corpoica La Suiza 01

COMPONENTES	% MÁXIMO DE COTILEDÓN (O GRANO SIN CÁSCARA)	% MÁXIMO DE CÁSCARA
Agua	3.2	6.6
Grasa (manteca de cacao, grasa de la cáscara)	57	5.9
Cenizas	4.2	20.7
Nitrógeno total	2.5	3.2
Teobromina	1.3	0.9
Cafeína	0.7	0.3
Almidón	9	5.2
Fibra cruda	3.2	19.2

Fuente: Tabla de composición de los alimentos, DF, 1991.

Composición del coco: La **Tabla V** y la **Tabla VI** muestran la composición del coco y su albumen respectivamente.

Tabla V

Composición del coco variedad verde de Brasil (AVEB)

COMPONENTES	PORCENTAJE
Cáscara	30%
Endospermo	70%
Concha	20.5%.
Albumen o pulpa	30%.
Agua	19.5%

Fuente: Tabla de composición de los alimentos, DF, 1991.

Tomando como referencia cocos de aproximadamente 2.5 kg de peso, se puede decir que su composición es la siguiente:

Tabla VI

Composición del albumen (metabolito primario) del coco variedad verde de Brasil (AVEB)

COMPONENTES	PORCENTAJE
Agua.	44.8%
Proteína.	3.9%
Grasa.	36.5%.
Carbohidratos	4.8%
Otros componentes	10.2%

Fuente: Tabla de composición de los alimentos, DF, 1991

B. Justificación de la elección de las materias primas

Para la producción de carbón activado pueden utilizarse diferentes materiales carbonosos. Los de uso más general son los siguientes: Madera, Serrín, Turba, Lignito, cáscaras y desperdicios de las fábricas.

En este proyecto nos hemos enfocado en dos materias primas que abundan en el país, las especies *Theobroma cacao*, y *Cocos nucifera L.* La explotación de estos recursos genera grandes cantidades de residuos como son sus cáscaras las cuales puede utilizarse para la obtención de carbón activado de distintos grados de adsorción.

1.5. Glosario: Definición de términos básicos

Adsorbato: Sustancia adsorbida en la superficie de un adsorbente: el adsorbato se adhiere sobre la superficie del adsorbente por un proceso de adsorción.

Adsorción: Es el fenómeno de concentración de una sustancia (adsorbato o soluto) sobre la superficie de un sólido o un líquido (adsorbente).

Adsorción atómica: Es un método instrumental que está basado en la atomización del analito en matriz líquida y que utiliza comúnmente un nebulizador pre-quemador (o cámara de nebulización) para crear una niebla de la muestra y un quemador con forma de ranura que da una llama con una longitud de trayecto más larga, en caso de que la transmisión de energía inicial al analito sea por el método "de llama".

La niebla atómica es desolvatada y expuesta a una energía a una determinada longitud de onda emitida ya sea por la dicha llama, ó una Lámpara de Cátodo hueco construida con el mismo analito a determinar o una Lámpara de Descarga de Electrones (EDL).

Alquitranes: Sustancia bituminosa, grasa, oscura, viscosa, semisólida y de olor fuerte, que se obtiene de la destilación -en ausencia de aire- de ciertas sustancias que posean materias volátiles; fundamentalmente de la hulla, el petróleo, la turba, los huesos y de algunas maderas resinosas.

Bagazo: Residuo de una materia de la que se ha extraído el jugo.

Biomasa: Es aquella materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los residuos y desechos orgánicos, susceptible de ser aprovechada energéticamente.

Carbón activado: Es un producto obtenido a partir del carbón amorfo de origen vegetal o mineral, el cual se ha sometido a un tratamiento de activación con la finalidad de incrementar su área superficial y de esta forma multiplicar su capacidad de adsorción, pues se aumenta la cantidad de átomos disponibles para este fin y se crea una mayor superficie interna de contacto.

Cenizas totales: Residuo de materia mineral que queda después de la incineración de carbón o materiales que lo contienen, bajo condiciones específicas.

Celulosa: La celulosa es la biomolécula orgánica más abundante ya que forma la mayor parte de la biomasa terrestre, se encuentra en las paredes de las células de las plantas. Químicamente se considera como un polímero natural, formado por un gran número de unidades de glucosa ($C_6H_{10}O_5$), cuyo peso molecular oscila entre varios cientos de miles.

Cromóforos: Grupo químico de un compuesto orgánico, responsable de la absorción selectiva de la luz.

Densidad aparente: La densidad aparente de un material o un cuerpo es la relación entre el volumen y el peso seco, incluyendo huecos y poros que contenga, aparentes o no.

Espectrofotómetro UV-VIS: Equipo que permite la determinación cuantitativa de compuestos absorbentes de radiación electromagnética en solución, para longitudes de onda comprendidas entre 200 y 800nm.

Hemicelulosa: Son heteropolisacáridos, formado, en este caso un tanto especial, por un conjunto heterogéneo de polisacáridos, a su vez formados por un solo tipo de monosacáridos unidos por enlaces β (1-4), que forman una cadena lineal ramificada. Forma parte de las paredes de las células vegetales, recubriendo la superficie de las fibras de celulosa y permitiendo el enlace de pectina.

Residuos lignocelulósicos: Se encuentran en la biomasa vegetal y permiten la obtención de productos sustentables y no contaminantes del medio ambiente.

Pirólisis: Es la degradación térmica de una sustancia en ausencia de oxígeno o que se lleva a cabo con una cantidad reducida del mismo.

CAPÍTULO II

1.6. Metodología de la investigación

1.6.1. *Métodos científicos empleados en la investigación*

- a) **Métodos Teóricos:** Se empleó el Hipotético – Deductivo, así como el Analítico – Sintético y Cuantitativo, para la conformación del marco teórico que fundamenta la investigación y la formulación y demostración de la tesis planteada.

- b) **Método de la Observación Científica:** Para la selección de la materia prima de cáscara de coco y cáscara de cacao para el eficiente desarrollo del experimento.

- c) **Método matemáticos o estadísticos:** Como el Descriptivo, se utilizó para determinar las características físico – químicas y control de calidad del carbón activado obtenido de las cáscaras de coco y cáscaras de cacao, desarrollado a partir de la aplicación de técnicas analíticas propias para cada parámetro.

- d) **Método Experimental:** Para establecer las diferentes condiciones de trabajo y a partir de ellas desarrollar un diseño experimental para obtener carbón activado, determinando las mejores condiciones de tiempo y temperatura.

2.2 Metodología

En el presente capítulo se describe la metodología usada para la transformación de las cáscaras de coco y cacao en un adsorbente como lo es el carbón activado, empleando el mismo procedimiento en ambas materias primas, así mismo se describe el flujo tecnológico del proceso y los materiales que esta investigación requiere para que se logre llevar a cabo.

2.2.1. Localización del experimento

Las cáscaras de coco (*Cocos nucifera L.*) y cáscaras de cacao (*Theobroma cacao*) utilizada como materia prima para la realización del proyecto, fueron recolectadas de los rechazos de las diferentes haciendas en la producción cacaotera y cocotera en el Cantón Milagro, ciudad de Guayaquil.

La fase experimental se trabajó en el Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR), en el laboratorio de Oceanografía Química del Departamento de Ciencias del Mar.

2.3. Unidad Experimental

2.3.1. Preparación del adsorbente

- El proceso de la preparación de la materia prima inició con la recolección aleatoria de la cáscara de coco y cacao en el cantón Milagro, esta última debe realizarse máximo dos días después de cortarla y sacarle el fruto, para evitar descomposición de la cáscara de cacao (ver figura. 1 de Anexos).
- Se pesó la cáscara de coco y cacao húmeda.
- Se procedió a secar la cáscara de coco y cacao a 60°C por 72 horas para deshidratarle y retirar la humedad.
- Posteriormente se realizó una reducción de tamaño de la cáscara de cacao picándola finamente hasta pasar por un tamiz de malla de 4,0 mm. La cáscara de coco se molió con un molino de martillo. Luego se procedió a pasarla por un tamiz de malla de 4,0 mm (ver figura. 2 de Anexos).
- Luego se procedió a pesar las cáscaras de coco y cacao, molidas y secas.

2.3.2. Modificación de la superficie del material mediante tratamiento térmico (activación física)

Se introdujo 500 gramos de cáscaras de coco y cacao en cápsulas de porcelanas cerradas con papel aluminio, variando tiempo (90 minutos, 120 minutos, 150 minutos) y temperatura (150°C, 200°C, 250°C) para determinar las mejores condiciones al obtener carbón activado (ver figura.3 de Anexos).

2.3.3. Deshidratación y pérdida de volátiles

- El material obtenido se trató a 500°C por 1 hora en una mufla con el fin de retirar materiales volátiles y el agua que no reaccionó en la etapa anterior. Se obtendrá un material con aspecto de carbón (ver figura.4 de Anexos).
- A 500°C se retiran parcialmente los materiales lignocelulósicos que contienen las cáscaras de cacao y coco. Es importante tener en cuenta que el material de la cáscara de cacao se degrada a 600°C y disminuye su capacidad de adsorción, por lo que la mufla no debe alcanzar dicha temperatura (Ardila, Carreño-Jerez, 2011).

2.3.4. Preparación del adsorbato (azul de metileno)

Se pesó 0.05 g de azul de metileno, aforar en un balón a 1L con agua destilada para obtener una solución de 50 ppm del adsorbato.

Luego se procedió a las prueba de adsorción:

- En un erlenmeyer de 250 ml poner 1g de adsorbente, agregar 50 ml de azul de metileno de 50 ppm.
- Colocar una plancha de agitación magnética durante 1 hora a 200 rpm. El proceso se realiza a temperatura ambiente.

Posteriormente se realizó pruebas de reutilización:

- Separar el adsorbente del adsorbato.
- Realizar una nueva prueba de adsorción con una solución fresca de

azul de metileno de 50 ppm durante 3 horas y luego separar para otra prueba de azul de metileno de 50 ppm durante 6 horas.

- Finalmente, medir la concentración de azul de metileno con el equipo de UV-VIS espectrofotómetro (Thermo Electron Corporation Genesys 10 UV) (ver figura.11 de Anexos).

2.3.5. Reducción de tamaño

El material con aspecto de carbón se sometió a reducción de tamaño con mortero hasta lograr que el material pase por un tamiz de abertura de 0,013 pulgadas (0,39 mm) (ver figura.5 de Anexos).

2.3.6. Lavado con agua destilada y secado del material

Para retirar el residuo de lignina contenido en las cáscaras de cacao y coco se realizó un lavado con agua destilada, se utilizó una bomba, una fiola, embudo y papel filtro, hasta que el agua de lavado no presente coloración (ver figura.6 de Anexos).

Terminada esta etapa de lavado, el material se llevó a un horno precalentado a 150 °C durante dos horas para secarlo y obtener finalmente el adsorbente (ver figura. 7 y 8 de Anexos).

Observaciones:

- Al tamizar tomar en cuenta el uso adecuado de mascarillas ya que el cacao y coco generan mucho polvo.
- Ambos materiales presentaron carbonización a 200°C durante 2 horas, las muestras deben estar bien tapadas y mantenerse a temperatura constante.
- El cacao es muy sensible a 600°C. Es necesario controlar este parámetro que es muy crítico, ya que puede producirse la pérdida del material, transformándose en cenizas.

- Como requisito a cumplir el agua del lavado de ambos carbones activados debe salir transparente, no se realizaron la misma cantidad de lavados para los materiales.

2.4. Comprobación del poder adsorbente del carbón activado

2.4.1. Control de calidad

Se realizó mediante estándares de referencia ASTM (American Society for Testing and Materials), NMX (Mexican Official Standard) y NTE (Norma Técnica Ecuatoriana) (ver figura. 9 y 10 de Anexos).

- NTE INEN 1991:94. Productos químicos industriales. Carbón activado para uso industrial. Requisitos. Norma Técnica Ecuatoriana.
- NMX-F-284-SCFI-2011. Industria azucarera y alcohólica: Determinación del contenido total de cenizas en muestras de carbones activados empleados en la refinación de azúcar. Mexican Official Standard.
- NMX-F-279-SCFI-2011. Industria azucarera y alcohólica - determinación de humedad en muestras de carbones activados empleados en la refinación de azúcar. Mexican Official Standard.
- NMX-F-282-SCFI-2011. Industria azucarera y alcohólica - determinación de la densidad aparente en muestras de carbones activados empleados en la refinación de azúcar. Mexican Official Standard.
- NMX-F-301-1977. Determinación de la adsorción de azul de metileno por muestras de carbones activados empleados en la refinación de azúcar. Mexican Official Standard.

2.5. Materiales y reactivos

2.5.1. Materiales y Equipos

A. Materia Prima

- Cáscara de cacao

- Cáscara de coco

B. Equipos (ver figura 12 – 15 de Anexos)

- Mufla (Cole-Parmer)
- Tamiz (ASTM- A 11)
- Estufa (Mettler)
- Espectrofotómetro (Thermo Electron Corporation Genesys 10UV)
- Molino de martillo

2.5.2. Reactivos

- **Adsorbente:** Carbón Activado
- **Adsorbato:** Azul de metileno

2.6. Tipo de Investigación

El tipo de investigación llevada a cabo fue de tipo explicativa, junto a una investigación bibliográfica y una metodología cuantitativa. El nivel de investigación empleado fue Hipotético – Deductivo, el Analítico – Sintético.

2.7. Diseño experimental de la investigación

Se realizó un diseño experimental para determinar las mejores condiciones en la obtención de carbón activado, las muestras de las cáscaras de coco y cacao se las efectuó por triplicado, con un total de 27 experimentos. La **Tabla VII** muestra el diseño experimental, variando tiempo (90 minutos, 120 minutos, 150 minutos) y temperatura (150°C, 200°C, 250°C) respectivamente.

Tabla VII

Diseño Experimental- Temperatura Vs. Tiempo de la Cáscara de coco y Cacao

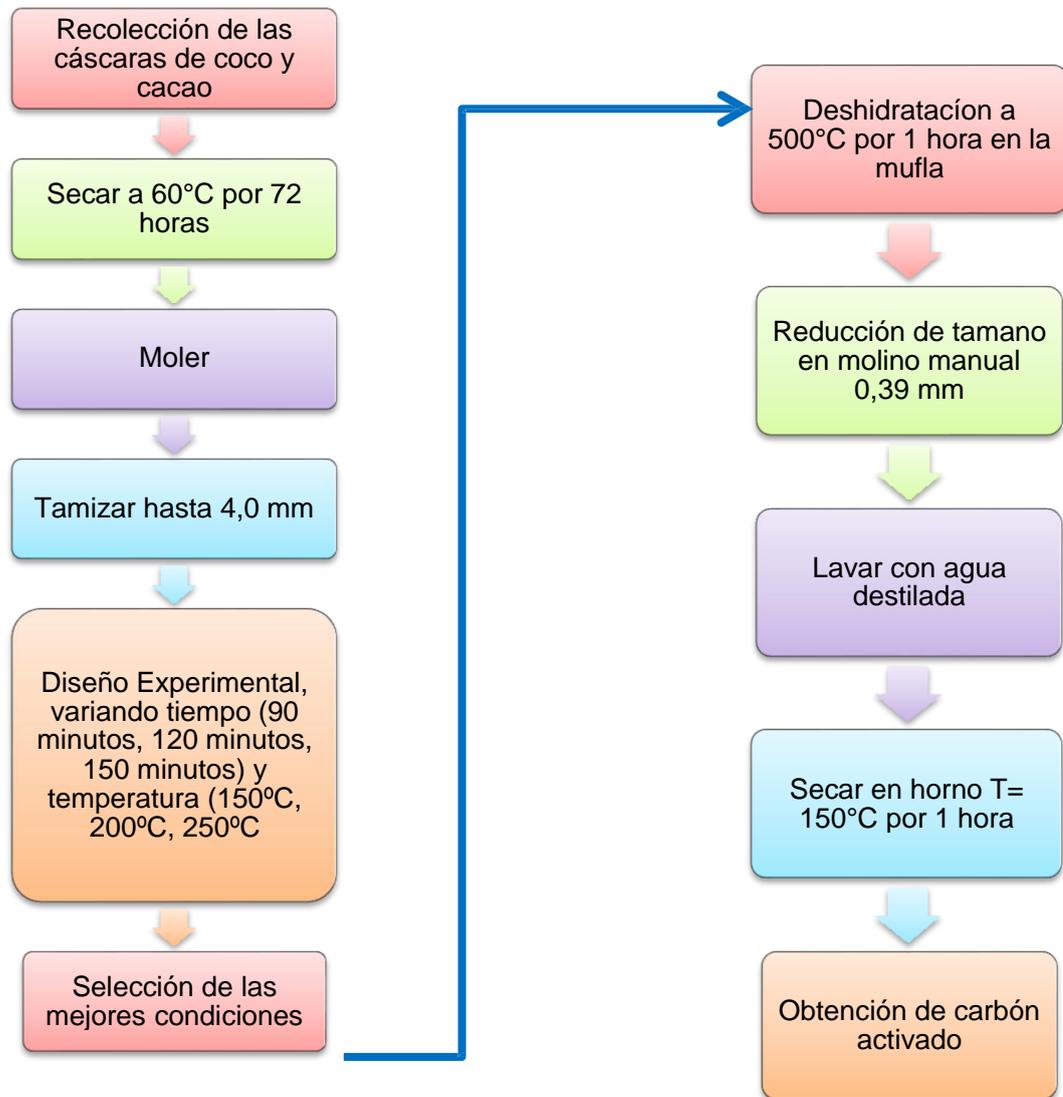
Diseño Experimental	
Temperatura	Tiempo
150°C	90 minutos
	120 minutos
	150 minutos
200°C	90 minutos
	120 minutos
	150 minutos
250°C	90 minutos
	120 minutos
	150 minutos

2.8. Población y muestra

La población de este estudio, las cáscaras de coco y cáscaras de cacao, fueron recolectadas de los rechazos de las diferentes haciendas en la producción cacaotera y cocotera en el Cantón Milagro, ciudad de Guayaquil.

El tipo de muestreo fue no probabilístico, el cual consistió en la selección aleatoria de nuestras materias primas de cáscara de coco y cacao. . Estas materias primas fueron seleccionadas en función de su accesibilidad y a criterio personal.

2.9. Diagrama de flujo para la obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco y cáscara de cacao.



CAPÍTULO III

3.1. Recolección de datos: análisis e interpretación de resultados.

En el presente capítulo se presentan los resultados de la caracterización físico – química de la materia prima y pruebas de control de calidad al carbón activado obtenido, elaborado a partir de los residuos de las cáscaras de coco y de las cáscaras de cacao. Cada uno de los ensayos se los realizó por triplicado.

3.1.1. Caracterización físico - química de la materia prima sin procesar

La caracterización físico – química de las cáscaras de coco y de las cáscaras de cacao empleados en este proyecto se realizó en los laboratorios del Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR).

En la cáscara de coco los porcentajes de humedad y de cenizas fueron menores que en la cáscara de cacao. Sin embargo, la densidad aparente fue mayor en la cáscara de coco que en la cáscara de cacao. Los resultados obtenidos se presentan en la **Tabla VIII**. Según la literatura consultada, estos tres parámetros influyen en el rendimiento y la calidad del carbón activado a obtener. En el transcurso del experimento se comprobará y analizará de qué manera inciden los mismos en el producto obtenido.

Tabla VIII

Datos promedios de la caracterización de la materia prima

Materia prima	Características físico-químicas		
	Humedad %	Ceniza %	Densidad Aparente (g/ml)
Cáscara de Coco	68,54	1,3	0,12
Cáscara de cacao	87,25	1,5	0,10

3.1.2. Resultados del Diseño Experimental

Tabla I

Resultados de las mejores condiciones para obtener carbón activado

Según el diseño experimental variando tiempo (90 minutos, 120 minutos, 150 minutos) y temperatura (150°C, 200°C, 250°C), las mejores condiciones para obtener carbón activado partiendo de cáscara de coco y de cacao se lograron a 200°C por 120 minutos, consiguiendo la carbonización total de ambas materias primas. Las condiciones de activación influyen de forma importante en las características fisicoquímicas de los carbones activados. A mayor tiempo y temperatura se produce la presencia de cenizas (250°C), a menor tiempo y temperatura no hay reacción o se presenta ligera carbonización (150°C). Los resultados de los mismos se muestran en la **Tabla IX**.

TEMPERATURA	TIEMPO	COCO	CACAO
150 °C	90 minutos	No hubo reacción	No hubo reacción
	120 minutos	No hubo reacción	No hubo reacción
	150 minutos	Se presentó carbonización	Se presentó ligera carbonización
200°C	90 minutos	No hubo reacción	No hubo reacción
	120 minutos	Carbonización total de la materia prima	Carbonización total de la materia prima
	150 minutos	Carbonización total de la materia prima, con ligera presencia de cenizas	Carbonización total de la materia prima, con ligera presencia de cenizas
250°C	90 minutos	Inicio de carbonización	Ligera carbonización
	120 minutos	Presentación de poca cenizas	Presentación de cenizas
	150 minutos	Presentación de poca cenizas	Presentación de cenizas

3.1.3. Pesos de la materia prima para la obtención de carbón activado.

Se partió de 500 g de materia seca de ambas materias primas, después de la activación físico-química aparentemente se obtuvo más carbón activado de cacao que del coco, pero luego con el agua de lavado el cacao sufre más pérdidas de peso que el coco. La función del lavado es retirar algún residuo de lignina contenido. Los resultados de los mismos se presentan en la **Tabla X**.

Tabla X

Pesos promedios para la obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco y cáscara de cacao.

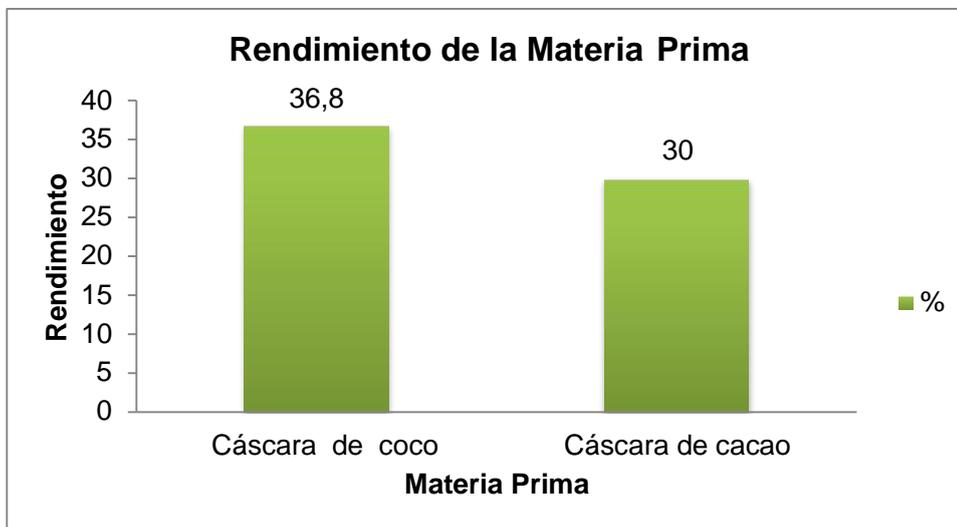
Materias Primas	Peso Húmedo (g)	Peso Seco (g)	Peso después de la activación físico-química (g)	Peso después del lavado (g)
Cáscara de coco	3527,34	500	184,70	184,01
Cáscara de cacao	3594,88	500	223,17	150

3.1.4. Rendimiento de la Materia Prima

El porcentaje de rendimiento se refiere a la diferencia en peso obtenido del material activado después del carbonizado y del lavado, con respecto al peso seco de las cáscaras de coco y cacao.

Partiendo de 500 g de peso seco de las materias primas, el rendimiento cáscara de coco fue mayor que el del cacao, tal como muestra el **Gráfico I**.

Gráfico I: Rendimiento de la cáscara de coco y el de la cáscara de cacao



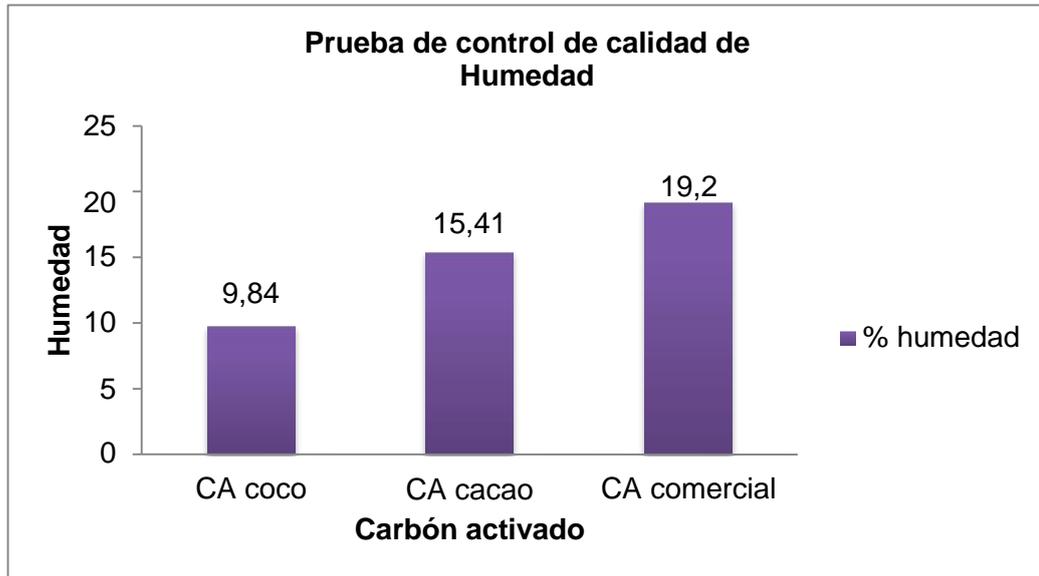
3.1.5. Parámetro de Calidad del Carbón Activado Obtenido

Se efectuaron pruebas de control de calidad de porcentaje de humedad, cenizas totales y densidad aparente a los carbones activados obtenidos a partir de la cáscara de coco y cacao. También se le realizó este procedimiento a una muestra de carbón activo comercial de origen mineral, a fin de emplearlo como patrón y poder comparar los resultados.

En el **Gráfico II** muestra el contenido de humedad que se mide como la pérdida de peso después de calentar la muestra a 150°C y se deja secar hasta lograr un peso constante.

El carbón activado de coco presentó un porcentaje de humedad de 9,84%, mientras que el de cacao obtuvo un 15,41%. Ambos valores son menores que el carbón activado comercial. La humedad influye en la calidad del carbón activado por que cuanto más baja sea la humedad, mayor será la capacidad de adsorción (Abney, 2015). El valor permitido de porcentaje de humedad del carbón activado en polvo es un máximo de 12% m/m según la Norma INEN 1991:84 (ver figura 16 de Anexos).

Gráfico II: Porcentaje de humedad del carbón activado obtenido con relación al carbón activado comercial.

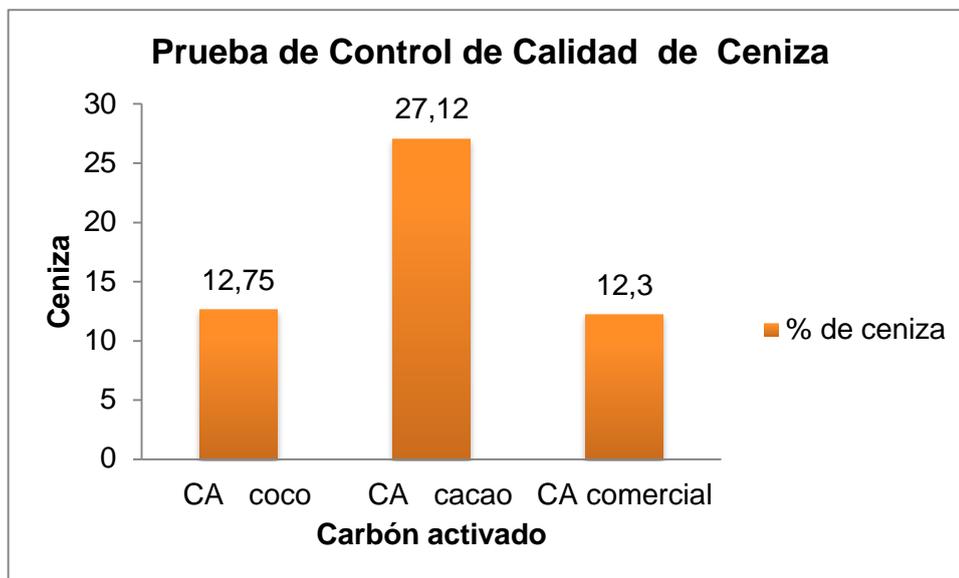


El contenido de cenizas totales es el residuo que queda después de calcinar el carbón a 650°C, hasta llegar a peso constante, y se expresa en términos de porcentaje en base seca. La cantidad y composición de las mismas puede influir y en ciertas propiedades del carbón activado.

El **Gráfico III** muestra que el carbón activado de coco presentó un porcentaje de cenizas totales de 12,75%, mientras que el de cacao obtuvo un 27,12%, el carbón comercial es similar al del coco con un 12,3%.

La presencia de cenizas significa que existen impurezas. Mientras mayor es su porcentaje, menor es la efectividad de adsorción del carbón activado (Carrillo, 2015). Esto se comprobó en la prueba de adsorción con azul de metileno.

Gráfico III: Porcentaje de ceniza del carbón activado obtenido con relación al carbón activado comercial.



Una de las propiedades físicas del carbón activo más importante es la densidad aparente. La capacidad de un carbón para ser separado por filtración se controla a través de la forma de sus partículas y de la distribución de tamaños.

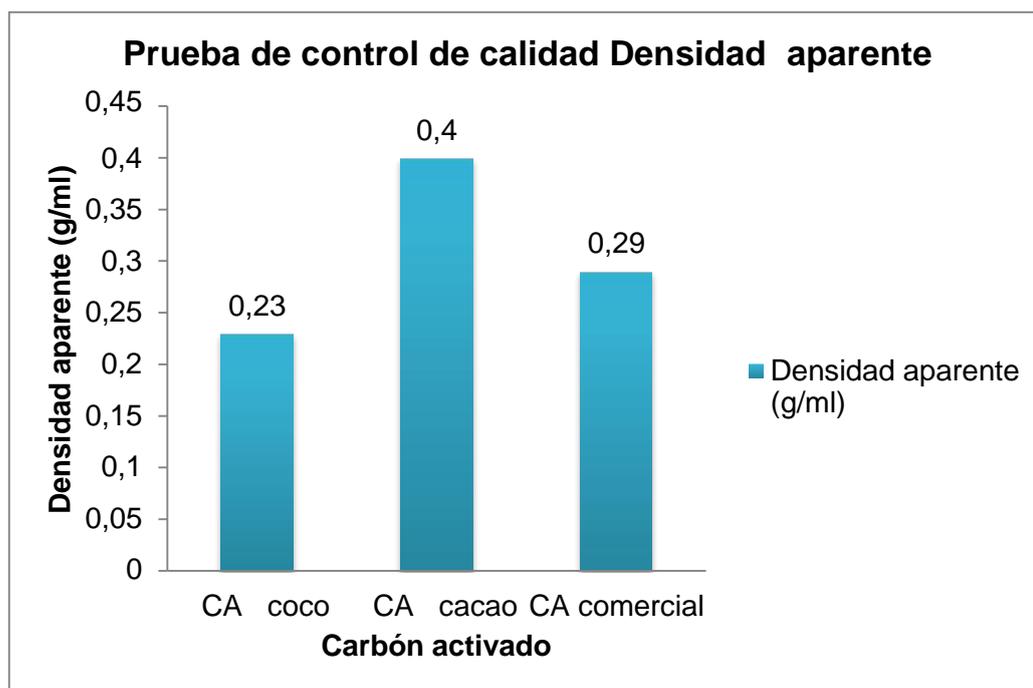
La densidad aparente es la masa de carbón por unidad de volumen, incluyendo los poros y los espacios entre partículas. A mayor densidad aparente, mayor capacidad para eliminar un adsorbato por unidad de volumen de adsorbente (Docampo, 2006).

La densidad depende mucho de la materia prima, el proceso de producción y el proceso de activación. Por ejemplo, los carbones a base de madera tienen una densidad menor que los carbones con base mineral y base vegetal (Desotec Active Carbon, 2015).

En el **Gráfico IV** muestra que el carbón activado de cacao presentó una densidad aparente de 0,40 g/ml mientras que el de coco obtuvo un 0,23 g/ml, el carbón comercial es similar al del coco con un 0,29 g/ml.

Otro trabajo realizado por Solís Fuente (2012) obtuvo una densidad de 0,37 g/ml a partir del carbón activado de bagazo de caña, el cual muestra una similitud con el obtenido en este trabajo a partir de carbón activado a partir del cacao.

Gráfico IV: Determinación de la Densidad aparente del carbón activado obtenido con relación al carbón activado comercial.



3.1.6. Prueba de adsorción con azul de metileno al carbón activado obtenido.

Una forma de comprobar la capacidad de adsorción de moléculas grandes del carbón activado, es mediante la prueba de adsorción de azul de metileno. Debido a que el carbón activado está destinado a la adsorción de olores, sabores y colores.

Esta prueba se basa en la cuantificación del azul de metileno adsorbido por el carbón; determinando el exceso de azul de metileno de una solución por medios fotocolorimétricos.

En las **Gráficas V y VI** muestra que la absorbancia del azul de metileno que pasa por el carbón activado obtenido a partir de cáscara de coco va disminuyendo conforme avanza el tiempo (desde 1 hora hasta las 6 horas), mientras que en el carbón activado de la cáscara de cacao no hay mucha diferencia de concentración entre 3 y 6 horas.

Gráfico V: Absorbancia de azul de metileno en carbón activado de coco.

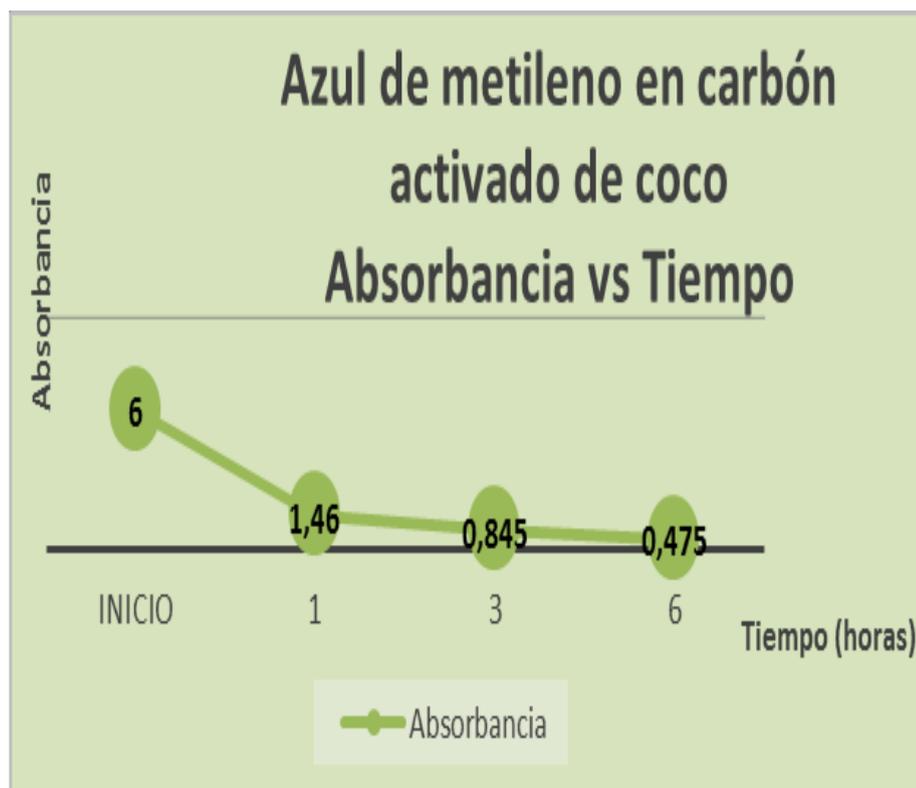
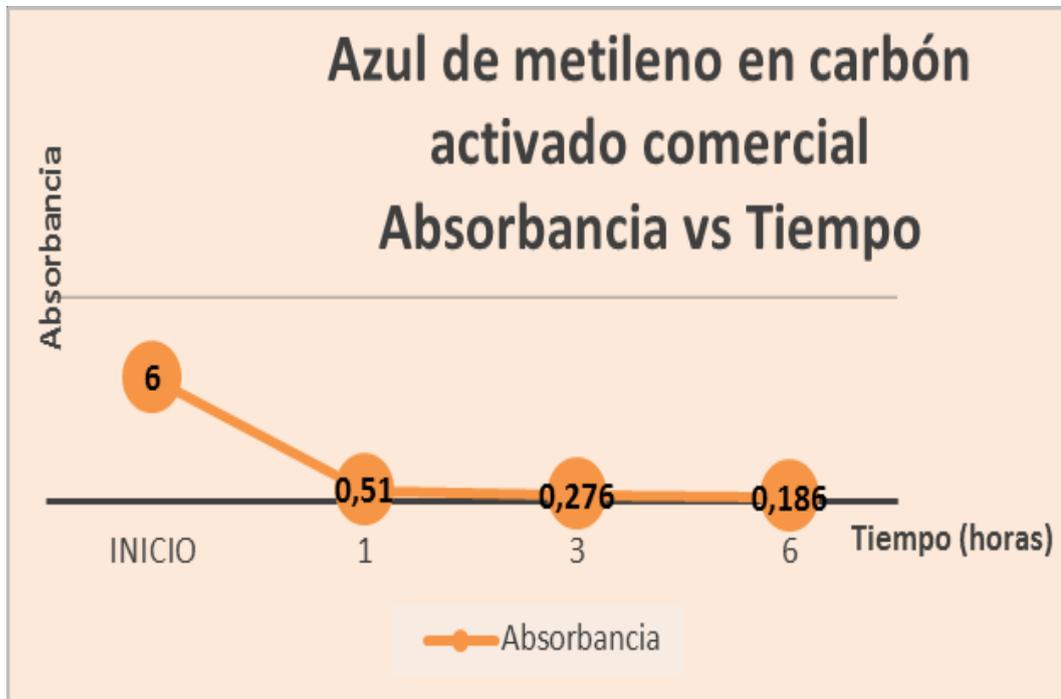


Gráfico VI: Absorbancia de azul de metileno en carbón activado comercial.

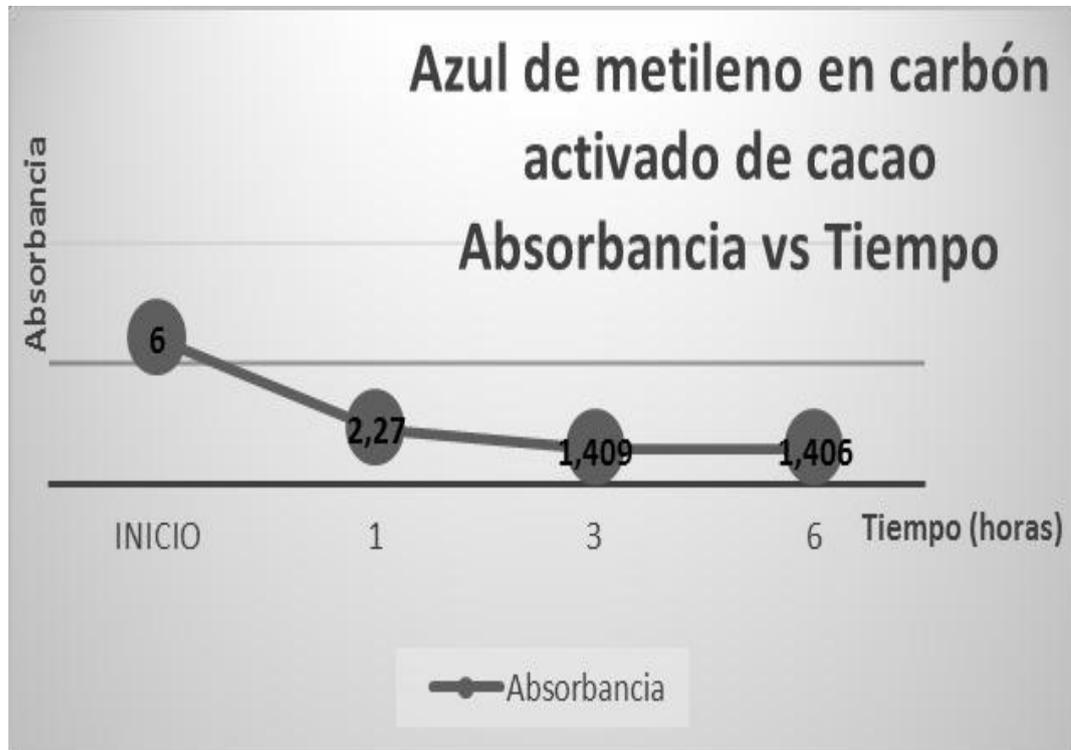


Finalmente en la **Gráfica VIII** podemos observar que con el carbón activado comercial la medida de absorbancia del azul de metileno disminuye considerablemente entre 1, 3 y 6 horas; tomando en cuenta que éste último es de origen mineral.

La absorbancia es una medida de concentración que se define como cuando un haz de luz incide sobre un cuerpo traslúcido. Una parte de esta luz es absorbida por el cuerpo, y el haz de luz restante atraviesa dicho cuerpo. A mayor cantidad de luz absorbida, mayor será la absorbancia del cuerpo, y menor cantidad de luz será transmitida por dicho cuerpo (Torres, 2011).

Por lo tanto, se puede decir que mientras menor sea el valor de la absorbancia, es que el material fue capaz de retener la mayor cantidad de contaminante, que en el caso de esta prueba fue el azul de metileno.

Gráfico VII: Absorbancia de azul de metileno en carbón activado de cacao.



CONCLUSIONES

El desarrollo del presente trabajo de titulación en la modalidad de investigación, ha permitido realizar un estudio comparativo de la calidad del carbón activado obtenido a partir de la cáscara de coco y cacao, empleando la misma metodología por activación física, concluyéndose lo siguiente:

Se han desarrollado carbones activados a partir de cáscara de coco y la cáscara de cacao en condiciones definidas mediante un diseño experimental que utiliza como parámetros de entrada: la temperatura de activación y el tiempo de activación.

El rendimiento de la cáscara de coco es mayor que la del cacao, partiendo de del mismo peso en base seca de la materia prima.

Las mejores condiciones en ambas muestras se lograron a 200°C por 120 minutos.

Los resultados de parámetros de calidad para el carbón activado obtenido mostraron que el carbón activado de coco está dentro de los rangos según los requisitos de la norma INEN 1991:94 para carbón activado en polvo y el carbón activado de cacao solo cumple con el rango de densidad aparente, no así con humedad y cenizas totales.

En la prueba de adsorción para el carbón activado obtenido, muestra que la concentración del azul de metileno que pasa por el carbón activado a partir de cáscara de coco va disminuyendo conforme avanza el tiempo, mientras que en el carbón activado de la cáscara de cacao no hay mucha diferencia de concentración entre 3 y 6 horas. Posteriormente, podemos observar que con el carbón activado comercial la concentración del azul de metileno disminuye considerablemente entre 1, 3 y 6 horas; tomando en cuenta que éste último es de origen mineral.

Finalmente el carbón activado a partir de la cáscara de coco es mejor que el de cacao, con mayor rendimiento y cumple con los requisitos de la Norma Técnica Ecuatoriana para carbón activado en polvo, mencionada anteriormente.

RECOMENDACIONES

- ✓ Realizar ensayos con otros tipos de activación como es la química y con vapores de gases a partir de la cáscara del coco y de la cáscara de cacao, a fin de comparar los resultados con los obtenidos en este trabajo.

- ✓ Se recomienda realizar un análisis y evaluación con respecto a la comercialización del adsorbente de la cáscara de cacao y cáscara de coccol, ya que en Ecuador no se cuenta con empresas fabricantes de carbón activo, y este tipo de producto pudiera generar mayor rentabilidad en el país.

- ✓ Con los resultados obtenidos, resultaría conveniente para las haciendas y agricultores que tengan plantaciones cacaoteras y cocoteras en el país, ya que ofrece una alternativa para la utilización de los desechos por la cáscara de la mazorca de cacao y cáscara de coco reduciendo el impacto ambiental, a la vez que presenta un margen de rentabilidad aceptable. Por ello se recomienda la divulgación de información resultante.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abney, Z. (2015). Adsorción del carbón activado .Recuperado el 10 de septiembre de 2015, de Lenntech: <http://www.lenntech.es/adsorcion.htm>
- Aguirre, Z., (2012). *Especies forestales de los bosques secos del Ecuador. Guía dendrológica para su identificación y caracterización*. Proyecto Manejo Forestal Sostenible ante el Cambio Climático. MAE/FAO - Finlandia. Quito, Ecuador. 113 p.
- Andino Moscoso, J. E., Bustos P.J. (2012). *Estudio de la prefactibilidad de la producción de leche de coco*. (Tesis inédita de maestría). Universidad de San Francisco de Quito, Quito.
- Ardila, C., Carreño Jerez, C., (2011). *Aprovechamiento de la cáscara de la marzorca de cacao como adsorbente*. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas de la Universidad Industrial de Santader. Bucaramanga, Colombia. 24-31 p.
- Aspiazu Coello, D.Z., Castro Granda, D.K., Zambrano Vera, F.S. (2012). *Plan de Marketing para la exportación y comercialización de Mistela de cacao a Holanda*. (Tesis inédita de grado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Economía y Negocios, Guayaquil.
- Bastidas, M., Buelvas, L., Márquez, M., Rodríguez, K., (2009). Producción de Carbón Activado a partir de Precursores Carbonosos del Departamento del Cesar, Colombia. *Revista Científica Scielo*. Vol 21(3), 87-96. doi:10.1612/inf.tecnol.4289it.09.
- Carrillo, J. (2015). Carbón activado. Recuperado el 10 de septiembre de 2015, de Carbonectia: <http://www.carbotecnia.info/encyclopedia/que-es-el-carbon-activado/>
- Docampo, G. (2006). El carbón activado como adsorbente. Recuperado el 10 de octubre de 2015,de Texto Científico.com: <http://www.textoscientificos.com/quimica/carbon-activo/adsorbente>

Donaciano, L., González, A., Gordon, M., Martín, N., (2007). *Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco*. Área de Termofluidos de la Universidad Azcapotzalco. México.

Isan, Ana. (2015). Química V. Recuperado el 2 de Junio de 2015, de Ecología verde: [h/www.ecologiaverde.com/ttp/](http://www.ecologiaverde.com/ttp/)

Jiménez Bustamante, J.M. (2014). *Aprovechamiento de residuos celulósicos de piña para la producción de carbón activado*. (Tesis inédita de maestría). Universidad de Veracruz, Facultad de Ciencias Químicas, Zona Xalapa.

Lizano, M. (2003). Guía técnica de cultivo de coco. Recuperado de <http://www.bio-nica.info/biblioteca/LizanoGuiaTecnicaCoco.pdf>

Martínez de Yuso, A., (2012). *Desarrollo de carbones activados a partir de residuos lignocelulósicos para la adsorción y recuperación de tolueno y n-hexano*. (Tesis inédita Doctoral). Universidad de San Jorge, Instituto del Medio Ambiente y la Sustentabilidad. Villanueva de Gállego, Aragón. 71- 80 p.

Moncayo, R. (2015). Estadísticas de exportaciones de cacao. Recuperado el 5 de febrero de 2015, de Asociación de Exportadores de Cacao: <http://www.anecacao.com/es/cacao-nacional>

Norma ecuatoriana NTE INEN 1991:94. *Productos químicos industriales. Carbón activado para uso industrial. Requisitos*. Norma Técnica Ecuatoriana. Ecuador. 1995.

Norma mexicana NMX-F-301-1977. *Carbón activado. Determinación de la adsorción de azul de metileno por muestras de carbones activados empleados en la refinación de azúcar*. Dirección general de normas. México. 2011.

Norma mexicana NMX-F-279-1976. *Carbón activado. Determinación de humedad en muestras de carbones activados empleados en la refinación de azúcar.* Dirección general de normas. México. 2011.

Norma mexicana NMX-F-284-SCFI-2011. *Carbón activado. Industria azucarera y alcoholera: Determinación del contenido total de cenizas en muestras de carbones activados empleados en la refinación de azúcar.* Dirección general de normas. México. 2011.

Norma mexicana NMX-F-282-SCFI-2011. *Carbón activado. Industria azucarera y alcoholera -determinación de la densidad aparente en muestras de carbones activados empleados en la refinación de azúcar.* Dirección general de normas. México. 2011.

Pazmiño Ayala, J.H. (2007). *Estudio de la adsorción de oro en carbón activado a diferentes condiciones, y modelado de la cinética de adsorción en función de tamaño de partícula.* (Tesis inédita de grado). Universidad de San Francisco de Quito, Quito.

Pena Franch, E. (2015). Densidad del carbón activado. Recuperado el 10 de septiembre de 2015, de Desotec Active Carbon: www.desotec.com/es/carbon-activo/propiedades/densidad-del-carbon-activo/

Peña, K., Giraldo, L., Moreno, J., (2012). Preparación de carbón activado a partir de cáscara de naranja por activación química. Caracterización física y química. *Revista Colombiana de Química.* Vol 41(2), 311-323 p.

Ponce Cevallos, J. (2013). Análisis del Sector Cacao y Elaborados. Recuperado el 10 de Mayo de 2015, de PRO-ECUADOR Instituto de promociones de Exportaciones e Inversiones: http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2013/08/PROEC_AS2013_CACAO.pdf

Rivera Hernández, J.R., Lara Luevano, N., Zertuche Silva, C.I., Montañez

Muñoz, L. & Marmolejo Martínez, G. (2003). Obtención del carbón activado a partir de residuos de madera de la industria mueblera del estado de Aguascalientes. *Conciencia Tecnológica*, (23) Recuperado de <http://redalyc.org/articulo.oa?id=94402307>

Ruiz Cortines, A. (2012). Impacto ambiental. Recuperado el 17 de febrero de 2015, de SENEMART Secretaria del Medio Ambiente y Recursos naturales: <http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestion-ambiental/impacto-ambiental-y-tipos>

Sanchez Castro, E.J. (2014). *Propuesta de la elaboración y comercialización de filtros de adsorbentes para aguas contaminadas a partir de la cáscara de la mazorca de cacao como adsorbente en la ciudad de Guayaquil*. (Tesis inédita de grado). Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Químicas, Guayaquil.

Solís-Fuentes, J.A., Morales-Téllez, M., Ayala-Tirado, R.S., Durán-de-Bazúal, M., (2012). *Obtención de carbón activado a partir de residuos agroindustriales y su evaluación en la remoción de color del jugo de caña*. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Vol. 27 (1), 36-48 p.

Soto Paredes, F.J., (2007). *Evaluación técnico económica de una planta de carbón Activado*. Universidad De Chile Facultad De Ciencias Físicas Y Matemáticas Departamento De Ingeniería Industrial. Santiago de Chile.

Torres, M. (2011). Transmitancia y absorbancia. Recuperado el 10 de septiembre de 2015, de La Guía Química: <http://quimica.laguia2000.com/conceptos-basicos/transmitancia-y-absorbancia>)

Vinueza, M. (2014). Estadísticas de Importaciones de Carbón Activado en el Ecuador 2014. (2015). Recuperado el 6 de marzo de 2015, de Banco Central Del Ecuador (BCE): <http://www.bce.fin.ec/>

ANEXOS

Anexo 1

Figuras del proceso de obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco y cáscara de cacao.



Figura 1. Cáscara de coco y cáscara de cacao seca y molida.



Figura 2. Tamización de las cáscaras.



Figura. 3 Carbonización de las cáscaras de coco y cáscaras de cacao



Figura.4 Deshidratación del carbón en la mufla

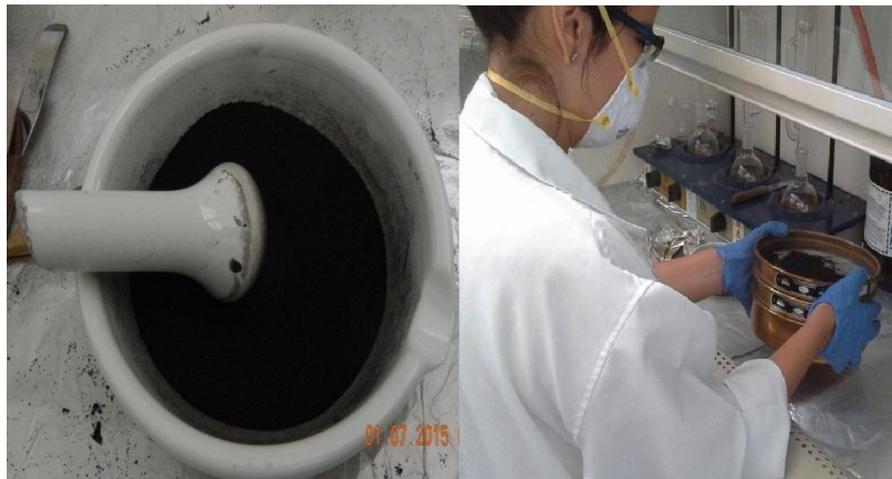


Figura.5 Reducción de tamaño del carbón

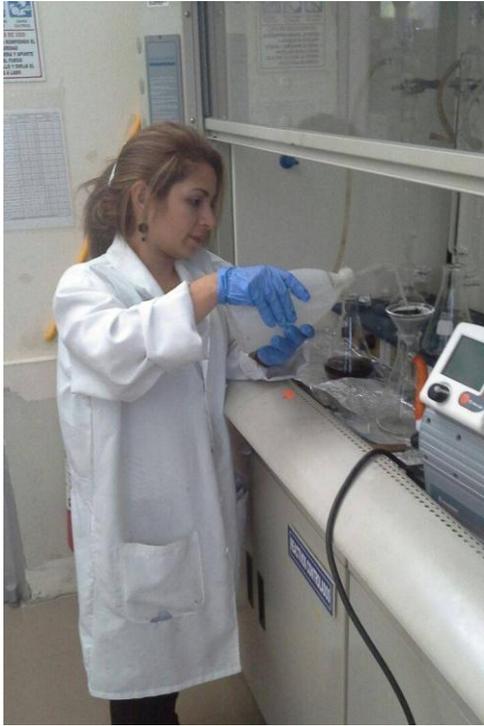


Figura.6. Lavado del carbón con agua destilada



Figura 7. Secado de las muestras del carbón al horno



Figura 8. Obtención del carbón activado

Anexo 2

Figuras de las pruebas de control de calidad al carbón activado y a la materia prima.



Figura 9. Prueba de densidad aparente a la materia prima.



Figura 10. Prueba de cenizas totales a las cáscaras de coco y cáscara de cacao



Figura 11. Prueba de adsorción de 6 horas al carbón activado obtenido: carbón activado de cacao, carbón activado de coco y carbón activado comercial respectivamente.

Anexo 3

Figuras de equipos empleados para la obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco y cáscara de cacao.



Figura 12. Equipo de mufla (Cole-Parmer)



Figura 13. Tamiz (ASTM-A 11)



Figura 14. Estufa (Memert)

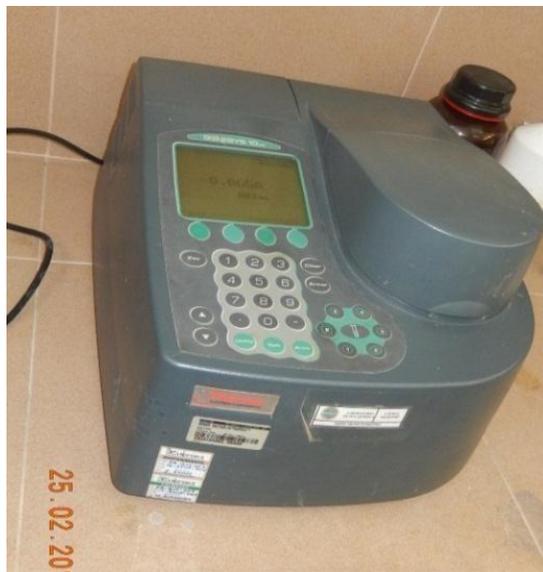


Figura 15. Equipo de espectrofotetría (Thermo Electron Corporation Genesys 10UV)

Anexo 4

Norma Técnica Ecuatoriana Obligatoria

TABLA 1. Requisitos del carbón activado						
REQUISITOS	UNIDAD	POLVO		GRANULAR		MÉTODO DE ENSAYO
		MÍN	MÁX	MÍN	MÁX	
Humedad	% m/m	-	12	-	12	NTE INEN 1 985
Densidad aparente	g/cm ³	0,20	-	0,20	-	NTE INEN 1 986
Cenizas totales	% m/m	-	12	-	12	NTE INEN 1 987
Superficie específica BET	m ² /g	600	-	600	-	NTE INEN 1 990
Dureza	% m/m	-	-	90	-	NTE INEN 1 989
Número de yodo	* mg/g	600	-	600	-	NTE INEN 1 988

* miligramos de yodo por gramo de carbón activado.

Figura 16. Requisitos Técnicos para carbón activado

Fuente: Norma Técnica Ecuatoriana 1991:94