



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
NICARAGUA,  
MANAGUA  
UNAN - MANAGUA

**RECINTO UNIVERSITARIO RUBÉN DARÍO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**  
**DEPARTAMENTO DE QUÍMICA**  
**CARRERA QUÍMICA INDUSTRIAL**

**SEMINARIO DE GRADUACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
LICENCIADA EN QUÍMICA INDUSTRIAL.**

**Tema: Estudio del proceso de obtención de carbón activado a partir de la  
cáscara de cacao criollo (*Theobroma cacao*), UNAN-Managua, Agosto-  
Diciembre 2020**

Autoras:

Bra. González Martínez Grethel Alexandra

Bra. Villalobo Peña Williana Elizabeth

Tutor:

PhD. Danilo López Valerio

Asesor:

Lic. Gustavo Emmanuel Corea Vega

Managua, Diciembre del 2020

## **ASPECTOS GENERALES**

---



## TÍTULO

Estudio del proceso de obtención de carbón activado a partir de la cáscara de cacao criollo  
(*Theobroma cacao*), UNAN-Managua, Agosto-Diciembre 2020.

## DEDICATORIA

### *Primeramente, a Dios*

*Porque de él mana la vida y sin el nada somos. Dios siempre me mantuvo de pie ante las circunstancias de la vida, por darme su mano en cada paso que dí para poder llegar hasta aquí.*

### *A mi padre y madrastra*

*Álvaro Evenor González y Esperanza Rivas Hernández por apoyarme en este camino de mi preparación en la educación, por la confianza puesta en mí, por los valores inculcados y por todo su apoyo en los momentos más difíciles.*

### *A mi tío*

### *Byron González (Q.E.P.D)*

*Por enseñarme mis primeras letras, por esta atento en la primera fase de educación primaria, por crear en mí ese amor a salir adelante por medio de la educación también por inculcarme valores y enseñarme a ser fuerte ante las adversidades que se presenten.*

### *Abuela y hermanas.*

*Por el apoyo y por los días de agobiados en los que me brindaron aliento, por todos los momentos de alegrías y tristezas vividos juntas, de todas ellas eh aprendido mucho, siempre se preocupan por mí y velan por que siempre este bien. Dios las bendiga siempre **Rebeca González, Naomis Damaris, Luz González y María Lindo***

***Grethel Alexandra González Martínez.***

## **DEDICATORIA**

### ***A Dios***

*Por haberme dado sabiduría, empeño y fuerza durante el transcurso de mi vida y carrera profesional para alcanzar mi meta, por ser mi guía en momentos difíciles y brindarme la fortaleza para salir adelante cada día.*

### ***A mis Padres***

*William Antonio Villalobos Moraga y Clara Elizabeth Peña Valverde por haberme brindado su confianza y con sacrificios brindarme el tesoro más valioso que se le puede dar a un hijo (educación), por su apoyo incondicional y por nunca dejar que desistiera de cada uno de mis propósitos.*

### ***A mis hermanas***

*Xaimara Villalobos, Magdiel Villalobos, Wiclar Villalobos por siempre apoyarme, ayudarme en todo momento y aconsejarme de la mejor manera, Las quiero.*

*Ha mi cuñado **Yuri Francisco Ortiz** por que más que un cuñado ha sido un hermano para mí, gracias por apoyarme y aconsejarme todo el tiempo.*

### ***A mi abuelita Petronila Mayorga (Q.E.D)***

*Porque a pesar que ya no está desde hace mucho tiempo conmigo siempre te recuerdo y quiero, sé que donde estas me cuidas y te alegras por cada uno de mis triunfos gracias por estar conmigo cuando más te necesite.*

***Williana Elizabeth Villalobo Peña***

## AGRADECIMIENTOS

*Las gracias son infinitamente para **Dios** por haber cuidado de mí y mis metas, por brindarme salud, por llevarme de su mano siempre, por ser mi fortaleza en los momentos en los que creo que ya no puedo más, porque toda mi vida está en sus manos y por qué no existe ser más bondadoso para conmigo que mi DIOS.*

*A **mi padre y madrastra**, porque encada momento de mi vida siempre han estado ayudándome y sin su apoyo este logro no fuese sido posible.*

*A **mis hermanas**, porque con ellas son las mejores locuras y los momentos más alegres y traviosos, porque somos cómplices y sin ellas la vida sería aburrida. Porque son mi desahogo de cosas que no puedo contar a nadie más y sus oídos están atentos siempre porque si yo necesitaba algo y me lo podían brindar no dudaron en hacerlo.*

*A mis amistades y familiares, son parte de todo este camino recorrido en la carrera universitaria, porque muchos de ellos estaban ahí puestos para mí ya sea aconsejándome o brindando su apoyo de cualquier manera. Les agradezco todo el tiempo compartido en los años que convivimos como compañeros de clase en especial a **Jimmy Alberto Espinoza, Pamela Salvatierra Mendoza y Xochilt Ramírez Flores**, ustedes fueron mis mejores confidentes, con los que pase momentos muy agradables y los llevare siempre en mi corazón, los aprecio y mi cariño hacia ustedes es muy grande.*

*A **los maestros** fueron base fundamental a lo largo de la formación académica, por su disponibilidad a compartir conocimiento. Al **PhD. Danilo López Valerio y Esp. José Luis Prado Arroliga**. Por brindarme su apoyo, por animarme a seguir luchando, por el seguimiento otorgado a mi trabajo de graduación y sobre todo por su amistad.*

**Grethel Alexandra González Martínez.**

## AGRADECIMIENTO

*Agradezco infinitamente a Dios, por darme la vida, las fuerzas y permitirme cumplir esta meta., por la salud y por todas las virtudes que me ha regalado para alcanzar una de mis más grandes aspiraciones, por la maravillosa familia que me ha brindado los cuales han sido bases importantes en mi vida.*

*A mis padres, por ser la fuente de inspiración y motivación para superarme cada día más, a quienes amo por siempre dar todo su mayor esfuerzo a cambio de mis sueños y felicidad, sobre todo por su amor incondicional. Gracias por inculcarme buenos valores y brindarme los mejores consejos.*

*A mis hermanas, que siempre me han instado a alcanzar lo que me proponga, gracias por su afecto y su confianza en mí.*

*A mi compañera Grethel Alexandra, Porque a pesar del tiempo y las circunstancias nunca desistimos de nuestro mayor objetivo, con sacrificios y desvelos siempre brindaste lo mejor de vos para culminar nuestro estudio.*

*A mis amigos A mis compañeros y amigos presentes y pasados, quienes sin esperar nada a cambio compartieron sus conocimientos, alegrías y tristezas y a todas aquellas personas que durante mi formación académica estuvieron a mi lado apoyándome en esta etapa de mi vida. A mis mejores amigas Sherly López Domínguez, Kathia Pavón Muñoz por siempre apoyarme y aconsejarme porque más que amigas han sido como hermanas para mí, infinitas gracias.*

*A mi novio, William José Cuarezma gracias por todo el amor, comprensión y apoyo incondicional, por tus consejos y ayuda, sin duda te has convertido en un ángel en mi vida.*

*Agradezco a todos los docentes que a lo largo de mi formación académica me compartieron de su conocimiento. En especial a mi tutor al PhD. Danilo López Valerio y al Esp. José Luis Prado Arroliga, por brindarnos sus consejos y apoyo, e instarnos a nunca rendirnos.*

*A todas estas personas, infinitas gracias por haber creído y confiado en mí.*

**Williana Elizabeth Villalobo Peña**

Bra. Grethel Alexandra González Martínez & Bra. Williana Elizabeth Villalobo Peña



***CARTA DE ASESORIA Y DECLARACIÓN DE  
AUTENTICIDAD***



El presente seminario de graduación titulado “**Estudio del proceso de obtención de carbón activado a partir de la cáscara de cacao criollo (Theobroma cacao), UNAN-Managua, Agosto-Diciembre 2020**”, ha sido realizado por las bachilleras **Grethel Alexandra González Martínez y Williana Elizabeth Villalobo Peña** bajo la tutoría de mi persona **Dr. Danilo Ambrosio López Valerio**. En mi facultad doy fé de que las bachilleras han cumplido con todas las disposiciones y requisitos académicos en cuanto a la elaboración del presente seminario de graduación para optar al título de Licenciada en Química Industrial, además se declara la autenticidad de la información reflejada en el documento.

*Managua, diciembre de 2020*

---

Dr. Danilo López Valerio.  
Docente  
Departamento de Química  
UNAN-Managua  
***Tutor***

*Bra. Grethel Alexandra González Martínez & Bra. Williana Elizabeth Villalobo Peña*





**CARTA DE ASESORIA Y DECLARACIÓN DE  
AUTENTICIDAD**



El presente Seminario de graduación titulado "**Estudio del proceso de obtención de carbón activado a partir de la cáscara de cacao criollo (Theobroma cacao), UNAN-Managua, Agosto-Diciembre 2020**", ha sido realizado por las bachilleras **Grethel Alexandra González Martínez y Williana Elizabeth Villalobo Peña** bajo la asesoría metodológica de mi persona **Gustavo Emmanuel Corea Vega**. En mi facultad doy fé de que las bachilleras han cumplido con todas las disposiciones y requisitos académicos en cuanto a la elaboración del presente seminario de graduación para optar al título de Licenciada en Química Industrial, además se declara la autenticidad de la información reflejada en el documento.

*Managua, Diciembre de 2020*

---

Gustavo Emmanuel Corea Vega  
Lic. En Química Industrial  
Departamento de Química  
UNAN-Managua  
Asesor Metodológico

## RESUMEN

La investigación “Estudio del proceso de obtención de carbón activado a partir de la cáscara de cacao criollo (*Theobroma cacao*), UNAN-Managua, Agosto-Diciembre 2020” tuvo como principal objetivo el análisis de los procesos sobre la obtención de carbón activado a partir de la cáscara de la mazorca de cacao como materia prima y presentar el proceso tecnológico con las condiciones operacionales adecuadas para la producción de dicho adsorbente.

Así mismo indagar en las propiedades fisicoquímicas de la cáscara de la mazorca de *Theobroma Cacao* de la variedad: Criollo, con un total de carbono de: 23,17% y 25,35%, cenizas: 1.45% y 2.55% para esta variedad, por lo que se comprueba que es una materia prima potencial para la producción de carbón activado.

Según estudios bibliográficos realizados, los resultados de diferentes autores relacionados con los procesos para llevar a cabo la realización de carbón activado con diferentes métodos de transformación de la materia prima, reportan carbones activados con elevadas áreas superficiales deduciendo que la cáscara de cacao es apta para la producción del adsorbente.

Se indagó sobre el proceso tecnológico de la elaboración del carbón activado transformando el material lignocelulósico, el cual consiste en: reducción de tamaño, precarbonización, pulverización, activación, lavado y secado. Se sugiere como primer procedimiento la reducción de tamaño para que la eliminación de agua sea en menos tiempo y el secado dure menos, seguido de la activación con  $ZnCl_2$  37% a  $600^\circ C$  por 2 h con relación de impregnación de 1:1, para el lavado del carbón activado obtenido se utiliza agua destilada, dándole continuidad al secado el cual se lleva a cabo a temperaturas de  $150^\circ C$  por 2 h.

**Palabras claves:** *Carbono, cenizas, activación, lignocelulósico, fisicoquímicas.*

## ÍNDICE

### ASPECTOS GENERALES

<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>i</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>iii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>vii</b>
INDICE DE TABLAS .....	4
<b>CAPITULO I</b> .....	<b>1</b>
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.4. OBJETIVOS .....	4
1.4.1. Objetivo general .....	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
<b>CAPITULO II</b> .....	<b>5</b>
2.1 MARCO TEÓRICO .....	6
2.1.1. Cacao (Theobroma cacao).....	6
2.1.3. La mazorca de cacao. ....	9
2.1.4. El cacao en Nicaragua. ....	10
2.1.5. Carbón activado. ....	11
2.1.5.1. Características del carbón activado. ....	11
2.1.5.1.1. Elevada capacidad de eliminación de sustancias. ....	12
2.1.5.1.2. Baja selectividad de retención. ....	12
2.1.5.2. Aplicaciones del carbón activado. ....	12
2.1.5.3. Tipos de carbón activado. ....	14
2.1.6. Métodos de activación para la obtención de carbones activados. ....	15
2.1.6.1. Método de activación física o térmica.....	16
2.1.6.2. Método de activación química.....	18
2.1.6.2.1. Ventajas y desventajas de los procesos de activación. ....	21
2.1.6.4. Propiedades fisicoquímicas de los carbones activados. ....	22
2.1.6.4.1. Propiedades físicas.....	22

2.1.7. Carbón activo en Nicaragua. ....	27
2.1.8. Preparación del carbón activado. ....	27
2.1.8.1. Preparación de la materia prima. ....	28
2.1.8.2. Pre carbonización. ....	28
2.1.8.3. Activación. ....	28
2.1.8.3.1. Activación física. ....	29
2.1.8.3.2. Activación química. ....	29
2.1.8.4. Lavado y secado. ....	30
2.2. ANTECEDENTES. ....	31
2.3. PREGUNTAS DIRECTRICES. ....	32
<b>CAPITULO III. ....</b>	<b>32</b>
3.1. DISEÑO METODOLÓGICO. ....	33
3.1.1. Descripción del ámbito de estudio. ....	33
3.1.2. Tipo de estudio. ....	33
3.1.3. Población y muestra. ....	33
3.1.3.1. Población. ....	33
3.1.3.2. Muestra. ....	33
3.1.3.3. Criterios de inclusión. ....	34
3.1.3.4. Criterios de exclusión. ....	34
3.2. Identificación de las variables. ....	34
3.2.1. Variables independientes. ....	34
3.2.2. Variables dependientes. ....	34
3.3. Materiales y métodos. ....	35
3.3.1. Materiales para recolectar la información. ....	35
3.3.2. Método. ....	35
<b>CAPITULO IV. ....</b>	<b>36</b>
4.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS. ....	37
4.1.1. Propiedades fisicoquímicas de la cáscara de cacao (Theobroma Cacao). ....	37
4.1.2. Procesos de activación del carbón. ....	38
4.1.3. Etapas del proceso de obtención de carbón activado a partir de la cáscara de cacao. ....	40



<b>CAPITULO V</b> .....	<b>36</b>
<b>5.1. CONCLUSIONES</b> .....	<b>43</b>
<b>5.2. RECOMENDACIONES</b> .....	<b>44</b>
<b>5.3. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>45</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>43</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1. Condiciones Óptimas para el cultivo de cacao (Theobroma cacao)</b>	<b>7</b>
<b>Tabla 2.2. Parámetros fisicoquímicos de la mazorca de cacao (Theobroma Cacao)</b>	<b>9</b>
<b>Tabla 2.3. Aplicaciones industriales del carbón activado</b>	<b>13</b>
<b>Tabla 2.4. Ventajas y desventajas de los métodos de activación</b>	<b>21</b>
<b>Tabla 2.5. Propiedades físicas del carbón activado</b>	<b>22</b>
<b>Tabla 3.3.1. Materiales para procesar la información</b>	<b>35</b>
<b>Tabla 4.1 resultados de las propiedades fisicoquímicas de la cáscara de cacao (Theobroma cacao).</b>	<b>37</b>
<b>Tabla 4.2. Procesos de obtención de carbones activados</b>	<b>38</b>

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>1. ANEXO 1.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. GLOSARIO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. ANEXO 2.....</b>	<b>2</b>
<b>2.1. Mapa de distribución por departamento del cultivo de cacao.....</b>	<b>2</b>
<b>3. ANEXO 3.....</b>	<b>3</b>
<b>3.1. Representación del proceso de carbonización. ....</b>	<b>3</b>
<b>4. ANEXO 4. ....</b>	<b>4</b>
<b>4.1. Representación del proceso de adsorción y desorción que se da en los carbones activados.....</b>	<b>4</b>
<b>5. ANEXO 5.....</b>	<b>5</b>
<b>5.1. Estructura porosa de carbones activados .....</b>	<b>5</b>

## ABREVIATURAS Y SIGLAS

**µm:** Micrómetro.

**N:** Normal.

**h:** Horas.

**min:** Minutos.

**g:** Gramos.

**L:** Litros.

**MAGFOR:** Ministerio Agropecuario y Forestal.

**IUPAC:** International Union of Pure and Applied Chemistry (Unión Internacional de Química Pura y Aplicada).

**FAO:** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

**COMEX:** Comercio exterior

**FOB:** Free on board (franco a bordo) de uso universal y que significa que la mercancía es puesta a bordo por el expedidor, libre de todo gasto, siendo de cuenta del destinatario los fletes, aduanas, etc.

**AOAC:** Association of official analytical chemists (Asociación Oficial de Químicos Analíticos).

**ASTM:** American Society of Testing Materials, (Asociación Americana de Ensayo de Materiales).

**CA:** Carbón activo.

**PPM:** Partes por millón.



## ***CAPITULO I***

---



## 1.1. INTRODUCCIÓN

Según el fondo Nicaragüense para el desarrollo (FUNIDES), Nicaragua paga la electricidad más elevada de Centroamérica, los grandes costos que se requieren para alcanzar las altas temperaturas utilizadas en los procesos de secados y activación para la producción de carbón activado y la falta de presupuesto, no dan paso a la producción de dicho material en Nicaragua. Por lo tanto, promover la idea de usar desechos, como la cáscara de cacao para la preparación de carbón activado, por el método químico (en el cual se utiliza menos energía), tanto para su uso interno y exportación, es el comienzo de incentivar la transformación de la matriz productiva en el país.

Este trabajo consiste en el estudio de las propiedades fisicoquímicas de la cáscara de la mazorca de cacao como materia prima potencial para la producción de carbón activado, demostrando teóricamente que la cáscara de cacao es un material adsorbente con propiedades positivas para obtener el material poroso. Así mismos se propone el proceso tecnológico adecuado para la elaboración de carbón activado de elevada área superficial y con tendencia micro porosas, de igual manera definir las etapas del proceso del mismo, también se compararán los procesos de activación químico y físico que mejoren los rendimientos de las propiedades adsorptivas del carbón activado.

Con los resultados obtenidos de este estudio se espera promover la investigación práctica para la obtención de dicho material, de igual manera promover la revalorización de los desechos industriales para satisfacer necesidades y ampliar la productividad del país con nuevos materiales.

## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En Nicaragua el cacao es uno de los principales productos que se comercializan tanto en el mercado nacional como internacional destinado a la industria alimenticia en forma de chocolates y cereales, donde se generan residuos orgánicos, el cual se le puede dar un valor agregado y satisfacer una demanda interna de carbón activado.

Así mismo el Centro de trámite de Exportaciones (CETREX), reportó que el año pasado Nicaragua exportó aproximadamente 5 mil toneladas de cacao (semillas 28,4%). Dado que el mayor porcentaje del fruto de cacao corresponde a la cáscara (68,3%) lo que equivale a 12 463 toneladas de cáscara producidas anualmente, lo cual significa que a nivel nacional se dispone de una buena cantidad de materia prima para la elaboración de carbón activado ya que las empresas suelen desechar estos residuos orgánicos que deben ser gestionados y revalorizados.

Además Nicaragua anualmente importa un valor promedio de 792 020 dólares en carbón activado (según COMEX), siendo sus principales proveedores los Estados Unidos, México, Guatemala y Perú, debido a esto y a la creciente demanda del cacao y la cantidad de desechos orgánicos contaminantes generados por la industria, crean una necesidad para optar por alternativas de aprovechamiento de los residuos generados.

El costo elevado de los carbones utilizados en diferentes sectores industriales de Nicaragua se debe a que son importados y su demanda es cada vez más creciente tanto en el área industrial como en el área medicinal y medioambiental.

### **1.3. JUSTIFICACIÓN**

Nicaragua tiene buen desempeño como productor de cacao y es importante utilizar las materias primas, no solo utilizando la proporción más significativa de la producción en actividades de transformación (chocolate, licores), sino también aprovechar la cantidad considerable de residuos que se generan, empresas nicaragüenses como: licores Don Juan (Rivas), Chocolates Tininiska (Waslala), Chocolates Quetzalcoalt (Jinotega), Chocolates Mussy (Matiguás), utilizan la semilla de cacao para la elaboración de sus productos, de tal manera que la cáscara de la mazorca de cacao es un subproducto de las empresas transformadoras del cacao, a la cual se le puede dar valor agregado y generar interés en la producción del carbón activado, debido a que este residuo orgánico (cáscara de mazorca de cacao) presenta alto contenido en carbono y bajo contenido de ceniza, puede ser considerada como materia prima para producción de carbón activo.

Mediante la elaboración de carbón activado a partir de residuos agroindustriales presenta la ventaja de permitir la eliminación de residuos contaminantes. Al estudiar los distintos tratamientos se plantea que tecnología se considera más viable para su transformación de tal manera que aporte los conocimientos científicos y tecnológicos para la conversión de biomasa, tomando en cuenta la contaminación del medio ambiente.

En las plantas de tratamiento de agua existentes en Nicaragua, el carbón activado es indispensable como medio filtrante o adsorbente para la purificación, lo que indica que el carbón activado es un material de vital importancia en muchos sectores no solo medioambiental sino en la medicina y alimentos. Nicaragua no produce carbón activado, las industrias que lo utilizan lo tienen que importar por ende el costo es alto y por tal motivo debe crearse una alternativa para el aprovechamiento de desechos generados del cacao.

## 1.4. OBJETIVOS

### 1.4.1. Objetivo general

Estudiar el proceso de elaboración de carbón activado a partir de la cáscara de cacao (*Theobroma Cacao*).

### 1.4.2. Objetivos específicos

1. Describir las propiedades físico químico de la cáscara de la cáscara de mazorca de cacao criollo (*Theobroma Cacao*), que permiten su uso como materia prima para obtener carbón activado.
2. Comparar los procesos de obtención de carbón activado mediante la activación física y química.
3. Definir las etapas del proceso de obtención de carbón activado a partir de la cáscara de cacao (*Theobroma Cacao*).

## ***CAPITULO II***

---



## 2.1 MARCO TEÓRICO

### 2.1.1. Cacao (*Theobroma cacao*).

*Theobroma cacao* L. es el nombre científico que recibe el árbol del cacao o cacaotero. El árbol del Cacao es una planta que rinde varias cosechas al año en Nicaragua se realiza entre los meses de octubre y enero. Alcanza una altura media de 6 m y tiene hojas lustrosas de hasta 30 cm de longitud y pequeñas flores rosas que se forman en el tronco y en las ramas más viejas. Sólo una treintena de las aproximadamente 6,000 flores que se abren durante el año llegan a formar semillas, éstas están encerradas en una mazorca o piña de color pardo rojizo de unos 28 cm de longitud. (Sánchez, 1989).

El fruto del cacao obtenido del cacaotero (*Theobroma cacao* L.) consta de pericarpio – tejido que surge de la pared del ovario maduro de un fruto– y el ovario. Cuando la fruta está madura, el tejido externo, también denominado vaina, que consta de un material orgánico grueso y duro, podría utilizarse como abono, pienso y fuente de potasa. El ovario contiene numerosas semillas incrustadas en una pulpa acuosa y mucilaginosa.

En la figura 2.1 se puede observar el cacao y sus partes.



**Figura 2.1. Fruto de *Theobroma cacao***

**Fuente:** (Rodríguez, 2019)

El Cacao es de un clima de tipo tropical húmedo en cuanto a suelo requiere suelos profundos con buen drenaje, libre de acumulaciones de hierro, con alto contenido de nutrientes y rico en materia orgánica. Es una planta que se desarrolla bajo sombra. La humedad relativa también es importante ya que puede contribuir a la propagación de algunas enfermedades del fruto.

*Bra. Grethel Alexandra González Martínez & Bra. Williana Elizabeth Villalobo Peña*

A continuación, en la tabla 2.1 se presentan las condiciones óptimas para el cultivo de cacao.

**Tabla 2.1 Condiciones óptimas para cultivares de cacao (Theobroma Cacao).**

Condiciones para el cultivo de cacao	
Temperatura	24°C
Humedad	80%
pH de suelo	5,5-6,5
Fotoperiodo	11,5 h/día (sombra)

*Fuente:* (González, 2017)

### 2.1.2. Clasificación de la variedad de cacao.

El cacao es clasificado según las características que tengan el árbol y el fruto, calidad y forma del cultivo. Con el fin de diferenciar entre variedades nativas de cacao y las nuevas variedades el cacao recibe diferentes nombres.

#### 2.1.2.1. Clasificación genética del cacao.

Según FAO, IICA (s.f) desde el punto de vista genético, la especie *Theobroma cacao* L. puede clasificarse como sigue:

- **Cacao Criollo:** Corresponde a una planta de poco vigor y bajo rendimiento por lo que sus cultivadores tienden a mantenerlos sanas las plantaciones, destacándose la alta calidad de sus semillas. Este tipo de cacao contiene una mazorca con un peso aproximado de 483 g, largo de 17 cm y ancho de 7,82 cm. De esta variedad se producen chocolates y bombones finos por su aroma afrutado ligeramente amargo pero refinado.



*Fuente:* (FAO, 2012)



- **Cacao Forastero:** Se caracteriza por ser de mayor tolerancia a las enfermedades que el cacao Criollo. Esta variedad cuenta con una mazorca de 435 g aproximadamente, largo de 16 cm y ancho de 8 cm. Los puntos que están en contra son su aroma sin fineza y escaso sabor frutal.



Fuente: (FAO, 2012)

- **Cacao Trinitario:** Es más resistente y productivo que el cacao “Criollo” pero de inferior calidad. Es el resultado del cruce entre el cacao “Forastero” y el “Criollo”. Siendo esta variedad el que cuenta con un peso de su mazorca más alto que los anteriores: 561 g, con largo de 18,21 cm y ancho de 8,25 cm. Contiene un amplio rango de sabores y aromas persistentes al paladar



Fuente: (FAO, 2012)

### 2.1.2.2. Clasificación comercial del cacao (*Theobroma cacao L.*)

Según el Centro de Comercio Internacional (ITC), desde el punto de vista comercial, los granos de cacao pueden clasificarse como se indica:

- **Cacao ordinario:** granos producidos por los cacaos tipo “Forastero”; éstos son utilizados en la fabricación de manteca de cacao y de productos que tengan una elevada proporción de chocolate.

Bra. Grethel Alexandra González Martínez & Bra. Williana Elizabeth Villalobo Peña

- **Cacao fino o de aroma:** en términos generales, los granos de cacao “Criollos” y “Trinitarios” corresponden a lo que en el mercado mundial se conoce como cacao fino o de aroma. Éste es utilizado usualmente en mezclas con granos ordinarios o “Forastero” para producir sabores específicos en los productos terminados. (Sánchez Quezada, 2013)

### 2.1.3. La mazorca de cacao.

El fruto de cacao pesa aproximadamente 547g del cual 374g corresponden a la cáscara, 156g de placenta y 27,4g de semillas, siendo la cáscara (68,3%) el principal desecho en la producción de cacao. Tanto para industrias cacaoteras del país como del mundo, representa un 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 (Sánchez Castro, 2014).

#### 2.1.3.1. Características fisicoquímicas de la mazorca de cacao.

A continuación, en la tabla 2.2 se presentan los parámetros fisicoquímicos de la cáscara de la mazorca de cacao.

**Tabla 2.2 parámetros fisicoquímicos de la mazorca de cacao (Theobroma Cacao).**

PARÁMETRO	LITERATURA CONSULTADA (%)		
	Ángel et al. (2015)	Ortiz y Álvarez (2015)	Titiloye et al. (2013)
<b>Humedad</b>	-	85.00	-
<b>*Materia volátil</b>	56.00	-	76.40
<b>*Cenizas</b>	1.50	-	12.00
<b>*Carbono fijo</b>	32.50	-	11.60
<b>*Nitrógeno</b>	0.70	0.17	2.20
<b>*Fósforo</b>	-	0.03	-
<b>*Potasio</b>	-	0.89	-
<b>*Parámetro analizado en base seca</b>			

*Fuente:* (Delgado N. , 2018)

En la tabla 2.2 se establecen los resultados obtenidos y se observa que el carbono se encuentra en cantidad, la cáscara de cacao ha demostrado ser un material potencial para la producción de carbón activados por tener las propiedades necesarias en su composición, entre las propiedades que debe tener una materia prima para la producción de carbón activado se cuenta con su dureza, alto contenido de carbono y bajo contenido de cenizas.

En la industria del cacao y sus derivados la cáscara es un desecho muy importante que puede ser ingrediente principal en la elaboración de un producto importante como el carbón activado ya que aporta con cenizas en bajas cantidades, alto porcentaje de carbono, pocas cantidades de material inorgánico, son de bajo costo y en Nicaragua son bastante producidas ya que el país cosecha grandes cantidades de dicho fruto anualmente.

La composición química de los residuos agrícolas contribuye a que se efectúe el proceso de adsorción del carbón. Definido por características como: porcentaje de lignina, celulosa, cenizas y materia volátil, así mismo es importante tener en cuenta el volumen del residuo generado, ya que la abundancia del material percusor también es una característica esencial para la selección de la materia prima. (Delgado N. , 2018)

#### **2.1.4. El cacao en Nicaragua.**

En Nicaragua el cacao es un producto nativo del país, todo el territorio es apto para cultivarlo. Según el Banco Central de Nicaragua (BCN) existen tres variedades de cacao (el forastero, el criollo y el trinitario), y su producción se encuentra en varias zonas del país como: Nueva Guinea, Bluefields, Kukra Hills, Waslala, Rio Coco, Matagalpa, Jinotega y Rivas. (Somoza, 2019)

Así mismo el cacao en Nicaragua es una fuente de ingreso con tendencia a crecer, para el año presente la Asociación de Productores y Exportadores de Nicaragua (APEN) se proyecta en ingresos por exportación de cacao de 9.3 millones de dólares, entre enero y el 31 de agosto de este año corriente se han exportado 5 357,50 toneladas de cacao nicaragüense, lo que hasta entonces ha generado 8,36 millones de dólares.

Según el plan de producción, consumo y comercio en Nicaragua existen 15 854 manzanas sembradas de cacao, con un promedio de 15 quintales por manzanas, el cacao producido en Nicaragua entra entre los 50 mejores cacaos de mundo, los países que más compraron semilla de cacao a Nicaragua son: Bélgica, Estados Unidos, El Salvador y Guatemala.

### **2.1.5. Carbón activado.**

El carbón activado es un producto que posee una estructura cristalina similar a la del grafito; es extremadamente poroso, es un material que tiene un área excepcionalmente alta (hasta de 1 500 m<sup>2</sup> por gramos de carbón), y se caracteriza por tener una cantidad alta de microporos. Es un adsorbente muy versátil ya que el tamaño y la distribución de sus poros en la estructura carbonosa pueden ser controlados para satisfacer las necesidades de tecnología actual y futura por medio de la activación ya que esta consiste en multiplicar el área superficial creando una estructura porosa desarrollada. (Luna, 2007)

Los carbones activados comerciales son preparados a partir de materiales precursores con un alto contenido en carbono, especialmente, materiales orgánicos como, madera, huesos, cáscaras de semillas de frutos, como también, carbón mineral, breas, turba y coque. La elección del precursor es fundamentalmente una función de su disponibilidad, precio y pureza, pero el proceso de fabricación y la posible aplicación del producto final deben ser igualmente tomados en cuenta. El interés por este tipo de material se basa en algunas de sus propiedades, ya que son capaces de atraer moléculas de compuestos que causan, olor, color y sabor indeseables. Por tal razón, en los últimos años ha aumentado considerablemente el número de investigaciones en lo que concierne a su síntesis, y a sus diversas aplicaciones, como en la separación de gases y en la industria en general.

#### **2.1.5.1. Características del carbón activado.**

Son dos las características fundamentales en las que se basan las aplicaciones del carbón activado: elevada capacidad de eliminación de sustancias y baja selectividad de retención.

#### *2.1.5.1.1. Elevada capacidad de eliminación de sustancias.*

La elevada capacidad de eliminación de sustancias se debe a la alta superficie interna que posee, si bien la 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, como pueden ser colorantes o coloides, y favorecer el acceso y la rápida difusión de las moléculas a la superficie interna del sólido. (Terrazas Bandala, 2008).

#### *2.1.5.1.2. Baja selectividad de retención.*

Por otra parte, el carbón activado tiene escasa especificidad ante un proceso de retención, es un adsorbente “universal”. No obstante, por su naturaleza apolar y por el tipo de fuerzas implicadas en el proceso de adsorción, retendrá preferentemente moléculas apolares y de alto volumen molecular (hidrocarburos, fenoles, colorantes...), mientras que sustancias como nitrógeno, oxígeno y agua prácticamente no son retenidas por el carbón a temperatura ambiente.

De ahí que gran parte de la producción de carbón activado se destinen a la eliminación de contaminantes procedentes de sectores muy variados, tanto en fase gas (sulfuro de hidrógeno, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, vapores de gasolinas...) como líquida (aguas potables, industriales y residuales, tintorerías...).

#### **2.1.5.2. Aplicaciones del carbón activado.**

El carbón activado tiene como principales aplicaciones aquellas relacionadas con el tratamiento de aguas potables y residuales, industria alimenticia, y farmacéuticos, decoloración y edulcorantes. La utilidad que se le da a los carbones activados depende del tipo de carbón (porosidad).

En la tabla 2.3 se presentan las aplicaciones del carbón activado en las diferentes industrias.

**Tabla 2.3. Aplicaciones industriales del carbón activado.**

<b>Aplicaciones</b>	<b>Descripción</b>
<b>Tratamiento de agua potable</b>	Remoción de contaminantes orgánicos, emisión de olores y clarificación
<b>Industria alimenticia</b>	Descolonización de vinagre, remoción de etileno de las plantas de almacenamiento de frutas.
<b>Producción de bebidas</b>	Remoción de grasas, sabores indeseables, aldehídos y fenoles de brandy y la cerveza.
<b>Industria hidrometalurgia</b>	Recuperación de oro por proceso de carbón en pulpa, en lecho y columna
<b>Industria petroquímica</b>	Clarificación del crudo, remoción de contaminantes hidrocarbúricos, reciclaje de condensado de vapor para alimentar calderos.
<b>Tratamiento de aguas residuales industriales</b>	Reducción de halógenos totales de la demanda biológica (BOD) y química (COD)
<b>Industria química</b>	Recuperación de solventes orgánicos para reciclaje, control de emisiones de vapor, soporte para catalizar reacciones.
<b>Medicina</b>	Remoción de toxinas bactericidas y como antídoto para envenenamiento con alcaloides, fósforos, fenoles y hongos.
<b>Respiradores industriales</b>	Remoción de vapores tóxicos.

**Fuente:** (Burgos & Jaramillo, 2015)

*Bra. Grethel Alexandra González Martínez & Bra. Williana Elizabeth Villalobo Peña*

### 2.1.5.3. Tipos de carbón activado.

Según su uso el carbón activado se puede dividir en:

- a) Carbón activado para adsorber gases.

Sus poros son más pequeños que los del carbón para líquido, se usan como materia prima cáscaras de nueces, carbón y hulla principalmente. En general el carbón pulverizado se aplica para líquidos. (Báez Ruiz, 2011)

- b) Carbón activado para el tratamiento de líquidos.

Muchos carbones de gases no son muy efectivos para tratar ciertos líquidos. Los materiales menos densos son más apropiados para tratar líquidos. El carbón granular puede ser aplicado en líquidos y gases.

Dependiendo si es sometido a un proceso de granulación o pulverización, el carbón activado se puede presentar como:

- a) Carbón activado en polvo o PAC (Powered Activated Carbon).

Se define como aquel carbón cuyas partículas pasan a través de la malla 80, como es de esperarse por su tamaño no puede emplearse en lechos fijos y por lo tanto no se utiliza en el tratamiento de gases. Es un polvo fino negro que tiene bastante utilidad en la elaboración de medicamentos como absorbente intestinal.

Tienen un diámetro entre  $(1.5 \times 10^{-4} - 2.5 \times 10^{-4})$  nm. (Cortéz & Deybi, 2015)

- b) Carbón activado granular o GAC (Granular Activated Carbon).

El carbón activado granular consiste en gránulos de forma irregular, se fabrican en diversos rangos de tamaños. En granos de hasta 2 mm se usan en los filtros de columnas o cama para el tratamiento de agua. Es un proceso más fácil, pero más caro que el del carbón activo en polvo. Actualmente GAC gana importancia ante el PAC.

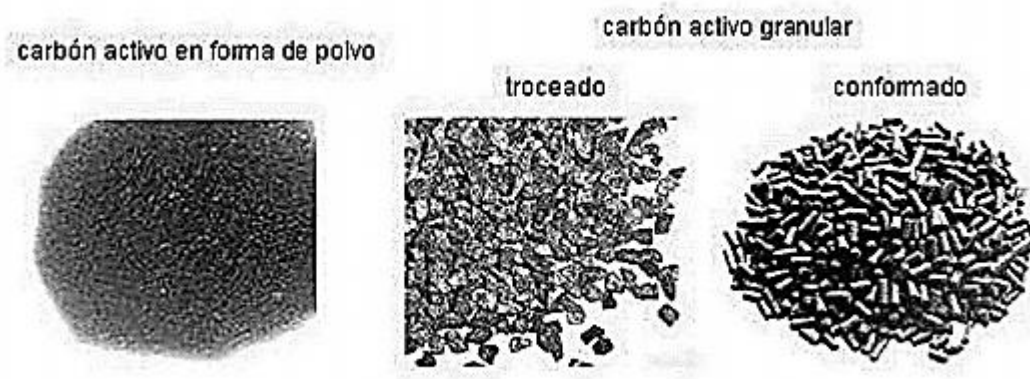
Tiene un tamaño medio de partícula entre  $(1 \times 10^{-6} - 5 \times 10^{-6})$  nm.

Se divide en dos categorías:

Carbón activado troceado (o sin forma) y carbón activado conformado (o con una forma específica, cilindros, discos).

En la figura 2.3 se pueden observar los diferentes tipos de carbón según su tamaño y forma.

**Figura 2.3 Tipos de carbón activo.**



*Fuente:* (García & Granillo, 2017)

### 2.1.6. Métodos de activación para la obtención de carbones activados.

La obtención de carbón activo está basada en dos etapas fundamentales: La carbonización de la materia prima y la activación del producto carbonizado. En general todos los materiales carbonosos pueden ser transformados en carbón activo, siendo las propiedades del producto final dependientes de la naturaleza de materia prima, el agente activante y el proceso de activación. (Lugo, 2017)

La activación del material carbonizado consiste en introducir los agentes activantes responsables de la adsorción por que provoca el incremento de la capacidad de adsorción del material carbonoso mediante el aumento de diámetro de poros creados durante el proceso de carbonización y genera una nueva porosidad bien desarrollada y fácilmente accesible, con un área de superficie interna muy grande.

*Bra. Grethel Alexandra González Martínez & Bra. Williana Elizabeth Villalobo Peña*



En otras palabras, la activación consiste en multiplicar la cantidad de poros de un carbón dando como resultado una estructura extremadamente porosa de gran área superficial disponible para llevar a cabo el proceso de adsorción de impurezas que provocan olor, color o sabor indeseable. (Carrillo & Sanchez, 2013).

Existen dos maneras de activación:

- Química.
- Física (Térmica).

#### ***2.1.6.1. Método de activación física o térmica.***

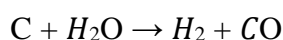
El método de activación térmica se efectúa en dos etapas: en la primera de ellas denominada carbonización o pirólisis, se obtiene el carbonizado por descomposición térmica de la materia prima. Éste constituye un producto de estructura porosa poco desarrollada, que presenta propiedades adsorptivas muy limitadas. En la segunda etapa, denominada activación, el carbón es sometido a la acción de gases que aceleran este proceso, tales como vapor de agua, dióxido de carbono, oxígeno, etc. Este proceso se efectúa a temperaturas que varían desde 800°C hasta 1000°C y como resultado, se obtiene un producto de estructura porosa muy desarrollada, con elevadas propiedades de adsorción, que constituyen la base de su amplia y variada aplicación industrial. (García & Granillo, 2017)

En la carbonización la descomposición térmica de la materia prima carbonosa de partida conduce a dos fracciones:

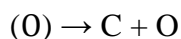
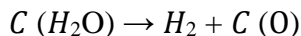
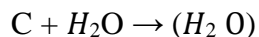
- Una fracción volátil, rica en hidrógeno, que está formada por gases vapores y alquitranes (que son líquidos o sólidos a temperatura ambiente).
- Y un residuo sólido, rico en carbono, denominado carbonizado.

Luego de la carbonización el carbón tiene una estructura porosa desarrolla débil, pero si no es sometido a la etapa de activación posterior no puede ser utilizado como un adsorbente, esta activación térmica o física consiste en tratar la materia prima en presencia de gases (dióxido de carbono, vapor de agua, oxígeno) a elevadas temperaturas. En este proceso, el carbono de la estructura carbonosa reacciona con el agente oxidante, formando óxidos de carbono.

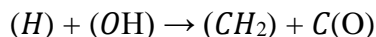
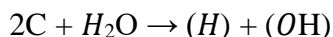
En la activación con vapor de agua la reacción básica del carbono con el vapor de agua es endotérmica:



Muchos grupos de investigación han presentado un mecanismo de reacción basado en un conjunto de pasos sencillo, mediante la formación de complejos, que se presenta a continuación:



El hidrógeno produce un efecto inhibitor debido a la formación del complejo superficial  $C(H_2)$  en los centros activos de la estructura carbonosa. Por otro lado, Long y Sykes propusieron que la primera etapa del mecanismo era la adsorción disociativa de la molécula de agua, formando dos complejos superficiales:



Las reacciones del carbón tanto con dióxido de carbono como con agua necesitan absorción de calor para producirse, razón por la cual las partículas de carbón deben estar en contacto óptimo con el agente activante, es decir, deben estar el gas a una temperatura ligeramente superior a la temperatura de reacción.

En la figura 2.4 se presenta un diagrama con los diferentes procesos que dan lugar en la activación térmica.

**Figura 2.4 Diagrama de los procesos que llevan a cabo la activación térmica.**



**Fuente:** (Sevilla, 2012)

### 2.1.6.2. Método de activación química.

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 usadas son: ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ), Cloruro de zinc ( $ZnCl_2$ ), 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.

*Bra. Grethel Alexandra González Martínez & Bra. Williana Elizabeth Villalobo Peña*

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. Los parámetros fundamentales que controlan el proceso de activación química y el producto a obtener son: la relación de impregnación, la temperatura de activación y el tiempo de residencia.

- **La activación química con  $ZnCl_2$**

Fue el método más usado hasta 1970, especialmente para la activación de residuos de madera. Su uso, sin embargo, se ha restringido mucho en la actualidad, debido a los problemas medioambientales que conlleva el uso del  $ZnCl_2$ . no obstante, algunos países como China aún siguen usando este método para producir carbón activado.

- **La activación química con  $H_3PO_4$**

En la activación química con ácido fosfórico el mecanismo está poco desarrollada, pero se ha realizado investigaciones para el análisis de la química superficial de los carbones activados mediante espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR), comparando los espectros generados de distintos radicales antes y después de la activación química en el carbón activado.

Según investigaciones, el ácido fosfórico tiene un efecto deshidratante que se intensifica con el incremento de su concentración. Así, cuando el  $H_3PO_4$  entra en contacto con el precursor, hidroliza los enlaces glicosídicos de los biopolímeros (celulosa, hemicelulosa y lignina) acelerando la deshidratación y degradación del material impregnado, y favoreciendo las reacciones de condensación aromática entre las moléculas adyacentes, con la consiguiente evolución de productos volátiles gaseosos.

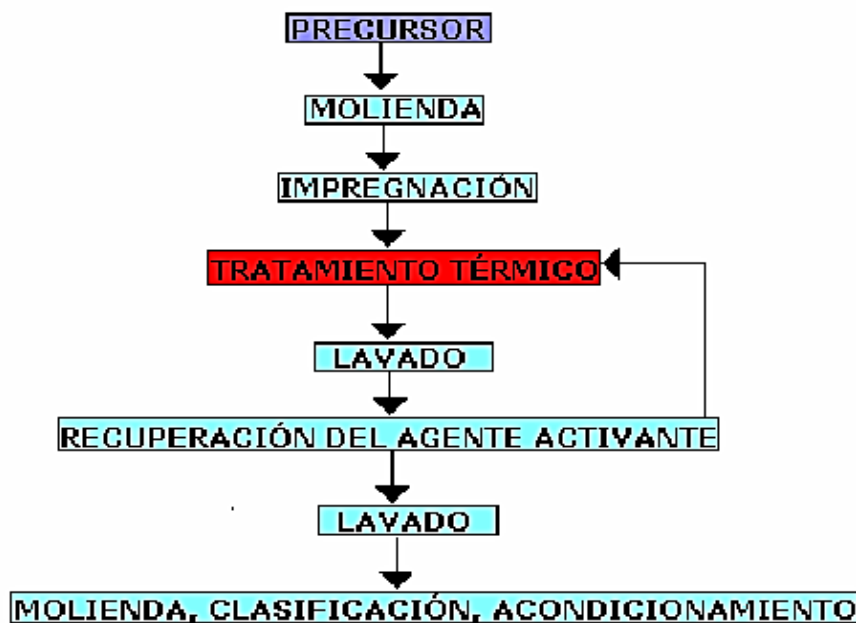
- **La activación química con KOH**

Se desarrolló durante los años 70, para producir los denominados “carbones superactivados”, con superficies específicas del orden de los 3000 m<sup>2</sup>/g. A diferencia de los otros dos agentes activantes, los precursores preferibles para la activación con KOH son aquellos de bajo contenido en volátiles y alto contenido en carbono, como los carbones minerales de alto rango, carbonizados, coque de petróleo, etc.

En esta activación el KOH se mezcla con el precursor, en una suspensión acuosa o mediante una simple mezcla física.

En la figura 2.5 se presenta un diagrama con los diferentes procesos que dan lugar en la activación química.

*Figura 2.5. Diagrama de los procesos que llevan a cabo la activación química.*



*Fuente:* (Sevilla, 2012)

2.1.6.2.1. *Ventajas y desventajas de los procesos de activación.*

En la tabla 2.4 se presentan las ventajas y desventajas de los diferentes procesos de activación.

**Tabla 2.4. Ventajas y desventajas de los métodos de activación.**

Activación química.		Activación física.	
Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
Rendimientos mayores a los de activación térmica y mayor desarrollo de la porosidad.	Se emplean agentes químicos de alto precio.	Bajo costo	Bajo rendimiento en la etapa de activación.
Se lleva a cabo a temperaturas más bajas y menor tiempo de activación.	Es necesario el lavado exhaustivo del carbonizado.	No requiere etapa de lavado.	Mayor temperatura (800-1000°C) Y mayor tiempo de activación.

**Fuente:** Autoras.

Las características y propiedades que poseen los carbones activados dependen del material que se usa para producirlo y el método de activación. Un ejemplo serían los carbones activados a partir de la concha de coco que debido a su dureza las condiciones operacionales que se requieren son elevadas y los carbones activados que se obtienen tienden a ser mesoporosos pero con altos rendimientos. La activación física de materiales lignocelulósicos se sigue empleando a escala industrial para la preparación de carbones activados debido a que, al no requerir agentes químicos para la activación, está resulta más económica y menos contaminante.

La activación química presenta las ventajas sobre la activación física de requerir tratamientos térmicos menores con tiempos más cortos. A si mismo los carbones obtenidos por este método poseen mayores superficies y microporosidad bien controladas en rangos más pequeños.

#### 2.1.6.4. *Propiedades fisicoquímicas de los carbones activados.*

En la tabla 2.5 se presentan las propiedades físicas que contiene un carbón activado.

**Tabla 2.5. Propiedades físicas del carbón activado**

<b>Propiedades físicas del carbón activado</b>	
<b>Área superficial CA</b>	500 - 3000 m <sup>2</sup> /g
<b>Volumen de poros</b>	- 20Å - 500Å
<b>pH</b>	5.5 - 8.0

**Fuente: Autoras**

Las propiedades físicas como químicas son de vital importancia en los carbones activados ya que depende de estas su calidad.

##### 2.1.6.4.1. *Propiedades físicas.*

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.

## **Tamaños de poros.**

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

### a) Microporos:

- Dimensiones inferiores a 20Å
- Realizan la Adsorción
- Contribuyen a la mayor parte del área de la superficie interna.

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

### b) Mesoporos:

- Dimensiones entre 20Å y 500Å
- Realizan el transporte

Son los indicados para las moléculas de tamaño intermedio entre macromoléculas y micromoléculas.

### c) Macroporos:

- Dimensiones superiores a 500Å
- Son la vía de entrada al carbón activo

Los macroporos atrapan moléculas grandes, como los colores intensos húmicas- ácidos y fúlvicos, que se generan al descomponerse la materia orgánica. 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. (Báez Ruiz, 2011)



En la figura 2.4 se observa los diferentes tipos de poroso que contiene una molécula de carbón activado.

*Figura 2.4. Carbón activado y sus diferentes tipos de poros.*



*Fuente:* (Delgado Y. , 2015)

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.

### **Área superficial.**

La superficie es la parte por donde un sólido interacciona con lo que le rodea, ya sea gas, un líquido u otros sólidos. A medida que el tamaño de partículas disminuye, el área superficial por unidad de masa aumenta, la adición de porosidad, especialmente si se trata de poros muy pequeños hace que la superficie aumente mucho más. Polvos muy gruesos pueden tener áreas superficiales de pocos centímetros cuadrados, mientras que materiales porosos pueden tener áreas mayores (varios miles de metros cuadrados por gramos). (Burgos & Jaramillo, 2015)

El área superficial total es definida por el grado de activación y por la estructura de los poros del carbón. Los carbones activados se caracterizan por tener grandes áreas de superficie las cuales pueden ser desde 500 hasta 1 500 m<sup>2</sup>/g Cuando un carbón posee esta área, la capacidad adsorbente del carbón activado es tal, que 1 gramo puede adsorber aproximadamente otro gramo de gases y líquidos. (Cortéz & Deybi, 2015)

La distribución de tamaño de poros y las características químicas de la superficie del carbón son los factores más importantes que afectan la capacidad de adsorción del mismo. Se considera que un tamaño de microporo promedio de 1.3 a 1.8 veces el diámetro del sorbato favorece la adsorción del mismo. Un tamaño menor provoca el rechazo por exclusión de tamaño. La presencia de oxígeno en la superficie en forma de grupos carboxílicos, hidroxifenoles y carbonilo-quinonas también tiene un efecto considerable en las propiedades del sorbente, se considera que el contenido de oxígeno y nitrógeno no debe exceder de 2 a 3 mmol/g (Terrazas Bandala, 2008).

#### 2.1.6.4.2. *Propiedades químicas del carbón activado*

##### **pH**

Los carbones activados poseen pH entre 5.5 – 8.0. “En el caso de un carbón que se activa con ácido fosfórico, el producto que sale del proceso de fabricación tiene fosfatos que al disolverse en agua se convierten en ácidos y por lo tanto disminuyen el pH. Las moléculas orgánicas forman iones negativos a altos valores de pH, iones positivos a valores bajos de pH y moléculas neutras a valores intermedios de pH.

La adsorción de la mayoría de materiales orgánicos es mayor en condiciones neutras. En general, la adsorción de la fase líquida de contaminantes orgánicos por carbón activado incrementa con la reducción de pH. Este efecto resulta de la neutralización de cargas negativas en la superficie del CA a valores bajos de pH. (García & Granillo, 2017).

##### **Humedad**

Que el tiempo de activación tiene influencia significativa en los resultados de humedad para carbones activados siendo esta relación inversamente proporcional. En apariencia, el tiempo de activación afecta de manera negativa la capacidad de adsorción o la capacidad de retención de agua por parte del carbón. Se considera que un carbón activado debe tener entre 1-2% de humedad.

*Bra. Grethel Alexandra González Martínez & Bra. Williana Elizabeth Villalobo Peña*

### **Materia volátil**

El material volátil es un compuesto no deseado en el carbón activado, porque afecta su estructura interna y esto conlleva a que tenga menor área para su capacidad de adsorción. Así mismo la materia volátil no disminuye en el carbón activado al emplearse más concentración de agente químico en la activación.

### **Cenizas**

El contenido de cenizas corresponde al porcentaje de residuo que queda al terminar con la calcinación del carbón. Este reduce la activación general del Carbón activado, Reduce la eficiencia de reactivación. Los carbones comerciales contienen entre 3 y 15% de ellas. Las cenizas están constituidas por elementos no volátiles (K, Ca, Mg, S, Fe, Si, Al y P), con lavados ácidos es posible extraer hasta un 90% de estos.

### **Carbón fijo**

Los valores de carbono fijo se relacionan de manera directa con la capacidad de adsorción; por lo que se espera que a mayor porcentaje de carbono fijo se obtendrá un mayor poder de adsorción. El carbono fijo corresponde a la organización del material carbonoso no volátil de la biomasa (Rodríguez, 2019).

### **Capacidad de adsorción**

Es la propiedad más importante del carbón activado, siendo una medida de la eficiencia de la adsorción, esta puede ser evaluada por la decoloración de las soluciones que contengan un tinte, el más usado es el azul de metileno que puede ser decolorado completamente. Una razón por la cual el carbón activado tiene una capacidad de adsorción es debido a la gran área superficial que presenta y que está contenido en un pequeño peso. (Soto, 2007)

### **2.1.6.5. Materiales que adsorbe un carbón activado.**

- Contaminantes orgánicos.
  - Colores, olores y sabores desagradables.
  - Volátiles.
  - Derivados de petróleo.
  - Compuestos fenólicos.
  - Insecticidas, detergentes.
- Sustancias activas de azul de metileno.
- Sustancias halogenadas (I, Cl, Br, H, F).
- Gases.
- Turbiedad.
- Materia disuelta.

### **2.1.7. Carbón activo en Nicaragua.**

En Nicaragua el mercado del carbón activo ha presentado un importante crecimiento dada sus múltiples aplicaciones y beneficios en diferentes áreas, actualmente en Nicaragua no se fabrica este producto, sin embargo, las investigaciones a nivel mundial han incrementado en los últimos años en este campo.

Según datos de importaciones de carbón activo y otros materiales minerales naturales; a Nicaragua, el principal proveedor es Estados Unidos, Guatemala, y Perú, el cual presenta ascenso de sus importaciones en los últimos años. Por esto es importante el desarrollo de microempresas productoras de carbón activo con materias primas de bajo costo a base de material biomásico, lo que permitirá mayores ganancias y dar valor agregado a los residuos agroindustriales. (García & Granillo, 2017)

### **2.1.8. Preparación del carbón activado.**

Como materia para la fabricación del carbón activado sirve cualquier sustancia que contenga carbono: madera, turba, aceites, cáscaras y huesos de frutas, etc, entre todos ellos las cáscaras se encuentran como una de las mejores materias primas por su alto contenido en carbono.

*Bra. Grethel Alexandra González Martínez & Bra. Williana Elizabeth Villalobo Peña*

Existen dos métodos principales de obtención de carbones activos: la activación física y la activación química; el objetivo de ambas técnicas es incrementar el número de poros o ensanchar su tamaño, de forma que el carbón obtenido (carbón activado) presente una alta capacidad de adsorción. Ambos procesos incluyen la carbonización y la activación. (Cortéz & Deybi, 2015)

### ***2.1.8.1. Preparación de la materia prima.***

Aquí se inicia con la elección de la materia prima, esta deberá estar limpia y puede ser secada por medio del sol y de esta manera reducir costos energéticos o bien con un equipo especial para secarla. Una vez está la materia limpia y seca se pasa al siguiente paso a continuación.

### ***2.1.8.2. Pre carbonización***

Para preparar un carbón activado el precursor se debe someter a un proceso de carbonización, eliminando elementos como el oxígeno y el nitrógeno por descomposición pirolítica en atmósfera inerte para deshidratar el material y eliminar sustancias volátiles. Se obtiene un material en el que el carbono se agrupa en forma de microcristales gráficos elementales, organizado entre sí irregularmente lo que produce huecos intersticiales libres que pueden quedar taponados por alquitranes y residuos de carbonización, presentando por lo tanto una baja capacidad de adsorción.

### ***2.1.8.3. Activación.***

Para mejorar la capacidad de adsorción del producto de carbonización se debe someter a un proceso de activación, que va a permitir eliminar los alquitranes y desbloquear los poros. El proceso de activación 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

Ambos procesos incluyen carbonización y activación. La carbonización es la transformación de la materia prima a carbón. La activación es el proceso de oxidación lenta del carbón resultante por medio del cual se forman millones de poros microscópicos en la superficie del carbón.

*Bra. Grethel Alexandra González Martínez & Bra. Williana Elizabeth Villalobo Peña*

### *2.1.8.3.1. Activación física.*

En la activación física, el precursor es previamente carbonizado en atmósfera inerte (generalmente de nitrógeno) a una temperatura entre 500 °C y 900 °C durante un tiempo entre 10 minutos y varias horas, para deshidratar el material y eliminar las sustancias volátiles. Posteriormente, es activado mediante un agente oxidante, los agentes más utilizados en la activación física son el vapor de agua, seguido del dióxido de carbono y el aire, a una temperatura del orden entre 700 °C y 900 °C, generalmente superior a la alcanzada en la etapa de carbonización, durante tiempos entre 30 minutos y varias horas.

Durante la activación se produce una reacción entre el gas y los átomos de carbono más reactivos, es decir, los más insaturados, eliminándose como monóxido de carbono. La pérdida selectiva de átomos de carbono produce un ensanchamiento de la porosidad, de forma que los microporos del carbonizado se hacen accesibles a las sustancias, y aumenta el volumen de poros a medida que se prolonga la activación.

### *2.1.8.3.2. Activación química.*

También es posible preparar un carbón activado en una sola etapa de carbonización activación. Es lo que se conoce como activación química. Este tipo de activación consiste en adicionar un agente activante al precursor antes de realizar la carbonización, con el fin de reducir la formación de materia volátil y alquitranes para evitar la obstrucción de los poros consiguiendo también un aumento en el rendimiento en carbono sólido. En primer lugar, se mezcla el precursor con el agente activante durante varias horas generalmente con agitación.

Las temperaturas de activación empleadas varían en función del agente activante empleado, y suelen ir desde 300 °C a 900 °C, en el caso del  $H_3PO_4$  se emplean temperaturas de activación más bajas que para otros agentes activantes. En la mayoría de los casos la activación química de los carbones se realiza bajo atmósfera inerte, haciendo pasar una corriente de nitrógeno a través de la mezcla, pero puede utilizarse una atmósfera oxidante.

En este tipo de activación es necesaria una etapa posterior de lavado del carbón para eliminar los restos de agente activante, esta etapa se puede realizar con agua destilada o mediante un soxhlet. La activación química es el tipo de activación más utilizado cuando el precursor es un material lignocelulósico debido a las altas áreas superficiales que se obtienen generalmente.

#### **2.1.8.4. Lavado y secado.**

Este proceso consta de lavar el carbón activado obtenido con agua destilada sucesivas veces para la eliminación de los restos de ácidos, hasta alcanzar un pH próximo a la neutralidad, los carbones comerciales con bajo contenido de cenizas son lavados con ácidos, estos lavados se realizan con ácido clorhídrico, esperando que los componentes orgánicos que contiene dicho material se solubilizan y puedan ser removidos eliminando compuestos de Na, K, Ca, Mg y Fe. Los carbones ya lavados se secan a temperaturas entre 60°C – 100°C en tiempos de 8 -24 horas. (García & Granillo, 2017).

## 2.2. ANTECEDENTES

En el 2011 los investigadores Ardila C. y Carreño Jerez C. De la Facultad de Ingenierías Físicoquímicas de la Universidad Industrial de Stander de Bucaramanga trabajaron en “Aprovechamiento de la cascara de la mazorca de cacao como adsorbente”. La investigación consistió en la implementación de un tratamiento térmico para la modificación química de la superficie de la cascara de mazorca de cacao. 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.

En el 2012, Moraga K., Marina L. & Moreno J., trabajaron en la “Preparación de carbón activado a partir de cáscara de cacao por activación química. Caracterización física y química”, concluyeron que el incremento en la concentración de la solución de ácido fosfórico (agente activante) desarrolla en las muestras una mayor área superficial y una tendencia similar en cuanto al volumen de microporo; además presenta influencia sobre la química superficial del material carbonoso.

Así mismo, en el año 2013 Cruz G. & Canepa C. De la universidad nacional de Tumbes. Estudiaron “La producción y caracterización de carbones activados a partir de residuos agroindustriales” y concluyen que acorde al análisis realizado, las muestras de carbón activado obtenido tienen mayor porosidad en la región microporosa que en la mesoporosa, además demuestran que el  $ZnCl_2$  es un efectivo agente químico activador para la producción de carbón activado de alta porosidad a relativa bajas temperaturas y en una simple etapa.

Burgos y Jaramillo (2015), de la Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador. Realizaron una investigación sobre “Aprovechamiento de los residuos de cacao y coco para la obtención de carbón activado, en el Cantón Milagro, provincia del Guayas”. En este trabajo se manejaron las siguientes variables como temperatura y tiempo en la carbonización tanto para para los residuos de cacao y de coco. En este estudio se demostró que el mejor tratamiento para la elaboración de carbón activado fue utilizando una temperatura y tiempo de 200 °C por 120 minutos respectivamente, donde se concluye que el carbón activado a partir de la cascara de cacao presenta elevadas áreas superficiales.

*Bra. Grethel Alexandra González Martínez & Bra. Williana Elizabeth Villalobo Peña*



### **2.3. PREGUNTAS DIRECTRICES.**

1. ¿La cáscara de mazorca de cacao (*Theobroma Cacao*) es materia prima potencial para la producción de carbón activado?
2. ¿Los procesos de activación físico o químico mejoraran las propiedades adsorbentes del carbón activado?
3. ¿Cuáles serían las etapas del proceso de obtención de carbón activado a partir de la cáscara de mazorca de cacao (*Theobroma Cacao*)?

### **CAPITULO III**



## 3.1. DISEÑO METODOLÓGICO

### 3.1.1. Descripción del ámbito de estudio.

Este trabajo de investigación se llevó a cabo con la realización de revisión bibliográfica utilizando el repositorio de UNAN-Managua, revistas científicas como EBSCOhost y e-libro encontradas en la biblioteca digital UNAN-Managua, periódicos digitales nacionales, revistas y estudios relacionados a los procesos de obtención de carbón activado. Este estudio desde el punto de vista académico en base a las líneas de investigación de la carrera de Química Industrial, pertenece al área de investigación de procesos industriales, sobre la línea producción industrial y el tema de interés síntesis y desarrollo de nuevos materiales químicos, agroquímicos y alimenticios a partir de materia prima orgánica.

### 3.1.2. Tipo de estudio.

La presente investigación es de orientación descriptiva ya que describe las propiedades físico químico de la cáscara de cacao criollo (Theobroma Cacao) y el proceso para obtener carbón activado. Además, el estudio es de corte transversal, puesto que se realizó en un solo tiempo pertenecido entre Agosto a Noviembre 2020, es de enfoque cualitativo y se emplea el análisis documental como método cualitativo.

### 3.1.3. Población y muestra.

#### 3.1.3.1. Población.

Los residuos agroindustriales a nivel nacional con alto contenido de carbono.

#### 3.1.3.2. Muestra.

Se tomará como muestra los residuos del procesamiento del cacao, es decir, una muestra cualitativa de carácter intencional correspondiente a la mazorca de cacao criollo para producir carbón activado.

*Bra. Grethel Alexandra González Martínez & Bra. Williana Elizabeth Villalobo Peña*

### **3.1.3.3. Criterios de inclusión.**

- Investigaciones realizadas recientemente entre el año 2015 – 2020.
- Temas relacionados a los procesos de transformación de la materia orgánica a carbones activados con diferentes tamaños de poros mediante procedimientos físicos y químicos.

### **3.1.3.4. Criterios de exclusión.**

- Investigaciones realizadas antes del 2015.
- Temas relacionados a los procesos de transformación de materia orgánica diferentes a carbón activado mediante procesos físicos y químicos.

## **3.2. Identificación de las variables**

### **3.2.1. Variables independientes.**

- Proceso del carbón activado
- Materia prima
- Activación

### **3.2.2. Variables dependientes.**

- Tipo de carbón.
- Propiedades fisicoquímicas del carbón activado
- Procesos de activación.

### 3.3. Materiales y métodos

#### 3.3.1. Materiales para recolectar la información.

Para la elaboración de este documento se llevó a cabo una revisión bibliográfica de las cuales se realizaron resúmenes de artículos científicos y otros documentos (tesis de grado, libros de texto) relacionados con la obtención de carbón activado y temas afines a la cáscara de la mazorca de cacao. También se utilizó las matrices comparativas como medio de interpretación y discusión de los resultados encontrados.

#### 3.3.1. Materiales para procesar la información.

Office Word 2010	Software utilizado para el procesamiento de textos, elaboración y edición del documento.
Office Paint 2010	Necesario para modificar algunas ilustraciones del marco teórico y anexos.
Computadora y celular	Para la recolección y búsqueda de información en internet.

#### 3.3.2. Método.

En el desarrollo de esta investigación se utilizó el método inductivo mediante el cual se utiliza el razonamiento para obtener conclusiones que parten de hechos aceptados como válidos y se llega a una conclusión general teórica, se aplica partiendo de casos particulares consistente en la recolección de datos sobre hechos específicos y su análisis para formular conclusiones universales. También se lleva a cabo un análisis documental de los diferentes métodos de activación mediante una matriz comparativa, así mismo, dicho análisis conlleva una tabla donde se muestran las propiedades de la cáscara de mazorca de cacao.

Además, se lleva a cabo la realización de un flujograma de proceso (ASME) en donde se presenta el proceso de obtención de carbón activado, también un diagrama de bloque con las etapas y condiciones del proceso y un balance de materia en donde se calculan los rendimientos teóricos de carbón activado obtenido a partir de cierta cantidad de cáscara a partir de la activación química.

El proceso de elaboración de carbón activado por activación química es llevado a cabo mediante el siguiente método:

### **Método de obtención de carbón activo.**

#### **Materiales y reactivos a utilizar**

- Cáscaras de mazorcas de cacao
- Mufla
- Balanza analítica
- Crisoles
- Mortero
- Pipeta
- $ZnCl_2$  37%
- Agua destilada
- Bomba de vacío
- Espátula
- Varilla de vidrio
- Agitador magnético
- Malla N°40 (400  $\mu$ m)
- Beacker (50 ml y 100 ml)

#### **Procedimiento experimental.**

1. Seleccionar la cáscara de mazorca de cacao, las cuales no deben estar en estado de descomposición o con moho; el tratamiento mecánico del proceso de reducción de tamaño se realiza mediante un tratamiento mecánico con mortero y pilón.

*Bra. Grethel Alexandra González Martínez & Bra. Williana Elizabeth Villalobo Peña*

2. En la reducción de tamaño la idea es cortar la materia prima en pedazos manejables de aproximadamente 1 pulgada para que el secado sea eficiente.
3. Una vez obtenidas las cáscaras de la mazorca de cacao reducidas de tamaño, se procede a la siguiente etapa; la precarbonización, la cual se da a una temperatura de 150°C por 2 horas en una mufla previamente calentada, de esta manera se elimina humedad y se obtienen carbones listos para ser sometidos a la activación química.
4. Triturar la cáscara previamente pre carbonizada con un mortero hasta alcanzar un tamaño de partícula < 400µm, pasando la muestra por un tamiz.
5. Seguidamente se adiciona en un crisol la muestra precarbonizada y el catalizador ( $ZnCl_2$ ) a una concentración de 37% (en relación 1:1 por cada gramo de muestra precarbonizada 1mL del agente activante), mezclarlos con una varilla de vidrio hasta alcanzar la homogeneidad de la muestra.
6. Posteriormente introducir el crisol conteniendo la muestra en una mufla para ser sometido a la activación, la cual es llevada a cabo a temperatura de 600°C Por 2 horas, ya que de esta manera se formará gran parte de la porosidad de los carbones.
7. Después de la activación el carbón activado posee residuos del agente activante el cual tiene que ser eliminado mediante un lavado utilizando la técnica de filtración al vacío con agua destilada, sucesivas veces y midiendo el pH constantemente hasta obtener un pH neutro o cercano a la neutralidad (lo cual indica que el agente activador ha sido retirado del carbón).
8. Debido a que después del lavado el carbón activado obtenido posee humedad se somete a temperatura de 150° por 1 hora a la mufla previamente calentada para ser secado.

## ***CAPITULO IV***

---





## 4.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

### 4.1.1. Propiedades fisicoquímicas de la cáscara de cacao (Theobroma Cacao)

En la tabla 4.1 se muestran los resultados de las propiedades fisicoquímicas de la cáscara de cacao.

**Tabla 4.1 resultados de las propiedades fisicoquímicas de la cáscara de cacao (Theobroma cacao).**

Componentes	(Sánchez Quezada, 2013)  CRIOLLO	(Tejada & Jimenez, 2017)  CRIOLLO
<b>Humedad</b>	62,17 %	65,21 %
<b>Cenizas</b>	1,45 %	2,55 %
<b>Carbono</b>	23,17 %	25,35 %
<b>Nitrógeno</b>	1,25 %	1,28 %
<b>Oxígeno</b>	8,64 %	-
<b>Otros</b>	2, 32 %	5,41 %

*Fuente:* Autoras.

En la tabla de resultados se observa que los porcentajes de materiales contenidos en la cáscara de cacao son diferentes según la variedad del fruto, estas diferencias también pueden ser atribuidas a las condiciones climáticas de los cultivos y el tipo de suelo utilizado ya que las plantaciones exigen características especiales de éste. (Sánchez Quezada, 2013) Y (Tejada & Jimenez, 2017) reportan valores altos en carbono: 23,17% y 25,35% respectivamente y valores bajos en cenizas que oscilan entre: 1,45% y 2,75%, siendo (Sánchez Quezada, 2013) y (Tejada & Jimenez, 2017) los que usaron cascara de cacao criollo en sus trabajos y reportaron cantidades bajas.

Lo que indica que estos resultados obtenidos de las muestras de cáscaras de cacao es un material potencial para la producción de carbones activados con buen rendimiento. Así mismo se puede observar que los tres autores encontraron otros elementos en poca cantidad (oxígeno, nitrógeno, otros) que junto con la humedad son eliminados en el secado y la carbonización.

*Bra. Grethel Alexandra González Martínez & Bra. Williana Elizabeth Villalobo Peña*

#### 4.1.2. Procesos de activación del carbón.

En la tabla 4.2 se presentan procesos de activación de carbones activados por diversos autores.

**Tabla 4.2. Procesos de obtención de carbones activados.**

<b>Autores</b>	<b>Método de Activación</b>	<b>pre carbonización</b>	<b>Carbonización y activación.</b>	<b>Resultados</b>
<b>(Ahmad, 2013)</b>	Físico	800 °C 1 h	Agente: CO <sub>2</sub> Temperatura: 850°C Tiempo: 1h	Área superficial de:558,25 m <sup>2</sup> /g MESOPOROSO
<b>(Reyes Regueiro, 2018)</b>	Físico	450 °C 1 h	Agente: Vapor de agua Temperatura: 850 °C Tiempo: 39 min	Área superficial de: 428 m <sup>2</sup> /g MESOPOROSO
<b>(Cruz G. , 2012)</b>	Químico	-	Agente: ZnCl <sub>2</sub> Relación de impregnación: 1:1 Temperatura: 650 °C Tiempo: 2 h	Área superficial de: 780 m <sup>2</sup> /g MICRO-MESOPOROSO
<b>(Cruz &amp; Canepa, 2013)</b>	Químico	150°C 1 h.	Agente: ZnCl <sub>2</sub> 37% Relación de impregnación: 1:1 Temperatura: 600 °C Tiempo: 2 h	Área superficial de: 1 179,3 m <sup>2</sup> /g MICROPORO
<b>(Goncalves &amp; Martin, 2014)</b>	Químico	-	Agente: H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 10% Relación de Impregnación: 1:1 Temperatura: 500 °C Tiempo: 40 Min.	Área Superficial de: 1 077 m <sup>2</sup> /g MICROPOROSO
<b>(López Méndez, 2017)</b>	Químico	-	Agente: H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> Relación de impregnación: 1:3 Temperatura: 600°C Tiempo: 90 Min.	Área superficial de: 1 071,98 m <sup>2</sup> /g MICROPOROSO

**Fuente:** Autoras.

En la tabla se observa que los autores realizaron pretratamiento a diferentes temperaturas de las cuales las más altas son para los que usaron el método físico en su procedimiento (800<sup>0</sup>C y 450<sup>0</sup>C) respectivamente. Y temperaturas bajas en el proceso de activación por el método químico, incluso se observa que en la mayoría de los casos no se realiza la pre carbonización. (Cruz & Canepa, 2013), (López Méndez, 2017), (Cruz G. , 2012) y (Goncalves & Martin, 2014) llevaron a cabo el método de activación química, utilizando dos agentes activantes diferentes (ZnCl<sub>2</sub> y H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), a diferentes temperaturas que varían entre 500-650<sup>0</sup>C, este proceso fue llevado en tiempos entre 40 min-2h, con distinta relación de impregnación.

Estos procedimientos fueron realizados de la cáscara de cacao. A simple vista se observa que los autores que efectuaron la activación química en sus trabajos, reportan áreas superficiales más elevadas y obtuvieron carbones microporosos al contrario de lo que reportan los autores que realizaron la activación física.

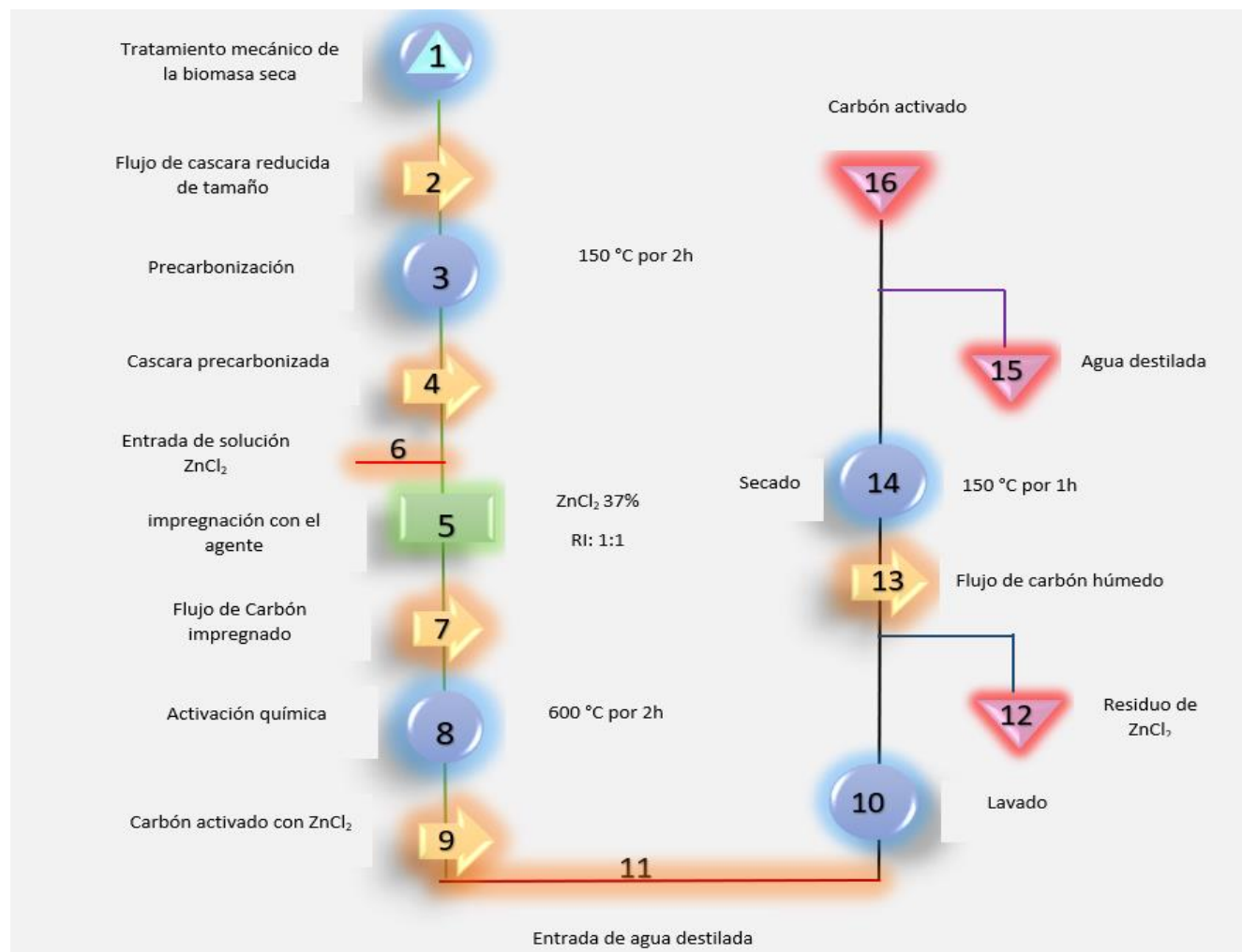
Reportando (Cruz & Canepa, 2013) un área superficial de 1 179,3 m<sup>2</sup>/g obteniendo como resultado un carbón microporoso y (Goncalves & Martin, 2014) de 1 077 m<sup>2</sup>/g, microporoso, siendo estos los dos mejores resultados. Estas diferencias se deben a las distintas variables utilizadas en cada trabajo (temperatura, agente activante, relación de impregnación, tiempo).

Por otro lado se tiene a (López Méndez, 2017) y (Cruz G. , 2012), realizaron también el método químico y obtuvieron carbones microporosos con áreas superficiales menores (1071, 9825 m<sup>2</sup>/g y 780 m<sup>2</sup>/g) respectivamente. Se observa que las áreas superficiales son más bajas usando el método de activación físico: (558,25 m<sup>2</sup>/g y 428 m<sup>2</sup>/g), reportadas por (Ahmad, 2013) y (Reyes Regueiro, 2018)

### 4.1.3. Etapas del proceso de obtención de carbón activado a partir de la cáscara de cacao.

En la figura 4.1 se presenta el flujograma (ASME) para el proceso tecnológico de la obtención de carbón activado a partir de la cáscara de cacao.

**Figura 4.1. Flujograma (ASME) para el proceso tecnológico de la obtención de carbón activado a partir de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao*)**



**Fuente:** Autoras.

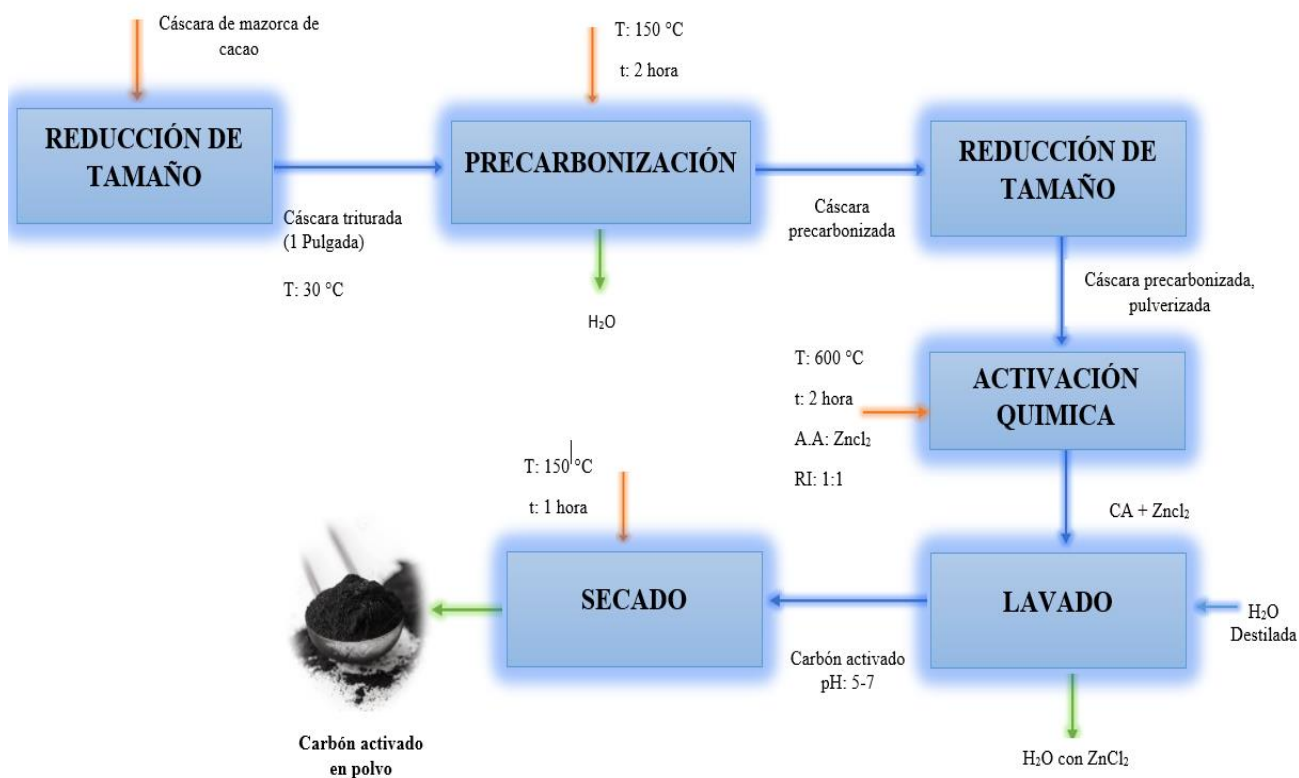
Según el estudio realizado del proceso mostrado en el flujograma, se sugiere cumplir con las siguientes etapas principales: reducción de tamaño, pre-carbonización, activación, lavado y secado para obtener un carbón activado con poros altamente desarrollados y rendimientos altos.

*Bra. Grethel Alexandra González Martínez & Bra. Williana Elizabeth Villalobo Peña*

De cada uno de los puntos mencionados en el proceso depende la obtención de un material tan importante para la industria y la salud.

En la figura 4.2 Se presenta el diagrama de bloque para el proceso tecnológico de la obtención de carbón activado a partir de la cáscara de cacao.

**Figura 4.2. Diagrama de bloques para el proceso tecnológico de la obtención de carbón activado a partir de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao*)**

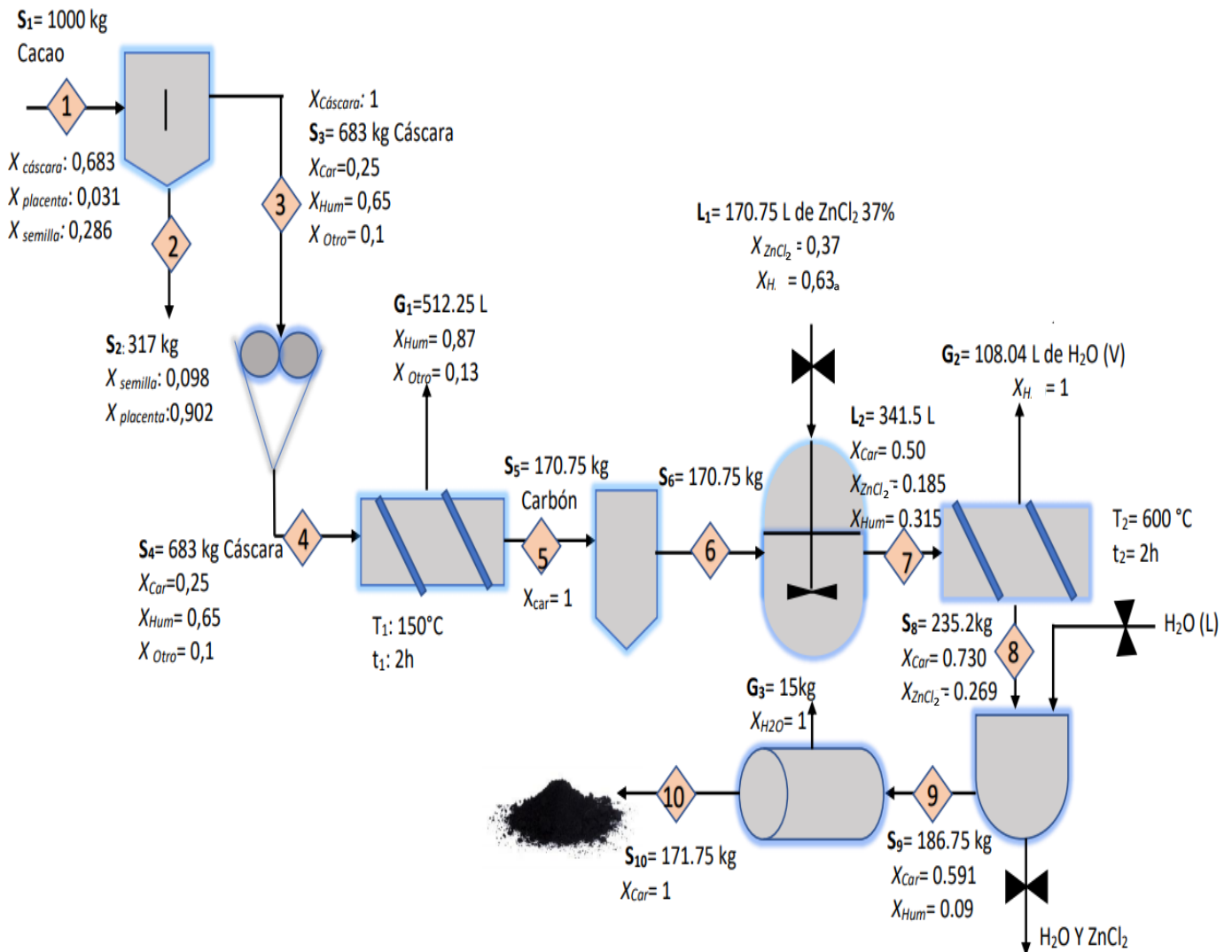


Este diagrama de bloque se usa como representación que define la organización de todo el proceso de carbón activado, sus entradas y salidas. Lo que se desea con el diagrama es indicar la manera en la que se elabora el producto especificando la materia prima, la cantidad de procesos y como se presenta el producto terminado. Aquí se encuentra la información del proceso de obtención de carbón activado a partir de la cáscara de la mazorca de cacao.

*Bra. Grethel Alexandra González Martínez & Bra. Williana Elizabeth Villalobo Peña*

En la figura 4.3 Se presenta el balance de materia con rendimientos teóricos para el proceso tecnológico de la obtención de carbón activado a partir de la cáscara de cacao.

**Figura 4.3. Balance de materia con rendimientos teóricos para el proceso tecnológico de la obtención de carbón activado a partir de la cáscara de cacao (Theobroma cacao).**



Bra. Grethel Alexandra González Martínez & Bra. Williana Elizabeth Villalobo Peña

**ENTRADA = SALIDA.**

$$S_1 = 1000\text{kg}$$

$$68.3\% \text{ Cáscara} = 683\text{kg}$$

$$3.10\% \text{ Placenta} = 31\text{kg}$$

$$28.6\% \text{ semilla} = 286\text{kg}$$

---


$$\text{Total} = 1000 \text{ kg}$$

$$S_3 = 683\text{kg}$$

$$170.75 = 25\% \text{ carbón}$$

$$443.95 = 65\% \text{ H}_2\text{O}$$

$$68.3 = 10\% \text{ Otros}$$

---


$$\text{Total} = 683\text{kg}$$

$$S_2 = S_1 - X_c$$

$$S_3 = S_1 - S_2$$

$$S_5 = S_4 - G_1$$

$$G_1 = S_4 - S_5$$

$$S_4 = S_3$$

$$S_6 = S_5$$

$L_1 = 170.75 \text{ L}$  ya que la relación de impregnación es 1:1 lo que quiere decir que por cada gramo de carbón se debe añadir 1 ml de solución; por cada kilogramos de carbón 1 litro de solución.

$$L_1 = 170.75 \text{ L ZnCl}_2 \text{ 37\%}$$

$$63.5 = 37\% \text{ ZnCl}_2$$

$$108.2 = 63\% \text{ H}_2\text{O}$$

---


$$\text{Total: } 171.75 \text{ L}$$

$$L_2 = S_6 + L_1$$

$$G_2 = L_2 - X_{\text{Car}} + X_{\text{ZnCl}_2}$$

$$S_8 = L_2 - G_2$$

$$S_9 = S_9 - X_{\text{ZnCl}_2}$$

$$L_2 = 341.5 \text{ L}$$

$$170.75 = 50\% \text{ Carbón}$$

$$63.17 = 18.5\% \text{ ZnCl}_2$$

$$107.57 = 31.5\% \text{ H}_2\text{O}$$

---


$$\text{Total} = 341.5 \text{ L}$$

$$\%R = \frac{170.75}{683} = 25\%$$

*Bra. Grethel Alexandra González Martínez & Bra. Williana Elizabeth Villalobo Peña*

Se utiliza el balance de materia como medio para calcular los flujos de materia en el proceso industrial entre las distintas operaciones que lo integran. La idea es hacer una contabilidad teórica de los materiales que entran y salen o se agotan en un intervalo de operación dado. Así mismo también se calculan los rendimientos teóricos de carbón activado obtenido a partir de la cáscara de cacao y así darnos cuenta cuanto producto se puede obtener aproximadamente. Dicho balance de materia también cuenta con un ejemplo de una representación de simbologías de los equipos que se pueden utilizar en cada proceso de elaboración industrial de carbón activado. El primer símbolo representa una peladora mecánica, el segundo símbolo es para el molino de rodillos, el tercero y sexto es símbolo de un carbonizador rotatorio, el cuarto una torre pulverizadora, el quinto de un agitador, el séptimo símbolo es para un tanque de lavado y el ultimo es un secador de túnel.



## ***CAPITULO V***

---



## 5.1. CONCLUSIONES

Conforme a la exploración bibliográfica realizada se concluye:

1. La cáscara de cacao (Theobroma Cacao) es una materia prima potencial debido a su alto contenido de carbón (25,35%), y su bajo contenido de cenizas (1,45%) en el mejor de los casos. Además es una materia la cual se encuentra en abundancia en Nicaragua.
2. En el proceso de activación química es el más indicado, ya que por este método se obtienen carbones activados con alta área superficial (1179,3 m<sup>2</sup>/g), esto se debe a que el agente activante reduce la formación de materia volátil y desarrolla la porosidad del carbón, así mismo los valores de superficies se deben en gran medida a la porosidad que presentan los materiales carbonosos siendo los microporos los que mayor contribución tiene en la superficie.
3. El proceso viable para la producción de carbón activado a partir de la cáscara de cacao está conformado por las siguientes etapas: reducción de tamaño, precarbonización, activación y carbonización, lavado y secado.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

1. Debido al alto porcentaje de humedad que presenta la cáscara de Theobroma Cacao y el alto costo energético que se requiere para eliminarlo, se recomienda secar las cáscaras al sol para minimizar costos de producción de carbón activo.
2. Proyectar un estudio de factibilidad para la producción de carbón activado en Nicaragua, para generar valor agregado a las cáscaras desechadas en las industrias que procesan cacao.
3. Valorizar otras materias primas para la obtención de carbón activado.

### 5.3. BIBLIOGRAFÍA

- Ahmad, F. (2013). Los efectos de la activación de CO<sub>2</sub>, sobre la porosidad y los grupos funcionales superficiales del cacao (Theobroma cacao)- carbón activado a base de cáscara. *Revista de Ingeniería Química Ambiental*, 9.
- ARGÜELLO, M. &. (2000).
- Báez Ruiz, E. J. (2011). Evaluación de la capacidad de adsorción del carbón activado a partir de la vaina de malinche para la remoción de plomo en agua sintética a nivel de laboratorio. *tesis de ingeniería*. Universidad Nacional de Ingeniería, managua.
- Burgos, G., & Jaramillo, J. (2015). Aprovechamiento de los residuos de cacao y coco para la obtención de carbón activado, en el Cantón Milagro, Provincia de Guayaquil. (*monografía para licenciatura*). Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador. Recuperado el octubre de 2020
- Carrillo, V. Y., & Sanchez, N. E. (2013). Elaboración de un filtro a base de carbón activado obtenido del endocarpo de coco con el propósito de reducir la dureza en el agua potable. *monografía de Licenciatura*. Universidad de el Salvador, San Salvador.
- Cortéz, J., & Deybi, L. (2015). Diseño de una planta para la producción de filtros de carbón activado a partir de la cáscara de cacao. *Tesis (Ingeniería)*. Universidad Católica Andrés Bello, Caracas.
- Cruz, G. (noviembre de 2012). Production of activated carbon from cocoa (Theobroma Cacao) pod husk. *Civil & Environmental engineering*, 1-6. Recuperado el 13 de agosto de 2020, de [https://scholar.google.com.ni/scholar?q=production+of+activated+carbon+from+cocoa+\(theobroma+cacao\)+pod+husk&hl=es&as\\_sdt=0&as\\_vis=1&oi=scholar](https://scholar.google.com.ni/scholar?q=production+of+activated+carbon+from+cocoa+(theobroma+cacao)+pod+husk&hl=es&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar)
- Cruz, G., & Canepa, C. (2013). Producción y caracterización de carbones activados a partir de residuos agroindustriales. *Manglar*, 12.
- Delgado, N. (2018). Plan de manejo integral de residuos derivados de la extracción de la pilpa de cacao en la hacienda Bellavista, provincia de Azuay-Ecuador. *tesis de ingeniería*. Universidad de Cuenca, Cuenca.
- Delgado, Y. (2015). Aprovechamiento de los residuos de cacao y coco para la obtención de carbón activado, en el Cantón Milagro. *tesis de licenciatura*. Universidad de Guayaquil, Guayaquil.
- FAO. (marzo de 2012). [www.fao.org](http://www.fao.org). Obtenido de <http://www.google.com/search?q=clasificacion-cacao-segun-fao>
- García, R., & Granillo, Y. (2017). Evaluación de las condiciones operacionales en el proceso de preparación de Carbón activo de cáscara de naranja valencia (citrus sinensis Osbeck). *Bra. Grethel Alexandra González Martínez & Bra. Williana Elizabeth Villalobo Peña*

*Monografía (Licenciatura).* Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua Unan-Managua, Managua.

- Goncalves, R., & Martin, C. (2014). Preparation of activated carbons from cocoa shells and siriguela seeds using H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> and ZnCl<sub>2</sub> as activating agents for BSA . *ELSEVIER*, 477-485.
- González, J. (agosto de 2017). producción y aprovechamiento del amargo precursor del chocolate. *Agrotendencia*, 5. Recuperado el 03 de Diciembre de 2020, de <http://www.agroecuador.org/index.php/blog-noticias/item/317-el-cultivo-del-cacao-clima-y-suelo#:~:text=Los%20factores%20clim%C3%A1ticos%20cr%C3%ADticos%20para,que%20se%20desarrolla%20bajo%20sombra.&text=Estas%20exigencias%20clim%C3%A1ticas%20han%20hecho,e>
- Hernández, M. P. (2015). Síntesis de nanopartículas de plata biológicamente asistida con opuntia SP, y su incorporación de membranas poliméricas nanofibradas. *Tesis (Maestría)*. Centro de Investigación en Química Aplicada, Saltillo.
- López Méndez, D. A. (2017). Evaluación de la capacidad de remoción del colorante reactivo Synosol, ReDK3BS utilizando carbón activado obtenido a partir de desechos industriales como adsorbentes. (*Tesis de Maestría*). Universidad Católica de Santa María, Arequipa.
- Lugo, P. (2017). Desarrollo de un parógeno sintético para la preparación de carbón activado con alta área superficial. *Tesis de maestría*. Centro de investigación en química aplicada, Saltillo.
- Luna, D. G. (2007). Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco.
- Machado Alvarez, S. X. (2017). *Análisis del proceso de biosorción de cobre presente en efluentes líquidos utilizando bagazo de caña de azúcar y cascara de cacao (Bachelor's thesis)*.
- MASRENACE. (2015). Diagnostico del sector cacao en Nicaragua. 12.
- MASRENACE. (2015). Diagnostico del sector cacao en Nicaragua. *MASRENACE*, 12.
- Ortiz-Valbuena, K. L.-L. (2015). Efecto del vertimiento de subproductos del beneficio de cacao (*Theobroma cacao L.*) .
- Reyes Regueiro, R. (2018). Optimización de las condiciones de obtención de carbón activado de cáscara de café y cacao para la remoción de Niquel (II). (*Tesis de Ingeniería*). Instituto Superior Minero-Metalurgico de MOA, Moa.
- Rodríguez, j. (2019). Producción de carbón activado a partir de la testa de la almendra de cacao con ácido fosfórico al 60%. *Tesis de Ingeniero*. Universidad Nacional de Ján, Ján.

*Bra. Grethel Alexandra González Martínez & Bra. Williana Elizabeth Villalobo Peña*

- Sánchez Quezada, J. P. (2013). EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE CÁSCARAS DE CACAO NACIONAL. (*Tesis de Maestría*). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/4508/1/tesis.pdf>
- Sevilla, U. (2012). Manual del carbón activado. Obtenido de <http://scholar.google.com/%23p%DqyOr71comlwJ-MANUAL-DEL-CARBON-ACTIVADO>
- Somoza, A. (3 de diciembre de 2019). *El Nuevo Diario*. Obtenido de [www.elnuevodiario.com.ni/nacionales/480757-variedades-cacao-fino-nicaragua/](http://www.elnuevodiario.com.ni/nacionales/480757-variedades-cacao-fino-nicaragua/)
- Tejada, C., & Jimenez, M. (2017). Remoción de cromo hexavalente sobre residuos de cacao pretratados químicamente. *Manglar*, 7.
- Terrazas Bandala, L. P. (2008). “Preparación e implementación de membranas compuestas de triacetato de celulosa y partículas de carbón activado para la remoción. (*Tesis Doctoral*). CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES AVANZADOS, Zaragoza.

## ANEXOS

---



*Bra. Grethel Alexandra González Martínez & Bra. Williana Elizabeth Villalobo Peña*

## ANEXO 1

### 1.1 GLOSARIO

**Ácido:** Es un compuesto que libera hidrógenos cuando se disuelve en agua.

**Adsorbente:** Es un sólido que tiene la capacidad de retener sobre su superficie un componente presente en corrientes líquidas o gaseosas.

**Biomasa:** Materia orgánica presente en un individuo, nivel trófico o sistema terrestre, proveniente de un proceso biológico, espontáneo o provocado que se puede utilizar como fuente de energía.

**Cáscara:** Capa o cubierta exterior, resistente, dura o quebradiza que envuelve algunas.

**Desorción:** Es la capacidad para que un producto químico se mueva con la fase móvil.

**Evaporación:** Es un proceso físico que consiste en el paso lento y gradual de un estado líquido hacia un estado gaseoso

**Exotérmico:** Cualquier reacción química que desprenda energía, ya sea como luz o calor.

**Etanol:** líquido incoloro, de olor fuerte, inflamable que se obtiene por destilación de productos de fermentación de sustancias azucaradas.

**Fermentación:** Proceso bioquímico de transformación de un sustrato orgánico producido por enzimas de bacterias, levaduras u hongos en el cual se pueden liberar gases o no.

**Fósil:** Restos o señales de actividad de organismos pretéritos.

**Fosforilación:** Es la adición de un grupo fosfato a cualquier otra molécula.

**Furfural:** El compuesto es un aldehído industrial derivado de varios subproductos.

**Galactosa:** Es un azúcar simple o monosacáridos formado por seis átomos de carbono o hexosa que se convierte en glucosa.

**Gasolina:** Líquido volátil, inflamable y de olor característico que está constituido por una mezcla de hidrocarburos y se obtiene por destilación fraccionada del petróleo.

**Geotérmica:** Es energía que se obtiene mediante el aprovechamiento del calor del interior de la tierra.

**Glucólisis:** Es el primer paso en la degradación de la glucosa para extraer energía para el metabolismo celular.

*Bra. Grethel Alexandra González Martínez & Bra. Williana Elizabeth Villalobo Peña*



**Glucopiranosas:** Es un término colectivo para los carbohidratos que tiene una estructura química que incluye un anillo de seis miembros, consiste en cinco átomos de carbono y uno de oxígeno.

**Hemicelulosa:** Heteropolisacárido formado por un conjunto heterogéneo de polisacáridos, a su vez formados por un solo tipo de monosacáridos unidos por enlaces  $\beta$  (1-4) (fundamentalmente xilosa, galactosa, manosa y glucosa), que forma una cadena lineal ramificada.

**Herbáceos:** Que tiene aspectos o las características de la hierba.

**Hidroeléctrica:** Genera energía a través de corrientes de agua.

**Hidrólisis:** f. quim, Descomposición de compuestos químicos por acción del agua.

**Hidrofílica:** Una molécula que se puede enlazar temporalmente con el agua a través de un enlace hidrógeno.

**Hexosas:** Son monosacáridos formados por una cadena de seis átomos de carbono.

**Heteropolímero:** Compuesto formado a partir de subunidades diferentes, como una proteína compuesta por varias subunidades de aminoácidos.

**Intramoleculares:** Son enlaces iónicos, metálicos o covalentes. Son fuerzas que se deben vencer para que se produzca un cambio químico.

**Ignición:** Circunstancia de estar una materia en combustión o incandescencia.

**Nanopartículas:** Una nanopartícula es una partícula que posee las tres dimensiones menores que 100 nm.

**Matriz:** es una tabla de doble entrada que muestra información de una forma resumida y concentrada

**Adsorción:** es un proceso por el cual átomos, iones o moléculas de gases, líquidos o sólidos disueltos son retenidos en una superficie

**Desincentiva:** Perder el incentivo o privar de él.

**Adsorbtivas:** acción absorbente que presentan enorme importancia en el desarrollo de operaciones y procesos en la industria química

**Filtrante:** proceso de separación de partículas sólidas de un líquido utilizando un material poroso llamado filtro.

**Cacaotero:** es el nombre científico que recibe el árbol del cacao

*Bra. Grethel Alexandra González Martínez & Bra. Williana Elizabeth Villalobo Peña*

**Adsorbente:** Es un sólido que tiene la capacidad de retener sobre su superficie un componente presente en corrientes líquidas o gaseosas.

**Biomasa:** Materia orgánica presente en un individuo, nivel trófico o sistema terrestre, proveniente de un proceso biológico, espontáneo o provocado que se puede utilizar como fuente de energía.

**Desorción:** Es la capacidad para que un producto químico se mueva con la fase móvil.

**Remoción:** Acción y efecto de remover o removerse.

**Biopolímeros:** Los biopolímeros son macromoléculas presentes en los seres vivos. Una definición de los mismos los considera materiales poliméricos o macromoleculares sintetizados por los seres vivos.

**Volátiles:** Que se volatiliza fácilmente en contacto con el aire.

## ANEXO 2.

### 2.1. Mapa de distribución por departamento del cultivo de cacao.

Figura 2.1. Distribución por departamento del cultivo de cacao en Nicaragua

Los municipios que integran cada gran núcleo productivo son los siguientes:

- ✓ Waslala, Rancho Grande y Tuma-La Dalia
- ✓ Triángulo Minero (Siuna, Bonanza y Rosita)
- ✓ Matiguás, Muy Muy y Río Blanco
- ✓ San Carlos, Sábalos y El Castillo en Río San Juan
- ✓ El Rama, Muelle de los Bueyes, La Cruz de Río Grande y Nueva Guinea
- ✓ El Cuá, Wiwilí y San José de Bocay.
- ✓ Granada y Rivas (incipiente)

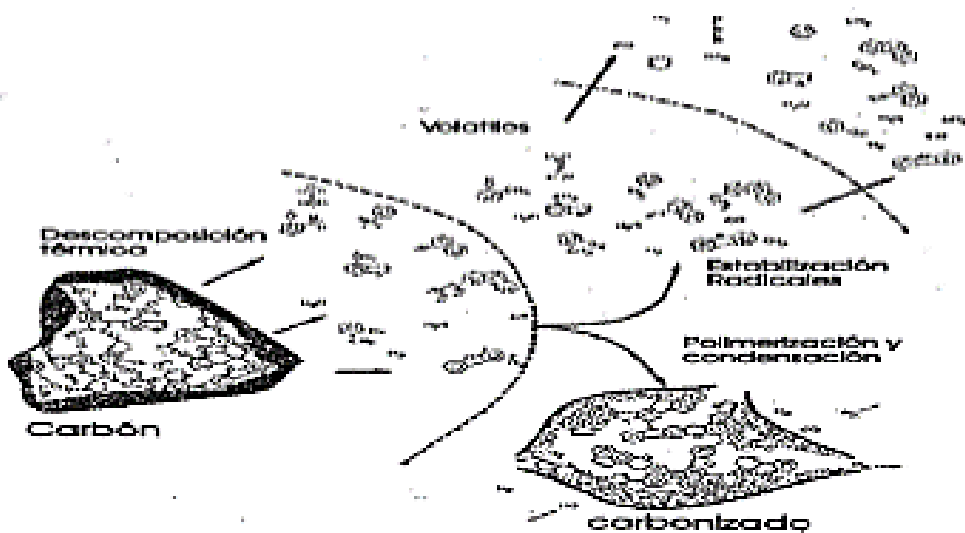


Fuente (Aguilae, 2016)

## ANEXO 3

### 3.1. Representación del proceso de carbonización.

Figura 3.1. Representación del proceso de carbonización del carbón en la térmica. Representación del proceso de carbonización del carbón en la activación térmica.



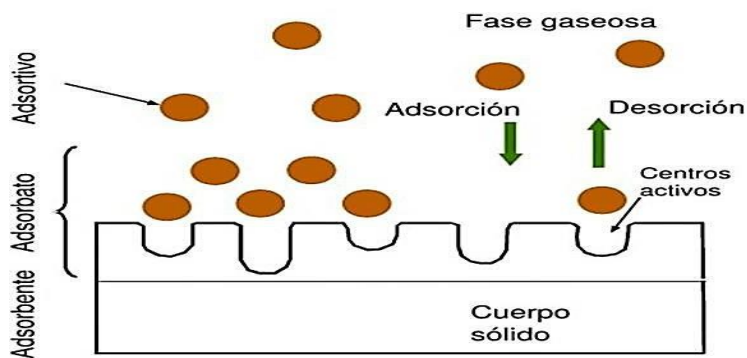
Fuente: (Pilamonta, 2013)

Bra. Grethel Alexandra González Martínez & Bra. Williana Elizabeth Villalobo Peña

#### ANEXO 4.

##### 4.1. Representación del proceso de adsorción y desorción que se da en los carbones activados.

Figura 4. Esquema del proceso de adsorción y desorción del carbón activo.

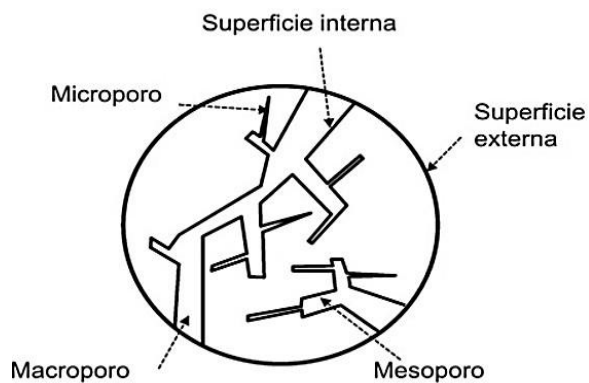


Fuente: (Gómez, Klose y Rincón, 2010)

#### ANEXO

##### Estructura porosa de carbones activados

Figura 5. Estructura Porosa de Carbones Activos



Fuente: (Gomez, Klose, y Rincón)

