**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**

# MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN ARTESANAL Y CALIDAD DEL CARBÓN ACTIVADO OBTENIDO A PARTIR DE LA CÁSCARA *CRESCENTIA ALIATA* EN LA COMUNIDAD EL BONETE, MUNICIPIO DE VILLA NUEVA, 2015 a 2018.

**TESIS DE INGENIERÍA QUÍMICA:**


PRESENTADO POR:

**Fabricio Castro Granados**

TUTOR

**PhD. Francisco J. Picado Pavón**
CIRA/UNAN-Managua

ASESOR:

**Ing. Felipe Mendoza Arriaza.**
CIRA/UNAN-Managua


Managua, enero de 2019

**AGRADECIMIENTO**

Mi agradecimiento al Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua) por proveerme los recursos económicos, el tiempo, los espacios en los laboratorios, la conducción y el asesoramiento de mi proyecto de tesis. A la Maestra Selvia Flores, directora del CIRA/UNAN-Managua por haber tenido confianza en mis capacidades

Mi agradecimiento al PhD. Francisco J. Picado Pavón y al Ing. Felipe Mendoza Arriaza, quienes han brindado sus conocimientos y experticias para la realización de este proyecto de tesis

Agradezco a la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), por haberme aceptado ser parte de ella y abierto las puertas del conocimiento científico, para cursar la carrera de Ingeniería Química, así como también a los diferentes docentes de la Facultad de Ingeniería Química que contribuyeron a mi formación para seguir adelante día a día.

Expreso mis agradecimientos a los miembros de la Asociación para el Desarrollo de Campesinos y Artesanos El Bonete (ADECAB), quienes me brindaron el apoyo necesario para la realización de mi tesis monográfica.

A mi esposa, padres, hermanos, quienes siempre estuvieron apoyándome

## DEDICATORIA

A DIOS, por haberme permitido, terminar esta etapa de mi vida.

## RESUMEN

El objetivo de esta tesis fue evaluar el proceso artesanal de producción de carbón y su calidad, el cual es obtenido a partir de la cáscara de jícaro sabanero (*Crescentia aliata*) por la Asociación para el Desarrollo de Campesinos y Artesanos El Bonete (ADECAB) en Villanueva Chinandega, para proponer mejoras al proceso. Para esto, se hizo primeramente un peritaje a través de cuatro acompañamientos y posteriormente se llevaron a cabo dos ensayos de laboratorio, los cuales consistieron en la carbonización directa de la cáscara de jícaro para la obtención del carbón y la precarbonización de la cáscara antes de su carbonización. Esto permitió conocer además la concentración óptima del agente activante (ácido fosfórico) y las temperaturas idóneas de carbonización y activación para lograr obtener un carbón activado. La calidad del carbón producido por la ADECAB fue evaluada mediante la determinación del tamaño de partícula, volumen de poros, y porosidad. Estas propiedades fueron comparadas con las propiedades del carbón industrial de referencia. La capacidad de adsorción de los carbones fue determinada utilizando azul de metileno. Como resultado del peritaje se identificó que el proceso cuenta con debilidades en sus etapas de producción. Entre estas están: el almacenamiento de la cáscara de jícaro en un ambiente con alta humedad, fugas importantes de calor en la etapa de carbonización, el lavado del carbón producido es realizado con agua de pozo, sin ningún tratamiento previo, el tiempo de secado del carbón producido es insuficiente y su almacenaje se realiza en bolsas de gabacha. Al evaluar la calidad del carbón producido por la ADECAB, se observó que este no cumple con las características de un carbón activado, ya que el tamaño de partícula, humedad contenida y su porosidad, son hasta 25, 7,6 y 0,1 veces mayores e inferior respectivamente a las del carbón industrial. Estos resultados están directamente asociados a la absorbancia nula del carbón de la ADECAB. De acuerdo a los resultados de los ensayos de laboratorio se determinó que la cascará de jícaro sometida al (experimento II) precarbonizado demostró una mejor adsorbancia al azul de metileno (0,001 mmol/g), la que fue similar a la del carbón activado Industrial. Tanto la humedad, tamaño de partícula, densidad, volumen de poro, así como la porosidad de este carbón son también similares a las del carbón Industrial. Por lo tanto, se concluye que el proceso de producción de carbón de la ADECAB debe mejorar algunas de sus etapas e integrar nuevas tales como: selección y limpieza, reducción de tamaño de la cáscara de jícaro, tamizado de la cáscara de jícaro carbonizada, y la activación a 600 grados centígrados.

# Contenido

**AGRADECIMIENTO** i
**DEDICATORIA** ii
**RESUMEN** iii

**I. INTRODUCCIÓN** 1
**II. ANTECEDENTES** 2
**III. JUSTIFICACIÓN** 4
**IV. OBJETIVOS** 5
4.1 Objetivo general 5
4.2 Objetivos específicos 5
**V. MARCO TEÓRICO** 6
5.1. Jícaro Sabanero 6
5.2. Adsorción 6
5.3. Carbonización 7
5.4. Activación 7
5.5. Características fisicoquímicas del carbón activado 7
5.6. Tamaño de partícula 8
5.7. Área superficial 8
5.8. Poro y volumen de poro 8
5.9. Humedad 9
5.10. Densidad aparente 9
5.11. pH 9
**VI. MATERIALES Y MÉTODOS** 10
6.1 Materiales 10
6.2 Reactivos 10
6.3 Equipos 10

6.4 Peritaje al proceso de producción artesanal de carbón en la ADECAB 11

6.5 Procedimiento para la caracterización del carbón ADECAB, y carbón producido a nivel de laboratorio. 11

6.5.1 Tamaño de partícula 11

6.5.2 Contenido de humedad 12

6.5.3 Densidad aparente 12

6.5.4 Volumen de poros 13

6.5.5 Porosidad del carbón activado 14

6.5.6 Capacidad de adsorción del carbón artesanal y de referencia. 14

6.5.7 Obtención de carbón activado a nivel de laboratorio 15

6.5.7.1 Procedimiento Experimento I Forma Directa: 16

6.5.7.2 Secado, Limpieza, y Reducción de tamaño de la cáscara de Jícaro: 16

6.5.7.3 Impregnación, Activación, Carbonización y Enfriamiento: 16

6.5.7.4 Lavado: 17

6.5.7.5 Tamizado: 17

6.5.7.7 Peso, Embalaje 17

6.5.7.7 Diagrama de flujo de la obtención de carbón activado. Experimento I (Directa producida a nivel de laboratorio a 600 ° C) 18

6.5.8.1 Procedimiento experimento II Forma Precarbonizada 19

6.5.8.3 Carbonización: 19

6.5.8.6 Impregnación: 19

6.5.8.7 Activación: 20

6.5.8.8 Enfriado, Lavado: 20

6.5.8.10 Pesado, Embalaje 20

6.5.9.1 Diagrama de flujo de la producción de carbón activado a nivel de Laboratorio. Experimento II (Pre carbonizada a 400-600°C) 21

**VII ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS** 22

7.0 Peritaje al proceso de producción artesanal de carbón en la ADECAB. 22
7.1.1 Acopio de la cáscara de Jícaro 22
7.1.2 Precalentamiento de hornos 23
7.1.3 Carbonización de la cáscara de jícaro 23
7.1.4 Enfriamiento 24
7.1.6. Remoción del ácido fosfórico (Lavado). 25
7.1.7. Secado del carbón producido en la asociación ADECAB. 25
7.1.8 Pesaje y Embalaje del carbón activado. 25
7.1.9 Diagrama de flujo del proceso de obtención del carbón artesanal en la ADECAB 26
7.2 Balance de masa del proceso de producción de carbón en la ADECAB 27
8.0 Caracterización de las propiedades físicas del carbón ADECAB artesanal y carbón Darco 28
8.1 Humedad del carbón ADECAB y Darco. 28
8.2 Densidad aparente del carbón activado ADECAB y Darco. 29
8.3 Volumen de Poros y Porosidad del carbón ADECAB y DARCO 29
8.5 Resultados Experimento I y II Humedad, Densidad, Volumen de Poro, Poro. 31
8.6 Resultados Experimento I y II capacidad de adsorción carbón activado a nivel de laboratorio 32
8.7 Porcentaje de remoción de azul de metileno 32
8.7.1 Limitaciones del proceso ADECAB 34
8.7.2 Mejoras propuesta para el proceso de obtención del carbón activado 34
8.8 Flujograma de producción del carbón activado 37
**IX. CONCLUSIONES** 38
**X. RECOMENDACIONES** 39
**XI. NOMENCLATURA** 41
**XII. BIBLIOGRAFÍA** 42

**XIII. ANEXOS** 45

1.1 Diseño experimental 45

1.2 Características generales (tipo de investigación) 45

1.3 Factores: 45

1.4 Niveles: 45

1.5 Tratamientos (estimación del número) 45

1.6 Análisis factorial: 46

1.7 Variable respuesta**:** 46

1.8 Definición de unidad experimental**.** 46

1.9 Pregunta directriz**.** 46

1.10 Tamaño de muestra**:** 46

**XIV INDICE DE TABLAS ANEXO** 47

1 Tabla 1 Densidad aparente carbón ADECAB 47

2 Tabla 2 Densidad aparente carbón ADECAB 47

3 Tabla 3 Densidad aparente carbón ADECAB 48

4 Tabla 4 Densidad aparente carbón ADECAB 48

5 Tabla 5 Densidad aparente carbón ADECAB 49

6 Tabla 6 Densidad aparente carbón ADECAB 49

7 Tabla 7 Densidad aparente carbón ADECAB 50

8 Tabla 8 Densidad aparente carbón ADECAB 50

9 Tabla 9 Densidad aparente de carbón activado Darco 51

2.0 Tablas de tamaño de partícula ADECAB 51

1 Tabla 1 ADECAB, Tamaño de Partícula 51

2 Tabla 2 ADECAB, Tamaño de Partícula 51

3 Tabla 3 ADECAB, Tamaño de partícula 52

4 Tabla 4 ADECAB, Tamaño de Partícula 52

5 Tabla 5 ADECAB, Tamaño de Partícula 52

6 Tabla 6 ADECAB, Tamaño de Partícula 52
7 Tabla 7 ADECAB, Tamaño de Partícula 53
8 Tablas 8 ADECAB, Tamaño de Partícula 53
9 Tabla 9 Darco, Tamaño de Partícula 53
3.0 Tabla 3 Porcentaje de humedad de la cáscara de Jícaro 54
3.1 Tabla 3.1 Contenido de humedad del carbón ADECAB y carbón Darco 55
4.0 Tabla 1 Producción de carbón activado Experimento Directo 56
5.0 Tabla 2 Producción de carbón activado Experimento Precarbonizado 57
6.0 Curva de calibración y adsorbancia carbón ADECAB y Darco 59
6.1 Tabla 6.1 Adsorbancia carbón ADECAB y carbón Darco 59
7.0 Adsorbancia carbón producido en Experimento I a 600°C 61
8.0 Adsorbancia carbón producido en Experimento II 400-600°C 62

## XV ÍNDICE DE FIGURAS

1 Figura 1 Acopio de cáscara de jícaro 32
2 Figura 2 Preparación y limpieza de hornos 33
3 Figura 3 Cáscara de jícaro en ollas 33
4 Figura 4 Medición de temperatura durante la carbonización 34
5 Figura 5 Enfriamiento de la cáscara carbonizada 34
6 Figura 6 Peso y Embalaje del carbón producido en ADECAB 35
7 Figura 7 Adsorción de carbón Darco, ADECAB 70
8 Figura 8 Porosidad del carbón Activado Darco 70
9 Figura 9 Porosidad de carbón ADECAB 70
10 Figura 10 adsorbancia del carbón del carbón pre carbonizado 72
11 Figura 11 carbón activado Precarbonizado 72
12 Figura 12 de producción de carbón activado 73
13 Figura 13 de producción de carbón artesanal ADECAB 75

# I. INTRODUCCIÓN

El carbón activado, posee estructura cristalina con un área superficial aproximada de 1500 $m^2/g$ de carbón, los poros situados en esta área superficial y el arreglo espacial de los átomos de carbón permiten atraer moléculas de compuestos causantes de color, olor, y mal sabor en el agua. Dada esta propiedad, el carbón activado es utilizado en muchas aplicaciones como en la medicina y en la industria de alimentos. (E.U.P 2015).

La Asociación de Campesinos y Artesanos de El Bonete (ADECAB) de Villanueva, Chinandega sobrevive de la comercialización de la semilla del fruto del jícaro sabanero (Crescentia aliata), una especie resistente a la sequía (López M. 1969). Sin embargo, en el 2015 la ADECAB inició la producción de carbón activado a partir de la cáscara de jícaro con el fin de ser comercializado, no obstante, en la actualidad la ADECAB ha mostrado la necesidad de evaluar su proceso de producción y examinar si el carbón que está produciendo es de calidad.

Esta calidad es definida por las características del carbón, tales como: tamaño de partícula, porosidad, volumen de poro, humedad, capacidad de adsorción, entre otras. En esta tesis monográfica se propone evaluar, a través de acompañamientos técnicos, el proceso de producción de la ADECAB para la obtención de carbón activado, e identificar las debilidades existentes en el proceso que permitan elaborar una propuesta para su mejora, así como examinar la calidad del carbón producido.

El procedimiento realizado en orden cronológico para el logro de los objetivos propuestos fue: i) Peritaje de cada etapa del proceso artesanal de obtención del carbón activado ii) Análisis de laboratorio para caracterizar el carbón obtenido bajo las condiciones usuales del proceso iii) Evaluación de las características del carbón producido artesanalmente, tomando como referencia las del carbón industrial Darco® y iv) Obtención en el laboratorio de carbón activado a partir de la cáscara cruda de jícaro. Los resultados obtenidos identifican las acciones encaminadas a mejorar el proceso artesanal para la obtención de carbón activado y consecuentemente a aumentar los ingresos económicos de las familias que integran la ADECAB.

## II. ANTECEDENTES

En el 2015, la Asociación de Campesinos y Artesanos de El Bonete (ADECAB) surgió la oportunidad de producir carbón activado a partir de la cáscara de jícaro, con la aspiración de obtener un producto con valor agregado, desconociendo si este producto contaba con la calidad requerida para ser considerado carbón activado. En convenio con el Centro para la Investigación en Recursos Acuático de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua),(www.cira.unan.ni), la ADECAB propuso hacer una evaluación para determinar la calidad del carbón que ellos producen, a través de pruebas de laboratorio.

En los primeros esfuerzos realizados por el CIRA/UNAN-Managua (Picado F. Mendoza F. y F. Castro 2016), los cuales fueron materializados a través de acompañamientos técnicos al proceso de producción, se logró identificar la necesidad de apoyar a la ADECAB para determinar las características del carbón que ellos estaban produciendo, así como evaluar si el proceso artesanal de producción de carbón requería de mejoras. En este contexto y para dar respuesta a estas necesidades es que se originó la presente tesis.

Existen otros materiales para la obtención de carbón activado como la vaina de malinche (Matus y Delgado 2015), cáscara de almendra (Martínez de Yuso 2012), lo cual resulta en un carbón con una alta capacidad de adsorción. Sin embargo, las condiciones del proceso de obtención demandan de temperaturas altas (hasta 500 °C) y tiempos prolongados (hasta 120 minutos) de activación.

Investigaciones previas (Casco y Estrada, 1993) han demostrado la obtención de carbón activado de la cáscara de jícaro, utilizando como agentes activantes ácido fosfórico ($H_3PO_4$) e hidróxido de sodio (NaOH). La relación de impregnación del hidróxido de sodio utilizada en estas investigaciones fue del 50% en peso, y la del ácido fosfórico de 20%. La comparación de datos de adsorción, utilizando Iodo y azul de metileno para la adsorción, indican que la adsorción del carbón de cáscara de jícaro es similar a la adsorción del carbón industrial (Casco y Estrada, 1993).

Por tanto, dada las características inherentes de la cáscara de Jícaro para la obtención de carbón activado, las condiciones del proceso de la ADECAB para la obtención de carbón activado fueron evaluadas.

El uso de carbón activado en Nicaragua es generalizado en la industria, principalmente en la decoloración de aceites vegetales, tratamiento de agua de procesos y potabilización de agua, también en la industria azucarera. Esto genera costos importantes de importación que se traduce en fuga de divisas del país. Por tanto, la elaboración de carbón activado de calidad a partir de la cáscara de jícaro, contribuiría a mejorar la economía de la ADECAB y de la comunidad de Villa Nueva, así como satisfacer en cierto grado la demanda local de carbón activado.

## III. JUSTIFICACIÓN

En Nicaragua, la ADECAB comercializa la semilla del fruto del jícaro sabanero para refrescos naturales. La pulpa de este fruto, rica en agua y minerales, es utilizada como alimento para ganado. Del fruto también se pretende aprovechar económicamente la cáscara convirtiéndola en un producto con un alto valor.

La ADECAB ha utilizado la cáscara de jícaro para mantener el fuego de los hornos en el proceso para la elaboración de cerámica, y la producción de alimentos a base de maíz, como cosa de horno y rosquillas. Sin embargo, la ADECAB comenzó recientemente a producir carbón artesanal a partir de la cáscara y así obtener un beneficio económico producto de la venta de este carbón.

Debido a limitaciones financieras y técnicas que presenta la ADECAB para caracterizar el carbón que produce, la misma desconoce las propiedades físicas del carbón producido, así como la capacidad de adsorción del mismo. Por tanto, es necesario evaluar el carbón producido artesanalmente tomando como referencia el carbón producido industrialmente.

Los estudios de caracterización y evaluación del carbón producido por la ADECAB, realizados en esta tesis, han sido los primeros pasos para la optimización del proceso de obtención y del mejoramiento de la calidad del carbón activado. Esto generará empleo a unas 30 familias, localizadas en una de las zonas más marginadas de Chinandega, una manera de incrementar sus ingresos económicos y a la vez contribuiría a la reducción de sus residuos sólidos.

## IV. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

4.1.1 Evaluar el proceso de producción artesanal de carbón de la Asociación para el Desarrollo de Campesinos y Artesanos El Bonete

4.2 Objetivos específicos

4.2.1. Valorar al proceso de producción artesanal de carbón en la ADECAB**.**

4.2.2 Caracterizar las propiedades físicas del carbón elaborado artesanalmente de la cáscara de jícaro sabanero por la ADECAB.

4.2.3 Evaluar la capacidad adsorbente del carbón activado de la cáscara de jícaro sabanero de ADECAB y compararlo con carbón activado de calidad Industrial

4.2.4 Establecer las mejoras requeridas en el proceso de producción de carbón activado en la ADECAB

## V. MARCO TEÓRICO

El carbón activado es utilizado para remover, a través de la adsorción, color, olor y sabor, de aguas naturales, además para eliminar ciertos microorganismos en filtros para peceras, carros, refrigeradores, hasta sistemas complejos como plantas modernas de tratamiento de aguas residuales, y sistemas de elaboración de antibióticos.

### 5.1. Jícaro Sabanero

El Jícaro Sabanero de hoja en cruz es del orden de las *crophulariales*, y de la familia de la Bignoniáceas de nombre científico, *Crescentia alata H.B.K.*; (López M. 1969). Este árbol arbusto está compuesto de 3 foliolos, el peciolo o tronco torcido tiene ramas gruesas alargadas horizontales corteza externa fisurada con grietas o hendiduras cortas, crece en áreas abiertas de suelo negro con alto contenido de arcilla, que en estaciones secas forma profundas grietas. El Jícaro sabanero es originario de América y de México.

El fruto del jícaro, es una baya redondeada protegida por un pericarpio leñoso delgado y consistente dentro del cual se encuentra un material pulposo y fibroso rico en agua y minerales.

### 5.2. Adsorción

Es el proceso de adherencia de una sustancia a una superficie; consiste en la transferencia de materia desde una fase liquida o gaseosa hasta una superficie donde se enlaza mediante fuerzas intermoleculares. (E.U. P. 2015, P. 13).

El carbón activado tiene la capacidad de atraer y retener moléculas de otros compuestos. A este mecanismo de atracción se le denomina adsorción, al sólido se le denomina adsorbente y a la molécula atrapada, adsorbato. La unión entre el carbón y el adsorbato, se lleva a cabo por medio de fuerzas de London, que son una de las clases de fuerzas de Van Der Waals. Estas fuerzas son relativamente débiles y por lo tanto reversibles al utilizar calor y presión. (Casco y Estrada 1993); (E.U. P.  2015, P.13)

## 5.3. Carbonización

La carbonización es un proceso que se inicia a temperaturas por debajo de los 600˚C, de modo que se logre la deshidratación y la volatilización de forma controlada, de compuestos carbonosos, obteniéndose un carbonizado con elevado porcentaje de carbón fijo, y una estructura porosa inicial.

Durante la carbonización, los elementos no carbonosos, como el hidrógeno y el oxígeno, y los carbonosos como la lignina y celulosa, presentes en la madera, son eliminados y carbonizados por la pirolisis de la madera, facilitando que los átomos de carbono se organicen en estructuras conocidas como micro cristalinas, entre estos micro cristalinas hay espacios libres, con ordenamiento irregular, que por lo general son bloqueados por alquitranes y residuos de la descomposición pirolítica.

(E.U. P. 2015, P.27)

## 5.4. Activación

Es el agrandamiento y profundizamiento de estructuras cristalinas formadas en la carbonización, conocidas como poros; La activación se debe al poder deshidratante del ácido fosfórico ($H_3PO_4$). El proceso involucra el mezclado de la materia prima original con el agente activante (deshidratante), formando una pasta que luego es secada y carbonizada en un horno, a una temperatura entre 200 y 650 ºC, ocurriendo una deshidratación con el resultado final de la creación de una estructura porosa y una ampliación del área superficial.

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 dependencia de la estructura del carbón con estas variables puede ser seguida por los cambios en las formas del carbón, con ayuda de las isotermas de adsorción. (E.U. P. 2015, P.28)

## 5.5. Características fisicoquímicas del carbón activado

El carbón activado es un producto con capacidad adsorbente, qué mediante un tratamiento térmico incrementa esa capacidad producto del aumento del área superficial y su porosidad que lo hace aún más adsorbente (E.U. P. 2015, P.10).

Este tiene una gran variedad de tamaños de poros, los cuales pueden clasificarse en poros de adsorción y poros de transporte.

Se pueden distinguir tres tipos de poro según su radio ***r***: Macroporos, de radio ***r***>25 nm, Mesoporos, de radio mayor a un nanómetro, menor a 25 nanómetros (25 >***r***>1 nm) y microporos de radio ***r***)>1 nm., según la IUPAC (Internacional Unión of Pure and Aplicate Chemists).” (E.U. P. 2015, P.12). La distribución del tamaño del poro en el carbón activado depende fundamentalmente de tres factores: tipo de materia prima, forma de activación, y la duración del proceso de activación.

Los carbones activados pueden presentar elevadas superficies específicas, del orden de los 1000 $m^2/g$, incluso llegar hasta los 3000 $m^2/g$, Los elevados valores de superficie especifica se deben en gran medida a la porosidad que presentan los materiales carbonosos, siendo los microporos los que mayor contribución tienen en la superficie específica Los carbones activados pueden adsorber moléculas de agua con un diámetro de 3 Å que es equivalente a 0,3 nm en sus microporos (E.U. P. 2015),

5.6. Tamaño de partícula

El tamaño de partícula del carbón activado juega un papel muy importante, cuanto más fino es la partícula de carbón activado mejor es el acceso al área superficial y más rápida la cinética de adsorción. En aplicaciones en fase liquida para purificación de agua existen dos tipos utilizados usualmente, granular y pulverizado, de estos dos el granular es utilizado para remover materia orgánica, moléculas grandes causantes del mal olor en aguas residuales. (E.U. P. 2015, P.12)

5.7. Área superficial

Es la extensión de la superficie de los poros desarrollada dentro de la matriz del carbón activado, es el indicador primario del nivel de actividad asumiendo que, a mayor área superficial mayor número sitios de adsorción disponibles.

5.8. Poro y volumen de poro

Los poros son cavidades, canales intersticios que son más profundos que anchos, El volumen de poro, es la referencia de espacios vacíos distribuidos en la superficie

del carbón.

## 5.9. Humedad

La humedad, es la porción de agua adherida, a los poros del carbón activado.

## 5.10. Densidad aparente

Es la masa del carbón activado que ocupa un volumen determinado en la probeta y que es medido como la relación entre el volumen y el peso seco incluyendo huecos y poros que contenga el carbón

## 5.11. 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 liquida 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 carbón activado a valores bajos de pH. La neutralización de cargas negativas reduce los impedimentos a la difusión y conduce a un mayor número de centros de adsorción.

El alcance de este efecto varía con la técnica de activación del carbón. La diferencia de valores de pH puede a su vez aumentar debido a grupos funcionales ácidos o básicos sobre el carbón activado. Estos grupos pueden ser liberados por simple contacto con agua destilada mejor que los grupos funcionales fijados a la superficie. Una relación inversa ha sido hallada entre la capacidad de adsorción y la acides de la superficie, (Ures P. Suarez J. y Jácome A. 2015).

## VI. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la caracterización del carbón artesanal y del carbón Darco, así como de la elaboración de carbón a nivel de laboratorio se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

### 6.1 Materiales

Los materiales utilizados para la medición, carbonización, activación, fueron: cápsulas de porcelana, pipetas de graduación de 2,0, 2,5, 5,0 y 10,0 ml, probetas de graduación de 100 y 200 ml, Baker de 500 ml, tamices de 2 y 4 mm, balones de 250 ml, y cintas pH.

Se usó como referente de calidad el carbón activado granular Darco ® No. de catálogo 242233, distribuido por Sigma-Aldrich. Este es un carbón lígnico lavado con ácido con un tamaño de partícula de 4-12 mesh de alta calidad para ser usado en investigación y desarrollo. (https://www.sigmaaldrich.com/us-export.html).

### 6.2 Reactivos.

El reactivo utilizado para la activación fue el ácido fosfórico $H_3PO_4$ en disolución al 10 y 20 % grado Reactivo y el reactivo utilizado para las pruebas de adsorción fue el azul de metileno ($C_{16}H_{18}ClN_3S$).

### 6.3 Equipos

Los equipos utilizados para la obtención del carbón activado y los diferentes procedimientos como: pesar, carbonizar, activar, secar, calentar, y medir temperatura, agitar muestras, y medir concentraciones de ácidos, y absorbancias se muestran en la siguiente tabla 1

Tabla 1. Equipos y Materiales para la obtención de carbón activado

| EQUIPOS Y MATERIALES | MARCA | MODELO |
|---|---|---|
| 1. Balanza analítica | SARTORIUS | CPA2202S |
| 2. Horno | BLUE.M | DV18SC |
| 3. Mufla | Fisher scientific | 556-126 |
| 4. Espectrofotómetro | Perkim Elmer | Lambda. Xls |
| 5. Plancha | Thermo Scientific | 1419250 |
| 6. Agitador Magnéticos | EQUATHER | Streer 267-953 |
| 7. Pirómetro | Fisher scientific | PM20700 |
| 8.Termometro Infrarrojo | Thomas scentific | 1832 Degree |
| 9. pH-metro | Accumet | XL25 |
| 10. Microscopio electrónico | Olimpus | Cx41 |
| 11. Stereoscopio | Leica | EZ4 |
| 12 Desecador | Fisher scientific | Bell Art |
| 13. Molino | Corona | 121 |

## 6.4 Peritaje al proceso de producción artesanal de carbón en la ADECAB.

El peritaje al del proceso de producción de carbón activado en la ADEACAB consistió en cuatro acompañamientos con el fin de conocer las etapas del proceso y para identificar alternativas que resulten en la mejora del proceso.

## 6.5 Procedimiento para la caracterización del carbón ADECAB, y carbón producido a nivel de laboratorio.

En el laboratorio de aguas residuales de del CIRA/UNAN-Managua se caracterizó la muestra proporcionada por la asociación ADECAB, a la cual se le práctico medición de: Humedad, determinación de Tamaño de partícula, Densidad vibrada aparente, medición de Volumen de poro, Porosidad, determinación de capacidad de adsorción. De igual manera, estos parámetros se determinaron a la muestra de carbón Darco.

### 6.5.1 Tamaño de partícula

Para realizar el análisis granulométrico, se tomó una muestra homogenizada de correspondiente a 300 g de carbón ADECAB, y también de carbón de referencia, y se hizo pasar por una serie de tamices de diferentes mallas. Se tomó un tamiz 4

mm y se puso sobre un tamiz de 2 mm y a la vez sobre un tamiz de 0,63 mm se agito sobre un papel blanco, las partículas de 4 mm quedaron en el tamiz de 2 mm y las partículas de 2 mm quedaron sobre el tamiz de 0,63 y las partículas de 0,63 quedaron sobre un papel

El tamaño de partícula fue estimado a través de la siguiente ecuación:

$$T = \frac{d}{c} \times 100 \qquad Ec.\ 6.1$$

En donde: *T* es el porcentaje del carbón retenido (%) d es el peso del carbón retenido en cada tamiz (g) y *c* es el peso de la muestra de carbón inicial (g).

6.5.2 Contenido de humedad

Se pesaron 50 gramos de la muestra de carbón homogenizado de la ADECAB, y se introdujo en un horno a 120 ºC ± 3ºC por una hora. Luego, se dejó enfriar la muestra en un desecador, para pesar nuevamente en una balanza analítica con precisión de 0,01 g.

El porcentaje de humedad se determinó por la siguiente ecuación

$$H = \frac{(L - M) \times 100}{L} \qquad Ec.\ 6.2$$

Donde
H: Porcentaje de humedad, %
L: Peso de la muestra antes del secado en g
M: Peso de la muestra después del secado en g

6.5.3 Densidad aparente

La densidad aparente fue determinada a la muestra homogenizada, después de medir la humedad del carbón artesanal y de referencia. Se utilizó una probeta graduada de 250 ml, y se agregó la muestra seca golpeando suavemente la probeta, permitiendo libremente la deposición del carbón hasta alcanzar la marca

de graduación. Luego fue pesado el contenido de carbón en una balanza analítica marca sartourius CPA 2202s con precisión 0,01g. La cantidad de carbón que ocupó el volumen de interés fue calculada con la siguiente ecuación para obtener su densidad aparente.

La densidad aparente del carbón activado ADECAB y del carbón Darco se determinó con la siguiente ecuación

$$D = \frac{M}{V} \qquad Ec.\ 6.3$$

Dónde: *D* es la densidad (g/ml), *M* es el peso del carbón activado (g) y *V* es el volumen ocupado en la probeta por el carbón activado (ml). Medición del volumen en probeta de 250ml.

6.5.4 Volumen de poros

Se determinó el volumen de los poros, a la muestra homogenizada de carbón ADECAB y las de carbón de referencia.

El volumen de espacios vacíos o volumen de poros en el carbón ADECAB y en el carbón Darco, se estableció, hirviendo las muestras, previamente pesadas (5 g), en 60 ml de agua destilada durante una hora. Este procedimiento permite desplazar el aire contenido en los poros del carbón, posteriormente las muestras fueron extendidas sobre un papel absorbente para su secado superficial a temperatura ambiente $25^0$C, durante 45 minutos, finalmente, y después del secado las muestras de carbón fueron pesadas nuevamente en una balanza Marca: Sartourius, CPA 2202s, con una precisión de 0,01g.

Para el cálculo del volumen de poros del carbón activado se consideró el aumento en el peso del carbón dividido entre la densidad del agua destilada utilizada ($\rho H_2O$ ($25^0$C) ~ 0,99713 g/ml).

EL volumen de los poros, se calculó con la siguiente ecuación, expresado en ml/g. El aumento de peso divido entre la densidad del líquido, es igual al volumen de poros expresados en ml por gramo de carbón activado, (Casco y Estrada 1993).

$$V_p = \frac{m_h - m_s}{\rho_{agua}} * \frac{1}{ms} \qquad Ec. 6.4$$

Dónde:

$V_p$: Volumen de poros en ml/g
$m_h$: Masa del carbón activado hervido y secado superficialmente g
$m_s$: Masa del carbón activado antes de hervirlo g
$\rho_{agua}$: Densidad del agua a 25 ºC g/ml.

6.5.5 Porosidad del carbón activado

Para determinar la porosidad del carbón activado se necesitó determinar el volumen de poros y el volumen especifico total de ésta, (4 réplicas) El volumen específico total de la muestra, no es más que el inverso de la densidad aparente, (Casco y Estrada 1993).

$$P = V_p \times D \qquad Ec.\ 6.5$$

En donde, *P* es la porosidad o fracción de espacios vacíos en el carbón, *Vp*: Volumen de poros (ml/g) del carbón y *D* es la densidad aparente del carbón (g/ml)

6.5.6 Capacidad de adsorción del carbón artesanal y de referencia.

La capacidad de adsorción del carbón activado ADECAB y la del carbón de referencia Darco, se determinó mediante la elaboración de una curva de adsorción de la siguiente manera:

La curva de calibración fue preparada a partir de una solución de azul de metileno ($C_{16}H_{18}ClN_3S$) de 0,1mM. Las concentraciones de la curva fueron: 0,025; 0,02; 0,01; 0,005; 0,002 y 0,001mM y sus absorbancias fueron medidas en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 620 nm. A partir de estos datos se elaboró el grafico de absorbancia vs concentración del azul de metileno ($C_{16}H_{18}ClN_3S$) (Anexo 4.0)

Una muestra de carbón artesanal y carbón Darco de 0,15 a 0,20 g se depositaron por separado en un beaker que contenía 100 ml de azul de metileno de concentración 0,1 mM (tabla anexo tabla 6) y luego se agitaron durante 16 horas continuas. Al finalizar el tiempo de agitación, se midieron las absorbancias de las soluciones en un espectrofotómetro; al volumen de las soluciones se les midió las absorbancias.

Utilizando la curva de calibración del azul de metileno, para la lectura de las adsorbancia correspondientes a la muestra homogenizada del carbón artesanal y del carbón activado de referencia, se calculó la concentración utilizando la siguiente ecuación:

$$C_{am} = \left(C_{mi} - C_{mf}\right) \times {}^{V}/_{m} \qquad \text{Ec. 6.6}$$

En donde: $C_{am}$ es la concentración del azul de metileno adsorbido por gramos de carbón (mM/g), $C_{mi}$ y $C_{mf}$ son las concentraciones respectivas inicial y final, en mM del azul de metileno al inicio y al final del ensayo (proceso de adsorción), m es la masa carbón y *V es* el volumen de la solución de azul de metileno en litro.

6.5.7 Obtención de carbón activado a nivel de laboratorio

La presente investigación, es descriptiva y experimental, se elaboró un diseño experimental factorial para la manipulación y control de variables operacionales, para el proceso de elaboración de carbón activado; las variables que se estudiaron para obtener carbón activado a nivel de laboratorio fueron: temperatura de carbonización concentración del agente activante (ácido fosfórico).

Se realizó análisis factorial para la optimización de las variables, se elaboraron 4 experimentos basado en el diseño factorial $2^k$ para determinar la capacidad de adsorción del carbón activado a nivel de laboratorio y del carbón de alta calidad Darco®.

Para esto se llevaron a cabo dos experimentos, utilizando las cáscaras de jícaro que proporcionó la ADECAB

Esta tarea fue realizada en los laboratorios del CIRA/UNAN-Managua con el propósito de obtener información sobre el mejoramiento de la calidad del carbón y

proponer recomendaciones para mejorar el proceso de producción del carbón en la ADECAB.

6.5.7.1 Procedimiento Experimento I Forma Directa:

La cáscara de jícaro cruda, secada al sol, proporcionada por la asociación ADECAB, fue fragmentada con los pies y se le practicaron procedimientos de limpieza, reducción de tamaño, Carbonización, Impregnación y Activación, la solución activante utilizada fue ácido fosfórico

Cuatro muestras de 50 g de cáscara cruda de jícaro sabanero y cuatro capsulas de porcelana, la cáscara y la porcelana, fueron pesadas en una balanza Sartourius, CPA 2202s, con una precisión de 0,01g, la cáscara cruda pesada fue impregnada por 20 minutos, en cuatro Baker, que contenían, solución activadora de ácido fosfórico al 10 y 20%, las cuatro muestras, fueron colocadas en una mufla, a una temperatura de 600°C, por una hora.

6.5.7.2 Secado, Limpieza, y Reducción de tamaño de la cáscara de Jícaro:

Esta etapa consistió en secar al sol y limpiar la cáscara de jícaro de residuos de pulpa existentes en ella, reducir el tamaño de la cáscara de jícaro, hasta alcanzar un tamaño entre uno a dos pulgadas.

6.5.7.3 Impregnación, Activación, Carbonización y Enfriamiento:

La activación y carbonización de la cáscara limpia reducida de tamaño y seca al sol fue realizada en un solo paso. Esta cáscara se impregnó por separado con solución de ácido fosfórico al 10 y 20% con agitación constante durante 20 minutos, luego la cáscara impregnada con ácido fue introducida en una mufla a una temperatura de 600 º C durante una hora, luego la cáscara carbonizada fue retirada de la mufla y enfriada en un desecador.

Como referencia para el ácido fosfórico en el experimento I y II, se utilizó la concentración de ácido fosfórico al 10%, con la cual la ADECAB, produce carbón

artesanal, también se trabajó con concentración al 20%, sugerida por pruebas realizadas previamente en esta investigación

6.5.7.4 Lavado:

El carbón activado resultante de la etapa anterior fue lavado repetidamente con un galón y medio de agua destilada. El carbón fue colocado en un beaker de 500 ml en un agitador magnético y se agitó durante 20 minutos, a cada lavada se le midió su pH y se dejó de lavar el carbón cuando el agua de lavado alcanzó un pH neutro (pH=7).

6.5.7.5 Tamizado:

La muestra resultante del horno lavada y escurrida fue tamizada en un tamiz de entre 2 y 4 milímetros para obtener carbón granular

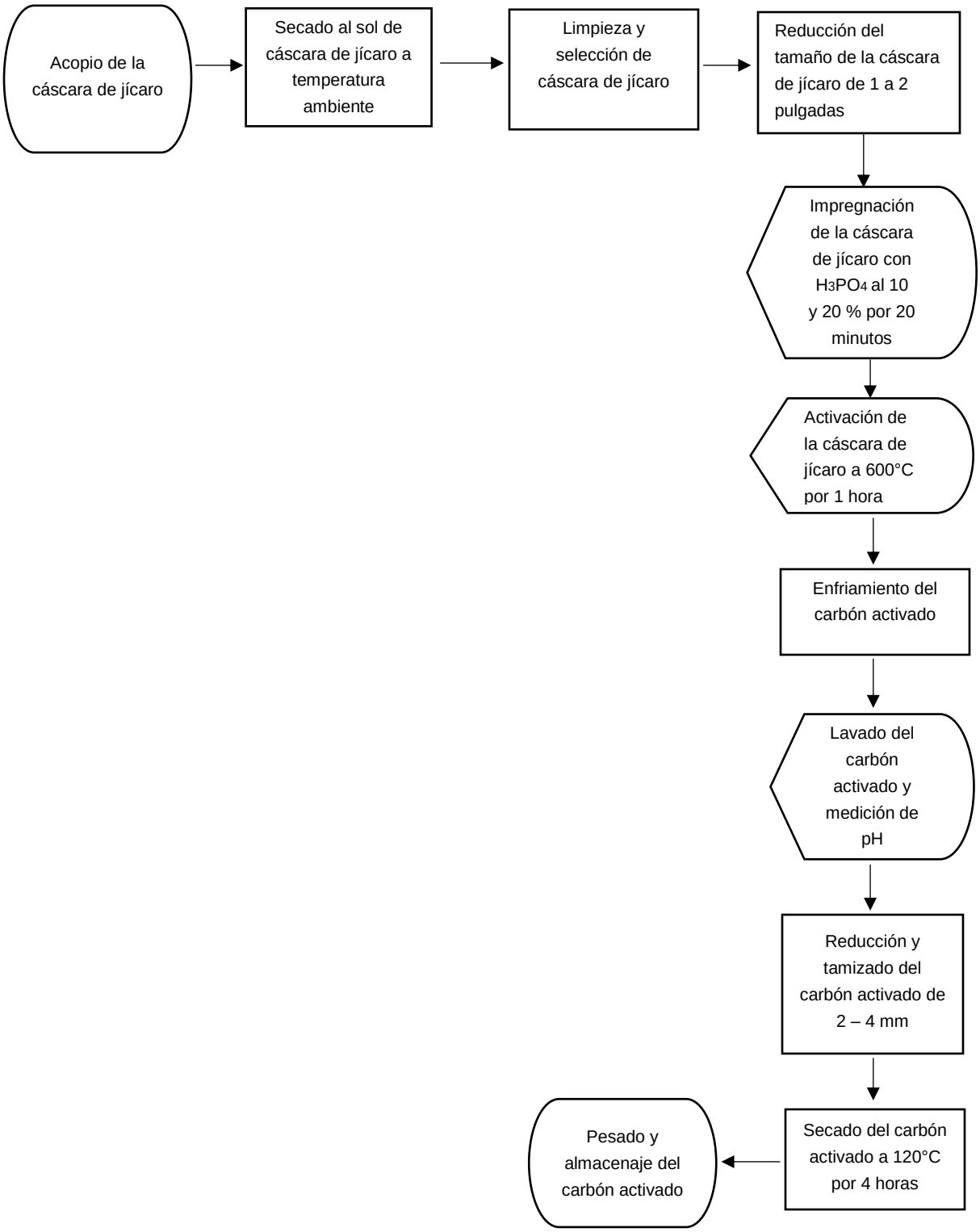
6.5.7.6. Secado:

En este paso la muestra de carbón, resultante de la carbonización activación y lavado, se secó en un horno a 120 ˚C, durante 4 horas y posteriormente enfriada en un desecador.

6.5.7.7 Peso, Embalaje

Las muestras resultantes frías fueron guardadas en bolsas plásticas con sello.

6.5.7.7 Diagrama de flujo de la obtención de carbón activado. Experimento I (Directa producida a nivel de laboratorio a 600 ° C)



6.5.8 Experimento II Forma Precarbonizada:

6.5.8.1 Procedimiento experimento II Forma Precarbonizada

La cáscara de jícaro cruda, seca y reducida, fue precarbonizada en capsulas previamente pesada a una temperatura de 400°C, por una hora. La cáscara precarbonizada resultante se enfrió, e impregnó con ácido fosfórico $H_3PO_4$, por 20 minutos, se sometió a una segunda carbonización (activación) de una hora a 600°C.

Como referencia para el ácido fosfórico en el experimento I y II, se utilizó la concentración de ácido fosfórico aproximadamente al 10%, con la que la asociación ADECAB, produce carbón artesanal, también se trabajó con concentración al 20%.

6.5.8.2 Secado al sol, Limpieza, y Reducción de tamaño de la cáscara de Jícaro:

Esta etapa consistió en secado al sol, limpieza de la cáscara de jícaro de residuos de pulpa existentes en ella, reducción del tamaño de la cáscara de jícaro, hasta alcanzar un tamaño entre uno a dos pulgadas.

6.5.8.3 Carbonización:

La cáscara limpia reducida de tamaño y secada al sol fue carbonizada en una mufla a 400ºC por una hora.

6.5.8.4 Enfriamiento:

El carbón se enfrió en un lugar libre de oxígeno (desecador)

6.5.8.5 Reducción de Tamaño y tamizado:

La cáscara carbonizada resultante se redujo de tamaño y se tamizó a un tamaño de 2 y 4 milímetros para obtener carbón granular;

6.5.8.6 Impregnación:

La cáscara carbonizada, enfriada y reducida, fue impregnada con solución de ácido fosfórico al 10 y al 20%, durante 20 minutos en agitación.

6.5.8.7 Activación:

La cáscara carbonizada e impregnada fue activada en una mufla a 600ºC durante una hora.

6.5.8.8 Enfriado, Lavado:

El carbón activado obtenido fue enfriado en un desecador, y posteriormente lavado repetidamente con un galón y medio de agua destilada. Para esto el carbón fue colocado en un Baker de 500 ml y agitado con ayuda de un agitador magnético durante 20 minutos, a cada lavada se le midió su pH y se dejó de lavar el carbón cuando el agua remanente de lavado alcanzó un pH neutro (pH=7).

*6.5.8.9* Secado:

En esta etapa la muestra de carbón resultante de la carbonización y activación fue secada en un horno a 120˚C, durante 4 hora y posteriormente enfriada en un desecador.

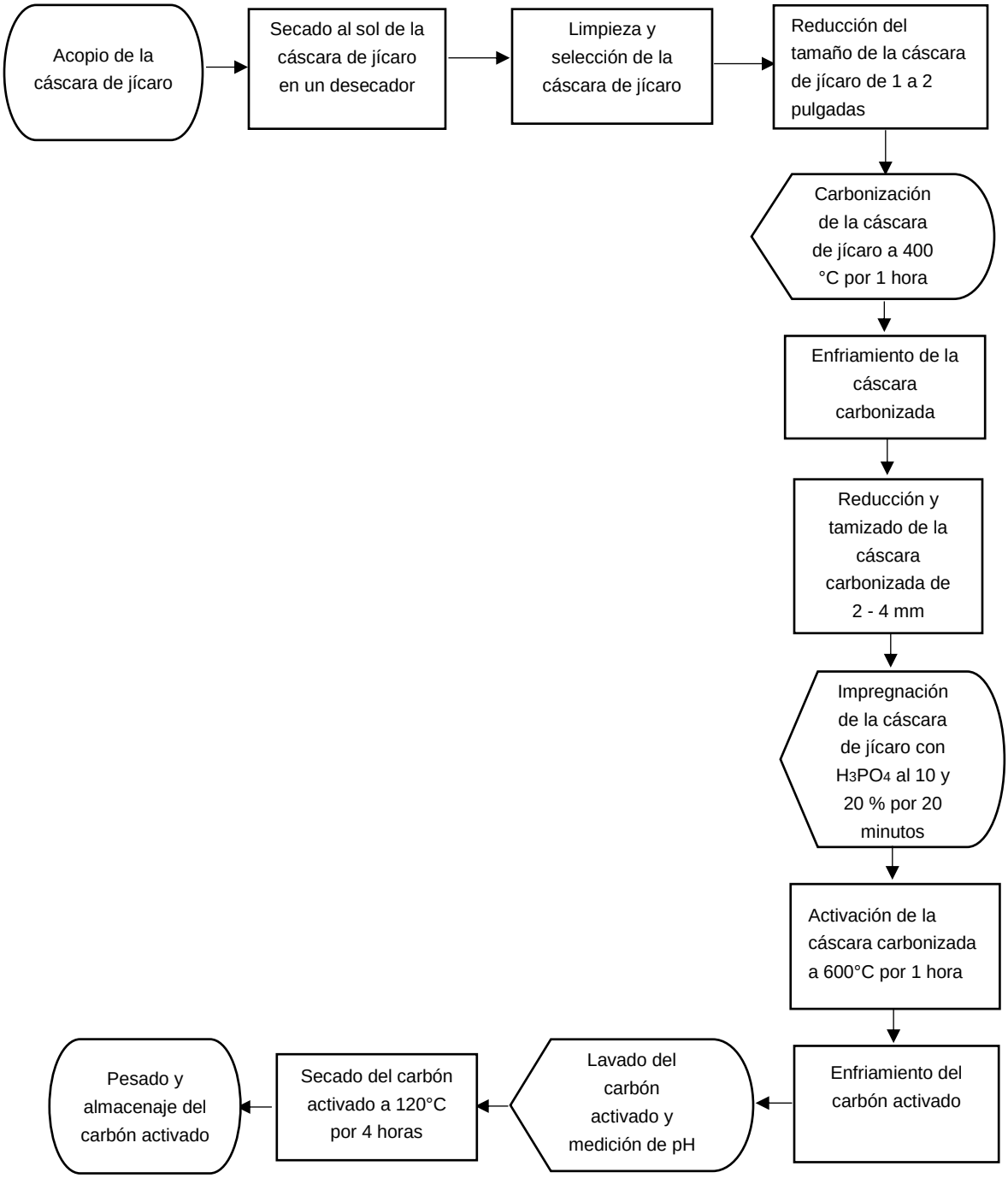
6.5.8.10 Pesado, Embalaje

Las muestras resultantes fueron enfriadas, pesadas y guardadas en bolsas plásticas.

Los datos de referencia para la solución de activación con ácido fosfórico son los siguientes:

- Sustancia Activante: Ácido Fosfórico ($H_3PO_4$).
- Concentración de Sustancia Activante: 10%, 20%.
- Tiempo de Impregnación: 20 Minutos.
- Temperatura de Activación- Carbonización: 400 - 600˚C
- Tiempo de Activación y Carbonización: 1 hora

6.5.9.1 Diagrama de flujo de la producción de carbón activado a nivel de Laboratorio. Experimento II (Pre carbonizada a 400-600°C)



# VII ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

7.0 Peritaje al proceso de producción artesanal de carbón en la ADECAB**.**

Como resultado del peritaje realizado al proceso de producción de carbón activado en las instalaciones de la ADECAB, se determinó que los trabajadores realizan esta actividad de una forma artesanal, un proceso cuya información fue obtenida de la internet, sin poseer un conocimiento técnico y científico o pruebas que avalen este procedimiento y con el desconocimiento de los riesgos asociado al manejo de soluciones corrosivas y/o la exposición a altas temperaturas.
Los trabajadores de la ADECAB, no cuentan con el equipo especializado para la medición de temperaturas, durante las diferentes etapas del proceso. Estas mediciones la realizan con un cautín adaptado a un pirómetro que en la práctica tiene un valor de incertidumbre de unos 50 °C.

La ADECAB, cuenta con áreas para la producción de carbón activado distribuida de la siguiente manera: un área de acopio de cáscara de Jícaro, un área para hornos, un área para secado de semilla y cáscara de Jícaro un área para almacenaje.

El proceso de producción de carbón activado consta de nueve etapas descritas a continuación:

7.1.1 Acopio de la cáscara de Jícaro

La cáscara del jícaro sabanero es adquirida a través de la compra de la excrecencia de la parte leñosa del árbol (fruto entero), la cáscara del fruto es separada e introducida en un saco para ser macerada con los pies.

*Figura 1. Acopio de la cáscara de Jícaro*

Las cáscaras son dispuestas sobre una superficie de concreto a cielo abierto para ser secadas a temperatura ambiente. La temperatura ambiente promedio es de 42 ºC.

7.1.2 Precalentamiento de hornos

La ADECAB cuenta con 8 hornos con sus respectivas ollas en donde se deposita la cáscara de jícaro, los cuales están codificados con números y un día previo al inicio de la carbonización son precalentados con una raja de leña.

*Figura 2. Preparación y limpieza de los*

Los hornos son fabricados con barriles de metal, y están forrados por dentro con ladrillos y barro y una tapa de cerámica

Los hornos contienen ollas en las cuales se deposita la cáscara de jícaro cruda y seca, cuyo peso como promedio es de 2,15 kg. Cada horno es alimentado con leña cuyo peso promedio es de 16 kg según la capacidad de la recámara de combustión.

*Figura 3 Cáscara de Jícaro en ollas*

7.1.3 Carbonización de la cáscara de jícaro

La carbonización de la cáscara de jícaro se realiza en cada horno y la temperatura de cada horno es monitoreada con una frecuencia de 15 minutos con ayuda de un Pirómetro del CIRA/UNAN-Managua. La temperatura idónea (400ºC), es alcanzada por el horno, después de mucho esfuerzo, sin poder estabilizarse, a través de medición de temperatura, se constató que hay pérdidas de calor muy importantes, tal que para alcanzar una temperatura promedio de 300ºC hay que esperar unos 15 minutos sin mantenerse estable, a partir de este momento pierde calor si se abre la tapa del horno para ingresar la leña, en un rango de 30 y 40ºC.

Se observa que durante el proceso de carbonización los trabajadores hacen mediciones de tiempo y temperatura con poca precisión. La temperatura es medida con un pirómetro adaptado a un cautín para soldar, por lo que no se da fe de la medición de temperatura sea correcta, los asociados no utilizan equipo de protección contra el humo y calor que se genera durante todo el proceso.

*Figura 4. Medición de la temperatura durante la Carbonización*

En el ADECAB, el asociado identifica que la cáscara ya está carbonizada “cuando deja de salir humo” y es cuando se completó el tiempo de carbonización, las vasijas con cáscara de jícaro carbonizada, son retiradas de los hornos para pasar a la etapa de enfriamiento,

7.1.4 Enfriamiento

La cáscara carbonizada es dispuesta en una carreta de metal y seguidamente es rociada con agua de pozo para su enfriamiento y posteriormente la cáscara carbonizada es colocada en otra olla y tapada durante unos 3 minutos para reducir la presencia de oxígeno y consecuentemente reducir la fracción de cáscara aún en forma de braza (esto con el fin de detener el proceso de combustión). Posterior a los tres minutos la cáscara ya en forma de carbón es colocada sobre bandejas metálicas

*Figura 5  Enfriamiento de la cáscara carbonizada*

7.1.5 Impregnación de la cáscara carbonizada

El carbón producido es impregnado, Introduciéndolo en una palangana con solución de ácido fosfórico al 10 %, durante 20 minutos.

7.1.6. Remoción del ácido fosfórico (Lavado).

Como siguiente paso el carbón es colocado en un tamiz y enjuagado con 10 baldes de agua. El pH del agua resultante de la última lavada fue de 5 unidades.

7.1.7. Secado del carbón producido en la asociación ADECAB.

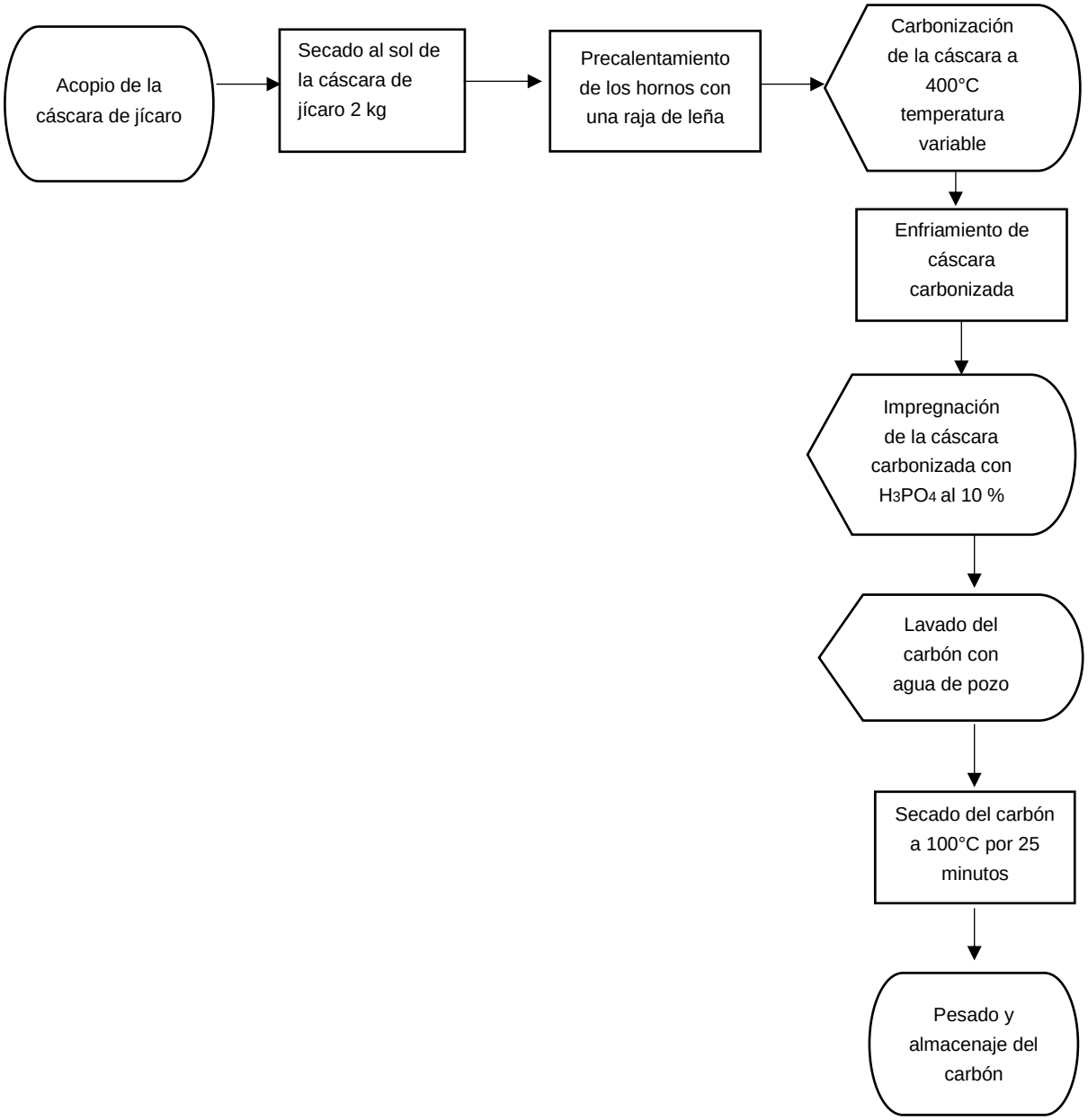
El carbón húmedo es sometido a calentamiento a 100ºC durante 25 minutos luego se deja enfriar el carbón y se procedió a su pesaje.

7.1.8 Pesaje y Embalaje del carbón activado.

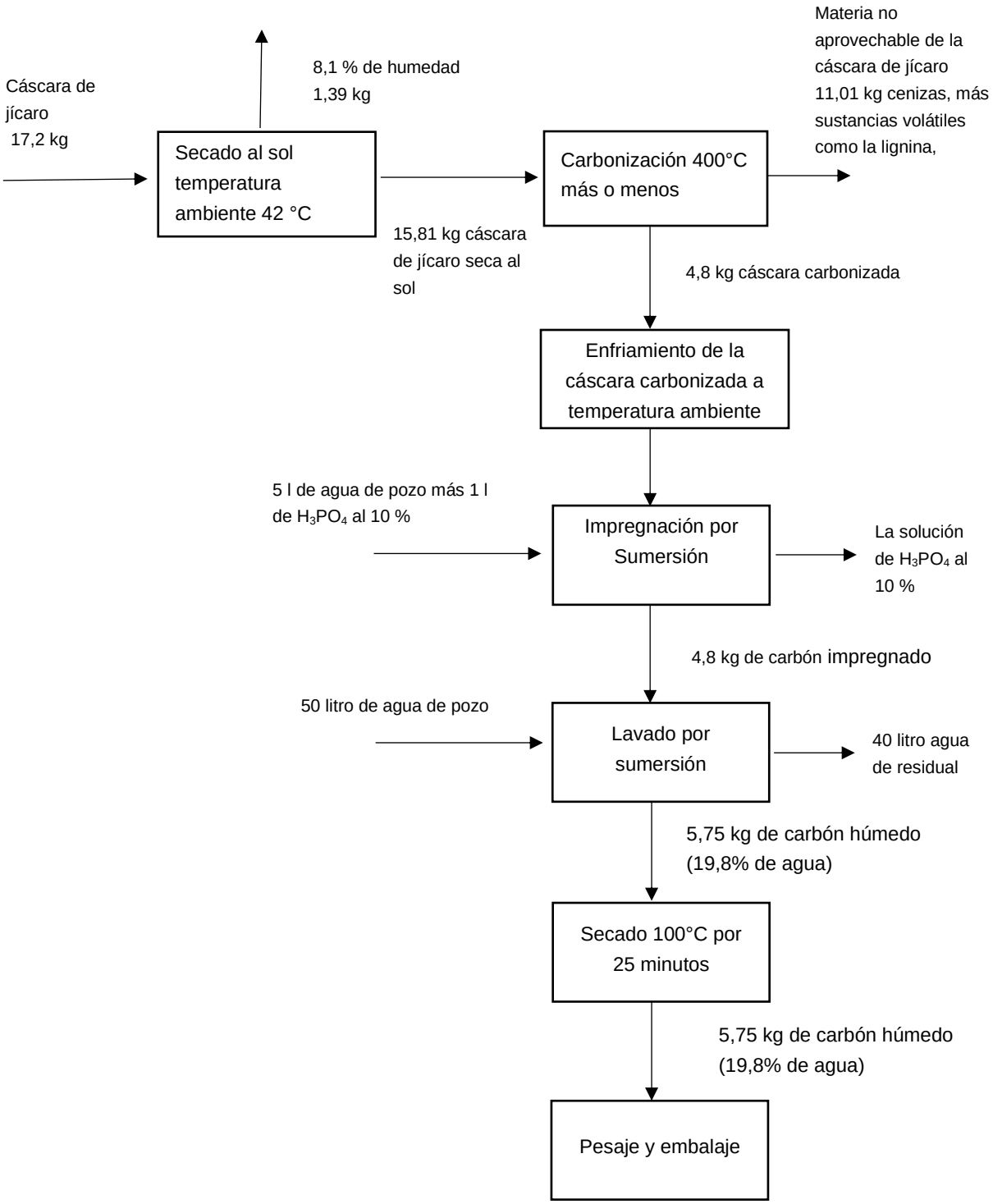
Al final del proceso de producción, el carbón producido en la ADECAB es pesado y embalado en bolsas plásticas de gabacha como promedio de 2,15 kg de cáscara se produce 0,72 kg de carbón.

*Figura 6 Peso y embalaje de carbón producido en ADECAB*

7.1.9 Diagrama de flujo del proceso de obtención del carbón artesanal en la ADECAB



## 7.2 Balance de masa del proceso de producción de carbón en la ADECAB



8.0 Caracterización de las propiedades físicas del carbón ADECAB artesanal y carbón Darco

En la tabla 2 se muestran los resultados de los análisis granulométricos realizados al carbón activado Darco y al carbón ADECAB**.**

Tabla 2 Tamaño promedio de partícula del carbón ADECAB y Darco

| | **Carbón (ADECAB)** | | | |
|---|---|---|---|---|
| Tamaño de malla, mm | **4,00** | **2,00** | **0,63** | **>0,63** |
| Promedio retenido en cada tamiz mm | 6,81 | 57,48 | 24,64 | 11,07 |
| | **Carbón (Darco)** | | | |
| Tamaño de malla, mm | **4,00** | **2,00** | **0,63** | **>0,63** |
| Promedio retenido en cada tamiz mm | 94,67 | 5,33 | 0,00 | 0,00 |

Se determinó que el carbón Darco tiene un tamaño de partícula en un rango de 2 a 4 mm del 100%, lo que es un tamaño estipulado para carbón activado de tipo granular (E.U. Politécnica, 2015). El carbón producido por la ADECAB tiene un porcentaje promedio de tamaño de partícula más heterogéneo (tabla 2), lo cual es atribuible a las condiciones de elaboración del carbón. En este caso los asociados no poseen molino para la reducción del tamaño de partícula del carbón producido, así como también desconocen el tamaño de partícula que debe tener el carbón de tipo granular que es el que la ADECAB necesita para ser comercializado.

8.1 Humedad del carbón ADECAB y Darco**.**

Se determinó que el carbón activado ADECAB contiene 7,6 veces más humedad que la contenida en el carbón de referencia (Darco) (tabla 3.1 en el anexo). Este exceso de humedad del carbón activado ADECAB, es causada por diferentes factores como: a) la ineficiencia del secado de la cáscara de jícaro en los hornos de la asociación, b) falta de control en la temperatura y el tiempo de secado en los hornos, c) almacenamiento inadecuado del carbón producido, y d) el tipo y manera de embalaje (bolsas de gabacha) del carbón.

El exceso de humedad en el carbón activado, afecta la adsorción y su densidad, por consiguiente, el volumen de poro y porosidad, aparentemente disminuye (García R. y Granillo Y. 2016).

La humedad presente en la cáscara de jícaro afecta directamente en su densidad, tal como podemos apreciar en los resultados obtenidos del carbón ADECAB el porcentaje promedio de humedad en este carbón es de 19,8 % y el porcentaje de humedad promedio del carbón Darco es de 2,6 %,

8.2 Densidad aparente del carbón activado ADECAB y Darco.

La densidad aparente promedio del carbón ADECAB es de 0,38 g/ml y la densidad promedio de del carbón Darco es de 0,48 g/ml (tablas 1 a la 8 en el anexo). influyendo directamente en esta densidad el tamaño de la partícula del carbón ADECAB dado que es más grande y ocupa mayor espacio en la probeta. Además, la presencia de humedad en cantidades variables en el carbón activado afecta los valores reales del volumen y de la densidad del carbón (Casco Estrada1993).

El carbón producido en las instalaciones de ADECAB, es menos denso que el carbón Darco debido a que contiene mayor humedad. Si la cáscara de jícaro se somete a altas presiones durante el proceso de carbonización se podría obtener un carbón con mayor densidad como el obtenido utilizando madera como materia prima (E.U. Politécnica, 2015, P.65). Los valores altos de densidad en el carbón están asociado a carbones de buena calidad (Soto, 2007).

8.3 Volumen de Poros y Porosidad del carbón ADECAB y DARCO

Tabla 3 Volumen de Poro y Porosidad del carbón ADECAB y DARCO

| | ADECAB | | DARCO | |
|---|---|---|---|---|
| | *Vp* (ml/g) | Porosidad (ml/g) | *Vp* (ml/g) | Porosidad (ml/g) |
| Promedio de 8 réplicas | 0,39 | 0,15 | 0,51 | 0,25 |

Se considera que los resultados obtenidos de volumen de poro y porosidad del carbón ADECAB, son atribuibles a las malas condiciones de producción, a un alto contenido de humedad producto de la remoción ineficiente de la humedad en el carbón. Por tanto, como producto de un mal secado, la densidad del carbón ADECAB es menor.

La falta de una temperatura adecuada para una correcta carbonización, y activación, influye en la poca formación de poros de adsorción. La ADECAB realiza una ineficiente aplicación de la solución activante (el trabajador impregna el carbón producido con ácido fosfórico y luego lo lava), al contrario, la solución activante de ácido fosfórico debe ser impregnada a la cáscara de jícaro y posteriormente con altas temperaturas durante el proceso de evaporación se da la creación de poros de adsorción (E.U. Politécnica, 2015)

8.4 Evaluar la capacidad adsorbente del carbón activado de la cáscara de jícaro sabanero de ADECAB y del carbón activado de calidad Industrial

Tabla 4 Adsorbancia al azul de metileno, carbón ADECAB y Darco

| | | | |
|---|---|---|---|
| Tiempo de carbonización | 1h | | |
| Temperatura de carbonización | 400°C | | |
| Solución activante $H_3PO_4$ | 10% | | |
| Tiempo de Impregnación | 20 min | | |
| **Carbón activado** | en (g) | Adsorbancia | % adsorción |
| ADECAB | 0,2 | - | - |
| DARCO | 0,2 | 0,001 | 99% |

Los resultados que se presentan en la tabla 4 muestran que el carbón de referencia, tiene una Adsorbancia de 0,001mM, que correspondió al 99%, de la adsorción de 0,1 mM de azul de metileno.

El carbón proporcionado por ADECAB, no tuvo absorbancia al azul de metileno, esto podría ser debido al inadecuado proceso de carbonización y secado. La falta de una correcta carbonización y activación que puede generar residuos líquidos y alquitranosos, que sirven como aglomerantes, de lignina y celulosas, componentes, de sustancias leñosas llamados gomas de madera (hexosas y pentosas, que

acumulan agua) (Casco y Estrada1993). Estas gomas de madera, no fueron removidas completamente de la cáscara de jícaro, debido a que la cáscara no recibió un tratamiento de limpieza y una eficiente carbonización, y como resultado permanecen en el carbón ADECAB, propiciando un inadecuada adsorbancia.

8.5 Resultados Experimento I y II Humedad, Densidad, Volumen de Poro, Poro.

Tabla 5. Promedio de Humedad, Densidad Volumen de poro y Porosidad (tabla anexa 2,0)

| **Experimento I Directo a 600$^0$C (1h, en mufla)** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Tamaño de partícula | Peso, g | Humedad % | Densidad Aparente g/ml | Volumen de poro ml/g | Porosidad ml /g |
| Promedio | 2-4 mm | 8,19 | 4,38 | 0,46 | 0,49 | 0,23 |
| **Experimento II Pre carbonizado 400 - 600$^0$C (1h, en mufla)** | | | | | | |
| Promedio | 2-4 mm | 8,21 | 3,22 | 0,48 | 0,49 | 0,22 |
| **Carbón activado de referencia Darco** | | | | | | |
| Promedio | 2-4 mm | 5,00 | 2,6 | 0,49 | 0,51 | 0,25 |

El resultado promedio de tamaño de partícula en ambos Experimentos fue de 2 y 4 mm. El carbón obtenido del experimento pre carbonizado presentó, un porcentaje de humedad menor que la del carbón del experimento directo. En el experimento directo la carbonización y activación fue de una sola vez, a diferencia que el pre carbonizado que fue en dos tiempos. En relación a la densidad el carbón el experimento II (Precarbonizado), este presentó una densidad similar a la del carbón Darco.

La humedad del carbón activado juega un papel muy importante debido a que es directamente proporcional a la adsorción que tenga el carbón en una solución, mientras más húmedo este el carbón, menos capacidad de adsorción tiene (E.U. P. 2015; García R. y Granillo Y. 2016).

El hecho de que la humedad sea mayor en el carbón obtenido por el método directo (tabla 5) podría ser atribuido a la formación de más microporos en comparación con el carbón del método precarbonizado, los cuales podrían estar ocupados por las moléculas de agua cuyo diámetro es de 0,3 nm. Estos resultados

también sugieren que la porosidad de ambos carbones solo depende de la formación de macro y meso poros.

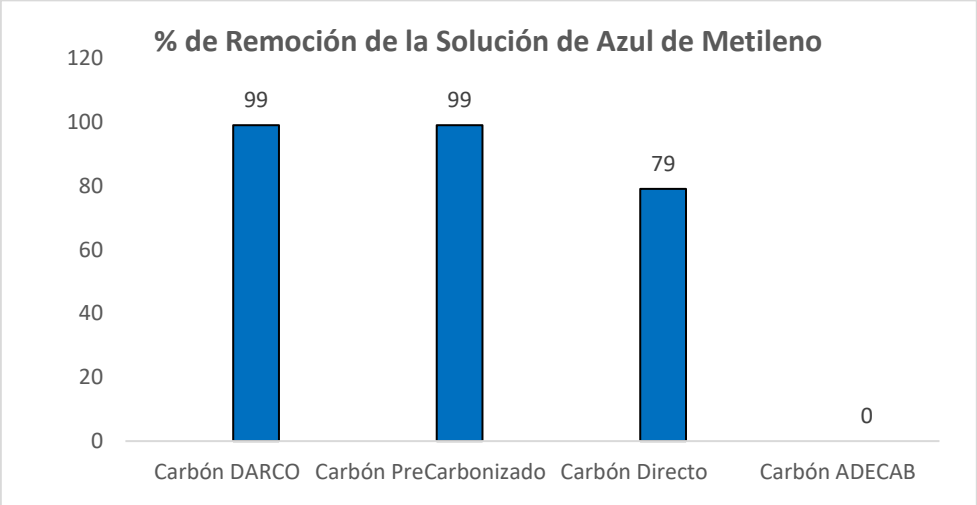
La densidad aparente registrada en estos dos ensayos es muy similar a la densidad aparente del carbón Darco. La densidad es un indicador de calidad de los carbones activados, permite identificar la eficiencia, de los mismos (Soto, 2007).

## 8.6 Resultados Experimento I y II capacidad de adsorción carbón activado a nivel de laboratorio

Tabla 6 Capacidad de adsorción del carbón ADECAB obtenido en los experimentos I y II en comparación con la del carbón Industrial.

| | **Darco** | **ADECAB** | **Carbonizado Directo** | **Pre carbonizado** |
|---|---|---|---|---|
| Tiempo horas | - | 1h | 1h | 1h |
| Temperatura de carbonización | - | 400 $^0$C | - | 400 $^0$C |
| Temperatura de activación | - | - | 600 $^0$C | 600 $^0$C |
| Concentración solución activante $H_3PO_4$ | - | 10% en 20 min | 20% en 20 min | 20% en 20 min |
| **Carbón activado en gramos** | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| Adsorbancia | 0,001 | 0,00 | 0,021 | 0,001 |
| % adsorción de azul de metileno | 99% | 0,00 | 78% | 99% |

## 8.7 Porcentaje de remoción de azul de metileno



En la gráfica anterior se aprecia que la adsorción que tuvieron ambos carbones Darco® y pre carbonizado son similares en un 99%.

Las propiedades de adsorción de un carbón activado se ven determinadas por las condiciones operacionales. Si el grado de carbonización es bajo la estructura porosa carecería o tendría pocos microporos y mesoporos. En cuanto el grado de carbonización aumenta se observa un aumento en la formación de microporos y mesoporos (Casco y Estrada1993).

En el caso de la cinética de adsorción, las dimensiones que presenta la molécula de azul de metileno son por el orden de 8,4 Å (angstrom). Estas dimensiones son casi idénticas a las de los microporos (18-20 Å) de acuerdo a la clasificación de poros de dimensión transversal propuesta originalmente por Dubbini (1981) y que posteriormente fue adoptada oficialmente por la Internacional Union of Pure and Applie Chemisty (IUPAC), Microporos Menor a ≈ 20 Å, Mesoporos Entre ≈ 20 Å, y ≈ 500 Å, Macro poros Mayores a y ≈ 500 Å.

Con referencia a esta clasificación se observa que el 99% de adsorción al azul de metileno es realizada por la acción de microporos del carbón precarbonizado. En anexos graficas 2,3 se muestra la remoción de 0,1 g de azul de metileno de los carbones activados producidos.

### 8.7.1 Limitaciones del proceso ADECAB

En la tabla 7.7 se presentan las limitaciones del proceso ADECAB

Tabla 7.7 Limitaciones del proceso ADECAB

| No | Etapas del proceso | Limitaciones del proceso |
|---|---|---|
| 1 | Acopio de cáscara de jícaro | La cáscara es acopiada en un lugar húmedo luego de un tiempo pierde su calidad. |
| 2 | Secado al sol de la cáscara de jícaro | La cáscara de jícaro es secada al sol por corto tiempo y mezclada con la cáscara recién cortada |
| 3 | Precalentamiento de hornos un día antes | Se realiza precalentamiento de los hornos con una raja de leña. |
| 4 | Carbonización en hornos artesanales a 400°C | Se presentaron pérdidas de calor, al abrir la tapa del horno e ingresar la leña, que van desde los 30 hasta 40 °C, a la vez se conoció que la ADECAB no cuenta con instrumentos confiables para la medición de temperatura. |
| 5 | Enfriamiento de cáscara carbonizada | El enfriamiento de la cáscara carbonizada es al aire libre lo que aumenta su pirolisis. |
| 6 | Impregnación de la cáscara carbonizada | La ADECAB, no cuenta con materiales de medición como son probetas, pipetas, balones de 1 000, la asociación ADECAB, no cuenta con el conocimiento necesario para medir concentraciones, la ADECAB desconoce la pureza y concentración del ácido fosfórico. |
| 7 | Lavado del carbon impregnado | El lavado del carbón, se realiza con agua de pozo sin ningún tratamiento previo. |
| 8 | Secado de la cáscara carbonizada, en horno artesanal por 25 minutos | El tiempo de secado en los hornos no es suficiente para eliminar la humedad del carbón. |
| 9 | Pesaje y Embalaje | Las bolsas utilizadas para almacenamiento son de gabacha la que permiten fácilmente la adsorción de la humedad. |

### 8.7.2 Mejoras propuesta para el proceso de obtención del carbón activado

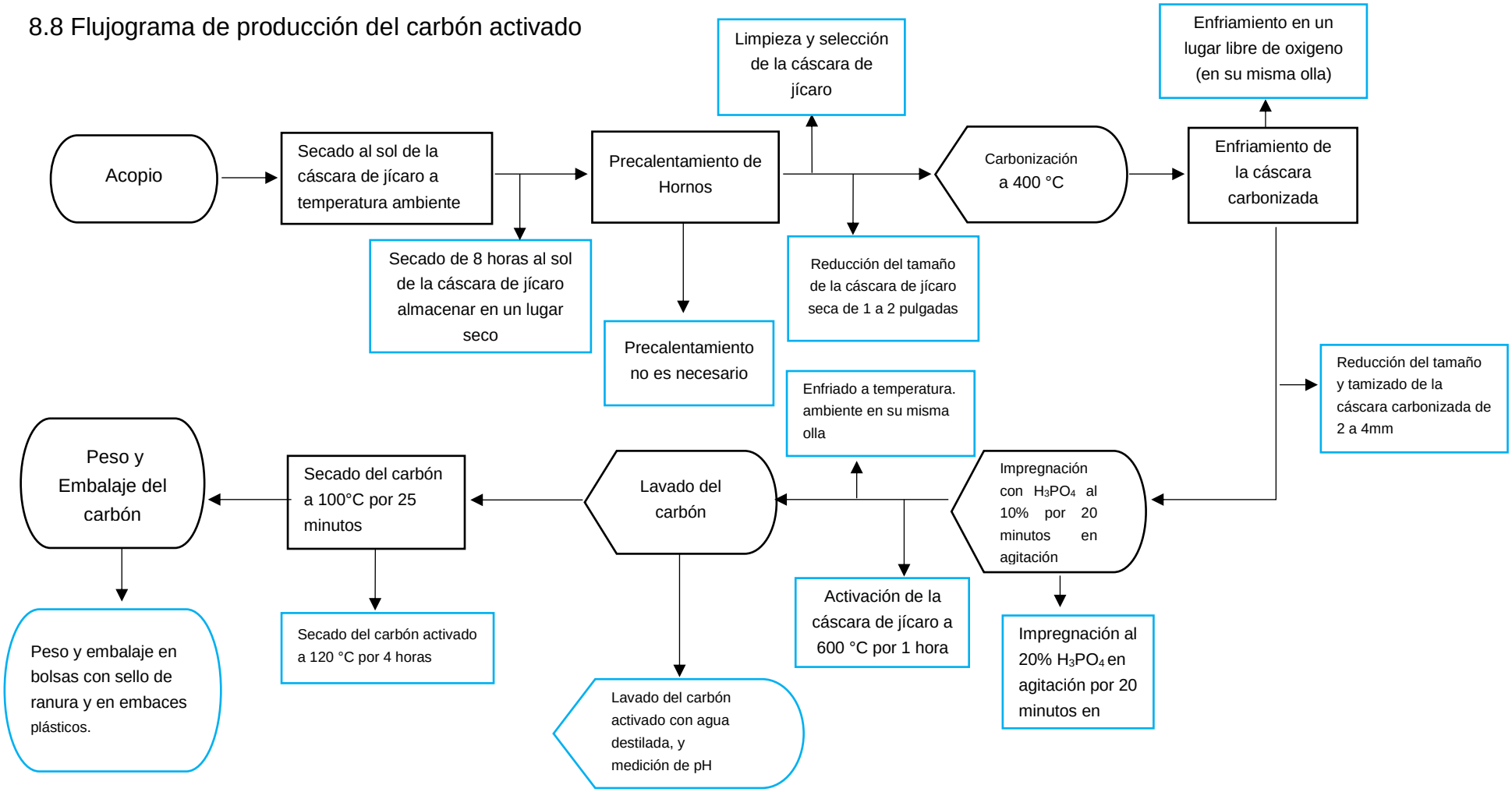
Por tanto, basado en la evaluación del proceso artesanal de la ADECAB y en los resultados del Experimento II, así mismo con miras a mejorar el proceso y obtener un carbón activado con calidad industrial y ayudar a formalizar un debido proceso de producción de carbón activado, en el cual se integre las experiencias adquiridas en la realización de los experimentos, se propone realizar los siguientes cambios o modificaciones al proceso:

Tabla 8 Mejoras propuestas al para el proceso ADECAB

| No | Etapas del proceso propuestas para el mejoramiento del proceso en ADECAB | Descripción |
|---|---|---|
| 1 | Acopio de cáscara de jícaro | La ADECAB, debe de acopiar la cáscara de jícaro en un lugar seco para mantener sus propiedades y calidad . |
| 2 | Secado al sol de la cáscara de jícaro | La cáscara de jícaro acopiada debe permanecer 8 horas al sol, temperatura ambiente y debe ser almacenada en un lugar seco. |
| 3 | Limpieza y selección de la cáscara de jícaro | Esta nueva etapa del proceso, consiste en seleccionar la cáscara de jícaro de igual tamaño grosor, y eliminar los residuos del fruto de la pulpa que contiene lignina y celulosa. |
| 4 | Reducción de tamaño de la cáscara de jícaro | En esta nueva etapa del proceso la cáscara de jícaro se debe limpiar, secar y reducir de tamaño para mejorar el área de exposición durante la carbonización impregnación y activación. |
| 5 | Precalentamiento de hornos | El precalentamiento de los hornos no es necesario |
| 6 | Carbonización en hornos artesanales a 400°C | La carbonización de la cáscara de jícaro debe ser a 400 °C tiempo durante el cual, no debe haber perdida de calor; en esta etapa se produce la deshidratación y volatización controlada de compuestos de lignina y celulosa que no fueron removido en la limpieza de la cáscara también se elimina, parte del oxígeno y el hidrogeno presentes dando paso a la capacidad de adsorción del carbón al comenzar a organizarse los átomos de carbono en estructuras conocidas como microcristalitas |
| 7 | Enfriamiento de cáscara carbonizada | La cáscara una vez carbonizada debe de enfriarse en un lugar libre de |

| | | |
|---|---|---|
| | | oxígeno, a temperatura ambiente (en su misma olla). |
| 8 | Reducción de tamaño de cáscara carbonizada y tamizado | En esta nueva etapa del proceso se recomienda reducir la cáscara carbonizada con un molino y tamizarla a un tamaño de 2-4 mm. |
| 9 | Impregnación de la cáscara carbonizada | En esta etapa se debe de utilizar ácido fosfórico grado reactivo al 20% en agitación por 20 minutos este porcentaje dio mejor resultado en los experimentos 1 y 2. |
| 10 | Activación | Para esta nueva etapa del proceso se recomienda luego de carbonizar e impregnar, realizar la activación a 600 °C por una hora. Esta temperatura permite formar cadenas de cristalitas en la parte interna del carbón, que se forman al abrirse paso el ácido fosfórico de una manera violenta desde adentro del carbón |
| 11 | Enfriamiento del carbón activado | El carbón una vez activado debe de enfriarse en un lugar libre de oxígeno a temperatura ambiente (en su misma olla). |
| 12 | Lavado y medición de pH | En esta etapa del proceso, el lavado se debe realizar con agua destilada, y a cada lavada se deber de medirse el pH hasta llegar a un pH neutro, lo que indica el final del lavado. |
| 13 | Secado del carbón activado | En esta etapa del proceso se recomienda remover humedad del carbón producido en un horno a 120°C por 4 horas. |
| 14 | Pesaje y Embalaje | Se debe utilizar bolsas gruesas con sello de ranura y envases plásticos para el embalaje del carbón producido. |

## 8.8 Flujograma de producción del carbón activado




Nota: Los cuadros azules reflejan etapas nuevas y mejoras recomendadas al proceso ADECAB

## IX. CONCLUSIONES

El proceso de producción de carbón, de la Asociación para el Desarrollo de Campesinos y Artesanos El Bonete, requiere de la adopción de nuevas etapas tales como la del pre carbonizado de la cáscara y la de activación, así como operar con el tiempo y temperaturas óptimas constantes de carbonización y activación, que le permita a la Asociación la obtención de un carbón activado con calidad industrial.

Las propiedades físicas (Densidad Aparente, Volumen de Poro, Porosidad, adsorción) del carbón que actualmente produce la Asociación para el Desarrollo de Campesinos y Artesanos El Bonete, no son comparables con las del carbón activado industrial.

La mejora del proceso de producción de carbón activado beneficiará a la Asociación para el Desarrollo de Campesinos y Artesanos El Bonete y contribuirá a satisfacer la demanda local del carbón activado que puede ser utilizado para múltiple propósito desde el tratamiento de agua de ingesta hasta en aplicaciones industriales.

## X. RECOMENDACIONES

Dado que en los hornos de ADECAB, no se generan temperaturas internas constantes y homogéneas, que permita circular aire caliente necesario para la activación del carbón, es recomendable el mejoramiento en el diseño de los hornos de forma tal que se pueda asegurar temperaturas internas más uniformes o el reemplazo por hornos eléctricos.

En cuanto a las emanaciones de humo, se considera construir chimeneas para que el humo no se concentre en el ambiente de trabajo. El uso de filtros en las chimeneas ayudaría también a disminuir las emanaciones de humo al ambiente.

El ADECAB no cuenta con equipos y materiales especiales de medición necesarios para el control del proceso, como recipientes volumétricos, pH metro, tamices, pistola láser para monitorear la temperatura y balanzas, por lo cual se recomienda la adquisición de los mismos.

Tanto la preparación del ácido fosfórico, como el lavado del carbón producido por ADECAB, es realizado con agua de pozo, la cual podría contener sustancias orgánicas, impurezas, que disminuyen la capacidad de adsorción del carbón producido, es recomendable que esta agua, sea sustituida por agua destilada o agua de mejor calidad que el agua de pozo.

Se recomienda la adquisición de un destilador para producir agua destilada a utilizar en el proceso.

Realizar una agitación efectiva durante la impregnación del carbón, lo cual contribuirá a obtener una activación eficiente.

El carbón producido en la ADECAB presenta un tamaño de partícula muy heterogéneo, se recomienda utilizar molinos y tamices, para alcanzar tamaño granular.

Tomar en consideración en el proceso de producción del carbón, el control de la calidad y los procedimientos de seguridad e higiene del personal.

Se recomienda capacitar a los asociados del ADECAB en cuanto al proceso de producción del carbón artesanal en todas las etapas del proceso acompañadas con sus medidas de seguridad.

Contemplar la adquisición de trajes especiales para proteger de la radiación del calor a los trabajadores y de las emanaciones de humo, así como materiales de protección para la manipulación de sustancias químicas, como el ácido fosfórico

Para el manejo de los desechos líquidos como el agua conteniendo residuos de $H_3PO_4$ y algún material sólido se recomienda la construcción una pila especial para su neutralización y que en su elaboración contemple filtros con silicatos

## XI. NOMENCLATURA

| | | |
|---|---|---|
| Å | : Astron | |
| C.A | : Carbón Activado. | |
| Ads | : Adsorbancia. | |
| P | : porcentaje de carbón Retenido. | % |
| D | : peso del carbón. | |
| C | : peso de la muestra de carbón inicial. | |
| H | : porcentaje de humedad. | |
| L | : peso de la muestra antes del secado. | |
| M | : peso de la muestra después del secado en gramos. | g. |
| D | : Densidad en | g/ml. |
| M | : Peso del carbón activado en gramos | g. |
| V | : Volumen ocupado en la probeta por el C.A en mililitros | ml. |
| Vp | : Volumen de poro mililitro por gramo de carbón activo | ml/g. |
| mh | : masa de C.A hervido y secado superficialmente en gramos | g. |
| ms | : masa de C.A antes de hervir en gramos | g. |
| $\rho_{h_2o}$ | : Densidad del agua a 25˚C 0.99713 en gramos por mililitros | g/ml. |
| P | : Porosidad o fracción de espacios vacíos en el C.A | |
| Cma | : Concentración de azul de metileno adsorbido por g. C. A | mM/g |
| Cmi | : Concentración de azul de metileno inicial en milimoles por litros | mM/l |
| Cmf | : Concentración de azul de metileno final milimoles por litros | mM/l |
| m | : Masa del carbón activado en gramos | g. |
| v | : volumen de solución de azul de metileno en litros | l. |

## XII. BIBLIOGRAFÍA


1 Acevedo, S. (2014). Preparación y caracterización de carbón granular obtenido a partir de cuesco de palma africana, para la adsorción de $co_2$. Tesis de magister en Ciencias Químicas; Universidad Nacional de Cartago. Colombia.

2 Báez, E. (2011). Evaluación de la capacidad de adsorción del carbón activado a partir de la vaina de la malinche para la remoción de plomo en agua sintética a nivel de laboratorio. Tesis de Ingeniería Química, universidad Nacional de Ingeniería, Managua Nicaragua.

3 Cansado, I. P. P, Mourao, P. A. M, Falcao, A.I, Ribeiro &Carrott M. M. L, Carrott, P. J. M. (2011). The Influence of the activated carbon Post-treatment on the phenolic compounds renoval fuel procesingtecnology, 103,64-70.

4 Casco, E. y Estrada, P. (1993). Obtención de Carbón activado a partir de cáscara de jícaro. Tesis de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Ingeniería, Managua Nicaragua.

5 Castro, K. y Moran, C. (2006). Descontaminación por el método de adsorción en agua de pozo y lluvia destinada al consumo humano, en comunidades a sur del departamento de la libertad, Tesis para grado de Ing. Químico Universidad de El Salvador.

6 Dubinin, M. M. (1966). Modern state of the theory of gas and vapour adsorption by microporous adsorbents: Pure appl. Chem., Vol.10, 309-321

7 Dubinin, M. M. (1981). Inhomogeneous microporous structures of carbonaceous adsorbentsll. Carbon Vol.19, pp. 321-324

8 Donacio, Luna A. (2007). Obtención de Carbón Activado a partir de la cascara de coco. San Rafael, Atlixco, México.

9 E.U. Politécnica (2015) Manual de Carbón activado Sevilla, Navarra, España. Universidad de Sevilla.

10 Fuentes, J. (2012). Obtención de Carbón Activado a partir de Residuos Agroes y su Evaluación en la Remoción de Color del Jugo de Caña. Distrito Federal, México.

11 García, V. (2011). Diseño de una planta para la obtención de Carbón Activado Puesto la Alcaldía de Cruz, Venezuela.

12 Lara, U. (2004). Obtención de carbón activado a partir de residuos de hueso vacuno a nivel de laboratorio por método químico. Tesis de Ingeniería Química. Universidad Nacional de Ingeniería, Managua Nicaragua.

13 Matus R. y Delgado O. (2015). Evaluación de carbón activado obtenido a partir de Vaina de Malinche para remoción adsorción de Fenol, del agua residual, del laboratorio de CIDEA-UCA. Managua, Nicaragua.

14 Martínez, A. (2012). Desarrollo de carbón activado a partir de Residuos Ligni celulósicos, para la adsorción y recuperación de tolueno y N-Hexano. Tesis Doctoral. Universidad de San Jorge España.

15 Rodríguez – Reinoso, F. (1992). Molinas-Sabio and M. A. Muñecas, J hys. Chem 96,2707.

16 Trinidad, L. (2013). Activación de carbones para la aplicación almacenamientos de gas natural vehicular (Metano). Tesis para Master. Universidad Nacional. Cartagena, Colombia.

17 García R. y Granillo Y. (2016) Evaluación de condiciones operacionales en el proceso de preparación de carbón activado de cascara de naranja Valencia (Citrus sinensis Linn Osbeck)

18 Soto, F. (2007). Evaluación Técnico Económico de una planta de carbón activado (Tesis pregrado) Recuperado de: http: //www. tesiscivil/ chile/plantacarbón activado/520.pdf

19 López M. (1969), Estudio Cualidades nutricionales e es de la Crescentiaalata H.B.K. Universidad Nacional Agraria Nicaragua.

20 Ures P. Suarez J. y Jácome A. (2015) Adsorción de Carbón Activado (FT-TER-002) Universidad de caruño España Recuperado de: https//www.wateraction plant.com/document/186210/186348/INDITEX-FT-TER-002+adsor%c3%93N+en+carb%c3%93N+Activo.pdf2c1f262c-2a93-4ea0bada-b1b2550502a49.

21 Mojica L. Ramírez W. Rincón N. Blanco D. Giraldo L. Moreno J (2011) Síntesis por activación química y caracterización de carbón activado a partir de cascara de semilla de eucalipto para la adsorción de fenol en solución acuosa. Slide Share Recuperado de: ttp://es.alideshare.net/GiovannyyRinconSilva/sntesis-por-activacin-qumica-y- caracterizacin-de-carbn-activado-a-partir-de-cascara-de-semilla-de-Eucalipto-para-la-adsorción-de-fenol-en-solución-acuosa

22 F. Picado, F. Mendoza y F. Castro (2016) En el año 2015, Convenio de Cooperación Técnico Económica entre CIRA/UNAN-Managua y ADECAB. Evaluación de la calidad del carbón activado producido.

## XIII. ANEXOS

1.1 Diseño experimental

Se aplicará el diseño Factorial $2^K$

1.2 Características generales (tipo de investigación)

La presente investigación es descriptiva y experimental, la cual tiene como propósito fundamental establecer relaciones entre dos o más variables, se desarrollará un diseño experimental factorial, permitiendo la manipulación y control de las variables operacionales en el proceso de elaboración del carbón activado

1.3 Factores:

Los factores a estudiar para el ajuste del carbón activado de cáscara de jícaro de la cooperativa son, temperatura de carbonización, y el agente activante, ácido fosfórico, con dos niveles respectivamente,

1.4 Niveles:

Los niveles a utilizar son dos, altos y bajo, definido por valores de referencia Para el agente activante se experimentará con 10 % y 20% de ácido fosfórico y la temperatura de carbonización con 400 $^oC$ y 600 $^oC$, valores utilizados mente, para la obtención de carbones activos.

1.5 Tratamientos (estimación del número)

Se realizarán 4 experimentos basado en el diseño factorial $2^k$ Se determinarán la capacidad de adsortiva, y superficie especifica.

1.6 Análisis factorial:

El análisis factorial ajusta las gráficas de las medias ajustadas o medias de los datos para examinar cómo influyen los factores en la respuesta y si las variables interactúan. Se aplicará el diseño Factorial $2^K$, considerando dos factores, temperatura de carbonización y agente activante con dos niveles respectivamente, en la siguiente tabla se muestra el diseño de experimento.

| Corrida | Agente activante, $H_3PO_4$ | Temperatura de carbonización en C˚ |
|---|---|---|
| 1 | 20 | 400 |
| 2 | 10 | 400 |
| 3 | 10 | 600 |
| 4 | 20 | 600 |

1.7 Variable respuesta**:**

Las variables respuestas son; capacidad de adsorción, área superficie y porosidad

1.8 Definición de unidad experimental**.**

La unidad experimental: Corresponde a muestras de carbón activado proporcionada por ADECAB, carbón Darco y el carbón obtenido en laboratorio

1.9 Pregunta directriz**.**

¿El carbón activado producido por ADECAB presenta características similares al carbón activado Darco?

1.10 Tamaño de muestra**:**

Para el caso de la muestra de carbón producida por la asociación ADECAB, se tomarán 300 gr de muestra de carbón homogenizado de un lote de 8 hornos, para, el carbón Darco, la muestra fue de 300 g y para el caso de producción de carbón activado a nivel de laboratorio el tamaño de muestra son las correspondientes al número de experimento determinado por el método factorial, correspondiente a 50 g.

## XIV INDICE DE TABLAS ANEXO

1 Tabla 1 Densidad aparente carbón ADECAB

| Nº | Volumen (ml) | Peso del carbón (g) | Densidad (g/ml) |
|---|---|---|---|
| 1 | 108 | 43,30 | 0,40092 |
| 2 | 108 | 43,31 | 0,40102 |
| 3 | 108 | 43,28 | 0,40074 |
| 4 | 108 | 43,29 | 0,40083 |
| 5 | 108 | 43,25 | 0,40046 |
| 6 | 108 | 43,26 | 0,40055 |
| 7 | 108 | 43,29 | 0,40083 |
| 8 | 108 | 43,27 | 0,40065 |
| 9 | 108 | 45,25 | 0,40046 |
| 10 | 108 | 43,26 | 0,40055 |
| | | media | 0,400701 |

$$Cv = {}^{S}/_{\bar{x}} * 100$$

$$Cv = \frac{1.968897044x10^{-4}}{0.400701} X\ 100 = 0.049136$$

2 Tabla 2 Densidad aparente carbón ADECAB

| Nº | Volumen (ml) | Peso del carbón (g) | Densidad (g/ml) |
|---|---|---|---|
| 1 | 108 | 39,92 | 0,3696 |
| 2 | 108 | 39,93 | 0,3697 |
| 3 | 108 | 39,96 | 0,3700 |
| 4 | 108 | 39,94 | 0,3698 |
| 5 | 108 | 39,91 | 0,3695 |
| 6 | 108 | 39,90 | 0,3694 |
| 7 | 108 | 39,93 | 0,3697 |
| 8 | 108 | 39,90 | 0,3694 |
| 9 | 108 | 39,92 | 0,3696 |
| 10 | 108 | 39,91 | 0,3695 |
| | | media | 0,36962 |

$$Cv = \frac{1.825254929x10^{-4}}{0.3696} X\ 100 = 0.0506979$$

3 Tabla 3 Densidad aparente carbón ADECAB

| Nº | Volumen (ml) | Peso del carbón (g) | Densidad (g/ml) |
|---|---|---|---|
| 1 | 108 | 38,86 | 0,3598 |
| 2 | 108 | 38,84 | 0,3596 |
| 3 | 108 | 38,85 | 0,3597 |
| 4 | 108 | 38,85 | 0,3597 |
| 5 | 108 | 38,85 | 0,3597 |
| 6 | 108 | 38,83 | 0,3595 |
| 7 | 108 | 38,84 | 0,3596 |
| 8 | 108 | 38,82 | 0,3594 |
| 9 | 108 | 38,82 | 0,3594 |
| 10 | 108 | 38,83 | 0,3595 |
| | | Media | 0,3596 |

$$Cv = \frac{1.370320319x10^{-4}}{0.3596} X\ 100 = 0.03810679$$

4 Tabla 4 Densidad aparente carbón ADECAB

| Nº | Volumen (ml) | Peso del carbón (g) | Densidad (g/ml) |
|---|---|---|---|
| 1 | 108 | 40,90 | 0,3787 |
| 2 | 108 | 40,91 | 0,3788 |
| 3 | 108 | 40,93 | 0,3790 |
| 4 | 108 | 40,88 | 0,3785 |
| 5 | 108 | 40,89 | 0,3786 |
| 6 | 108 | 40,85 | 0,3782 |
| 7 | 108 | 40,89 | 0,3786 |
| 8 | 108 | 40,86 | 0,3783 |
| 9 | 108 | 40,86 | 0,3783 |
| 10 | 108 | 40,88 | 0,3785 |
| | | Media | 0,3786 |

$$Cv = \frac{1.370320319x10^{-4}}{0.3786} X\ 100 = 0.06499746$$

5 Tabla 5 Densidad aparente carbón ADECAB

| Nº datos | Volumen (ml) | Peso del carbón (g) | Densidad (g/ml) |
|---|---|---|---|
| 1 | 108 | 40,44 | 0,3744 |
| 2 | 108 | 40,44 | 0,3744 |
| 3 | 108 | 40,45 | 0,3745 |
| 4 | 108 | 40,43 | 0,3743 |
| 5 | 108 | 40,42 | 0,3743 |
| 6 | 108 | 40,42 | 0,3743 |
| 7 | 108 | 40,43 | 0,3744 |
| 8 | 108 | 40,44 | 0,3744 |
| 9 | 108 | 40,42 | 0,3743 |
| 10 | 108 | 40,42 | 0,3744 |
| | | Media | 0,3744 |

$$Cv = \frac{6.749485577x10^{-4}}{0.3744} X\ 100 = 0.018027472$$

6 Tabla 6 Densidad aparente carbón ADECAB

| Nº | Volumen (ml) | Peso del carbón (g) | Densidad (g/ml) |
|---|---|---|---|
| 1 | 100 | 38,02 | 0,3802 |
| 2 | 100 | 37,98 | 0,3798 |
| 3 | 100 | 38,04 | 0,3804 |
| 4 | 100 | 37,97 | 0,3797 |
| 5 | 100 | 38,01 | 0,3801 |
| 6 | 100 | 38,03 | 0,3803 |
| 7 | 100 | 37,95 | 0,3795 |
| 8 | 100 | 37,99 | 0,3799 |
| 9 | 100 | 37,98 | 0,3798 |
| 10 | 100 | 38,00 | 0,3800 |
| | | Media | 0,3710 |

$$Cv = \frac{2.830390629x10^{-4}}{0.371} X\ 100 = 0.08$$

7 Tabla 7 Densidad aparente carbón ADECAB

| Nº | Volumen (ml) | Peso del carbón (g) | Densidad (g/ml) |
|---|---|---|---|
| 1 | 100 | 40,53 | 0,4053 |
| 2 | 100 | 40,54 | 0,4054 |
| 3 | 100 | 40,51 | 0,4051 |
| 4 | 100 | 40,49 | 0.4 49 |
| 5 | 100 | 40,47 | 0,4047 |
| 6 | 100 | 40,45 | 0,4045 |
| 7 | 100 | 40,44 | 0,4044 |
| 8 | 100 | 40,46 | 0,4046 |
| 9 | 100 | 40,46 | 0,4046 |
| 10 | 100 | 40,49 | 0,4049 |
| | | Media | 0,4048 |

$$Cv = \frac{3.405877273x10^{-4}}{0.4048} X\ 100 = 0.08$$

8 Tabla 8 Densidad aparente carbón ADECAB

| Nº | Volumen (ml) | Peso del carbón (g) | Densidad (g/ml) |
|---|---|---|---|
| 1 | 100 | 40,01 | 0,4001 |
| 2 | 100 | 39,98 | 0,3998 |
| 3 | 100 | 39,97 | 0,3997 |
| 4 | 100 | 39,96 | 0,3996 |
| 5 | 100 | 39,99 | 0,3999 |
| 6 | 100 | 39,99 | 0,3999 |
| 7 | 100 | 39,98 | 0,3998 |
| 8 | 100 | 39,97 | 0,3997 |
| 9 | 100 | 39,96 | 0,3996 |
| 10 | 100 | 39,96 | 0,3996 |
| | | Media | 0,3998 |

$$Cv = \frac{1.36391694x10^{-4}}{0.3998} X\ 100 = 0.040930257$$

9 Tabla 9 Densidad aparente de carbón activado Darco

| Nº | Volumen (ml) | Peso del carbón (g) | Densidad (g/ml) |
|---|---|---|---|
| 1 | 100 | 48,78 | 0,4878 |
| 2 | 100l | 48,77 | 0,4877 |
| 3 | 100l | 48,76 | 0,4876 |
| 4 | 100 | 48,75 | 0,4875 |
| 5 | 100 | 48,77 | 0,4877 |
| 6 | 100 | 48,76 | 0,4876 |
| 7 | 100 | 48,77 | 0,4877 |
| 8 | 100 | 48,75 | 0,4875 |
| 9 | 100 | 48,75 | 0,4875 |
| 10 | 100 | 48,76 | 0,4876 |
| | | Media | 0,4876 |

$$Cv = \frac{1.0593499905x10^{-4}}{0.4876} X\ 100 = 0.021725797$$

## 2.0 Tablas de tamaño de partícula ADECAB

1 Tabla 1 ADECAB, Tamaño de Partícula

Primera Muestra

| **Malla de Tamiz** | **Peso del carbón retenido (g)** | **% del carbón en cada tamiz** |
|---|---|---|
| Tamiz de 4 mm | 44,10 | 14,70 |
| Tamiz de 2 mm | 171,85 | 57,28 |
| Tamiz de 0,63 mm | 35,05 | 11,68 |
| Tamiz< 0,63 mm | 49,00 | 16,33 |

2 Tabla 2 ADECAB, Tamaño de Partícula

Segunda Muestra

| **Malla de Tamiz** | **Peso del carbón retenido (g)** | **% del carbón en cada tamiz** |
|---|---|---|
| Tamiz de 4 mm | 22,56 | 7,52 |
| Tamiz de 2 mm | 142,26 | 47,42 |
| Tamiz de 0,63 mm | 25,26 | 41,75 |
| Tamiz< 0,63 mm | 9,92 | 3,31 |

3 Tabla 3 ADECAB, Tamaño de partícula

Tercera Muestra

| **Malla de Tamiz** | **Peso del carbón retenido (g)** | **% del carbón en cada tamiz** |
|---|---|---|
| Tamiz de 4 mm | 11,9 | 3,97 |
| Tamiz de 2 mm | 179,21 | 59,74 |
| Tamiz de 0,63 mm | 70,43 | 23,48 |
| Tamiz< 0,63 mm | 38,46 | 12,82 |

4 Tabla 4 ADECAB, Tamaño de Partícula

Cuarta Muestra

| **Malla de Tamiz** | **Peso del carbón retenido (g)** | **% del carbón en cada tamiz** |
|---|---|---|
| Tamiz de 4 mm | 22,3 | 7,43 |
| Tamiz de 2 mm | 165,07 | 55,02 |
| Tamiz de 0,63 mm | 77,86 | 25,95 |
| Tamiz< 0,63 mm | 34,77 | 11,59 |

5 Tabla 5 ADECAB, Tamaño de Partícula

Quinta Muestra

| **Malla de Tamiz** | **Peso del carbón retenido (g)** | **% del carbón en cada tamiz** |
|---|---|---|
| Tamiz de 4 mm | 11,76 | 3,92 |
| Tamiz de 2 mm | 186,11 | 62,04 |
| Tamiz de 0,63 mm | 68,13 | 22,71 |
| Tamiz< 0,63 mm | 34,00 | 11,33 |

6 Tabla 6 ADECAB, Tamaño de Partícula

Sexta Muestra

| **Malla de Tamiz** | **Peso del carbón retenido (g)** | **% del carbón en cada tamiz** |
|---|---|---|
| Tamiz de 4 mm | 9,09 | 3,03 |
| Tamiz de 2 mm | 182,49 | 60,83 |
| Tamiz de 0,63 mm | 72,25 | 24,08 |
| Tamiz< 0,63 mm | 36,17 | 12,06 |

7 Tabla 7 ADECAB, Tamaño de Partícula

Séptima Muestra

| **Malla de Tamiz** | **Peso del carbón retenido (g)** | **% del carbón en cada Tamiz** |
|---|---|---|
| Tamiz | | |
| Tamiz de 4 mm | 23,5 | 7,83 |
| Tamiz de 2 mm | 182,53 | 60,84 |
| Tamiz de 0,63 mm | 67,7 | 22,57 |
| Tamiz < 0,63 mm | 26,27 | 8,76 |

8 Tablas 8 ADECAB, Tamaño de Partícula

Octava Muestra

| **Malla de Tamiz** | **Peso del carbón retenido (g)** | **% del carbón en cada tamiz** |
|---|---|---|
| Tamiz de 4 mm | 18,32 | 6,11 |
| Tamiz de 2 mm | 170,00 | 56,67 |
| Tamiz de 0,63 mm | 74,600 | 24,87 |
| Tamiz< 0,63 mm | 37,08 | 12,36 |

9 Tabla 9 Darco, Tamaño de Partícula

| **Malla de Tamiz** | **Peso del carbón retenido (g)** | **% del carbón** en cada Tamiz |
|---|---|---|
| Tamiz | en g | |
| Tamiz de 4 mm | 284 | 94,67 |
| Tamiz de 2 mm | 16,00 | 5,33 |
| Tamiz de 0,63 mm | - | - |
| Tamiz< 0,63 mm | - | - |

3.0 Tabla 3 Porcentaje de humedad de la cáscara de Jícaro

| N° | Peso de cáscara de jícaro(g) | Peso de cáscara después del horno a 105°C (g) | % de humedad |
|---|---|---|---|
| 1 | 50 | 46,00 | 8,0 |
| 2 | 50 | 45,90 | 8,2 |
| 3 | 50 | 46,05 | 7,9 |
| 4 | 50 | 46,10 | 7,8 |
| 5 | 50 | 45,80 | 8,4 |
| 6 | 50 | 46,00 | 8,0 |
| 7 | 50 | 45,90 | 8,2 |
| 8 | 50 | 46,05 | 7,9 |
| Promedio | | 46,00 | 8,1 |

$$\%\ de\ Humedad = \frac{Peso\ antes\ del\ secado - Peso\ despues\ del\ secado}{Peso\ muestra\ antes\ del\ secado} * 100$$

3.1 Tabla 3.1 Contenido de humedad del carbón ADECAB y carbón Darco

3.1 Contenido de humedad carbón ADECAB

| No | Peso de Cápsula (g) | Peso inicial de carbón (g) | Peso de cápsula más carbón antes del horno (g) | Peso de cápsula más carbón después del horno (g) | Peso del carbón después del horno (g) | Humedad en el carbón % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 224,21 | 50 | 274,21 | 267,30 | 43,48 | 13,8 |
| 2 | 220,54 | 50 | 270,54 | 260,38 | 39,92 | 20,3 |
| 3 | 217,02 | 50 | 267,02 | 255,48 | 38,84 | 23,1 |
| 4 | 229,90 | 50 | 279,90 | 270,71 | 40,89 | 18,4 |
| 5 | 175,45 | 50 | 225,45 | 215,78 | 40,33 | 19,3 |
| 6 | 219,53 | 50 | 269,53 | 257,45 | 37,92 | 24,2 |
| 7 | 215,23 | 50 | 265,23 | 255,63 | 40,48 | 19,2 |
| 8 | 230,04 | 50 | 280,04 | 269,96 | 39,92 | 20,2 |
| Promedio | 216,49 | 50 | 266,49 | 256,59 | 40,22 | 19,81 |

3.2 Contenido de humedad carbón Industrial Darco

| No | Peso de Cápsula (g) | Peso inicial de carbón (g) | Peso de cápsula más carbón antes del horno (g) | Peso de cápsula más carbón después del horno (g) | Peso del carbón después del horno (g) | Humedad en el carbón % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 218,60 | 50 | 26,70 | 267,39 | 48,69 | 2,60 |
| 2 | 218,60 | 50 | 268,71 | 267,40 | 48,69 | 2,60 |
| 3 | 218,71 | 50 | 268,72 | 267,40 | 48,69 | 2,60 |
| 4 | 218,71 | 50 | 668,72 | 267,40 | 48,69 | 2,60 |
| 5 | 218,71 | 50 | 268,71 | 267,40 | 48,69 | 2,60 |
| 6 | 218,71 | 50 | 268,70 | 267,40 | 48,69 | 2,60 |
| 7 | 218,71 | 50 | 268,71 | 267,40 | 48,69 | 2,60 |
| 8 | 218,71 | 50 | 268,70 | 267,40 | 48,69 | 2,60 |
| Promedio | 218,68 | 50 | 268,71 | 267,40 | 48,69 | 2,60 |

4.0 Tabla 1 Producción de carbón activado Experimento Directo

4.1 Peso de carbón activado Experimento directo

| No | Porcentaje $H_3PO_4$ | Peso de la cápsula (g) | Peso inicial de la cáscara (g) | Peso de la cápsula más la cáscara antes del horno (g) | Peso del carbón más la capsula después del horno a 600°C (g) | Peso del carbón (g) | Peso del carbón después del lavado en (g) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | $H_3PO_4$ 10% | 134,74 | 50 | 184,74 | 147,77 | 13,03 | 7,74 |
| 2 | $H_3PO_4$ 10% | 80,70 | 50 | 130,70 | 92,82 | 11,12 | 6,53 |
| 3 | $H_3PO_4$ 20% | 85,19 | 50 | 135,19 | 100,09 | 14,19 | 9,03 |
| 4 | $H_3PO_4$ 20% | 84,80 | 50 | 134,80 | 99,40 | 14,68 | 9,45 |

4.2 Humedad del carbón Experimento directo

| No | Porcentaje $H_3PO_4$ | Peso de la cápsula (g) | Peso inicial del carbón en (g) | Peso de la cápsula más la cáscara antes del horno(g) | Peso del carbón más la capsula después del horno a 600°C(g) | Peso del carbón (g) | Humedad % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | $H_3PO_4$ 10% | 134,74 | 7,74 | 142,48 | 142,17 | 7,43 | 4,01 |
| 2 | $H_3PO_4$ 10% | 80,70 | 6,53 | 87,23 | 86,95 | 6,25 | 4,29 |
| 3 | $H_3PO_4$ 20% | 85,19 | 9,03 | 94,22 | 93,81 | 8,62 | 4,54 |
| 4 | $H_3PO_4$ 20% | 84,80 | 9,45 | 94,25 | 93,81 | 9,01 | 4,66 |
| 5 | Carbón Darco | 87,50 | 10,00 | 97,50 | 77,78 | 9,72 | 2,60 |

4.3 Densidad del carbón Experimento directo

| No | Porcentaje $H_3PO_4$ | No de Mediciones | Volumen en (ml) medido con probeta | Peso del carbón (g) | Densidad (g/ml) | Densidad Inv (g/ml) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | $H_3PO_4$ 10% | 10 | 3,70 | 7,43 | 2.02 | 0,4953 |
| 2 | $H_3PO_4$ 10% | 10 | 2,65 | 6,25 | 2.34 | 0,4280 |
| 3 | $H_3PO_4$ 20% | 10 | 4,10 | 8,62 | 2.11 | 0,4736 |
| 4 | $H_3PO_4$ 20% | 10 | 4.12 | 9,01 | 2.11 | 0,4742 |
| 5 | Carbón Darco | 10 | 2.45 | 5,00 | 2.04 | 0,4950 |

4.4 Volumen de Poro y Porosidad Experimento directo

$\rho H_2O$ ($25^0C$) = 0,99713 g/ml; en el cálculo de la porosidad se utilizaron las densidades de la tabla de densidad, $m_h$, es la masa del carbón hervido y secado superficialmente, $m_s$ es la masa del carbón antes de hervirlo Vp Volumen de poro, Porosidad

| No | Porcentaje $H_3PO_4$ | Mh (g) | Ms (g) | Vp (ml/g) | Porosidad |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | $H_3PO_4$ 10% | 7,36 | 5,00 | 0,473358 | 0,234470 |
| 2 | $H_3PO_4$ 10% | 7,20 | 5,00 | 0,441266 | 0,188898 |
| 3 | $H_3PO_4$ 20% | 7,58 | 5,00 | 0,517485 | 0,245094 |
| 4 | $H_3PO_4$ 20% | 7,65 | 5,00 | 0,531525 | 0,252054 |
| 5 | Carbón Darco | 7,58 | 5,00 | 0,516903 | 0,255892 |

5.0 Tabla 2 Producción de carbón activado Experimento Precarbonizado

5.1 Peso carbón activado Experimento Precarbonizado 400°C, activación 600°C

| No | Porcentaje $H_3PO_4$ | Peso de la cápsula (g) | Peso inicial de la cáscara (g) | Peso de la cápsula más la cáscara antes del horno (g) | Peso del carbón más la capsula después del horno 400-600°C (g) | Peso del carbón (g) | Peso del carbón después del lavado (g) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | $H_3PO_4$ 10% | 86,23 | 50,00 | 136,23 | 96,.8 | 9,95 | 6,53 |
| 2 | $H_3PO_4$ 10% | 84,70 | 50,00 | 134,70 | 93,98 | 9,28 | 6,17 |
| 3 | $H_3PO_4$ 20% | 85,19 | 50,00 | 135,19 | 99,25 | 14,06 | 10,11 |
| 4 | $H_3PO_4$ 20% | 80,90 | 50,00 | 133,90 | 97,89 | 13,99 | 10,02 |

5.2 Tabla 2 Humedad Experimento Precarbonizado 400°C, activación 600°C

| No | Porcentaje $H_3PO_4$ | Peso de la cápsula (g) | Peso inicial del carbón (g) | Peso de la cápsula más la cáscara antes del horno (g) | Peso del carbón más la capsula después del horno a 105°C (g) | Peso del carbón(g) | % de humedad |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | $H_3PO_4$ 10% | 13474 | 6,53 | 141,27 | 141,05 | 6,31 | 3,36 |
| 2. | $H_3PO_4$ 10% | 80,00 | 6,17 | 86,87 | 86,65 | 5,95 | 3,56 |
| 3. | $H_3PO_4$ 20% | 85,19 | 10,11 | 95,30 | 94,99 | 9,80 | 3,07 |
| 4. | $H_3PO_4$ 20% | 84,80 | 10,02 | 94,82 | 94,53 | 9,73 | 2,89 |
| 5. | Carbón Darco | 84,60 | 10,00 | 94,60 | 74,86 | 9,74 | 2,60 |

5.3 Tabla 3 de Densidad Experimento Precarbonizado 400°C, activación 600°C

| No | Porcentaje $H_3PO_4$ | No de Mediciones | Volumen (ml) medido con probeta | Peso del carbón (g) | Densidad (g/m) | Densidad inv (g/m) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | $H_3PO_4$ 10% | 10 | 2,65 | 6,31 | 2,381 | 0,4200 |
| 2. | $H_3PO_4$ 10% | 10 | 2,51 | 5,95 | 2,370 | 0,4219 |
| 3. | $H_3PO_4$ 20% | 10 | 4,90 | 9,80 | 2,000 | 0,5000 |
| 4. | $H_3PO_4$ 20% | 10 | 4.90 | 9,73 | 1,980 | 0.5067 |
| 5. | Carbón Darco | 10 | 2.45 | 5,00 | 2,04 | 0.4950 |

5.4 Tabla 4 Volumen de Poro y Porosidad Precarbonizado 400°C, activación 600°C

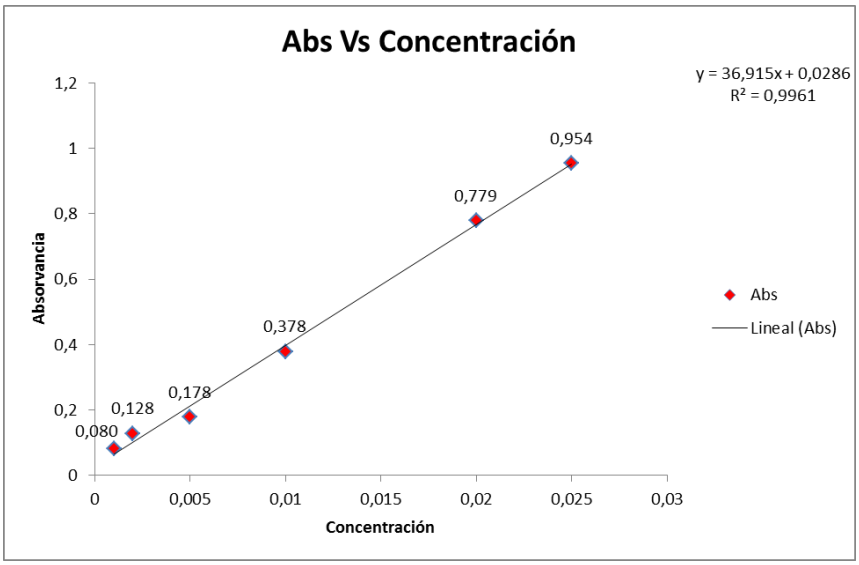
$\rho H_2O$ ($25^0$C) = 0,99713 g/ml; en el cálculo de la porosidad se utilizaron las densidades de la tabla de densidad, $m_h$, es la masa del carbón hervido y secado superficialmente, $m_s$ es la masa del carbón antes de hervirloVp Volumen de poro, Porosidad

| No | Porcentaje $H_3PO_4$ | Mh (g) | Ms (g) | Vp (ml/) | Porosidad |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. | $H_3PO_4$ 10% | 7,35 | 5,00 | 0,471352 | 0,1982 |
| 2. | $H_3PO_4$ 10% | 7,30 | 5,00 | 0,461323 | 0,1946 |
| 3. | $H_3PO_4$ 20% | 7,58 | 5,00 | 0,517485 | 0,2587 |
| 4. | $H_3PO_4$ 20% | 7,53 | 5,00 | 0,507456 | 0,2571 |
| 5. | Carbón Darco | 7.58 | 5,00 | 0,516903 | 0.2558 |

6.0 Curva de calibración y adsorbancia carbón ADECAB y Darco

Curva de calibración de azul de metileno, en el espectrofotómetro, se analizó las muestras homogenizadas de carbón activado ADECAB y Darco de referencia

| mmol/l | Abs |
|---|---|
| 0,025 | 0,954 |
| 0,020 | 0,779 |
| 0,010 | 0,378 |
| 0,005 | 0,178 |
| 0,002 | 0,128 |
| 0,001 | 0,080 |




6.1 Tabla 6.1 Adsorbancia carbón ADECAB y carbón Darco

| **Código** | **Carbón activado en (g)** | **0,1 g de azul de metileno en 100 ml de agua destilada** | **Adsorbancia** | **Concentración** |
|---|---|---|---|---|
| B | | 100 | 0,000 | - |
| Darco | 0,20 | 100 | 0,050 | 0,001 |
| Darco | 0,15 | 100 | 0,039 | 0,009 |
| ADECAB | 0,20 | 100 | 1,633 | -- |
| ADECAB | 0,15 | 100 | 1,444 | -- |

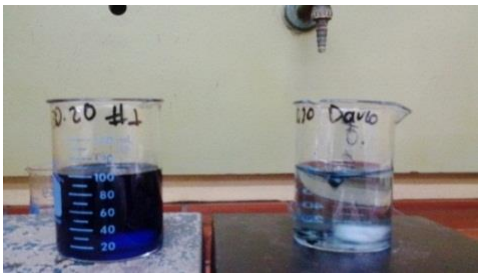
Adsorbancia de carbón ADECAB y carbón Darco en espectrofotómetro perkim Elmer Lamdaxls, después de 16 horas en agitación.

Cálculo de adsorbancia:

$$Ama = \frac{Ami - Amf * V}{m}$$

$$Ama = \frac{0{,}1\ mmol/L\ - 0{,}001 mmol/L * 0{,}1\ L}{0{,}2\ g} = 0{,}0495\ mmol/g$$

El carbón ADEACAB, no presentó adsorbancia al azul de metileno.



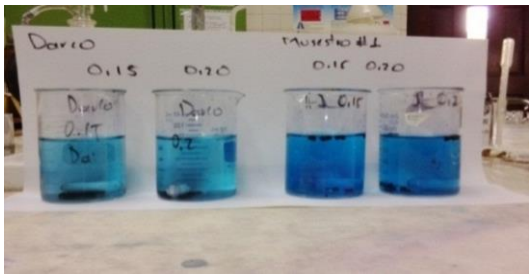


Figura 7 adsorbancia de azul de metileno DARCO ADECAB

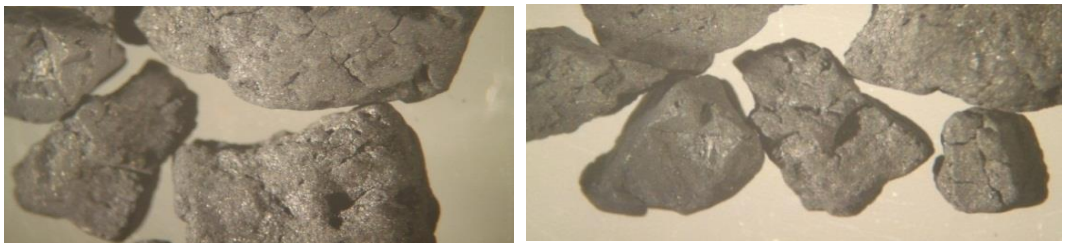


Figura 8 de la Porocidad del carbon activado Darco, (Stereoscopio a 35x)

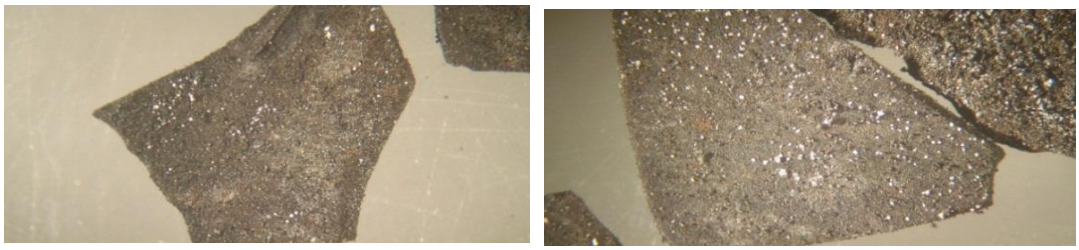


Figura 9 de Porocidad del carbón activado ADECAB, (Stereoscopio a 35x)
Laboratorio de hidrobiología Cira/UNAN- Managua

7.0 Adsorbancia carbón producido en Experimento I a 600°C

| **Código** | **Carbón activado en (g)** | **0,1 g de azul de metileno en 100ml de agua destilada** | **Absorbancia** | **Concentración** |
|---|---|---|---|---|
| B | | 100 | 0,000 | - |
| Darco | 0,20 | 100 | 0,050 | 0,001 |
| Darco | 0,15 | 100 | 0,039 | 0,009 |
| $H_3PO_4$ al 10% | 0,20 | 100 | 1,456 | - |
| $H_3PO_4$ al 10% | 0,15 | 100 | 1,520 | - |
| $H_3PO_4$ al 20% | 0,20 | 100 | 0,745 | 0,020 |
| $H_3PO_4$ al 20% | 0,15 | 100 | 0,755 | 0,021 |

Calculo absorbancia después en 16 horas en agitación:

$$Ama = \frac{0{,}1\ mmol/L\ - 0{,}020 mmol/l * 0{,}1\ l}{0{,}2\ g} = 0{,}04\ mmol/g$$

$$Ama = \frac{0{,}1\ mmol/L\ - 0{,}001 mmol/l * 0{,}1\ l}{0{,}2\ g} = 0{,}0495\ mmol/g$$

8.0 Adsorbancia carbón producido en Experimento II 400-600°C

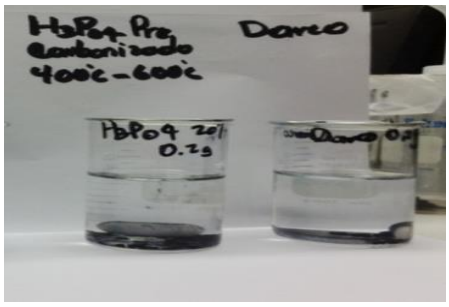
| Código | Carbón activado (g) | 0,1 g de azul de metileno en 100ml de agua destilada | Absorbancia | Concentración |
|---|---|---|---|---|
| B | | 100 | -0,001 | - |
| Darco | 0,20 | 100 | 0,063 | 0,019 |
| Darco | 0,15 | 100 | 0,039 | 0,020 |
| $H_3PO_4$ al 10% | 0,20 | 100 | 1,456 | - |
| $H_3PO_4$ al 10% | 0,15 | 100 | 1,520 | - |
| $H_3PO_4$ al 20% | 0,20 | 100 | 0,745 | 0,001 |
| $H_3PO_4$ al 20% | 0,15 | 100 | 0,755 | 0,002 |

Calculo absorbancia después en 16 horas en agitación:
Precarbonizado

$$Ama = \frac{0{,}1\ mmol/L\ - 0{,}001 mmol/l * 0{,}1\ l}{0{,}2\ g} = 0{,}0495\ mmol/g$$

Darco

$$Ama = \frac{0{,}1\ mmol/L\ - 0{,}019 mmol/l * 0{,}1\ l}{0{,}2\ g} = 0{,}0405\ mmol/g$$



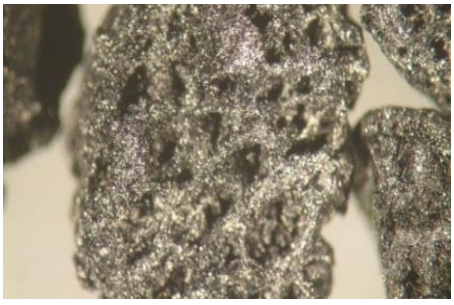



Figura 10 adsorbancia del Carbón pre carbonizado y carbón Darco

Adsorbancia carbón activado Precarbonizado y Fotografía, (Stereoscopio a 35x)

Fotografías producción de carbón activado proceso mejorado en la asociación ADECAB

Limpieza selección y reducción de tamaño de la cáscara de Jícaro

Fig. 1Limpeza

Fig 2 selección

Fig. 3 reducción

Fig. 4 cáscaras limpia

Figura 5 Preparación y Limpieza de los hornos

Figura. 6 Preparación de solución activante de ácido fosfórico al 20%

Figura. 7 Impregnación de cáscara de jícaro Precarbonizada 20 minutos

Figura 8 Activación de cáscara de jícaro precarbonizada e $400^0$C impregnada a $600^0$C

.

Figura 9 Lavado y medición de pH de la cáscara de jícaro

.

Figura 10 Secado, reducción de tamaño y embalaje de Carbón Activado