

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS



**“OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE LA
CÁSCARA DEL FRUTO DE LA CALABAZA (*Curcubita
ficifolia* Bouché)”**

Presentado por:

Kevin Reátegui Ochoa

Tesis para Optar el Título Profesional de:

BIÓLOGO

Lima – Perú

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS

**“OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE LA
CÁSCARA DEL FRUTO DE LA CALABAZA (*Curcubita
ficifolia* Bouché)”**

Presentada por:

Kevin Reátegui Ochoa

Tesis para Optar el Título Profesional de:

BIÓLOGO

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

Q.F. Juan José León Cam
PRESIDENTE

Mg. Sc. Mercedes Flores Pimentel
MIEMBRO

Dr. Elvito Villegas Silva
MIEMBRO

Mg. Fermín Arévalo Ortiz
ASESOR

AGRADECIMIENTOS

Agradezco todos aquellos que me apoyaron desde el principio hasta el final; por cada grano, que han aportado conscientes o inconscientes, contribuyeron de manera decisiva a la culminación de esta tesis y dicho granos se manifestaron en las más diversas formas:

En palabras de aliento, que me dio el valor de seguir cuando todo parecía perdido.

En conocimientos y experiencias, que me dio la esperanza del ver la luz al final del túnel.

En contribuciones y servicios, que me facultó a entender la dicha de tenerlos a mi lado.

Y en paciencia y comprensión, que hizo que los problemas, las adversidades y fracasos pudieran ser superados.

Por esas y muchas más, les agradezco a mis padres, familiares, amigos, profesores, técnico de laboratorio y mi asistente, que lo dieron todo lo que estuvo a su disposición para que yo pudieran dar el primer paso hacia mi sueño como mi futuro.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todos ellos

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Calabaza	3
2.1.1. Clasificación y Taxonomía.....	3
2.1.2. Nombres comunes	3
2.1.3. Descripción	4
2.1.4. Origen, historia y distribución.....	6
2.1.5. Composición nutricional y Usos	9
2.1.6. Mercado y Cultivo	11
2.1.7. Fruto	11
2.2. Lignocelulosa	14
2.3. Carbón activado (CA).....	19
2.3.1. Generalidades.....	19
2.3.2. Estructura , composición química y características	19
2.3.3. Tipos.....	20
2.3.4. Adsorción	20
2.3.5. Proceso de elaboración	24
2.3.6. Aplicaciones.....	25
2.4. Producción mas limpia (P+L).....	26
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
3.1. Área de Trabajo.....	28
3.2. Materiales, reactivo y equipos	28
3.2.1. Muestra biológica	28
3.2.2. Materiales.....	28
3.2.3. Reactivos	29
3.2.4. Equipos.....	29
3.3. Codificaciones.....	30
3.4. Materiales y metodos	30
3.4.1. Obtención de carbón activado (CA).....	30
a. Preparación de la muestra vegetal	30
b. Impregnación y activación	30

c.	Lavado y operaciones finales	31
3.5.	Pruebas experimentales del Carbón activado (CA)	31
3.5.1.	Caracterización de la muestra.....	31
3.5.2.	caracterizacion de carbón activado (CA).....	31
a.	Humedad (CH).....	31
b.	Cenizas (CZ)	32
c.	pH.....	32
d.	Densidad aparente (Dap)	32
e.	Rendimiento.....	32
3.5.3.	Adsorción del carbón activado (CA).....	32
a.	Adsorción de azul de metileno	32
b.	Adsorción de cromo (VI).....	33
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
4.1.	Caracterización de la muestra.....	34
4.2.	Caracterización del carbón activado (CA)	35
4.2.1.	Rendimiento.....	35
4.2.2.	densidad aparente (dAP).....	37
4.2.3.	pH.....	39
4.2.4.	Humedad (CH).....	40
4.2.5.	Ceniza (CZ).....	43
4.3	Adsorción del carbon activado (CA)	45
4.3.1.	Adsorción de azul de metileno	45
4.3.2.	Adsorción del cromato.....	48
4.3.3.	Selección del Mejor Carbón Activado.....	54
4.3.4.	Prueba estadística.....	55
V.	CONCLUSIONES.....	56
VI.	RECOMENDACIONES	57
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58
VIII.	ANEXOS.....	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Composición nutricional de la calabaza	9
Tabla 2:	Contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina en desechos agrícolas.....	16
Tabla 3:	Procesos fisicoquímicos de los componentes lignocelulósicos	18
Tabla 4:	Tipos de poro de acuerdo a su diámetro	22
Tabla 5:	Codificaciones de los Carbones Activados (CA).....	30
Tabla 6:	Caracterización de la muestra (cáscara del fruto de <i>Cucurbita ficifolia</i> Bouché), cáscara de coco y bambú.....	34
Tabla 7:	Rendimiento de los carbones activados obtenidos	35
Tabla 8:	Densidad aparente de los carbones activados obtenidos.....	37
Tabla 9:	pH de los carbones activados obtenidos	39
Tabla 10:	Porcentaje de humedad de los carbones activados obtenidos	40
Tabla 11:	Porcentaje de ceniza de los carbones activados obtenidos	43
Tabla 12:	Comparación del porcentaje de adsorción del azul de metileno entre los carbones activados obtenidos y un carbón activado comercial marca Hellige	45
Tabla 13:	Comparación del porcentaje de adsorción del cromo (VI) en concentración 1 mg/L entre los carbones activados obtenidos y el carbón activado comercial Marca Hellige	48
Tabla 14:	Comparación del porcentaje de adsorción de cromo (VI) en concentración 5 mg/L entre los carbones activados obtenidos y el carbón activado comercial marca Hellige	49
Tabla 15:	Comparación del porcentaje de adsorción de cromo (VI) en concentración 10 mg/L entre los carbones activados obtenidos y el carbón activado comercial marca Hellige	50
Tabla 16:	Rangos aceptables del ASTM en los criterios de humedad, ceniza, pH y densidad aparente	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Tallo de la calabaza (<i>Cucurbita ficifolia</i>)	4
Figura 2:	Hojas de la calabaza (<i>Cucurbita ficifolia</i>)	5
Figura 3:	Flor de la calabaza (<i>Cucurbita ficifolia</i>).....	6
Figura 4:	Distribución natural de la calabaza (<i>Cucurbita ficifolia</i>).....	8
Figura 5:	Exterior e interior del fruto de la calabaza (<i>Cucurbita ficifolia</i>).....	13
Figura 6:	Estructura de la lignocelulosa	15
Figura 7:	Estructura de la pared celular.....	16
Figura 8:	Tipos de poros presentes en el carbón activado	22
Figura 9:	Grupos funcionales presente en la superficie del carbón activado.	23
Figura 10:	Proceso de activación del carbón activado.....	24
Figura 11:	Porcentaje de rendimiento de los carbones activados obtenidos respecto al tiempo de activación.....	35
Figura 12:	Densidad aparente de los carbones activados obtenidos respecto al tiempo de activación.....	37
Figura 13:	pH de los carbones activados obtenidos respecto al tiempo de activación	39
Figura 14:	Porcentaje de humedad de los carbones activados obtenidos respecto al tiempo de activación.....	41
Figura 15:	Porcentaje de ceniza de los carbones activados obtenidos respecto al tiempo de activación.....	43
Figura 16:	Porcentaje de adsorción de azul de metileno de los carbones activados obtenidos y la versión comercial respecto al tiempo.....	46
Figura 17:	Porcentaje de adsorción de cromo (VI) 1 mg/L de los carbones activados obtenidos y la versión comercial respecto al tiempo.....	51
Figura 18:	Porcentaje de la adsorción de cromo (VI) 5 mg/L de los carbones activados obtenidos y la versión comercial respecto al tiempo	51

Figura 19: Porcentaje de la adsorción de cromo (VI) 10 mg/L de los carbones
activados obtenidos y la versión comercial respecto al tiempo 52

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Resultados obtenidos del experimento.....	67
Anexo 2: Curva de calibracion entre la absorbancia y la concentracion	68
Anexo 3: Metodo de determinacion de humedad, cenizas, densidad aparente y pH según la ASTM 1762 y 2854-09.....	69
Anexo 4: Analisis estadistico de los resultados	71
Anexo 5: Galeria.....	75

RESUMEN

El objetivo de esta tesis fue comprobar si se puede obtener carbón activado a partir de la cáscara del fruto de la calabaza (*Cucurbita ficifolia*). Se utilizó el método químico con dos variables: agente activante (ácido fosfórico al 30 por ciento y 60 por ciento y cloruro de zinc al uno por ciento) y tiempos de activación (45, 60 y 75 minutos). Para obtener el tratamiento óptimo, se realizó una caracterización físico-química y una evaluación de las capacidades de adsorción en azul de metileno y cromato en tres concentraciones distintas. De acuerdo a los resultados obtenidos, el carbón activado con ácido fosfórico al 30 por ciento y tiempo de activación de 60 minutos (AF30-60) presenta una buena capacidad de adsorción de azul de metileno y cromato, asimismo, cumple con los requisitos de la ASTM. Este carbón activado presenta las siguientes características físico-químicas: porcentaje de humedad y cenizas fueron 7,33 y 4,59 por ciento respectivamente; el pH, 2,32 y la densidad aparente, 0,375 g/cm³. Por otro lado todos los carbones activados obtenidos presentaron una buena capacidad de adsorción de azul de metileno (90 por ciento) y solo, los carbones activados obtenidos con ácido fosfórico presentaron una buena capacidad de adsorción de cromato (85 por ciento). Cabe resaltar que se demostró que se puede obtener un carbón activado a partir de cáscara del fruto de la calabaza (*Cucurbita ficifolia*) y se recomienda su uso para la producción de carbón activado para un aprovechamiento integral de los desechos agrícolas.

Palabras Claves: carbón activado, calabaza, método químico, cromato, azul de metileno.

ABSTRACT

The objective of this test is to check whether activated charcoal can be obtained from the fruit peel of the pumpkin (*Cucurbita ficifolia*). The chemical method was used with two variables: activating agent (phosphoric acid 30 percent and 60 percent and zinc chloride one percent) and activation time (45, 60 and 75 minutes). To obtain the optimum treatment, a physical-chemical characterization and an evaluation of the adsorption capacities in methylene and chromium blue were carried out in three different concentrations. According to the results, the activated carbon with 30 percent phosphoric acid and activation time of 60 minutes (AF30-60) has a good adsorption capacity of methylene blue and chromium, also, it meets the requirements of the ASTM. This activated carbon presented the following physical-chemical characteristics: the percentage of humidity and ashes were 7,33 and 4,59 percent respectively; pH, 2,32 and the bulk density, 0,375 g / cm³. On the other hand, all the activated carbon obtained had a good adsorption capacity of methylene blue (90 percent) and only, the activated carbons obtained with phosphoric acid showed good adsorption capacity of chromium (85 percent). It should be noted that it can be shown that activated carbon can be obtained from the fruit's peel of the pumpkin (*Cucurbita ficifolia*) and its use is recommended for the production of activated charcoal for an integral use of the agricultural wastes.

Keywords: *activated charcoal, pumpkin, chemical method, chromate, methylene blue.*

I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo agroindustrial del Perú ha permitido al país, posicionar sus productos en los mercados internacionales, mejorar la calidad de vida y la creación de múltiples empleos; no obstante, estos beneficios han traído una serie de consecuencias como por ejemplo la acumulación de desechos agrícolas; ocasionando problemas ambientales, económicos y logísticos al momento de disponer estos materiales.

A diferencia de los países desarrollados, en las que estos desechos agrícolas son utilizados como materia prima para la elaboración de otros productos, el Perú aún carece de una estrategia de aprovechamiento, a pesar de contar con los expertos adecuados en el ramo y los instrumentos necesarios. Uno de estos desechos agrícolas es la cáscara del fruto de la calabaza (*Cucurbita ficifolia* Bouché) que bien podría ser utilizada para la producción de carbón activado, haciendo que la utilización sea integral.

El carbón activado es una forma de carbono altamente poroso con una capacidad de adsorción muy alta y se utiliza generalmente en procesos de descontaminación de aguas, recuperación de solventes, control de emisiones, decoloración de líquidos, eliminación de olores, soportes catalíticos, entre otros procesos; debido a ello, es empleado en múltiples sectores.

En el Perú, el carbón activado es un producto importado; debido a que no se elabora en grandes cantidades en territorio nacional. Teniendo en cuenta lo anterior, se ha tratado de producir carbón activado y se ha logrado obtener resultados prometedores; sin embargo, se

ha presentado inconvenientes, ya que se propone su elaboración a partir de materias primas que el país no posee en abundancia; dando como resultado un aumento de costo en el precio final que impide su comercialización en el país.

En la presente investigación, se establece como objetivo principal la obtención de carbón activado a partir de la cáscara del fruto de la calabaza blanca (*Cucurbita ficifolia* Bouché) utilizando tres agentes activantes (ácido fosfórico al 30 y 60 por ciento y cloruro de zinc al uno por ciento). Por otro lado, se establece como objetivos secundarios determinar los parámetros de producción más óptimos de acuerdo a los resultados del porcentaje de adsorción, y reportar los carbones activados con los mayores rendimientos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. CALABAZA

2.1.1. CLASIFICACIÓN Y TAXONOMÍA

- División: Magnoliophyta (*Cronquisr, Takht & Zimmerm, 1966*)
 - Clase: Magnoliopsida (*Cronquisr, Takht & Zimmerm, 1966*)
 - Sub clase: Rosidae (*Takhatajan, 1967*)
 - Orden: Cucurbitales (*Juss. ex Bercht. & J.Presl, 1820*)
 - Familia: Cucurbitaceae (*Jussieu, 1789*)
 - Género: *Cucurbita* (*L, 1753*)
 - Especie: *Cucurbita ficifolia* Bouché

FUENTE: Cronquist, A. 1981.

De todas las especies de *Cucurbita*; la taxonomía de *Cucurbita ficifolia* Bouché y su relación con otras especies dentro del género es la que posee menor información científica e investigaciones dedicada al tema. La especie es reproductivamente incompatible con otras especies de su género y demuestra una menor variabilidad; esto es confirmado por la limitada variabilidad en el patrón de isoenzimas (Andrés, 1990). Por otro lado, diversos estudios realizados hasta la fecha demuestran que dicho fruto no tiene ningún antepasado silvestre asociado (OECD. 2012).

2.1.2. NOMBRES COMUNES

Se presenta una lista de los nombres comunes utilizados para designar a *Cucurbita ficifolia* en diversos países (*Conabio, 2010*).

- Auyama, Victoria, Vitoriera, Mexicana; Colombia.
- Ayote-chilacayote, Chilacayote, Cidracoyote; Guatemala.
- Blanca, Lacayota, Lacayute, Lacayo; Bolivia.
- Calabaza, Calabaza blanca, Lacayota; Perú.
- Chilaca, Chilacayota, Kán, Chilacayote; México.
- Chiverre; Costa Rica.
- Tambo, Zambo; Ecuador.
- Zapallo o Zapayo; Venezuela.

2.1.3. DESCRIPCIÓN

La descripción morfológica de la calabaza (*Cucurbita ficifolia* Bouché) es la de una trepadora robusta, probablemente anual, de varios metros, que puede trepar en árboles. Además, su tallo está cubierto de tricomas cortos y finos, y con algunos tricomas largos y algo rígidos, Figura 1 (Stevens *et al.*, 2001).



Figura 1: Tallo de la calabaza (*Cucurbita ficifolia*)

FUENTE: Heike, 2009.

Las hojas son alternas, ampliamente ovadas a casi circulares, de hasta 25 cm de largo y de ancho, de base acorazonada; el margen ondulado-dentado, cubiertas de tricomas erguidos, sin manchas blancas, ligera a profundamente divididas en cinco lóbulos redondeados, puntiagudos, y generalmente a su vez divididos en tres lóbulos (el central más grande) con frecuencia adelgazados hacia la base; los pecíolos de hasta 26 cm de largo, cubiertos de tricomas rizados; zarcillos robustos, divididos en tres a cuatros ramas. En la Figura 2 se permite distinguir mejor estas características.



Figura 2: Hojas de la calabaza (*Cucurbita ficifolia*)

FUENTE: Heike, 2009.

Las flores son solitarias, axilares; las flores masculinas en largos pedúnculos y las femeninas en pedúnculos cortos (de hasta cinco cm de largo); el cáliz es un tubo cortamente acampanado, de hasta cinco cm de largo, que hacia el ápice se divide en lóbulos linear-lanceolados de hasta 12 mm de largo; la corola amarilla a anaranjado-pálida, de hasta 12 cm de largo, es un tubo (de un tercio del largo total de la corola) que hacia el ápice se divide en lóbulos anchos, puntiagudos y con los márgenes algo enrollados hacia adentro; estambres cinco con las anteras lineares y unidas entre sí formando un cuerpo cónico o cilíndrico; las flores femeninas son similares, a veces un poco más grandes, con un estilo engrosado y tres estigmas lobados con el ovario ínfero (Stevens *et al.*, 2001).



Figura 3: Flor de la calabaza (*Cucurbita ficifolia*)

FUENTE: Heike, 2009.

Morfológicamente, la variación más importante se encuentra en los patrones de color del fruto (de blanco a verde con patrones de manchas o rayas blancas y bronceado, a marrón oscuro o semillas de color negro), y variación en las dimensiones de frutos y semillas (OECD, 2012).

2.1.4. ORIGEN, HISTORIA Y DISTRIBUCIÓN

El género *Cucurbita* es exclusivamente nativo de las Américas, esta afirmación se basa en las evidencias fitogeográficas y las relaciones huésped-parasito, que han insinuado el sur y el centro de México, como centro de origen del género. Hay que tener en cuenta que la mayor parte de las especies parecen haberse originado en México, pero algunas, como *Cucurbita maxima*, es nativa de América del Sur (Nuez, 2000).

En el caso de *Cucurbita ficifolia*, Andrés (1990) realizó diversos tipos de pruebas y comparó la taxonomía de las otras especies de *Cucurbita* y aún así, no fue capaz de determinar con precisión el centro probable de domesticación; como resultado, la ubicación exacta del centro de domesticación de *Cucurbita ficifolia*, aún es incierto hasta la fecha. Esto ha llevado a algunos a proponer que su centro de origen es América Central o el sur de México y

América Central debido a la evidencias lingüísticas, pero dicha teoría se ponen en duda con las evidencias fisiológicas y arqueológicas actuales, proponiendo como un centro de domesticación más adecuado los Andes (Nee, 1990).

Teniendo en cuenta lo anterior, la evidencia lingüística tiende a apoyar como centro de origen el sur de México; debido a la amplia utilización de nombres basado en el *náhuatl* que mantiene su uso hasta el sur de Argentina. Desde esta perspectiva, los nombres nativos de influencia indígena nahua como " chilacayote " y " lacayote " sugieren un mexicano origen, pero la evidencia sistemática ha sido concluyente debido a la fuerte incompatibilidad reproductiva encontrado entre *C. ficifolia* y los taxones silvestres de *Cucurbita* nativas de México, debilitando la idea de México como el centro de domesticación (Andes, 1990; Nee, 1990; OCDE, 2012).

Respecto a los Andes como el centro, la evidencia arqueológica favorece un origen sudamericano desde que se han encontrado los restos más antiguos en el Perú; lamentablemente, no ha sido posible apoyar esta evidencia por medio de estudios sistemáticos (OECD. 2012).

Por otro lado, *C. ficifolia* difiere en su cariotipo de todos los demás taxones del género y está siempre claramente separado en los análisis con diversos marcadores moleculares (Andrés, 1990; Wilson *et al.*, 1992; Sanjur *et al.*, 2002). Todos estos datos han llevado a la proposición de que el ancestro silvestre de *C. ficifolia* podría ser una especie sin descubrir (o posiblemente extintas) de América del Sur (Andrés, 1990; Nee, 1990; Sanjur *et al.*, 2002).

Referente a la historia de la calabaza; antes del contacto europeo, las calabazas fueron uno de los tres principales cultivos de los nativos americanos junto al frijol (*Phaseolus vulgaris*) y al maíz (*Zea mays*); su cultivo permitía proveer a los suelos de nitrógeno y sombra a otros cultivos. Con posterioridad al contacto europeo, el género *Cucurbita* se difundió en todo el mundo y empezó a ser cultivada en otros continentes (París, 1989). Hoy en día, las especies

de *Cucurbita* se cultivan en todo el mundo, y son una fuente importante de alimento para gran parte de la población mundial.

Su distribución en el globo es la siguiente: Asia concentra el 58 por ciento de hectáreas plantadas de *Curcubita*, prosigue África, con un 15 por ciento; América del Norte, con el 11 por ciento; Europa, con un 9 por ciento; América del sur, con el 3 por ciento y Oceanía, con 0,8 por ciento (FAO, 2009). Su distribución en América Latina supera la de todas las otras especies cultivadas, extendiéndose desde las tierras altas del norte de México, América central y la cordillera andina, desde Colombia y Venezuela hasta el centro de Chile y noroeste de Argentina. En el caso del Perú, su cultivo se concentra en los departamentos Junín, Arequipa y Apurímac (Nuez, 2000). A continuación, se exhibe un mapa de Sudamérica (Figura 4) que muestra la distribución natural de la calabaza (*Cucurbita ficifolia*); a mayor intensidad de color verde, mayor la concentración de dicho cultivo.



Figura 4: Distribución natural de la calabaza (*Cucurbita ficifolia*)

FUENTE: Giannini et al., (2009).

2.1.5. COMPOSICION NUTRICIONAL Y USOS

Se exhibe la composición nutricional y minerales de la calabaza (*Cucurbita ficifolia*) en la Tabla 1.

Tabla 1: Composición nutricional de la calabaza

Nutriente	Unidad	Valor por 100g
Agua	g	91,60
Energía	kcal	26,00
Energía	kJ	109,00
Proteína	g	1,00
Lípido	g	0,10
Minerales	g	0,80
Carbohidrato	g	6,50
Fibras	g	0,50
Azucares	g	2,76
Minerales	Unidad	Valor por 100 g
Calcio, Ca	mg	21,00
Hierro, Fe	mg	0,80
Magnesio, Mg	mg	12,00
Fosforo, P	mg	44,00
Potasio, K	mg	340,00
Sodio, Na	mg	1,00
Zinc, Zn	mg	0,32
Cobre, Cu	mg	0,13
Manganeso, Mn	mg	0,13

FUENTE: USDA, 2014.

C. ficifolia es una excelente hortaliza, fácil de digerir pero poco nutritiva. Además de ello, atraviesa el tubo digestivo sin dejar residuos tóxicos, posee virtudes laxantes y diuréticas que la hacen un verdadero alimento desintoxicante (Olmedillo, 2001). En relación con las

vitaminas, es rica en beta-caroteno o pro vitamina A y vitamina C; la vitamina A es esencial para la visión, el buen estado de la piel, el cabello, las mucosas, los huesos y para el buen funcionamiento del sistema inmunológico, además de tener propiedades antioxidantes (García, 2006); mientras que la vitamina C interviene en la formación de colágeno, glóbulos rojos, huesos y dientes. Asimismo, favorece la absorción del hierro de los alimentos y aumenta la resistencia frente las infecciones. Por otro lado la calabaza, también presenta cantidades apreciables de vitamina E, folatos y otras vitaminas del grupo B tales como la B1, B2, B3 y B6 (Olmedillo, 2001).

Adicionalmente, es buena fuente de fibras solubles que ofrece valor de saciedad y mejora el tránsito intestinal por la alta presencia de mucílagos. Éstos son fibra soluble que tiene la capacidad de suavizar las mucosas del tracto gastrointestinal es aconsejable su uso en casos de obesidad y estreñimiento (García, 2006). En cuanto a su riqueza mineral, la calabaza (*Cucurbita ficifolia*) es un alimento rico en potasio que es necesario para la transmisión y generación del impulso nervioso y para la actividad muscular normal; además de intervenir en el equilibrio de agua dentro y fuera de la célula. También, contiene otros minerales como fósforo y magnesio, pero en menores cantidades (Olmedillo, 2001).

C. ficifolia goza de excelentes propiedades terapéuticas en las enfermedades agudas del aparato digestivo, especialmente en la inflamación de los intestinos, en la fiebre tifoidea y en la disentería (FAO, 2014). Asimismo, se utiliza la pulpa para calmar los dolores de cabeza y cataplasmas tibias de calabaza rallada o molida contra las mordeduras de los perros y otros animales ponzoñosos (García, 2006). Por otro lado, se menciona que la pulpa se destaca por su efecto diurético, suavizando y protegiendo la mucosa del estómago, indicado su consumo en forma de crema en casos de acidez de estómago, gastritis, mala digestión y úlcera gastroduodenal. También, favorece a la cicatrización de la piel por quemaduras. Por último, las hojas se utilizan en estados febriles, recomendadas durante el embarazo (Olmedillo, 2001).

2.1.6. MERCADO Y CULTIVO

Aunque los registros arqueológicos muestran que el género *Cucurbita* era el más cultivado en la Américas antes del contacto europeo, actualmente, *C. ficifolia* es la menos cultivada del continente americano (Bisognin, 2002).

El cultivo de forma rudimentaria se distribuye por la costa y sierra del Perú de forma esporádica, pero su cultivo para su consumo y desarrollo agroindustrial se concentran en los departamentos de Junín, Arequipa y Apurímac. Su producción, durante el periodo de 2001 a 2004, ha oscilado entre 2000 y 3000 toneladas, concentrando la mayor producción en los departamentos previamente mencionados. No hay datos de su exportación desde los años 2007 a 2012 (AMPEX, 2007).

Su comercialización y exportación conlleva a que se traslade a Lima, el principal mercado por sus casi diez millones de habitantes, y; por consiguiente, se pueda adquirir dicho fruto en los mercados principales de la capital.

2.1.7. FRUTO

Los frutos de *Cucurbita* son del tipo pepónide: baya derivada de un ovario ínfero con numerosas semillas rodeadas de una carnosidad que no se abre en la madurez (León, 1987). Según González (2001) en los pepónides en general no se distingue la pared del ovario de los tejidos extracarpelares, aparentemente de origen apendicular (no hay haces invertidos). Aparte de esto, presenta ciertos rasgos distintivos: el epicarpio endurecido en mayor o menor grado, los márgenes de los carpelos se han incurvado primero hacia el centro (centrípetamente) y luego hacia el exterior (centrífugamente), de manera que cada lóculo queda dividido, las placentas también se curvan y se extienden centrípetamente y los óvulos quedan como incrustados en el tejido de origen carpelar que llena el lóculo.

De lo anterior, hay que agregar que los frutos son más o menos globosos a oblongos, de hasta 35 cm de largo y hasta 20 cm de ancho, con cáscara dura, de color verde con rayas o con hileras de manchas longitudinales de color crema; el pedúnculo es de hasta seis cm de largo, algo expandido en la unión al fruto. Por último, sus semillas son numerosas, fuertemente comprimidas, ovada-elípticas, de hasta 20 mm de largo, café oscuras a negras.

En el caso del género *Cucurbita*; el pericarpio y los tejidos fusionados del receptáculo constituyen la masa del fruto, incluyendo la corteza y las fibras, y el parénquima se desintegra antes de que se produzca la maduración. Además, la corteza o exocarpo está compuesta por células de paredes gruesas, prismáticas y epidérmicas, formando una capa en empalizada. En la parte central del fruto, una masa de fibras duras, junto con los filamentos vasculares relacionada con la semilla, constituye el tejido de la placenta (Whitaker y Davis, 1962). Por último, el endocarpo está formado por células pequeñas, de paredes finas que forman un tejido membranoso que adhiere a la semilla, convirtiéndose en una piel transparente sobre las semillas secas (Hayward, 1953).

Hay que agregar que la cáscara es la corteza del fruto, y es definida por aquella capa delgada y rígida que separa el exterior del ambiente con el interior de fruto (la pulpa); su descripción sería el manto de coloración verde- amarillento con manchas irregulares amarillentas o blancas y esta será la utilizada para la producción de carbón activado (León, 1987). En la Figura 5, se puede observar más detalladamente la cascara, pericarpio y pulpa.



Figura 5: Exterior e interior del fruto de la calabaza (*Cucurbita ficifolia*)

FUENTE: Nuez et al., 2000.

En las plantas cultivadas, los frutos se producen en una gran variedad de las formas, tamaños, colores y tipos de superficie; mientras que los frutos en las plantas silvestres son relativamente pequeños y uniforme en cuanto a la forma (globosos, ovoides o raramente piriforme), superficie (generalmente lisa o sin adornos), y color (blanco, amarillento o verde con o sin manchas y / o flecos) (Lira *et al.*, 1995). La producción de frutos varía entre las especies; Lira *et al.*, (1995) quien menciona que algunas variedades domesticadas de *C. ficifolia* puede producir numerosos frutos de lo habitual (seis a ocho frutos) y su desarrollo y la maduración en *Cucurbita* se puede subdividir en tres fases superpuestas: expansión del fruto, incremento de la materia seca- almidón principalmente- y acumulación en el tejido del pericarpio, y maduración de la semilla (Nayar y More, 1998; Whitaker y Davis, 1962).

2.2. LIGNOCELULOSA

La cáscara del fruto de la calabaza (*Cucurbita ficifolia*) esta conformada por un conjunto de compuestos orgánicos que se denomina lignocelulosa. Dicho compuesto permitirá la obtención de un carbón activado de calidad; por consiguiente, es necesario una breve explicación de ella y su rol en la producción de carbón activado (Zeki, 2009; Suhas, 2007).

La lignocelulosa es definida como la biomasa de las plantas y componentes de la pared celular vegetal (Figura 6), está formada principalmente por la celulosa, hemicelulosa, lignina y pectina:

- La celulosa es un polímero de D-glucosa unida por enlaces glucosídicos β -1,4 que se estructuran en largas cadenas lineales (microfibrillas) unidas por puentes de hidrógeno y fuerzas de van der Waals intramoleculares, formando una estructura cristalina resistente a la hidrólisis y regiones amorfas susceptibles a la degradación enzimática (Ovando & Waliszewski, 2005).
- La hemicelulosa es un polímero complejo de heteropolisacáridos formado por pentosas (D-xilosa y L-arabinosa) y hexosas (D-glucosa, D-manosa y D-galactosa) que forman cadenas ramificadas y los ácidos 4- O-metilglucurónico, D-galacturónico y D- glucurónico, los azúcares están unidos por enlaces α -1,4 y ocasionalmente por enlaces β -1,3 (Pérez, *et al.*, 2002).
- La lignina es un heteropolímero amorfo, tridimensional y ramificado formado por alcoholes aromáticos que da soporte estructural, rigidez, impermeabilidad y protección a los polisacáridos estructurales (celulosa y hemicelulosa) y es altamente resistente a la degradación química y biológica (Aro *et al.*, 2005)

- La pectina es un grupo complejo de heteropolisacáridos estructurales que está compuesta por unidades enlazadas (α -1,4) del ácido galacturónico interrumpidos por enlaces simples (α -1,2) de residuos de ramnosa. Los grupos carboxilos de las unidades del ácido galacturónico están parcialmente esterificados por metanol, lo cual define el contenido de metoxilo en una pectina dependiendo de la fuente y el modo de extracción (Muñoz, 2011)

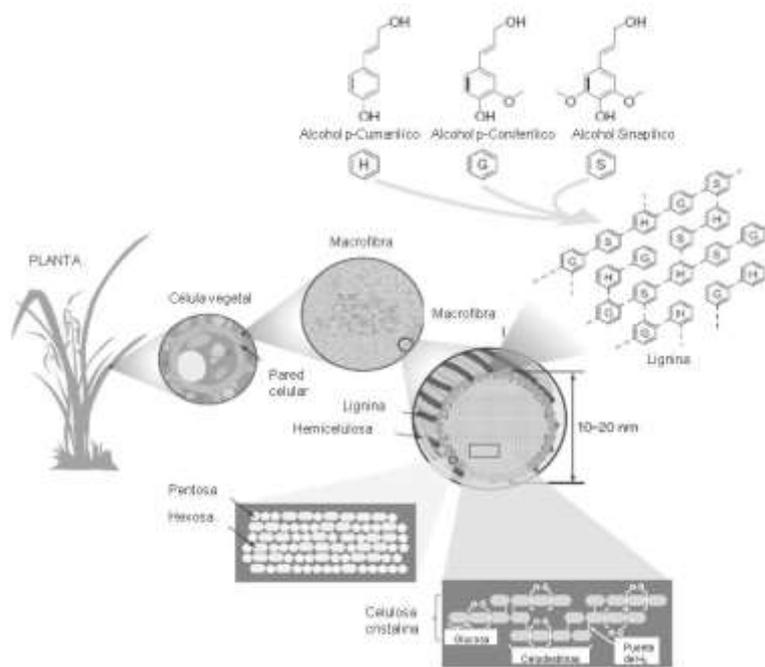


Figura 6: Estructura de la lignocelulosa

FUENTE: Rubin, 2008

La composición y porcentajes de estos polímeros varían entre las especies de plantas, incluso entre la edad y la etapa de crecimiento. Hay que agregar que se presenta en mayores cantidades, mientras mayor sea la rigidez de las partes de las plantas. En la Tabla 2, se presenta una serie de ejemplos:

Tabla 2: Contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina en desechos agrícolas.

Material lignocelulósico	Celulosa (%)	Lignina (%)	Hemicelulosa (%)
Madera dura	40-55	18-25	24-40
Maders suave	45-50	25-35	25-35
Cáscara de nuez	25-30	30-40	25-30
Olote de maíz	45	15	35
Desechos de pastos	25-40	18-30	35-40
Papel	85-99	0-1,5	0
Paja de trigo	30	15	50
Hojas	15-20	0	80-85
Algodón	80-95	0	0
Papel periódico	40-55	18-30	25-40
Desecho de papel de pulpeos	60-70	20	10
Hierba Bermuda	25	64	35.7
Pastos de crecimiento rápido	45	12	31.4

FUENTE: Sung y Cheng, 2002.

Asimismo, el termino lignocelulosa comprende los diferentes tipos de las paredes celulares de los vegetales. Estos son la pared primaria, secundaria y lamina media que se pueden observar más detalladamente en la Figura 7. Para este experimento, la composición química de estas estructuras posee una gran importancia.

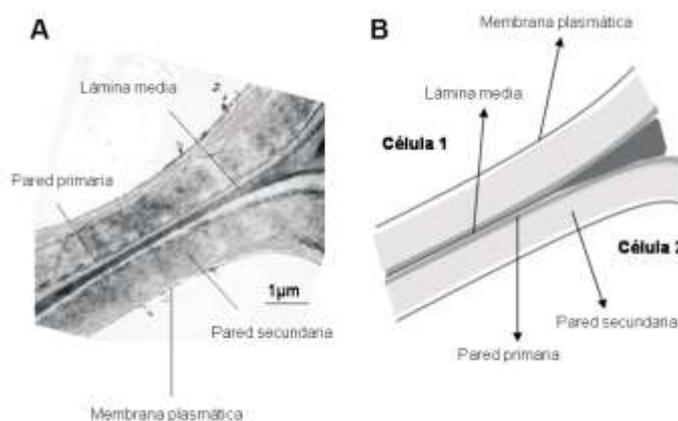


Figura 7: Estructura de la pared celular

FUENTE: Cardemil *et al.*, 2007

Las paredes celulares vegetales pueden clasificarse en pared primaria y pared secundaria. Esta clasificación depende del grado de diferenciación celular, de su composición química y de la función que tiene la célula (Cardemil *et al.*, 2007). Si bien ambas paredes poseen celulosa, hemicelulosa, pectina y lignina. La diferencia se basa en el grado de polimerización de la celulosa, el carbohidrato de hemicelulosa y la cantidad de lignina: la pared primaria posee celulosa de bajo grado de polimerización, la hemicelulosa es un xiloglucano o xilano y presenta menor contenido de lignina; mientras que la pared secundaria posee celulosa de alto grado de polimerización, la hemicelulosa es un manano y presenta mayor contenido de lignina (Cardemil *et al.*, 2007)

Por otro lado, la lámina media es una gran malla de polisacáridos que se proyectan desde la pared a los espacios intercelulares, actuando como sustancia cementante entre célula y célula se caracterizan por retener agua y gelificar por calor. Las pectinas además están unidas al calcio lo que le da a la pared celular la propiedad de ser un reservorio de calcio (Muñoz, 2011).

Ha surgido un alto interés en el empleo de este material, desde el punto de vista económico por su abundancia y costo bajo por ser un desecho. Existen múltiples investigadores que han reportado que este compuesto se puede utilizar para obtener diversos productos, entre ellos carbón activado. Hay que agregar que los carbones activados obtenidos a base de ellos han demostrado tener una capacidad de adsorción a metales contaminantes comparables a sus contrapartes comerciales (Li, 2014; Hayashi, 2000).

La obtención de un nuevo producto a partir de desecho lignocelulosico se basa en la mayoría de casos en la degradación de la celulosa, hemicelulosa, pectina y la lignina por medio de distintos tratamiento químicos-físicos (Tabla 3) o biológicos. En el caso de los tratamientos biológicos, se emplean enzimas extracelulares como las celulasas y hemicelulasas para la degradación de celulosa y hemicelulosa respectivamente; mientras que la lignina es degradada por medio de reacciones de oxidación catalizada por las peroxidasas, y la pectina por las pectinasas. La mayoría de los investigadores prefiere el uso de enzimas

extracelulares; debido a la pureza del producto obtenido, baja cantidad de energía y altos rendimientos, lamentablemente es un proceso lento. Para este experimento, la obtención de carbón activado se basa en la pirolisis con reacciones de deshidratación con ácidos y bases (Cuervo *et al.*, 2001).

Tabla 3: Procesos fisicoquímicos de los componentes lignocelulósicos

Proceso	Celulosa	Hemicelulosa	Lignina
Explosión de vapor	Despolimerización	80-100% de	Poca o nula
Hidrólisis ácida	Despolimerización	Solubilización	Poca o nula
Solventes orgánicos		Solubilización	Solubilización
Termólisis	Poca	80-100% de	
Hidrólisis alcalina	Relajamiento	>50% de	Solubilización

FUENTE: Lynd *et al.*, 2002

La celulosa es el componente que se presenta en mayor concentración en el género *Cucurbita*, es el más importante para la formación del carbón activado y, junto con la lignina permite la elaboración de carbón activado de mayor calidad. Se ha constatado lo que diversos investigadores han demostrado, que el uso de desechos agrícolas, que presentan lignina y celulosa en altas concentraciones son alternativas viables para la obtención de carbón activado y, por tanto, se abre la posibilidad de utilizar la cáscara del fruto de *Cucurbita ficifolia* como materia prima para su obtención; debido a que dicha parte concentra la mayor cantidad de lignocelulosa y presenta la mayor rigidez (León, 1987; Zeki, 2009).

2.3. CARBÓN ACTIVADO (CA)

2.3.1. GENERALIDADES

El carbón activado (CA) es una forma de carbón que se prepara en la industria para que tenga un alto grado de porosidad y una elevada área superficial; como consecuencia adquiere una alta capacidad de adsorción de diversos compuestos como colorantes, materiales orgánicos, metales pesados, gases entre otros, tanto en fase gaseosa como en disolución. Mediante el control adecuado de los procesos de carbonización y activación, se puede obtener una gran variedad de CA que posea diferente distribución de tamaño de poros, respondiendo a las diversas necesidades que la situación demanda. El CA es el adsorbente por excelencia y se aplica en todo proceso donde sea necesario la remoción de una sustancia de interés (Luna, 2007; Menéndez, 2008).

Toda materia prima para la preparación de CA, recibe la denominación común de precursor y éstos se dividen en suaves (la cáscara de naranja, bagazo de caña) o rígidos (cáscara de pecana, pepas de olivos, palma aceitera) dependiendo de su dureza; la mayoría proviene del carbón mineral, la biomasa lignocelulósica y desechos agrícolas, siendo los precursores más comunes la cáscara de coco y la madera de los árboles. (Nabais, 2011; Baccar *et al.*, 2009).

2.3.2. ESTRUCTURA , COMPOSICIÓN QUÍMICA Y CARACTERISTICAS

La estructura química de CA se compone por un conjunto irregular de láminas formados por átomos de carbono y ordenados en hexágonos unidos por enlaces covalentes fuertes en el plano basal del carbono unido a otros tres carbonos adyacentes con hibridación sp^2 , los espacios entre estas capas constituyen la porosidad (Degadillo, 2011). Cuhadar (2005) denominó a estas irregularidades microsátélites que consisten en la unión de anillos hexagonales de carbonos, cada uno de ellos consistía una serie de láminas de carbonos.

La composición química de la mayoría de carbones activados consiste principalmente de 85 a 90 por ciento de carbón, 5 por ciento de oxígeno, 1 por ciento de azufre, 0,5 por ciento de hidrógeno, 0,5 por ciento de nitrógeno y el 5 por ciento restante constituyente inorgánico o cenizas; la composición puede variar moderadamente dependiendo del precursor, el agente activante y método de activación (Cuhadar, 2005).

Por último, las principales características que lo distinguen son su extensa área superficial, elevada porosidad, grupos funcionales impregnados en la superficie, la alta reactividad superficial y el carácter anfótero (Ionannidou, 2007; Alhamed, 2006).

2.3.3. TIPOS

La clasificación del CA es de acuerdo al tamaño de las partículas (Menéndez, 2008):

- El carbón Activado en polvo (CAP): presenta partículas de tamaño menores a 100 μm , siendo los tamaños típicos entre 15 y 25 μm .
- El carbón Activado granular (CAG): presenta partículas de un tamaño entre uno y cinco mm. Además se dividen en dos categorías: CA troceado (sin forma) y conformado (con una forma específica)

2.3.4. ADSORCIÓN

La adsorción es un fenómeno superficial por el cual las moléculas de una sustancia son retenidas en la superficie (región interfacial) de un sólido por las fuerzas superficiales que pueden ser fuerzas de Van Der Waals o enlaces químicos; dependiendo de ello, la adsorción es clasificada como física o química (Ansari, 2009). Hay que agregar que la interface incluye tanto la superficie externa como la superficie interna de los capilares, las grietas y los intersticios del sólido (Degadillo, 2011). Todas las partes involucradas en el proceso reciben los siguientes nombres: las moléculas de la sustancia retenida son denominadas adsorbato; el sólido que las retiene, adsorbente y la sustancia a adsorber, adsortivo. Por último, la fuerza

motriz de la adsorción es la diferencia de concentración entre el soluto en el adsorbente y el soluto en la disolución y su elemento limitante suele ser la difusión intraparticular (Badruzzaman, 2004; Ahmad, 2010).

A base de los trabajos de Degadillo (2011), se puede resumir la adsorción en tres pasos:

- 1) El transporte de las moléculas del adsorbato a través de la interfase líquido-sólido de la solución a la superficie del adsorbente.
- 2) Transporte del adsorbato hacia el interior de los poros del adsorbente. También conocido como difusión intraparticular.
- 3) Adsorción y distribución del adsorbato en los centros activos del adsorbente.

En el caso del CA, los principales factores que influyen en la adsorción son el área superficial interna y la elevada porosidad. El área superficial interna se refiere a la distribución, morfología y el tamaño de los poros; mientras que la porosidad, a la cantidad de poros y su distribución (Ansari, 2009)

Hay tres tipos de poros según la IUPAC (Tabla 4): macroporos, mesoporos y microporos (Menéndez, 2008). Debido a su efecto en la adsorción, la distribución de ellos determina el uso y la calidad de cada CA, la adsorción toma lugar en los microporos y mesoporos con el intermediario de los macroporos como canales de transporte (Figura 8). Hay que agregar que los microporos poseen una preferencia por los gases y compuestos de un tamaño de 0,6 a 0,8 nm, y los mesoporos, por los líquidos y los compuestos de 1,5 a 3,0 nm (Binti, 2007).

Tabla 4: Tipos de poro de acuerdo a su diámetro

Tipo de poros	Diámetro
Microporos	Menor a 2 nm
Mesoporos	Entre 2 a 50 nm
Macroporos	Mayor a 50 nm

FUENTE: Menéndez, 2008.

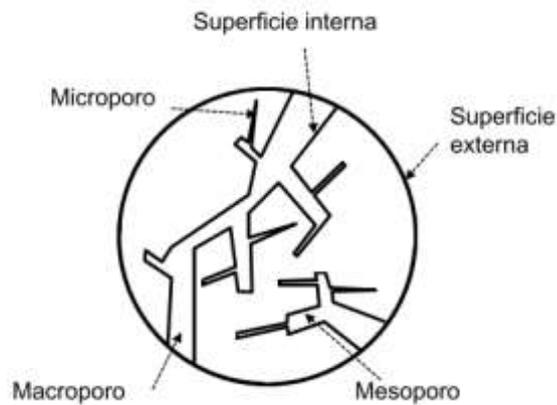


Figura 8: Tipos de poros presentes en el carbón activado

FUENTE: Menéndez, 2008.

Aparte de la porosidad y área superficial, la reactividad superficial influye en la selectividad, favoreciendo la adsorción de un grupo determinado de compuestos. Esto se debe principalmente a los grupos funcionales oxigenados y nitrogenados, conformados por las reacciones entre los radicales libres de la superficie del CA y las moléculas de oxígeno, y nitrógeno que provienen del precursor, agente o atmósfera (Degadillo, 2011). Dichos grupos funcionales les confiere la carga, hidrofobicidad, densidad electrónica y pH al CA (Moreno, 2007). En la Figura 9, se muestran los grupos funcionales más comunes:

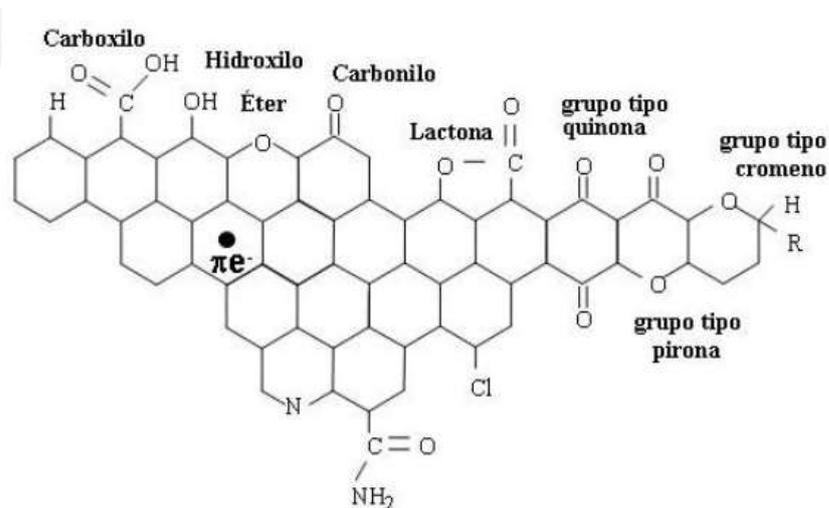


Figura 9: Grupos funcionales presente en la superficie del carbón activado.

FUENTE: Menéndez y Martín-Guillón, 2006.

Por otro lado, Ansari (2009) menciona que la concentración inicial, el pH de la solución, la fuerzas iónicas, la naturaleza química del adsorbato y del CA influyen en la eficiencia de la adsorción; lo mismo sucede con las condiciones externas; en el caso de bajas temperaturas y altas presiones, conllevan a las condiciones más favorables para la adsorción; debido a que limitan la movilidad de los compuestos a adsorber (Degadillo, 2011).

Por último, en comparación con otros métodos, la adsorción por CA ha demostrado eficiencia y superioridad en la remoción de desechos, colorantes y metales pesados. Esto sin olvidar sus otras múltiples ventajas como: los bajos costos, simples diseños, amplia gama de adsorbatos y fácil disponibilidad de uso (Mohnaty *et al.*, 2006; Gercel *et al.*, 2007).

2.3.5. PROCESO DE ELABORACION

La elaboración de CA consiste en la activación de un precursor previamente seleccionado por una serie de criterios. La activación aumenta la porosidad intrínseca del precursor y, como consecuencia de ello, se eleva el área superficial interna por reacciones de degradación o deshidratación con un agente (gas o compuesto químico) a una temperatura y tiempo determinado. En el proceso de activación, el agente químico usado se denomina comúnmente agente activante, la temperatura utilizada se denomina temperatura de activación y el periodo de tiempo en el cual el precursor es sometido a dicha temperatura, se denomina tiempo de activación. Hay que mencionar que la relación entre el peso del precursor y el del agente activante se denomina tasa de impregnación. Todos los precursores son sometidos a este proceso, como resultado obtienen la porosidad desarrollada y el área superficial que le conferirá la capacidad de adsorción (Velásquez-Trujillo, 2010). En la Figura 10, se presenta el proceso de activación.



Figura 10: Proceso de activación del carbón activado.

FUENTE: Ansari, 2009.

Existen dos tipos de activación: física y química, la activación física consiste en la carbonización primaria del precursor (temperatura inferior de 700 °C) para luego ser sometido a una gasificación a altas temperaturas en contacto con un gas oxidante; mientras que en la activación química, el precursor es impregnado con el agente activante y luego pasa a un tratamiento de temperaturas de 400 a 600 °C (Deng *et al.*, 2009 y 2010).

Hay que mencionar que existe una serie de diferencias claves entre ambos tipos, las que consisten en el número de pasos, la condiciones del proceso y la naturaleza del agente activante. Asimismo, la activación física consiste de dos pasos que son la carbonización y la activación. Son necesarias altas temperaturas (mayores a 800 °C) y utiliza gases oxidantes como el dióxido de carbono CO₂, vapor y aire; mientras que la activación química solo consiste de un paso, el uso de temperaturas menores (entre 400 a 600 °C) y los agentes activantes son de naturaleza mineral como ácido fosfórico, hidróxido de potasio, cloruro de zinc, hidróxido de sodio entre otros (Alslaibi, 2013). Además, la activación química posee una serie de ventajas sobre la física: un mayor rendimiento, bajas temperaturas, simplicidad de pasos y alto grado de porosidad; no obstante, la activación física posee menores costos y facilidad de control en el diseño de poros (Alhamed *et al.*, 2006).

Aparte del método de activación, los parámetros claves para la obtención de CA son el precursor, el agente activante y su concentración, la temperatura de activación y el tiempo de activación (Alslaibi, 2013).

2.3.6. APLICACIONES

El carbón activado posee múltiples aplicaciones, entre las cuales están el tratamiento de aguas, purificación del aire, industria alimentaria, separación de metales pesados, purificación de compuestos orgánicos, fármacos y antibióticos (Rodríguez, 2005).

2.4. PRODUCCIÓN MAS LIMPIA (P+L)

Producción Más Limpia es la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva e integrada para los procesos, productos y servicios con el objetivo de incrementar la eficiencia y reducir los riesgos sobre la población (ONUUDI, 2000). Por otro lado, es una política adoptada principalmente por el Ministerio de Producción del Perú, y secundada por los ministerios de Economía y Finanzas y Ambiente. La presente investigación sigue esta estrategia para lograr reducir los desechos que pueden afectar la salud de los ciudadanos.

La producción más limpia se involucra en estos tres aspectos (USAID, 2005):

- En los procesos de producción: aborda el ahorro de materias primas y energía, la eliminación de tóxicos y reducción de desechos y emisiones.
- En el desarrollo y diseño del producto: la reducción de impactos negativos a lo largo del ciclo de vida del producto.
- En los servicios: aborda la incorporación de consideraciones ambientales en el diseño y metodología preventivas.

Existen procesos industriales donde se genera desechos como el endocarpio de palma y el endocarpio de coco, materiales ricos en carbono con propiedades útiles para la producción de carbón activado, convirtiéndose esto en una buena alternativa para proporcionar valor agregado a residuos industriales, beneficiando a la agroindustria en el manejo ambiental de desechos. Estos son ejemplo de producción limpia (Gómez, 2004).

Para la aplicación de esta estrategia en la agroindustria, se utiliza todo posible material o desecho teniendo en cuenta algunos requisitos, éstos dependen del producto a elaborar. En el caso de carbón activado, la elección de un desecho agroindustrial o agrícola como materia prima debe ser en función de su disponibilidad, porosidad y pureza (Velásquez-Trujillo, 2010).

Aunque cualquier material orgánico con altas proporciones de carbón es susceptible de convertirse en CA mas no necesariamente será de calidad y capaz de competir en el exigente mercado. Por ello, los requisitos indispensables para una selección adecuada son; abundancia, bajo costo, dureza, estructura inherente de poros, alto contenido de carbono, bajo contenido de materia orgánica, alto rendimiento de masa durante el proceso de carbonización e índice bajo de degradación durante su almacenamiento (Ioannidou y Zabaniotou, 2007; Bastida, 2009).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ÁREA DE TRABAJO

El proceso de obtención del carbón activado y sus pruebas de caracterización se realizaron en los laboratorios de Fitoquímica, Bioquímica y Química Analítica de la Facultad de Ciencias y de Maderas de la Facultad de Ciencias Forestales, de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

3.2. MATERIALES, REACTIVO Y EQUIPOS

3.2.1. MUESTRA BIOLÓGICA

Se utilizó como precursor la cáscara del fruto de la calabaza (*Cucurbita ficifolia* Bouché) que fue obtenida en los mercados locales de la Urbanización Salamanca de Monterrico, Ate-Vitarte, Lima. Dichas muestras proceden de Huancayo, Junín.

3.2.2. MATERIALES

- Módulo básico de química

3.2.3. REACTIVOS

- Ácido fosfórico (H_3PO_4) al 30 y 60 por ciento, marca J. T. Baker.
- Hidróxido de sodio (NaOH) al 1M, marca J. T. Baker.
- Cloruro de Zinc (ZnCl_2) al 1 por ciento, marca J. T. Baker.
- Ácido clorhídrico (HCl) al 1M, marca J.T Baker
- 1,5 difenilcarbazida al 98 por ciento, marca Central Drug House.
- Acetona al 99,8 por ciento, marca Merck.
- Solución de Azul de metileno al 4×10^{-6} M, marca Merck.
- Dicromato de potasio al 99,2 por ciento, marca Fisher Scientific

3.2.4. EQUIPOS

- Estufa; marca Memmert, modelo Modell 600.
- Mufla; marca Barnstead. Thermolyn, modelo 1400 Furnace, SN FB1410M.
- Potenciómetro; marca Hanna, modelo Microprocesor 2.11.
- Espectrofotómetro; marca Thermo Fisher Scientific, modelo Genesys 10S UV-Vis Spectrophometer. SN 2L5R256201.
- Balanza; marca Sartorius, modelo TE412 N.
- Balanza analítica; marca Adventure Ohaus Corp, modelo AR210.
- Vortex; marca Labklas, modelo XH-2000-1.
- Baño maría; marca Memmert, modelo WNe 10.
- Malla mesh #310, marca Tyler.

- Papel de filtro N 42, marca Whatman.
- Agitador magnético; marca MRC Laboratory Equipment, modelo TS-400F.

3.3. CODIFICACIONES

En la Tabla 5, se presenta las codificaciones para los carbones activados obtenidos:

Tabla 5: Codificaciones de los Carbones Activados (CA)

Agente activante	Tiempo de activación (min)	Códigos
Ácido fosfórico 30%	45	AF30-45
	60	AF30-60
	75	AF30-75
Ácido fosfórico 60%	45	AF60-45
	60	AF60-60
	75	AF60-75
Cloruro de zinc 1%	45	ClZn1-45
	60	ClZn1-60
	75	Clzn1-75

3.4. MATERIALES Y METODOS

3.4.1. OBTENCION DE CARBÓN ACTIVADO (CA)

a. Preparación de la muestra vegetal

Se recolectó cuatro kg de cáscara de calabaza (*Cucurbita ficifolia*); se procedió a lavarla y limpiarla. Se fraccionó en pedazos pequeños y se puso sobre papel craft. Se llevó a la estufa a una temperatura de 60°C para secarla por el método de peso constante. Se trituró para obtener partículas menores de un cm de diámetro (Norma ASTM International, 2011).

b. Impregnación y activación

Se impregnó 15 gramos de muestra en una solución de ácido fosfórico al 30 en una proporción de 1:2 (g de muestra: g de solución) por un periodo de 16 horas a temperatura ambiente. Se procedió de la misma manera para el ácido fosfórico al 60 por ciento. Por otro

lado, se colocó 15 gramos de muestra en una solución de cloruro de zinc al uno por ciento en una proporción de 1:1 (g de muestra: g de solución) por un periodo de 16 horas a temperatura ambiente. Posteriormente, se colocó las muestras en crisoles de 70 ml con su respectiva tapa. Las muestras impregnadas con ácido fosfórico se colocaron en la mufla a una temperatura de 500°C durante tres distintos tiempos de 45, 60 y 75 minutos; mientras que las muestras impregnadas con cloruro de zinc se colocaron en la mufla a 700°C durante tres distintos tiempos de 45, 60 y 75 minutos.

c. Lavado y operaciones finales

Se procedió a lavar las muestras obtenidas con agua destilada a una temperatura de 80°C para eliminar cualquier exceso de los químicos utilizados y obtener un pH entre cuatro a seis. Se secó las muestras en estufa a 105°C para posteriormente molerlas y obtener un polvo fino de carbón. Dicho polvo fino se pasó por una malla mesh #310 para conseguir el tamaño de partícula deseado menor a 0,044 mm. Se colocó en unas bolsas herméticas para su posterior uso.

3.5. PRUEBAS EXPERIMENTALES DEL CARBÓN ACTIVADO (CA)

3.5.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA.

La muestra fue enviada al laboratorio de Nutrición del departamento de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria La Molina donde se realizó las siguientes pruebas de: humedad, proteína, grasa, fibra y cenizas.

3.5.2. CARACTERIZACION DE CARBÓN ACTIVADO (CA)

a. Humedad (CH)

El contenido de humedad se determinó según la norma ASTM D 1762 (Norma ASTM International, 2011).

b. Cenizas (CZ)

El contenido de cenizas se determinó según la norma ASTM D 1762 (Norma ASTM International, 2011).

c. pH

Se determinó el pH, según la norma ASTM 3838-05 (Norma ASTM International, 2011).

d. Densidad aparente (Dap)

Se determinó la densidad aparente según Norma ASTM 2854-09 (Norma ASTM International, 2011).

e. Rendimiento

Se determinó el rendimiento según (Valdivieso, 2012; Zamora, 2010). Se pesó los crisoles que se van a utilizar. Se les agregó a cada uno 20 gramos del precursor y se les pesó con el crisol. Después la activación química se volvió a pesar los crisoles. Se utilizó la siguiente fórmula para determinar el rendimiento:

$$\text{Rendimiento (\%)} = C/B \times 100$$

Donde:

B: representa el peso del precursor con el crisol antes de ingresar a la mufla (g).

C: representa el peso del CA con el crisol después de salir a la mufla (g).

3.5.3. ADSORCIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO (CA)

a. Adsorción de azul de metileno

Se pesó 0,1 g de CA de cada tratamiento y se colocó en un tubo cónico de 50 ml con 50 ml de azul de metileno, cada tratamiento tuvo tres repeticiones (a, b, c). Posteriormente, se los acomodó en el agitador magnético a una velocidad de 160 rpm. Cada 30 minutos, se tomó cinco ml de muestra de cada tubo, que fue filtrado con papel whatman #42 para su lectura en el espectrofotómetro a una longitud de onda 660nm. Este proceso se realizó por un espacio de 120 minutos; es decir cuatro muestras por cada tratamiento y el patrón. Se realizó el

mismo procedimiento para las repeticiones de cada tratamiento. Se utilizó la siguiente fórmula para determinar la adsorción de:

$$\text{Adsorción de azul de metileno (\%)} = (B-A)/B \times 100$$

Donde:

A: Absorbancia de la solución de azul de metileno, sin CA (patrón)

B: Absorbancia de la muestra con el CA.

b. Adsorción de cromo (VI)

Se preparó una solución madre de 1000 mg/L de Cr (VI), usando el dicromato de potasio. A partir de la solución madre, se preparó las siguientes diluciones: 10 mg/L, 5 mg/L y 1 mg/L. Para las tres concentraciones: se pesó 0,1 g de CA de cada tratamiento y se colocó en un tubo cónico de 50 mL con 50 ml de solución de cromo (VI), cada tratamiento tuvo tres repeticiones (a, b, c). Posteriormente, se los acomodó en el agitador magnético a una velocidad de 160 rpm. Cada 30 minutos, se tomó cinco ml de muestra cada tubo, luego fue filtrado con papel whatman #42. Cada cinco ml de muestra se le agregó 0,5 ml de 1,5 difenilcarbazida en acetona y 0,2 ml de ácido clorhídrico 1M, después de diez minutos se pasó al espectrofotómetro para su lectura a una longitud de onda 540nm. Este proceso se realizó por un espacio de 120 minutos; es decir cuatro muestras de cada tratamiento y el patrón. Se realizó el mismo procedimiento para las repeticiones de cada tratamiento. Se utilizó la siguiente fórmula para determinar la adsorción de:

$$\text{Adsorción de Cromo (VI) \%} = (B-A)/B \times 100$$

Donde:

A: Absorbancia de la solución de Cr(VI) sin CA (patrón)

B: Absorbancia de la muestra con el CA.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA.

Tabla 6: Caracterización de la muestra (cáscara del fruto de *Cucurbita ficifolia* Bouchè), cáscara de coco y bambú

	cáscara de calabaza	cáscara de coco	bambú
Humedad (%)	11,17	6,20	10,00
Ceniza (%)	7,76	1,10	5,00
Carbohidratos (%)	29,37	-	-
Proteína (%)	6,41	-	-
Grasa (%)	1,20	-	-
Fibra (%)	44,09	-	-

Por el proceso de carbonización, los porcentajes de humedad y ceniza de los precursores (materia prima) suelen aumentar y ocasionar una reducción en la capacidad de adsorción del carbón activado; por lo tanto, se recomienda seleccionar precursores con bajo contenido de humedad y ceniza (Iqbal *et al.*, 2013). En este caso, para determinar si a partir de la cáscara de calabaza se puede obtener un buen carbón activado (CA), se comparó dichas variables de la muestra con las de la cáscara de coco y de bambú; debido a que en la actualidad, el CA se obtiene básicamente de estos vegetales.

Como se observa en la Tabla 6, los porcentajes de humedad y ceniza de la muestra son superiores a los correspondientes de la cáscara de coco, por tanto el carbón activado obtenido a partir de la cáscara de calabaza podría tener una capacidad de adsorción inferior al del coco (Correa *et al.*, 2009). Incluso así, los resultados son prometedores al tener valores cercanos a los porcentajes de humedad y ceniza del carbón vegetal de bambú que se interpreta como la posibilidad de obtener un carbón activado de calidad buena (FAO, 1983)

Hay que tener en cuenta que la literatura ha reportado que carbones activados obtenidos a partir de desechos agrícolas tienen una capacidad de absorción superior a los carbones activados elaborado a partir de cáscara de coco; a pesar de que el porcentaje de ceniza y humedad de estos desechos agrícolas fueron superiores a los correspondiente de la cáscara de coco (Attia, 2008; Fernández, 2014). En consecuencia, es posible obtener un carbón activado a partir de la cáscara de calabaza con una capacidad de adsorción superior al del de cáscara de coco.

4.2. CARACTERIZACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO (CA)

4.2.1. RENDIMIENTO

Tabla 7: Rendimiento de los carbones activados obtenidos

<i>Reactivo</i> \ <i>Tiempo de activación</i>	45 minutos	60 minutos	75 minutos
Ácido fosfórico al 30%	36,58 ±3,12%	42,13 ±2,31%	33,75 ±4,10%
Ácido fosfórico al 60%	36,87 ±1,16%	42,95 ±1,12%	40,78 ±4,77%
Cloruro de zinc al 1%	23,50 ±4,51%	30,13 ±0,17%	30,15 ±3,04%

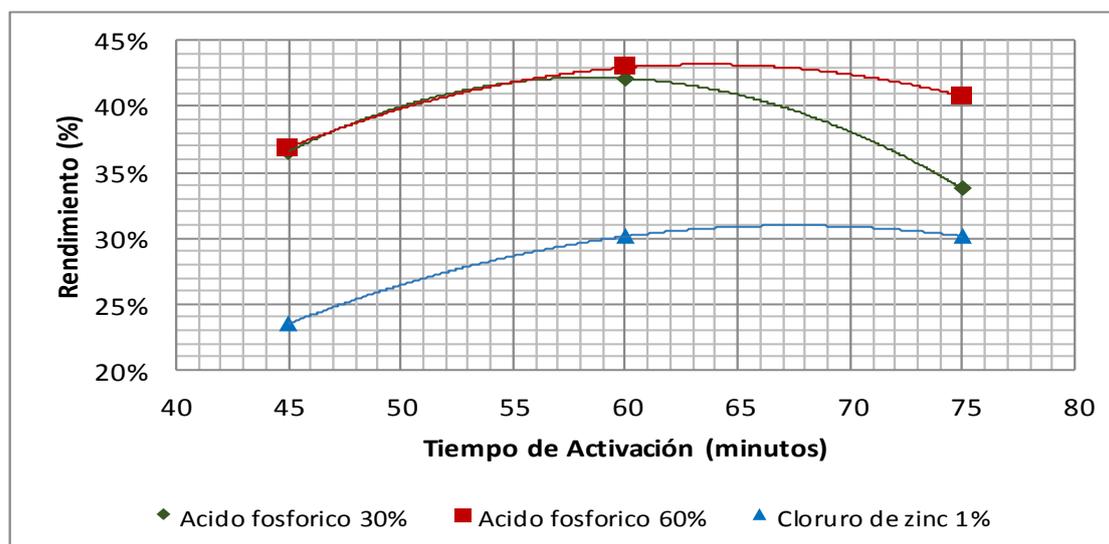


Figura 11: Porcentaje de rendimiento de los carbones activados obtenidos respecto al tiempo de activación

De la Tabla 7 y Figura 11; se desprende que los carbones activados (CA) obtenidos con ácido fosfórico al 60 por ciento presentan el mayor rendimiento y los CA con cloruro de zinc presentan el menor rendimiento. El tiempo de activación más adecuado es de 60 minutos por presentar el rendimiento más alto en los tres tiempos. Detalladamente, el CA obtenido con ácido fosfórico al 60 por ciento y con un tiempo de activación de 60 minutos presentó el mayor rendimiento; mientras que el CA obtenido con cloruro de zinc y con un tiempo de activación de 75 minutos presentó el menor rendimiento.

Por otro lado, los rendimientos de los CA obtenidos con ácido fosfórico y con tiempo de activación de 60 minutos son similares, es decir que las dos concentraciones de ácido fosfórico utilizadas o tasas de impregnación para este experimento no es un factor significativo respecto al rendimiento como sí lo es el reactivo utilizado. Esto concuerda con los trabajos de Zamorra (2010), Baccar (2009) y Cuhadar (2005) quienes reportaron que el agente activante usado es el principal factor que afecta el rendimiento.

Asimismo en el presente estudio, se compararon los valores de rendimiento de los CA obtenidos con ácido fosfórico al 30 y 60 por ciento y con los tiempos de activación de 60 minutos, cuyos rendimientos son 42,13 por ciento y 42,95 por ciento respectivamente; se observa que dichos rendimientos son cercanos al rendimiento del CA de cáscara de coco reportado por la literatura que es de 50 por ciento (Gratuito, 2008), al del CA de pepas de níspero de palo cuyo rendimiento es de 45 por ciento (Degadillo, 2011) y de semillas de olivos, alrededor del 42 por ciento (Baccar, 2009), pero superior al CA de jatropha o piñon de tempate, cuyo rendimiento es alrededor del 31 por ciento (Ramakrishnan, 2009). Esto sugiere que es más viable producir CA a partir de la cáscara de calabaza en lugar de algunos de los materiales anteriormente mencionados.

4.2.2. DENSIDAD APARENTE (DAP)

Tabla 8: Densidad aparente de los carbones activados obtenidos

Reactivo \ Tiempo de activación	45 minutos	60 minutos	75 minutos
Ácido fosfórico al 30%	0,233 ±0,015 g/cm ³	0,375 ±0,012 g/cm ³	0,294 ±0,012 g/cm ³
Ácido fosfórico al 60%	0,323 ±0,015 g/cm ³	0,373 ±0,011 g/cm ³	0,252 ±0,007 g/cm ³
Cloruro de zinc al 1%	0,323 ±0,014 g/cm ³	0,319 ±0,017 g/cm ³	0,306 ±0,007 g/cm ³

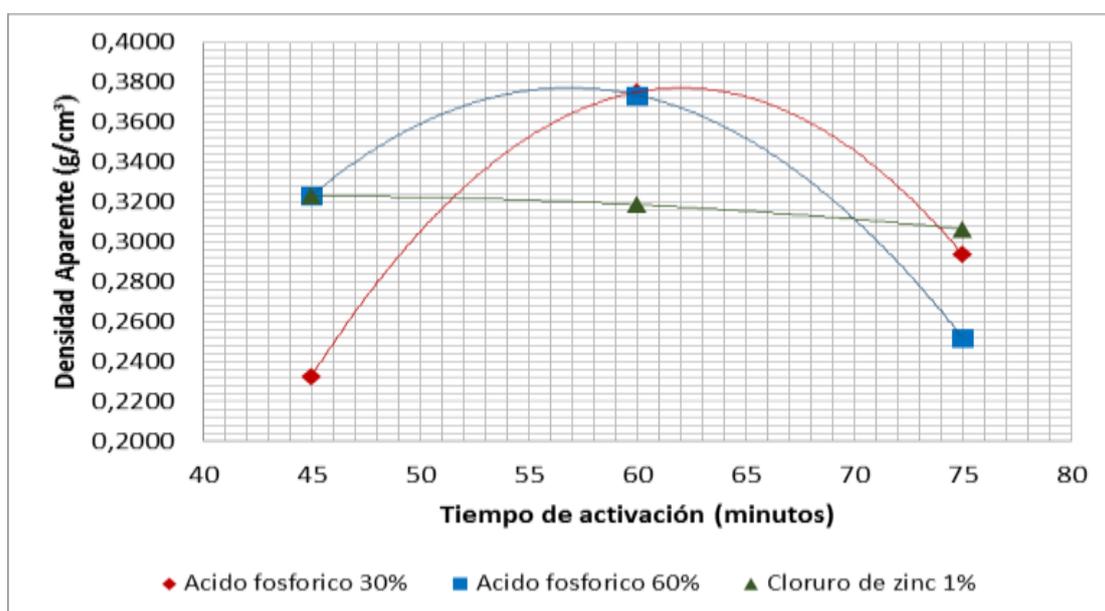


Figura 12: Densidad aparente de los carbones activados obtenidos respecto al tiempo de activación

Examinando los resultados de la Tabla 8 y Figura 12; se observa que en los carbones activados (CA) obtenidos con ácido fosfórico, hay una variación de la densidad aparente respecto al tiempo de activación. Además, estos valores aumentan proporcionalmente respecto al tiempo de activación hasta llegar a un pico en el minuto 60, para luego decaer. Adicionalmente, se podría decir que presentan un comportamiento casi similar, independientemente de la tasa de impregnación. Por otro lado, los CA obtenidos con cloruro de zinc presentan una densidad aparente inversamente proporcional al tiempo de activación. Detallando, el CA obtenido con ácido fosfórico al 30 por ciento y con un tiempo de activación de 60 minutos presentó el mayor valor aunque el CA obtenido con ácido

fosfórico al 60 por ciento y con un tiempo de activación de 60 minutos presentó un valor muy cercano al anterior.

De lo anterior, se observa que la densidad aparente depende del agente activante y el tiempo de activación. Esto concuerda con los reportes de Cuhadar (2005) y Ramakrishnan (2009) quienes mencionan que el agente activante y el tiempo de activación son los principales factores que afectan la densidad aparente. Por otra parte, la relación inversamente proporcional de la densidad aparente y el tiempo de activación que se observa en los CA obtenidos con cloruro de zinc concuerda con el reporte de Lima *et al.*, (2005) quienes explican que a un mayor tiempo de activación, el CA obtenido tiene una mayor porosidad, dando como resultado que se reduzca la densidad.

La importancia de la densidad aparente en este experimento subyace en el hecho de que una menor densidad es un indicador de una mayor porosidad y por tanto, una mayor adsorción; en consecuencia lo ideal es obtener un CA con la menor densidad posible, que en este caso son los CA obtenidos con ácido fosfórico al 30 y 60 por ciento y con los tiempos de activación de 45 y 75 minutos respectivamente. Por último, comparando estos dos valores ($0,233 \text{ g/cm}^3$ y $0,252 \text{ g/cm}^3$) con la densidad aparente del CA de cáscara de coco y jatropha, cuyos valores son $0,471 \text{ g/cm}^3$ y $0,470 \text{ g/cm}^3$ respectivamente (Ramakrishnan, 2009), se observa que las densidades aparentes de los CA del presente trabajo son inferiores; por lo que se podría decir que estos dos CA obtenidos presentarían una mayor capacidad de adsorción y por lo tanto un mejor rendimiento en este aspecto.

4.2.3. PH

Tabla 9: pH de los carbones activados obtenidos

Reactivo	Tiempo de activación		
	45 minutos	60 minutos	75 minutos
Ácido fosfórico al 30%	2,35 ±0,04	2,32 ±0,15	2,60 ±0,11
Ácido fosfórico al 60%	2,39 ±0,06	2,27 ±0,04	2,38 ±0,13
Cloruro de zinc al 1%	8,34 ±0,11	8,44 ±0,10	8,44 ±0,10

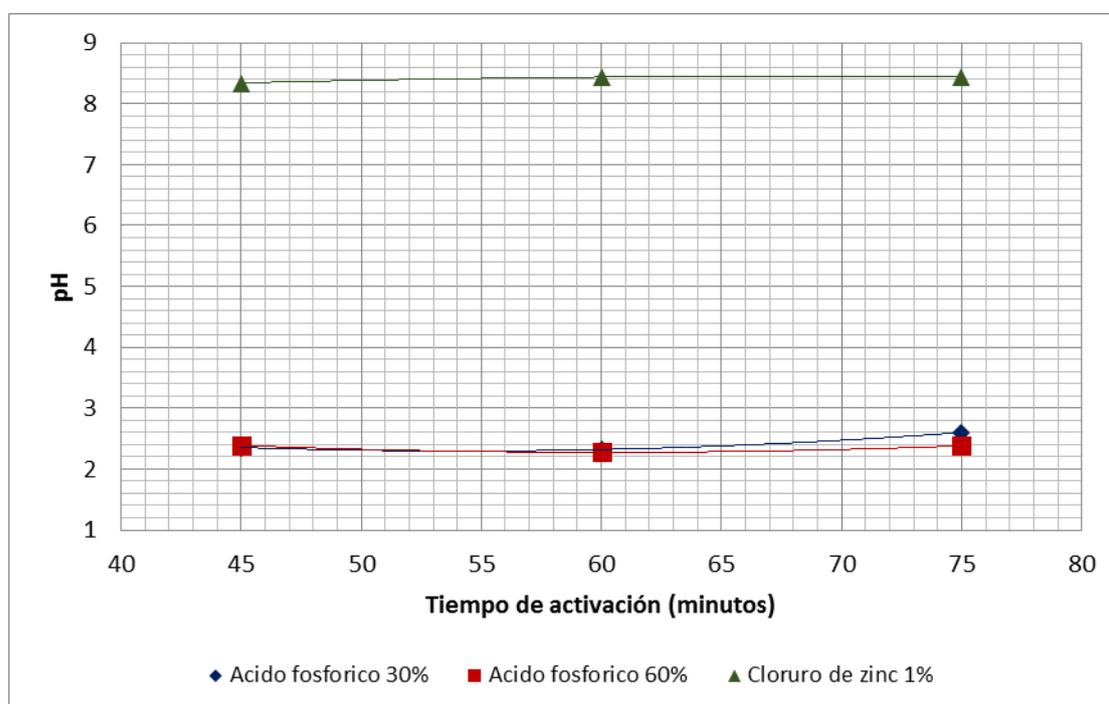


Figura 13: pH de los carbones activados obtenidos respecto al tiempo de activación

Analizando los resultados de la Tabla 9 y Figura 13; se observa que los valores del pH de los carbones activados obtenidos (CA) no presentan una variación significativa respecto al tiempo de activación, pero sí presentan una variación significativa respecto al agente activante ya que con ácido fosfórico es ácido y con cloruro de zinc es básico.

Respecto a este punto, se ha reportado al agente activante como el principal factor que determina el pH de un CA, esto concuerda con los resultados obtenidos (Degadillo, 2011;

Zamorra, 2010). El pH de un CA mayormente se debe a los grupos funcionales presentes en la superficie del mismo y que son formados por las reacciones entre el precursor (materia prima) y el agente activante (Moreno, 2007). El uso del ácido fosfórico como agente activante normalmente origina un pH ácido, mientras que el uso del cloruro de zinc ocasiona un pH básico; así pues, lo mencionado concuerda con los valores de pH obtenidos en este experimento (Cuhadar, 2005; Ramakrishnan, 2009).

Cabe resaltar que el pH no es un indicador de calidad del CA, más bien permite determinar el uso más apropiado que se le puede dar y con qué sustancia su adsorción será más eficiente. En la mayoría de los casos, el pH de un CA favorece la adsorción de las sustancias de acuerdo a su polaridad; así pues el pH ácido favorece la adsorción de metales pesados y el pH básico favorece la adsorción de moléculas orgánicas y aniones (Fernández *et al.*, 2014; Moreno, 2007). Por lo tanto, de acuerdo a los resultados obtenidos, se podría especular que el CA obtenido con ácido fosfórico sería adecuado para la adsorción de metales pesados; mientras que el CA obtenido con cloruro de zinc sería más adecuado para la adsorción de aniones.

4.2.4. HUMEDAD (CH)

Tabla 10: Porcentaje de humedad de los carbones activados obtenidos

Reactivo	Tiempo de activación		
	45 minutos	60 minutos	75 minutos
Ácido fosfórico al 30%	4,96 ±0,10%	7,33 ±0,07%	12,01 ±0,12%
Ácido fosfórico al 60%	6,44 ±0,13%	3,76 ±0,15%	2,69 ±0,18%
Cloruro de zinc al 1%	6,79 ±0,12%	9,17 ±0,08%	17,04 ±0,12%

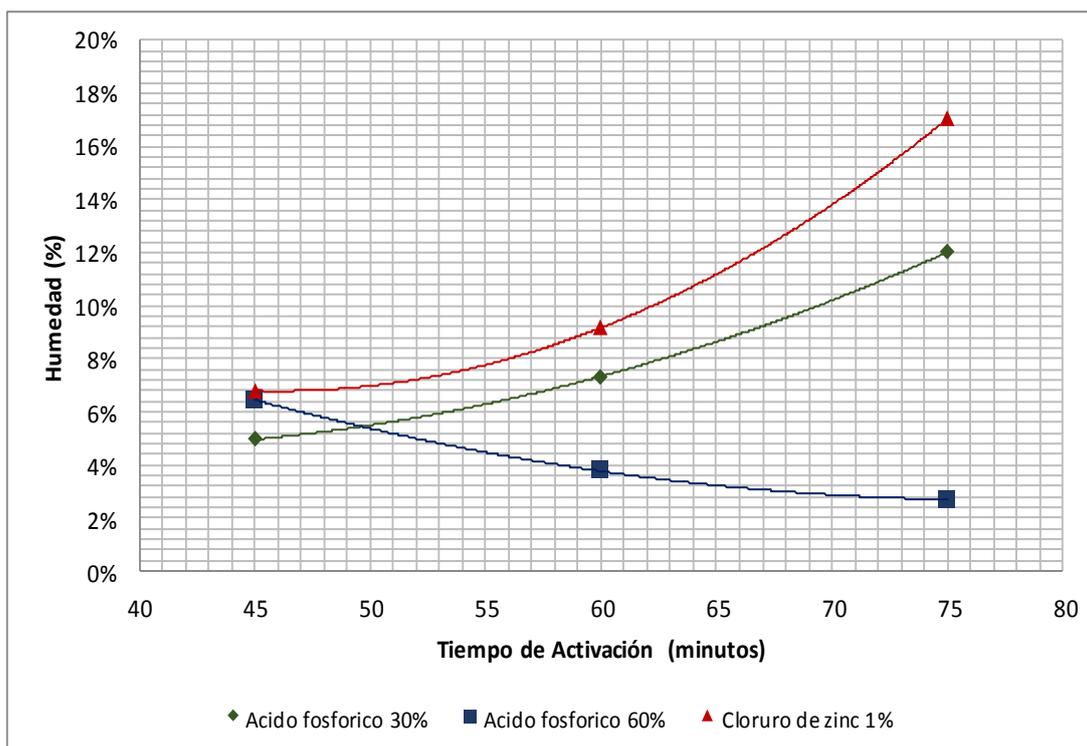


Figura 14: Porcentaje de humedad de los carbones activados obtenidos respecto al tiempo de activación

A la luz de los resultados de la Tabla 10 y la Figura 14, se observa que los carbones activados (CA) obtenidos con cloruro de zinc presentan la mayor humedad en los tres tiempos de activación. Por otro lado, se observa una relación directamente proporcional entre el porcentaje de humedad y el tiempo de activación en los CA obtenidos con el ácido fosfórico al 30 por ciento y el cloruro de zinc; mientras que el fenómeno inverso se observa en los CA obtenidos con ácido fosfórico al 60 por ciento. Específicamente, el CA obtenido con ácido fosfórico al 60 por ciento y con un tiempo de activación de 75 minutos presentó la menor humedad y el CA obtenido con cloruro de zinc y con un tiempo de activación de 75 minutos presentó la mayor humedad.

La relación directamente proporcional entre la humedad y el tiempo de activación ya se ha reportado en otros trabajos (Cuhadar, 2005; Degadillo, 2011). Los autores de dichos trabajos mencionan que a mayor tiempo de activación, se genera un mayor número de poros que al contacto del ambiente retienen las moléculas de agua; por tanto, aumenta el contenido de humedad. Lo mencionado anteriormente concuerda con los resultados obtenidos de humedad

de los CA con ácido fosfórico al 30 por ciento y cloruro de zinc; sin embargo, son contradictorio, los resultados obtenidos con el CA con ácido fosfórico al 60 por ciento, ya que la humedad disminuye al incrementarse el tiempo de activación. Se ha reportado el mismo fenómeno en otros trabajos y se ha especulado como causa los grupos funcionales de la superficie del CA que afectan la humedad (Moreno, 2007).

Es preciso señalar que la humedad es un indicador de calidad que se suele tomar en cuenta en la selección de CA. Una alta humedad (superior al 25 por ciento) suele indicar una reducción de la capacidad de adsorción y de la calidad de CA, es por esto que en la mayoría de casos se selecciona CA con baja humedad (FAO, 1983); no obstante, Cuhadar (2005) y Degadillo (2011) no concuerdan con lo anteriormente dicho y recomiendan un CA con una humedad moderadamente superior, debido a que una mayor humedad es un indicador de una mayor porosidad y, consecuentemente, presenta una mayor capacidad de adsorción. Si bien estas dos ideas se contradicen, hay que tener en cuenta que las normas de calidad solo permiten CA con una humedad inferior al 15 por ciento y la mayor parte de la bibliografía recomienda la selección de CA con baja humedad (ASTMA, 2011; Binti, 2007). En consecuencia, lo recomendable sería escoger los CA obtenidos con ácido fosfórico al 60 por ciento y con los tiempos de activación de 60 y 75 minutos por presentar la menor humedad, cuyos valores son 3,76 y 2,69 por ciento respectivamente. Además comparando con la humedad del CA de cáscara de coco (de rango de tres a cinco por ciento), dichos CA obtenidos presentan una menor humedad; en consecuencia, se podría especular que la capacidad de adsorción de los CA obtenidos es mayor que las del CA de cáscara de coco. Finalmente, es importante notar que en casi todos los experimentos realizados los porcentajes de humedad obtenidos son inferiores al 15 por ciento que se reporta como valor límite (ASTM, 2011).

4.2.5. CENIZA (CZ)

Tabla 11: Porcentaje de ceniza de los carbones activados obtenidos

Reactivo	Tiempo de activación		
	45 minutos	60 minutos	75 minutos
Ácido fosfórico al 30%	9,34 ±0,09%	4,59 ±0,13%	11,04 ±0,14%
Ácido fosfórico al 60%	6,37 ±0,08%	10,56 ±0,15%	8,75 ±0,11%
Cloruro de zinc al 1%	9,27 ±0,17%	10,43 ±0,15%	9,66 ±0,14%

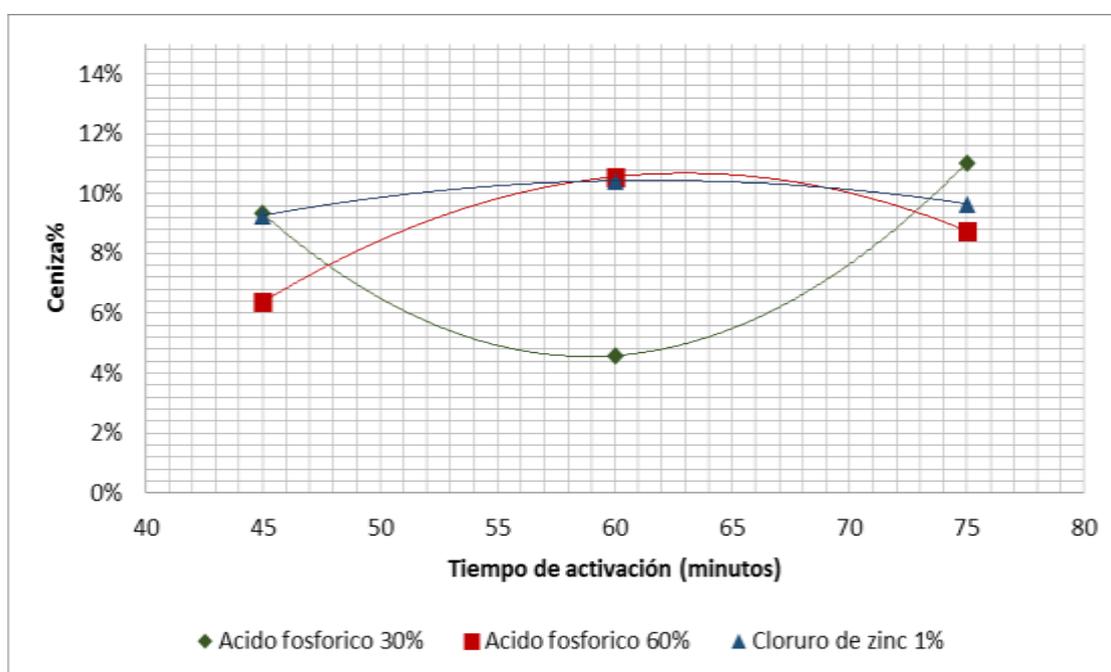


Figura 15: Porcentaje de ceniza de los carbones activados obtenidos respecto al tiempo de activación

Examinando la Tabla 11 y Figura 15; se observa una variación en los valores de ceniza de los carbones activados obtenidos (CA) con ácido fosfórico en los tres tiempos de activación; pero los valores de cenizas de los CA obtenidos con cloruro de zinc varían ligeramente en los tres tiempos de activación. El valor más bajo de ceniza es del CA con ácido fosfórico al 30 por ciento y con un tiempo de activación de 60 minutos y el valor más alto es del CA obtenido con ácido fosfórico al 30 por ciento y con un tiempo de activación de 75 minutos.

Cabe resaltar que la variación del contenido de ceniza en los CA obtenidos con ácido fosfórico ya se ha presentado en otros trabajos; los mismos autores atribuyen dicha variación a la carbonización del agente activante con los componentes de la materia prima y a las diferentes concentraciones del agente activante (Cuhadar, 2005; Degadillo, 2011). Por otro lado, la literatura ha reportado que a mayor contenido de ceniza, la capacidad de adsorción del CA suele disminuir; por lo tanto, se recomienda seleccionar CA con bajo contenido de ceniza. En este caso, sería los CA obtenidos con ácido fosfórico al 30 por ciento y con un tiempo de activación de 60 minutos, y con ácido fosfórico al 60 por ciento y con un tiempo de activación de 45 minutos por presentar las menores cantidades de ceniza. (Bandoz, 2006; Binti, 2007).

De lo anterior, el contenido de ceniza de estos dos CA obtenidos, cuyos valores son 4,37 y 6,37 por ciento respectivamente, son bajos si se compara con el porcentaje de ceniza del CA de jatropa (ramakrishan; 2009), de pepas de nísperos (degadillo; 2011) y de bambú (valdivieso; 2012), cuyos valores son 10, 10,2 y 7 por ciento respectivamente, pero es alto comparando con el porcentaje de ceniza del CA de cáscara de coco el cual es alrededor del tres por ciento. Incluso así, los resultados de ceniza de estos dos CA son prometedores e indican una buena calidad al ser inferior al 15 por ciento (ASTM, 2011).adsorción del carbón activado (CA)

4.3 ADSORCIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO (CA)

4.3.1. ADSORCIÓN DE AZUL DE METILENO

Tabla 12: Comparación del porcentaje de adsorción del azul de metileno entre los carbones activados obtenidos y un carbón activado comercial marca Hellige

Muestras	AF30-45	AF30-60	AF30-75	AF60-45	AF60-60	AF60-75	ClZn1-45	ClZn1-60	ClZn1-75	Comercial	
30 minutos	a	99,90%	99,50%	99,60%	99,40%	99,50%	99,50%	91,10%	91,40%	92,50%	97,40%
	b	99,40%	99,70%	99,90%	99,90%	99,60%	99,90%	93,50%	88,40%	93,10%	97,40%
	c	99,80%	99,30%	99,40%	99,70%	99,20%	99,50%	89,20%	83,00%	94,00%	97,20%
	Prom	99,70 ±0,26%	99,50 ±0,20%	99,63±0,25%	99,67 ±0,25%	99,43 ±0,21%	99,63 ±0,23%	91,27 ±2,15%	87,60 ±4,26%	93,20 ±0,75%	97,33 ±0,12%
60 minutos	a	99,90%	99,80%	99,80%	98,70%	99,80%	99,40%	91,80%	91,70%	92,40%	98,00%
	b	99,80%	99,80%	99,80%	99,40%	99,60%	99,60%	92,90%	90,60%	92,90%	98,50%
	c	99,80%	99,70%	99,80%	99,50%	99,50%	99,50%	91,90%	89,40%	93,30%	98,00%
	Prom	99,83 ±0,06%	99,77 ±0,06%	99,80±0,00%	99,20 ±0,44%	99,63 ±0,15%	99,50 ±0,10%	92,20 ±0,61%	90,57 ±1,15%	92,87 ±0,45%	98,17 ±0,29%
90 minutos	a	99,60%	99,60%	99,40%	99,30%	99,40%	98,80%	91,40%	91,50%	93,10%	96,80%
	b	99,70%	99,40%	99,60%	98,80%	99,40%	99,20%	93,20%	90,90%	93,50%	98,70%
	c	99,20%	99,60%	99,70%	99,50%	99,50%	99,50%	91,40%	88,70%	93,30%	96,90%
	Prom	99,50 ±0,26%	99,53 ±0,12%	99,57 ±0,15%	99,20 ±0,36%	99,43 ±0,06%	99,17 ±0,35%	92,00 ±1,04%	90,37 ±1,47%	93,30 ±0,20%	97,47 ±1,07%
120 minutos	a	99,50%	99,50%	99,50%	99,10%	99,40%	98,80%	90,80%	98,40%	99,30%	97,00%
	b	99,80%	99,40%	99,60%	99,30%	99,20%	99,10%	92,00%	92,60%	93,30%	98,20%
	c	99,40%	99,20%	99,20%	99,30%	99,30%	99,20%	92,00%	90,60%	92,50%	97,00%
	Prom	99,90 ±0,21%	99,50 ±0,15%	99,60 ±0,21%	99,40 ±0,12%	99,50 ±0,10%	99,50 ±0,21%	91,10 ±0,69%	91,40 ±4,05%	92,50 ±3,72%	97,40 ±0,69%

Leyenda: Carbón activado obtenido con ácido fosfórico al 30 % y con un tiempo de activación de 45 minutos (AF30-45), con un tiempo de activación de 60 minutos (AF30-60) y con un tiempo de activación de 75 minutos (AF30-75); carbón activado obtenido con ácido fosfórico al 60% y con un tiempo de activación de 45 minutos (AF60-45), con un tiempo de activación de 60 minutos (AF60-60) y con un tiempo de activación de 75 minutos (AF60-75); carbón activado obtenido con cloruro de zinc al uno por ciento y con un tiempo de activación de 45 minutos (ClZn1-45), con un tiempo de activación de 60 minutos (ClZn1-60) y con un tiempo de activación de 75 minutos (ClZn1-75); Carbón activado de marca Hellige (Comercial).

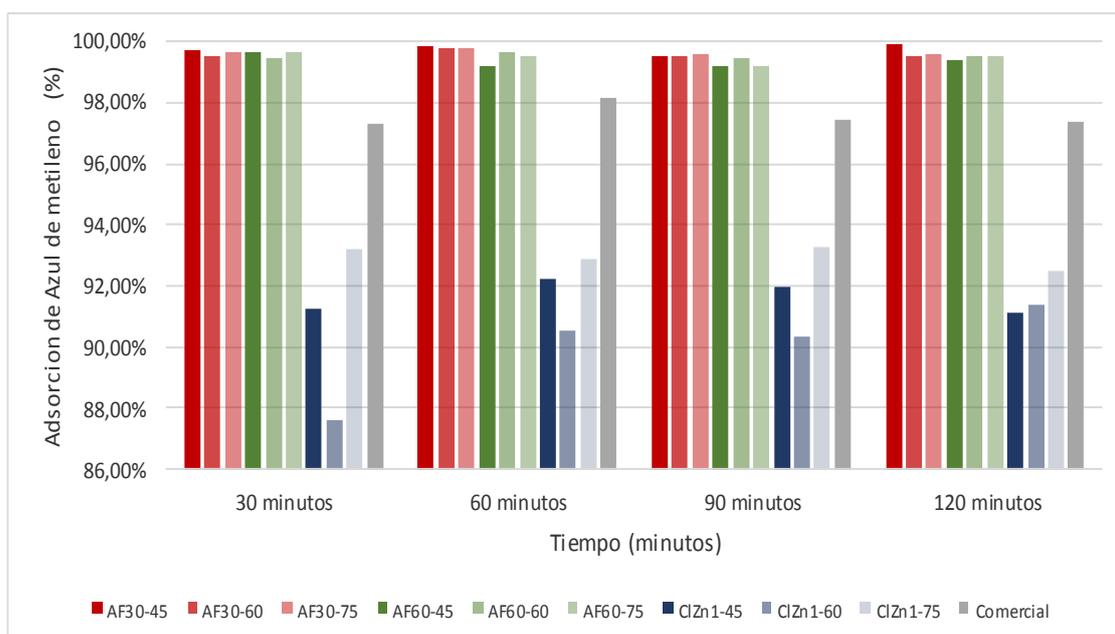


Figura 16: Porcentaje de adsorción de azul de metileno de los carbones activados obtenidos y la versión comercial respecto al tiempo

En la Tabla 12 y la Figura 16; se observa que los carbones activados obtenidos (CA) con ácido fosfórico presentan la mayor capacidad de adsorción. Además, se observa que no existe una diferencia significativa en el porcentaje de adsorción respecto al tiempo de activación en los tres tiempos y por último, es importante indicar que los valores de adsorción de los CA obtenidos con ácido fosfórico son similares, es decir, la tasa de impregnación no afecta la capacidad de adsorción de azul de metileno; esto concuerda con Alberto (2012) quien menciona que si bien el agente activante es un factor clave, la diferencia en la tasa de impregnación de un mismo agente activante no tenía un efecto muy significativo en la capacidad de adsorción de colorantes.

Asimismo, todos los CA obtenidos con ácido fosfórico presentaron valores entre el 99 y 100 por ciento de adsorción de azul de metileno siendo superior a los porcentajes de adsorción CA con cloruro de zinc (entre 88 y 94 por ciento) y moderadamente superior a la versión comercial (alrededor del 96 por ciento). Por otra parte, los valores de adsorción de los CA obtenidos con ácido fosfórico son similares respecto al tiempo de activación, indicando que

el tiempo de activación por lo menos en este experimento no es un factor significativo que se comprueba con el reporte de Alberto (2012). Para finalizar, es importante destacar que el valor máximo de adsorción lo presentó el CA obtenido con ácido fosfórico al 30 por ciento y con un tiempo de activación de 45 minutos (AF30-45).

Adicionalmente, Menéndez (2008) menciona cómo los carbones activados básicos tenderán adsorber compuestos ácidos catiónicos, como el azul de metileno, por la atracción de cargas opuestas; no obstante, los CA obtenidos con ácido fosfórico presentan una mayor capacidad de adsorción que los CA con cloruro de zinc. Respecto a esta contradicción, López (2001) indica que la distribución y tamaño de los poros, particularmente de mesoporos, juegan un rol preponderante en la adsorción de colorante; es decir, que los CA obtenidos con ácido fosfórico presentan una mayor cantidad mesoporos que los CA obtenidos con cloruro de zinc y el CA comercial, facilitando la adsorción de azul de metileno en mayor cantidad.

Por otro lado, la adsorción de azul de metileno es un indicador de la capacidad de adsorción de moléculas de gran tamaño y permite determinar si el carbón activado obtenido es adecuado para la eliminación de contaminantes orgánicos y colorantes, el uso primario de todo carbón activado comercial. En consecuencia, se puede afirmar que los CA obtenidos son adecuado para dicho uso por su capacidad de adsorción superior al 90 por ciento (Marsh y Rodríguez-Reinoso, 2006; Hamed *et al.*, 2007).

4.3.2. ADSORCIÓN DEL CROMATO

Tabla 13: Comparación del porcentaje de adsorción del cromo (VI) en concentración 1 mg/L entre los carbones activados obtenidos y el carbón activado comercial Marca Hellige

Muestras	AF30-45	AF30-60	AF30-75	AF60-45	AF60-60	AF60-75	ClZn1-45	ClZn1-60	Clzn1-75	Comercial	
30 minutos	a	76,071%	96,786	98,929%	91,071%	99,679%	96,786%	4,643%	22,857%	10,714%	6,700%
	b	76,547%	96,125	98,579%	91,978%	99,145%	96,458%	4,104%	21,145%	10,985%	6,070%
	c	76,958%	96,475	98,214%	90,511%	99,945%	96,022%	4,223%	22,152%	10,012%	6,600%
	Prom	76,526 ±0,44%	96,462 ±0,33%	98,574 ±0,36%	91,187 ±0,74%	99,590 ±0,41%	96,422 ±0,38%	4,323 ±0,28%	22,051 ±0,86%	10,571 ±0,50%	6,449 ±0,34%
60 minutos	a	93,929%	98,214%	95,000%	92,452%	92,945%	88,214%	15,357%	0,930%	37,857%	23,470%
	b	93,255%	98,001%	94,650%	92,977%	92,451%	88,647%	15,625%	0,930%	37,012%	23,460%
	c	93,744%	98,451%	94,590%	92,297%	92,030%	88,785%	15,987%	0,949%	37,574%	23,465%
	Prom	93,642 ±0,35%	98,222 ±0,23%	94,747 ±0,22%	92,575 ±0,36%	92,475 ±0,46%	88,549 ±0,30%	15,657 ±0,32%	0,931 ±0,01%	37,481 ±0,43%	23,465 ±0,00%
90 minutos	a	92,500%	92,014%	91,429%	94,643%	95,714%	95,714%	2,143%	3,574%	12,143%	26,951%
	b	93,162%	92,541%	91,079%	94,979%	95,125%	95,456%	2,326%	3,966%	12,785%	27,649%
	c	92,845%	93,001%	91,974%	94,083%	95,978%	95,120%	2,921%	3,120%	12,574%	28,957%
	Prom	92,836 ±0,33%	92,519 ±0,49%	91,494±0,45%	94,568 ±0,45%	95,606 ±0,44%	95,430 ±0,30%	2,463 ±0,41%	3,553 ±0,42%	12,501 ±0,33%	27,817 ±1,02%
120 minutos	a	98,929%	95,041%	90,357%	97,857%	81,071%	98,929%	0,700%	1,357%	1,000%	27,820%
	b	98,146%	95,458%	90,007%	97,478%	81,978%	98,015%	0,742%	1,247%	1,165%	28,049%
	c	98,476%	95,781%	89,475%	97,297%	81,541%	98,574%	0,725%	1,151%	1,024%	28,480%
	Prom	98,610 ±0,39%	95,532 ±0,61%	90,104 ±0,44%	97,710 ±0,29%	81,253 ±0,45%	98,319 ±0,46%	0,756 ±0,10%	1,217 ±0,09%	1,063 ±0,26%	28,050 ±0,34%

Leyenda: Carbón activado obtenido con ácido fosfórico al 30 % y con un tiempo de activación de 45 minutos (**AF30-45**), con un tiempo de activación de 60 minutos (**AF30-60**) y con un tiempo de activación de 75 minutos (**AF30-75**); carbón activado obtenido con ácido fosfórico al 60% y con un tiempo de activación de 45 minutos (**AF60-45**), con un tiempo de activación de 60 minutos (**AF60-60**) y con un tiempo de activación de 75 minutos (**AF60-75**); carbón activado obtenido con cloruro de zinc al uno por ciento y con un tiempo de activación de 45 minutos (**ClZn1-45**), con un tiempo de activación de 60 minutos (**ClZn1-60**) y con un tiempo de activación de 75 minutos (**ClZn1-75**); Carbón activado de marca Hellige (**Comercial**).

Tabla 14: Comparación del porcentaje de adsorción de cromo (VI) en concentración 5 mg/L entre los carbones activados obtenidos y el carbón activado comercial marca Hellige

Muestras	AF30-45	AF30-60	AF30-75	AF60-45	AF60-60	AF60-75	ClZn1-45	ClZn1-60	Clzn1-75	Comercial	
30 minutos	a	90,670%	89,122%	91,453%	91,919%	83,838%	92,852%	14,530%	7,382%	14,763%	28,212%
	b	90,412%	90,125%	91,103%	92,039%	83,145%	92,458%	14,154%	7,145%	14,146%	28,420%
	c	90,451%	89,475%	91,043%	91,359%	83,701%	92,022%	14,013%	7,852%	14,012%	28,102%
	Prom	90,513 ±0,14%	89,574 ±0,51%	91,200 ±0,22%	91,773 ±0,36%	83,562 ±0,37%	92,444 ±0,42%	14,232 ±0,27%	7,460 ±0,36%	14,307 ±0,40%	28,14 ±0,16%
60 minutos	a	91,842%	93,007%	91,531%	92,308%	87,568%	91,919%	13,753%	10,334%	12,821%	23,215%
	b	91,255%	93,055%	91,181%	92,428%	87,451%	91,254%	13,125%	10,246%	12,012%	23,795%
	c	91,064%	93,451%	91,121%	91,748%	87,370%	91,785%	13,959%	10,549%	12,426%	23,146%
	Prom	91,387 ±0,41%	93,171 ±0,24%	91,277 ±0,22%	92,161 ±0,36%	87,463 ±0,10%	91,653 ±0,35%	13,612 ±0,43%	10,376 ±0,16%	12,420 ±0,40%	23,214 ±0,36%
90 minutos	a	93,514%	93,473%	92,852%	92,696%	90,210%	90,054%	10,645%	10,645%	4,817%	41,987%
	b	93,162%	93,541%	92,502%	92,816%	90,125%	90,456%	10,326%	10,966%	4,685%	41,374%
	c	93,410%	93,001%	92,442%	92,136%	90,146%	90,120%	10,921%	10,120%	4,321%	41,422%
	Prom	93,362 ±0,18%	93,339 ±0,29%	92,598 ±0,22%	92,550 ±0,36%	90,160 ±0,04%	90,210 ±0,22%	10,631 ±0,30%	10,577 ±0,43%	4,608 ±0,26%	41,429 ±0,34%
120 minutos	a	93,629%	93,473%	93,551%	93,007%	92,308%	88,034%	5,828%	28,516%	10,023%	30,951%
	b	93,146%	93,458%	93,201%	93,127%	92,145%	88,015%	5,143%	28,451%	10,365%	31,007%
	c	92,957%	93,781%	93,141%	92,4470%	92,441%	88,015%	5,025%	28,841%	10,824%	31,122%
	Prom	93,244 ±0,35%	93,571 ±0,18%	93,298 ±0,22%	92,860 ±0,36%	92,331 ±0,15%	88,021 ±0,01%	5,365 ±0,43%	28,603 ±0,21%	10,404 ±0,40%	31,071 ±0,09%

Leyenda: Carbón activado obtenido con ácido fosfórico al 30 % y con un tiempo de activación de 45 minutos (**AF30-45**), con un tiempo de activación de 60 minutos (**AF30-60**) y con un tiempo de activación de 75 minutos (**AF30-75**); carbón activado obtenido con ácido fosfórico al 60% y con un tiempo de activación de 45 minutos (**AF60-45**), con un tiempo de activación de 60 minutos (**AF60-60**) y con un tiempo de activación de 75 minutos (**AF60-75**); carbón activado obtenido con cloruro de zinc al uno por ciento y con un tiempo de activación de 45 minutos (**ClZn1-45**), con un tiempo de activación de 60 minutos (**ClZn1-60**) y con un tiempo de activación de 75 minutos (**ClZn1-75**); Carbón activado de marca Hellige (**Comercial**).

Tabla 15: Comparación del porcentaje de adsorción de cromo (VI) en concentración 10 mg/L entre los carbones activados obtenidos y el carbón activado comercial marca Hellige

Muestras		AF30-45	AF30-60	AF30-75	AF60-45	AF60-60	AF60-75	ClZn1-45	ClZn1-60	Clzn1-75	Comercial
30 minutos	a	97,323%	94,769%	87,356%	94,975%	84,102%	93,946%	33,567%	28,789%	20,881%	27,042%
	b	97,452%	94,148%	87,006%	95,095%	84,148%	93,785%	33,987%	27,145%	20,146%	26,648%
	c	97,999%	94,988%	86,946%	94,415%	84,179%	93,875%	33,148%	28,152%	20,012%	27,452%
	Prom	97,591 ±0,36%	94,635 ±0,44%	87,103 ±0,22%	94,829 ±0,37%	84,143 ±0,04%	93,868 ±0,08%	33,567 ±0,42%	28,029 ±0,83%	20,347 ±0,47%	27,142 ±0,40%
60 minutos	a	99,135%	95,675%	93,657%	94,975%	87,562%	98,229%	25,000%	12,479%	30,848%	17,749%
	b	99,255%	95,125%	93,307%	95,095%	87,148%	98,255%	25,148%	12,246%	30,012%	18,000%
	c	99,744%	95,785%	93,247%	94,415%	87,954%	98,942%	25,975%	12,549%	29,026%	18,413%
	Prom	99,378 ±0,32%	95,528 ±0,35%	93,404 ±0,20%	94,829 ±0,36%	87,555±0,40%	98,475 ±0,40%	25,374 ±0,53%	12,425 ±0,16%	29,962 ±0,91%	18,163 ±0,34%
90 minutos	a	97,529%	97,035%	92,875%	96,993%	90,692%	95,881%	16,763%	5,478%	7,249%	25,704%
	b	97,162%	97,188%	92,525%	97,113%	91,479%	95,456%	16,479%	5,966%	7,985%	24,450%
	c	97,012%	97,781%	92,465%	96,433%	91,079%	95,120%	16,985%	4,751%	7,149%	25,340%
	Prom	97,279 ±0,27%	97,335 ±0,39%	92,621 ±0,24%	96,847±0,34%	91,216±0,39%	95,486±0,38%	16,742±0,25%	5,398±0,61%	7,461±0,46%	25,165 ±0,65%
120 minutos	a	98,023%	97,323%	91,680%	95,675%	93,740%	94,893%	0,740%	0,650%	1,800%	9,758%
	b	98,146%	97,848%	91,330%	95,795%	93,875%	94,785%	0,753%	0,751%	1,365%	9,731%
	c	98,757%	97,146%	91,270%	95,115%	93,148%	94,146%	0,725%	0,841%	1,834%	9,794%
	Prom	98,308 ±0,39%	97,439 ±0,37%	91,427 ±0,24%	95,529 ±0,35%	93,587 ±0,39%	94,608 ±0,40%	0,756 ±0,01%	0,764 ±0,1%	1,667 ±0,26%	9,761 ±0,03%

Leyenda: Carbón activado obtenido con ácido fosfórico al 30 % y con un tiempo de activación de 45 minutos (AF30-45), con un tiempo de activación de 60 minutos (AF30-60) y con un tiempo de activación de 75 minutos (AF30-75); carbón activado obtenido con ácido fosfórico al 60% y con un tiempo de activación de 45 minutos (AF60-45), con un tiempo de activación de 60 minutos (AF60-60) y con un tiempo de activación de 75 minutos (AF60-75); carbón activado obtenido con cloruro de zinc al uno por ciento y con un tiempo de activación de 45 minutos (ClZn1-45), con un tiempo de activación de 60 minutos (ClZn1-60) y con un tiempo de activación de 75 minutos (ClZn1-75); Carbón activado de marca Hellige (Comercial).

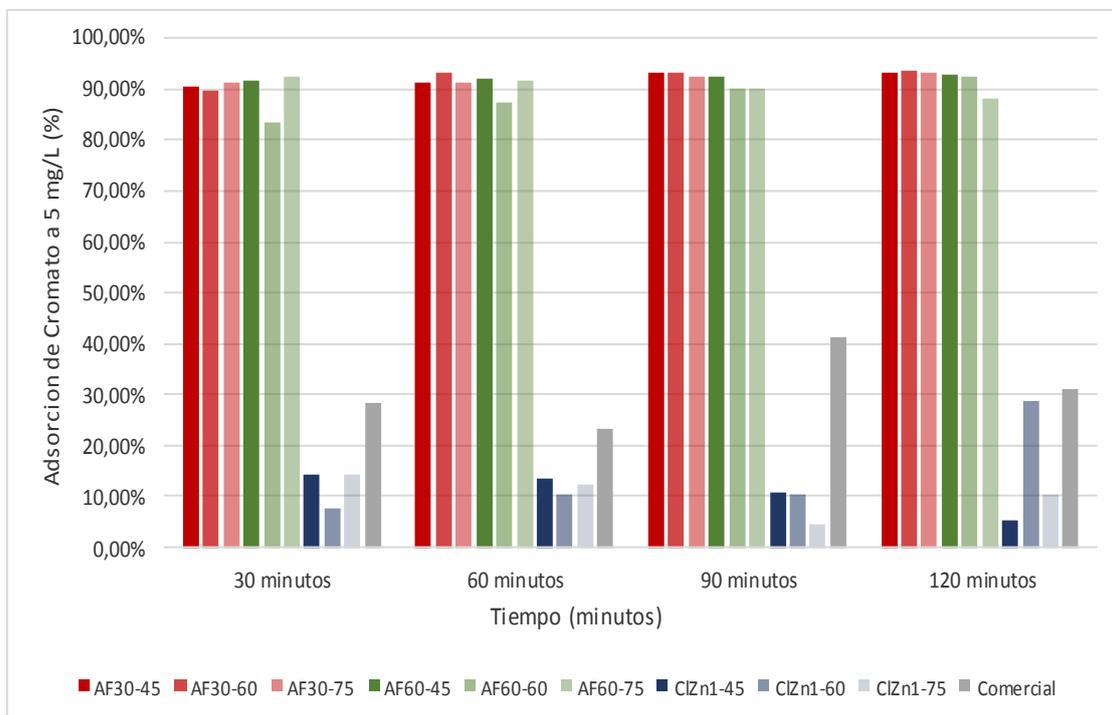
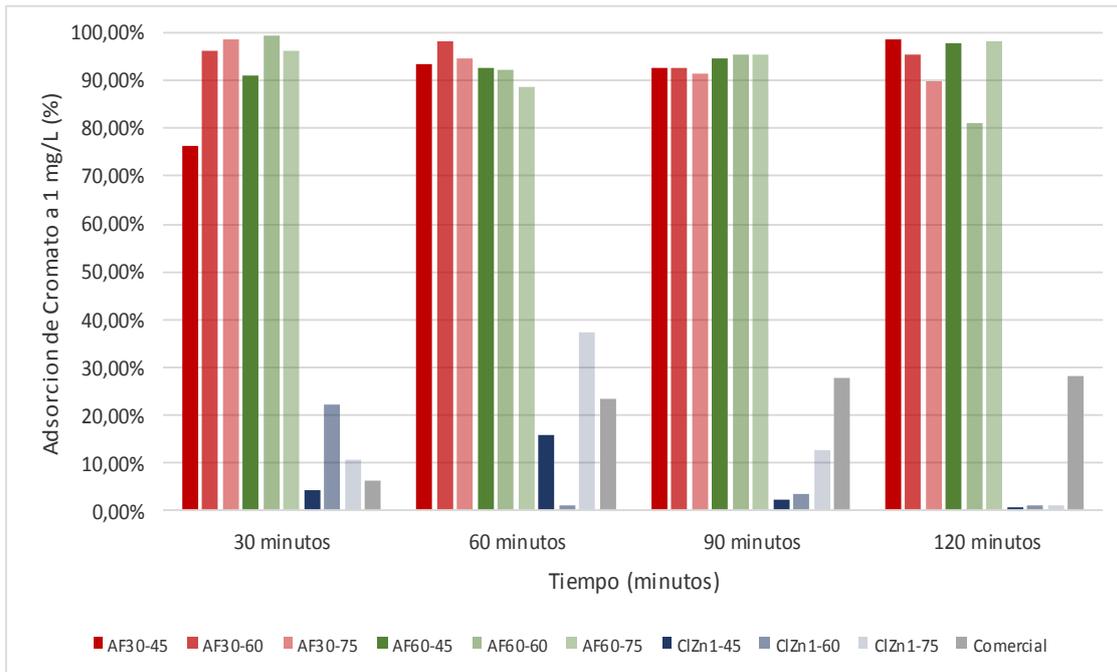


Figura 17: Porcentaje de adsorción de cromo (VI) 1 mg/L de los carbones activados obtenidos y la versión comercial respecto al tiempo

Figura 18: Porcentaje de la adsorción de cromo (VI) 5 mg/L de los carbones activados obtenidos y la versión comercial respecto al tiempo

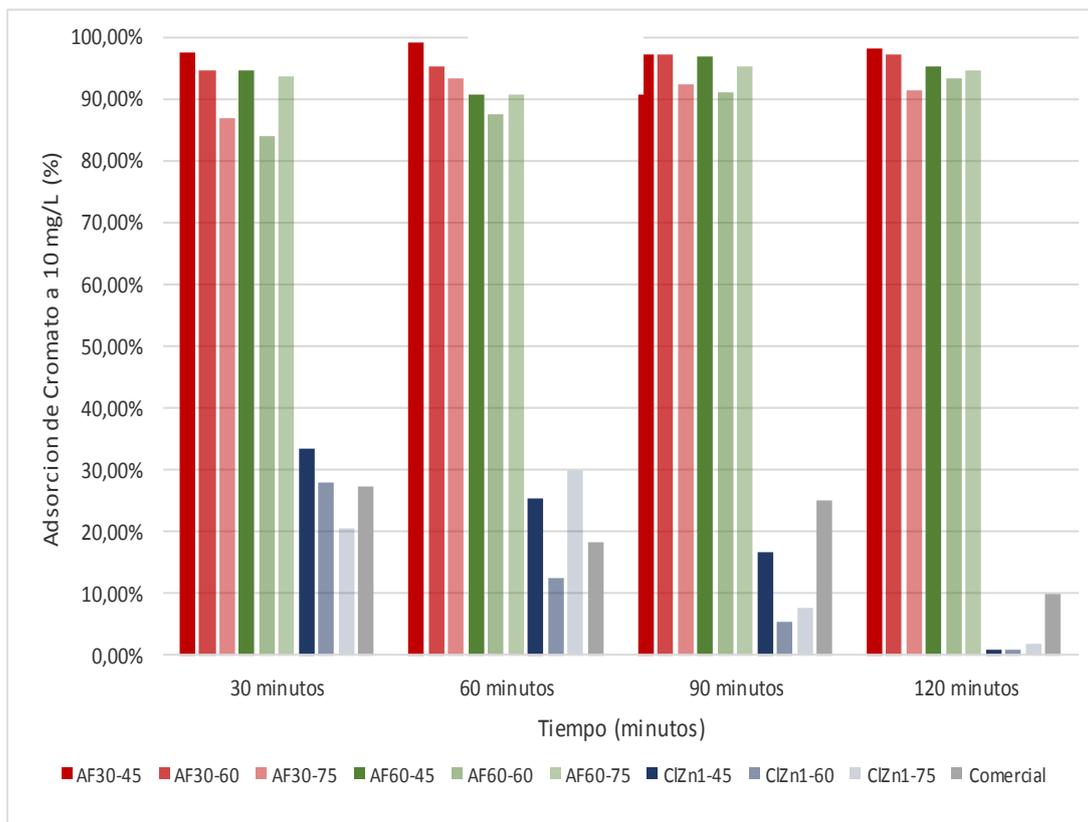


Figura 19: Porcentaje de la adsorción de cromo (VI) 10 mg/L de los carbones activados obtenidos y la versión comercial respecto al tiempo

Examinado las Tablas 13, 14 y 15 y las Figuras 17, 18 y 19; se observa que los carbones activados obtenidos (CA) con ácido fosfórico presentan la mayor capacidad de adsorción, entre 85 y 95 por ciento, que a su vez es superior a la capacidad de adsorción de la versión comercial (alrededor del 30 por ciento) y a la de los CA obtenidos con cloruro de zinc (del 20 al 30 por ciento). En general, la tasa de impregnación y el tiempo de activación no afectan significativamente la capacidad de adsorción de los CA obtenidos con ácido fosfórico. Así pues, los resultados obtenidos son prometedores; debido a que los CA con ácido fosfórico tienen una capacidad de adsorción superior al 80 por ciento de cromo (VI), cuando lo habitual es que la adsorción de metales pesados por CA suele ser baja, usualmente inferior al 50 por ciento (Wang, 2014).

La adsorción de metales pesados depende del pH del CA que confiere polaridad a la superficie del mismo (Anirudhan, 2011). El pH es la clave de una eficiente adsorción, algo que concuerda con lo obtenido en este experimento; los diferentes resultados de adsorción se pueden agrupar de acuerdo al pH de los CA: los valores de adsorción superior al 90 por ciento corresponde a los CA con un pH ácido, los valores de adsorción alrededor del 30 por ciento corresponde a los CA con un pH neutro y los valores inferiores al 10 por ciento corresponde a los CA con un pH básico, esto permite establecer una relación directa entre adsorción de cromo y el pH del CA (Anirudhan, 2011). La excelente adsorción del CA obtenido con ácido fosfórico se debería al pH ácido que favorece la adsorción de metales pesados por la carga positiva de la superficie protonada (Fernández *et al.*, 2014). También, hay otros trabajos en los cuales se menciona que una adsorción eficiente de cromo (VI) se da cuando el pH es ácido, alrededor de dos (Ansari, 2004; Carvoes 2007; Attia, 2009). Además, la alta adsorción de cromo (VI) del CA obtenido con ácido fosfórico se explica por la atracción entre los sitios activos de la superficie del CA con carga positiva y los iones bicromatos y cromatos de carga negativa. Al poseer ambas cargas opuestas facilitan la adsorción y remoción de los iones del medio (González y Garzón, 2012; Mane *et al.*, 2010; Fernández *et al.*, 2014; Anirudhan, 2011). Por lo tanto, los resultados obtenidos demuestran que el pH ácido, como consecuencia del uso del ácido fosfórico como agente activante, permite la obtención de altos valores de adsorción.

Por otra parte, la adsorción de cromo (VI) de los CA obtenidos con cloruro de zinc (entre 0 y 30 por ciento), concuerda con Carvoes (2007) quien menciona que ante un pH básico, no se ha reportado una adsorción eficiente de cromo (VI). La baja adsorción de cromo de los CA obtenidos con cloruro de zinc se debería al pH alto, inherente al uso del cloruro de zinc como agente activante; este pH alto ocasiona que la superficie del CA sea negativa y repela a los iones de cromato de carga negativa, dificultando la adsorción de cromo (VI) (Selvi *et al.*, 2001). Por lo tanto, se concluye que los CA con cloruro de zinc no son los más adecuados para la remoción de cromo (VI)

4.3.3. SELECCIÓN DEL MEJOR CARBÓN ACTIVADO

Tabla 16: Rangos aceptables del ASTM en los criterios de humedad, ceniza, pH y densidad aparente

Denominación	Valores del CA obtenidos				Criterios del ASTM			
	CH (%)	CZ (%)	pH	Dap (g/cm ³)	CH(%)	CZ (%)	pH	Dap (g/cm ³)
					02-15	03-15	2-11	0,26-0,65
AF30-45	4,96%	9,33%	2,35	0,233	X	X	X	-
AF30-60	7,33%	4,59%	2,32	0,375	X	X	X	X
AF30-75	12,01%	11,04%	2,60	0,294	X	X	X	X
AF60-45	6,44%	6,37%	2,39	0,323	X	X	X	X
AF60-60	3,76%	10,56%	2,27	0,373	X	X	X	X
AF60-75	2,69%	8,75%	2,38	0,252	X	X	X	-
ClZn1-45	6,79%	9,27%	8,34	0,323	X	X	X	X
ClZn1-60	9,17%	10,43%	8,44	0,319	X	X	X	X
Clzn1-75	17,04%	9,66%	8,44	0,306	-	X	X	X

El ASTM (2011) establece una serie de límites para los compuestos usados en la remoción de contaminantes del agua. De acuerdo a la Tabla 16, seis de los nueve CA cumplen con los requisitos que exigen la ASTM para su uso y comercialización. Más, esto no indica que los seis CA obtenidos sean los más adecuados para la remoción de colorantes y metales pesados. Si bien todos presentan una alta adsorción en lo referente a colorante, solo cuatro de ellos son los más indicados para la adsorción de cromo (VI) y estos serían los CA obtenidos AF30-60, AF30-75, AF60-45 y AF60-60. Si se selecciona de acuerdo al criterio económico, la selección más adecuada sería CA obtenido AF30-60; debido a que de entre los seleccionados este posee el menor uso de agente activantes y el menor tiempo de activación; por lo tanto, sus costos son menores a sus contrapartes y su precio final sería más bajo y competitivo.

4.3.4. PRUEBA ESTADÍSTICA

Los experimentos de adsorción de azul de metileno, de cromo (VI) 1mg/L, 5 mg/L y 10 mg/L. No cumplieron el principio de normalidad pero si de homogeneidad de varianza. Por ese motivo, se usó la prueba estadística Kruskal Wallis para determinar si hay una diferencia significativa entre los tratamientos utilizados y si hay diferencia significativa entre los resultados de la versión comercial y los tratamientos de los CA obtenidos.

En todos los casos, se identificó una alta diferencia significativa entre los tratamientos y se comprobó una diferencia significativa entre los tratamientos y la versión comercial, que se presentara en el Anexo 4.

V. CONCLUSIONES

- 1) Se concluye que se puede obtener carbón activado a partir de la cáscara de la calabaza (*Cucurbita ficifolia* Bouché) utilizando los agentes activantes como ácido fosfórico al 30 y 60 por ciento, y del cloruro de zinc al uno por ciento.
- 2) El mejor carbón activado se obtuvo con ácido fosfórico al 30 por ciento y con un tiempo de activación de 60 minutos (AF30-60); debido a que presenta una buena capacidad de adsorción de colorantes, cromato y cumple los requisitos del ASTM.
- 3) Los carbones activados obtenidos con ácido fosfórico al 30 y al 60 por ciento y con tiempos de activación de 60 minutos (AF30-60 y AF60-60) presentan los mayores rendimientos, que son 42,13 y 42,95 por ciento respectivamente.

VI. RECOMENDACIONES

- Proseguir con la obtención de carbón activado a partir de la cáscara del fruto de la calabaza (*Cucurbita ficifolia*)
- Descartar el uso del cloruro de zinc para próximas elaboraciones de carbón activado para la adsorción de metales pesados.
- Utilizar desechos agrícolas del mercado nacional para la elaboración de carbón activado para comprobar su idoneidad para la adsorción de colorantes y metales pesados.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AHMAD, M.A; ALROZI, R. (2010). Optimization of preparation conditions for mangosteen peel-based activated carbons for the removal of remazol brilliant blue using response surface methodology. *Chem. Eng. J.* 165(3):883-890.
2. ALBERTO, J; CARMINA, R., SOLÍS-FUENTES, J. A., MORALES-TÉLLEZ, M., AYALA-TIRADO, R. C., & DURÁN-DE-BAZÚA, M. C. (2012). Obtención de carbón activado a partir de residuos agroindustriales y su evaluación en la remoción de color del jugo de caña activated carbon from agroindustrial wastes for color removal from sugarcane juice.
3. ALHAMED Y. A. (2006). Activated carbon from dates' stone by $ZnCl_2$ activation, *engineering sciences*, vol. 17, no. 2, pp. 75-98.
4. ALSLAIBI, T., ABUSTAN, I., AHMAD, M., & FOUL, A. A. (2013). Review: comparison of agricultural by-products activated carbon production methods using surface area response. *Cjasr*, (august), 528–538.
5. AMPEX. 2007. Perfil de mercado de la calabacita butternut. Ministerio de agricultura, Lima, Perú.
6. ANDRES, THOMAS C. (1990). Biosystematics, theories on the origin, and breeding potential of *Cucurbita ficifolia*. En: *Biology and utilization of the Cucurbitaceae*, ed. David M. Bates, Richard W. Robinson, and Charles Jeffrey. 102-19. Ithaca, NY.
7. ANIRUDHAN, T. S., & SREEKUMARI, S. S. (2011). Adsorptive removal of heavy metal ions from industrial effluents using activated carbon derived from waste coconut buttons. *Journal of environmental sciences*, 23(12), 1989–1998.
8. ANSARI, R. (2009). Activated charcoal: preparation, characterization and applications: a review article, *1*(4), 859–864.

9. ANSARI, R.; MASOUDI, M. (2014) Removal of chromium hexavalent from aqueous solution using activated carbon, *Inter. J. Chemistry*, 14(3) 139-147. ASTM INTERNATIONAL. (2011). Norma Internacional. <https://www.astm.org/FAQ/index-spanish.html>. Consultado el 24 de Enero del 2015.
10. ATTIA, A. A., KHEDR, S. A., & ELKHOLY, S. A. (2009). Adsorption of chromium ion (VI) by acid activated carbon, 27(01), 183–193.
11. ATTIA, A.A., *et al.* (2008). Removal of methylene blue by carbons derived from peach stones by H₃PO₄ activation: Batch and column studies. *Dyes and Pigments*: 76, 282-289.
12. BACCAR, R., BOUZID, J., FEKI, M., & MONTIEL, A. (2009). Preparation of activated carbon from tunisian olive-waste cakes and its application for adsorption of heavy metal ions, *J. Appl. Polym. Sci.*, 112, 1522–1529.
13. BADRUZZAMAN M, WESTERHOFF P, KNAPPE DR. (2004) Intraparticle diffusion and adsorption of arsenate onto granular ferric hydroxide (gfh). *Water Res*; 35(40) 02–12.
14. BANDOSZ, T. (2006). Activated carbon surfaces in environmental remediation. *Interface science and technology*, Elsevier, New York. 7(3), 107-153.
15. BASTIDA, M. (2009). Producción de carbón activado a partir de precursores carbonosos del departamento del cesar, Colombia. Colombia. Vol 21 (3), 87-96.
16. BINTI, A. I. N. (2007). The production and characterization of activated carbon using local agricultural waste through chemical activation process. Thesis master degree, University of Malasya, Malasya.
17. BISOGNIN, DILSON ANTÔNIO. (2002). Origin and evolution of cultivated cucurbits. *Cienc. Rural* . , vol.32, n.4, pp.715-723.
18. CARDEMIL LILIANA, MICHAEL HANDFORD1 Y LEE MEISEL. 2007. *Fisiología vegetal*. Edic Universidad de la Serena, Chile. .
19. CARVÕES, E. M., & MODIFICADOS, A. (2007). Removal of chromium (VI) from aqueous solutions, (3), 305–322.

20. CONABIO. (2010). *Curcubita ficifolia*. Sistema de información de organismo vivos modificados (siovm). Proyecto GEF-CIBIOGEM de bioseguridad. México. Consultado el 15 de noviembre. Disponible en http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/bioseguridad/pdf/20833_especie.pdf
21. CORREA L MARIA Y VELÁSQUEZ JORG. (2009). Optimización de la producción de carbón activado de cascara de coco mediante steam explosión. Universidad Pontificia Bolivariana, Bolivia. Investigaciones Aplicadas No . 6 (2009) 30-37
22. CRONQUIST, A. (1981). An integrated system of classification of flowering plants. Columbia university press, nueva york.
23. CUHADAR, C. (2005). Production and characterization of activated carbon from hazeknut shell and hazelnut. Magister Thesis. Terearán, Irán. Pág. 92
24. DEGADILLO, G. (2011). Obtención de carbones activados a partir de pepas de níspero de palo (*mespilus communi*) y su aplicación para la adsorción de fenol. Tesis de Maestría en química. Pontificia Universidad católica de Perú. Pág. 118.
25. DENG H., LI G., YANG H., TANG J. AND TANG J. (2010). Preparation of activated carbons from cotton stalk by microwave assisted KOH and K₂CO₃ activation, chemical engineering journal, vol. 163, no. 3, pp. 373-381.
26. DENG H., YANG L., TAO G. AND DAI J. (2009). Preparation and characterization of activated carbon from cotton stalk by microwave assisted chemical activation—application in methylene blue adsorption from aqueous solution, journal of hazardous materials, vol. 166, no. 2-3, pp. 1514-1521.
27. FAO, FAOSTAT. (2009). Agricultural database. Production, about: countries by commodity — pumpkins, squash and gourds. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. <Http://faostat.fao.org>.
28. FAO. (1983). Métodos simples para fabricar carbón activado vegetal. Capítulo sobre el uso eficiente del carbón vegetal. ISBN 92-5-301328-1
29. FAO. (2014). Calabaza. Food and agriculture organization of the United Nations. Consultado el 25 de mayo del 2014. Disponible en <http://www.fao.org/home/en/> .

30. FERNANDEZ, M. E., NUNELL, G. V., BONELLI, P. R., & CUKIERMAN, A. L. (2014). Activated carbon developed from orange peels: batch and dynamic competitive adsorption of basic dyes. *Industrial crops and products*, 62, 437–445. [Http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.09.015](http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.09.015)
31. GARCÍA, C. L. (2006). Características de la especie cucúrbita pepo I. Y su semilla en el tratamiento de la próstata. Resumen del congreso de fitoterapia.
32. GERCEL, O., GERCEL, H.F., 2007. Adsorption of lead (II) ions from aqueous solutions by activated carbon prepared from biomass plant material of Euphorbia Rigida. *Chem. Eng. J.* 132, 289–297.
33. GIANNINI TC, SARAIVA AM, ALVES-DOS-SANTOS IA. (2009). Ecological niche modeling and geographical distribution of pollinator and plants. Giannini, AM Saraiva, IA Alves-dos-Santos; A case study of *Peponapis fervens* (Smith, 1879) (Eucerini: Apidae) and *Cucurbita* species (Cucurbitaceae). *Ecological Informatics*. *Ecological informatic*, Pág. 1-5.
34. GÓMEZ, A., W. KLOSE, S. RINCÓN Y W. WIEST; (2004). Proceso de producción de carbón activado de cáscaras de palma de aceite en un horno rotatorio y su aplicación en la limpieza de NO. *Palmas*: 25(2), 461-471.
35. GONZALES LOPEZ, L, A Y GARZON SANTAMARIA, J, A. 2012. Adsorción de Cr (VI) utilizando carbón activado a partir de cascara de naranja. Tesis de Titulación. Universidad de Cartagena, Colombia. Pág. 100.
36. GONZÁLEZ, ANA. (2001). *Botánica morphological, morphology de plantas vasculares*. Facultad de ciencias, universidad nacional del noroeste, argentina. Consultado el 16 de diciembre del 2014.
37. GRATUITO, M. K. B., PANYATHANMAPORN, T., CHUMNANKLANG, R. A., SIRINUNTAWITTAYA, N., & DUTTA, A. (2008). Production of activated carbon from coconut shell: optimization using response surface methodology. *Bioresource technology*, 99(11), 4887–4895.
38. HAMEED, B.H.; AHMAD, A.L.; LATIFF, K.N.A. 2007. Adsorption of basic (methylene blue) onto activated carbon prepared from rattan sawdust. *Dyes Pigments*. 75(1):143-149.

39. HAYASHI, J; KAZEHAHA, A; MUROYAMA, K; WATKINSON, P. (2000). Preparation of activated carbon from lignin by chemical activation. Vol. 38 (13) pág. 1873-1878.
40. HAYWARD, H, E. (1953). Estructuras de las plantas útiles. Acme, Buenos Aires. Pág. 575-614.
41. HEIKE VIBRANS. (2009). Malezas de México, Ficha *Cucurbita ficifolia* Bouché. Consultado el 18 de noviembre del 2014.
42. IOANNIDOU, O. Y A. ZABANIOTOU. (2007). Agricultural residues as precursors for activated carbon production – a review. Renewable and sustainable energy reviews: 11(9), 1966-2005 (2007).
43. IQBALDIN, M., KHUDZIR, I., AZLAN, M., ZAIDI, A., SURANI, B., & ZUBRI, Z. (2013). PROPERTIES OF COCONUT SHELL ACTIVATED CARBON. *Journal of Tropical Forest Science*, 25(4), 497-503. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/23616990>
44. LEÓN, JORGE. (1987). Botánica de los cultivos tropicales. Instituto interamericano de cooperación para la agricultura. San Jose, costa Rica. Edit iica, pag 388.
45. LI, X.-F., XU, Q., FU, Y. AND GUO, Q.-X. (2014), preparation and characterization of activated carbon from kraft lignin via koh activation. *Environ. Prog. Sustainable energy*, 33: 519–526. Doi: 10.1002/ep.11794
46. LIMA M.I. AND MARSHALL E.W. (2005) granular activated carbon from broiler manure: physical, chemical and adsorptive properties, *bioresource technology*, 96, 699-706
47. LIRA, R., T.C. ANDRES AND M. NEE. (1995). *Cucurbita l.* In estudios taxonómicos y ecogeográficos de las *cucurbitaceae* latinoamericanas de importancia económica: *cucurbita*, *sechium*, *sicana* y *cyclanthera*. Systematic and ecogeographic studies on crop genepools 9, r. international plant genetic resources institute, Rome. Pp. 1-115.

48. LÓPEZ, J. M. & AYUSO, E. (2001). Estudio preliminar para la producción y caracterización de carbón activado a partir del cuesco de palma africana y su uso en la decoloración de aceites vegetales. Tesis para optar al título de ingeniero de producción agro. Bogotá: Universidad de la Sabana, Facultad de Ingeniería. p. 1-115.
49. LUNA, D; GONZÁLEZ, A. (2007). Obtención de carbón activado a partir de la cascara de coco. Uam-iztapalapa, México. Contactos vol. 64, 39-48.
50. MANE P. C, BAHOSLE A. B; DESHMUKH P. D; JANGAM C. M. 2010. Chromium adsorption on activated carbon derived from Tendu (*Diospyros melanoxylon*) leaf refuse: influence of metal:carbon ratio, time and pH. *Advances in applied science research* 1(3):212-221
51. MARSH, H Y F. RODRÍGUEZ. (2006). Activated carbon. Elsevier, España. Pág. 536.
52. MENÉNDEZ, A. (2008). El mundo del residuo: caracterización, tratamiento y gestión. Facultad de geología, univ. De Oviedo. Pág. 1-48.
53. MENÉNDEZ, J.A AND MARTÍN-GUILLÓN, I. c2006. Types of carbon adsorbents and their production. *EL CARBÓN EN LA VIDA COTIDIANA: grafito, diamante, fullereno*
54. MOHANTY, K., JHA, M., MEIKAP, B. C. AND BISWAS, M. N. (2006). Bisorption of Cr(VI) from aqueous solutions by *Eichhornia crassipes*. *Chem. Eng. J.* 117, 71.
55. MORENO-PIRAJAN, J; NAVARRETE, L; GIRALDO, L; GARCÍA, V. (2007). Absorción de fenol y 3-cloro fenol sobre carbones activados mediante calorimetría de inmersión. Universidad nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. *Información tecnológica* vol. 18 (3) pág. 71-80.
56. MUÑOZ ORDONEZ, FRANCISCO. 2011. Extracción y caracterización de la pectina obtenidas a partir del fruto de dos ecotipos de cocona (*Solanum sessiliflorum*) en diferentes grados de madurez; a nivel de planta piloto. Tesis de maestría en Ingeniería agrícola Universidad de Colombia. Pag 82

57. NABAIS J. M. V., LAGINHAS C. E. C., CARROTT P. AND RIBEIRO CARROTT M. (2011). Production of activated carbons from almond shell, fuel processing technology, vol. 92, no. 2, pp. 234-240.
58. NAYAR, N. MORE Y T. A. (1998). Curcubitis. Science publisher, enfield, new hampshire, eua.
59. NEE, M. (1990) .The domestication of *Cucurbita* (cucurbitaceous, *economic botany* 44 (suppl.), pp. 56-58.
60. NUEZ, F; RUIZ, J, J; VALCÁRCEL, J, V; FERNÁNDEZ DE CÓRDOVA, P. (2000). Colección de semillas de calabaza del centro de conservación y mejora de la agrobiodiversidad valenciana. Ministerio de ciencia y tecnología, españa. Pág. 157.
61. OECD. (2012). Consensus document on the biology of cucurbita 1. (squashes, pumpkins zucchinis and gourds). Series on harmonization of regulatory oversight in biotechnology n53, env/jm/mono. Pag 77.
62. OLMEDILLO B, GRANADO F, BLANCO I, GIL-MARTÍNEZ E, ROJAS-HIDALGO e (2001). Composición en carotenoides y en equivalentes de retinol de verduras, hortalizas y frutas -crudas y cocidas- por 100 g de porción comestible.
63. ONUDI. (c2014) manual de producción más limpia. ONU para el desarrollo industrial.
64. PARIS, H.S. Historical records. (1989) Origins, and development of the edible cultivar groups of *C. pepo* (*Cucurbitaceae*). *Econ Bot*, v.43, n.4, p.423-443,
65. RAMAKRISHNAN, K., & NAMASIVAYAM, C. (2009). Development and characteristics of activated carbons from jatropha husk , an agro industrial solid waste , by chemical activation methods, *19*(3), 173–178.
66. RODRÍGUEZ, F. (2005). Carbón activado: estructura, preparación y aplicación. *Rev. . Uniandes*. Pág. 66-69.
67. SANJUR, O.I., D.R. PIPERNO, T.C. ANDRES AND L. WESSEL-BEAVER. (2002). “phylogenetic relationships among domesticated and wild species of *cucurbita* (cucurbitaceae) inferred from a mitochondrial gene: implications for crop plant evolution and areas of origin”, *proceedings of the national academy of sciences (usa)* 99, pp. 535- 540.

68. SELVI, K., S. PATTABHI Y K. KADIRVELU. 2001. Removal of Cr(VI) from Aqueous Solution by Adsorption onto Activated Carbon, *Biores. Technol.*: 80, 87-89.
69. STEVENS, W. D., C. ULLOA U., A. POOL Y O. M. MONTIEL. (2001). *Flora de Nicaragua*. Vol. 85, tomos I, II y III. Missouri Botanical Garden Press. St. Louis, Missouri.
70. SUHAS, P; CARROTT, M, M, L; RIBEIRO C. (2007). Lignin-from natural adsorbent carbon: a review. *Bioresource technology* vol. 98 (12) pág. 2301-2312
71. USAID. (c2005). *Guía de producción más limpia*. Pág. 60.
72. USDA. 2014. *National Nutrient Database for Standard Reference, Release 25 Search by food*. United States Department of Agriculture, EE.UU. Consultado el 2014.
73. VALDIVIESO CASTRO. (2012) obtención de carbón activado por método físico a partir de la semilla de aguaje (*mauritia flexuosa*) procedente de la región Loreto. Grado bachiller. Universidad nacional agraria la molina, Lima, Perú. Pág. 87.
74. VELÁZQUEZ-TRUJILLO, E. (2010). Optimización de la producción de carbón activado a partir de bambú. *México*. Vol. 9 (3), pág. 359-366.
75. WANG, J., LIU, H., YANG, S., ZHANG, J., ZHANG, C., & WU, H. (2014). Applied surface science physicochemical characteristics and sorption capacities of heavy metal ions of activated carbons derived by activation with different alkyl phosphate triesters. *Applied surface science*, 316, 443–450. [Http://doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.07.206](http://doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.07.206)
76. WHITAKER, T.W., DAVIS, G.N. *Cucurbits: botany, cultivation and utilization*. New York : Interscience, 1962. 250p.
77. WILSON, H.D., DOEBLEY, J., DUVALL, M. (1992). Chloroplast DNA diversity among wild and cultivated members of Cucurbita (Cucurbitaceae). *Theor Appl Genet*, v.84, p.859-865.
78. ZAMORA VELAZCO. (2010). Obtención de carbón activado a partir de semillas de dos palmeras de la Amazonia peruana shabaja (*attalca phaleratal*) y aguaje (*mauritia flexiosa*). Grado bachiller. Universidad nacional agraria la molina, lima, Perú.

79. ZEKI, A. (2009). Activated carbons from various biomasses and characterisations.
Ankara university, ankara, turkey

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: RESULTADOS OBTENIDOS DEL EXPERIMENTO

RESULTADOS DE LA COMPOSICIÓN DEL PRECURSOR

	Humedad (%)	Proteína (%)	Grasa (%)	Fibra (%)	Ceniza (%)	Carbohidratos (%)
Precursor	11,17	6,41	1,20	44,09	7,76	29,37

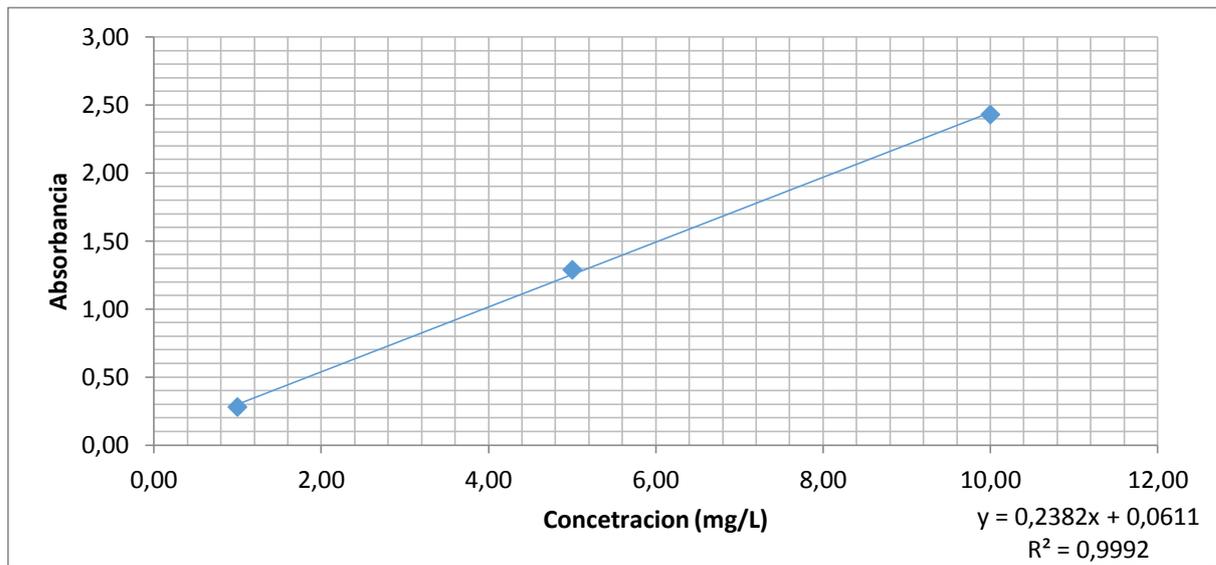
RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO

Denominación	CH (%)	CZ (%)	pH	D ap (g/cm3)	Rendimiento (%)
AF30-45	4,957%	9,335%	2,35	0,233	36,583%
AF30-60	7,333%	4,591%	2,32	0,375	42,133%
AF30-75	12,013%	11,037%	2,60	0,294	33,750%
AF60-45	6,440%	6,371%	2,39	0,323	36,867%
AF60-60	3,760%	10,559%	2,27	0,373	42,950%
AF60-75	2,693%	8,752%	2,38	0,252	40,783%
ClZn1-45	6,793%	9,267%	8,34	0,323	23,500%
ClZn1-60	9,167%	10,428%	8,44	0,319	30,133%
ClZn1-75	17,037%	9,658%	8,44	0,306	30,150%

RESULTADOS DE LA ADSORCIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO

Denominación	Ads Cr(VI) 1 ppm	Ads Cr(VI) 5 ppm	Ads Cr(VI) 10 ppm	Ads AzulMet (%)
AF30-45	98,610%	93,244%	98,308%	99,569%
AF30-60	95,532%	93,571%	97,439%	99,353%
AF30-75	90,104%	93,298%	91,427%	99,445%
AF60-45	97,710%	92,860%	95,529%	99,199%
AF60-60	81,253%	92,331%	93,587%	99,261%
AF60-75	98,319%	88,021%	94,608%	99,014%
ClZn1-45	0,756%	5,365%	0,756%	91,559%
ClZn1-60	1,217%	28,603%	0,764%	93,777%
ClZn1-75	1,063%	10,404%	1,667%	95,059%

ANEXO 2: CURVA DE CALIBRACION ENTRE LA ABSORBANCIA Y LA CONCETRACION



ANEXO 3: METODO DE DETERMINACION DE HUMEDAD, CENIZAS, DENSIDAD APARENTE Y PH SEGÚN LA ASTM 1762 Y 2854-09

METODO DE DETERMINACION DE HUMEDAD

El porcentaje de humedad se determinó según la norma ASTM D 1762.

Se pesó un crisol sin contenido en una balanza analítica. Se pesó un gramo de CA en el crisol en la balanza analítica. Se colocó los crisoles sin sus tapas en una estufa marca Meherment a una temperatura de 105° C durante dos horas. Después de las dos horas, fue retirado y colocado en un desecador por un periodo de una hora para finalmente ser pesado. Se procedió a restar el peso del crisol con carbón activado antes y después del secado, dicho resultado se dividió entre un gramo, luego se multiplico por 100 por ciento.

METODO DE DETERMINACION DE CENIZAS

El porcentaje de ceniza se determinó según la norma ASTM D 1762.

Se prendió la mufla para una temperatura de 750° C. Cuando se llega a esa temperatura, se procedió a colocar los crisoles; cada crisol pesado previamente, con un gramo de CA y sin tapa. Después de un periodo de seis horas se retiró los crisoles y se colocó en un desecador por una hora. Por último, se pesó los crisoles. Se procedió a restar el peso del crisol con carbón activado antes y después del secado, dicho resultado se dividió entre un gramo, multiplicado por 100.

METODO DE DETERMINACION DE DENSIDAD APARENTE

Se determinó la densidad aparente según Norma ASTM 2854-09.

Se pesó una probeta de 10 ml. Se llenó con cinco gramos de CA, se golpeó hasta que el volumen dentro de la probeta no varié, posteriormente se pesó la probeta con el CA y se midió el volumen que ocupa. Se halló el valor de la densidad aparente con la diferencia de peso entre el volumen que ocupó al final del proceso.

METODO DE DETERMINACION DE PH

Se determinó el pH, según la norma ASTM 3838-05.

Se pesó un gramo de CA, luego se lo colocó en un vaso precipitado de 250 ml. Se agregó y se lo mezcló en 100 ml de agua destilada. El vaso precipitado fue colocado en un baño maría a 80°C durante dos minutos. Se separó el agua destilada del CA por un filtrado con papel de filtración rápida. Se esperó a que se enfriara el agua destilada y posteriormente se midió el pH con un potenciómetro.

ANEXO 4: ANALISIS ESTADISTICO DE LOS RESULTADOS

PRUEBA DE KRUSKAL-WALLIS DE AZUL DE METILENO

H = 23,15 GL = 9 P = 0,006

H = 23,28 GL = 9 P = 0,006 (ajustados para los vínculos)

Interpretación:

P<0.05: Hay diferencia significativa entre los tratamientos.

P<0.01: Hay una alta diferencia significativa entre los tratamientos.

Comparaciones entre tratamientos y el comercial:

<i>Comparaciones</i>		$\frac{r_i}{n_i} - \frac{r_j}{n_j}$	<i>ALS</i>	<i>Significancia</i>
AF30-T45	Comercial	17.667	7.998	*
AF30-T60	Comercial	13.167	7.998	*
AF30-T75	Comercial	14.833	7.998	*
AF60-T45	Comercial	8.500	7.998	*
AF60-T60	Comercial	10.833	7.998	*
AF60-T75	Comercial	4.667	7.998	n.s
CIZ1-T45	Comercial	6.333	7.998	n.s
CIZ1-T60	Comercial	4.000	7.998	n.s
CIZ1-T75	Comercial	2.333	7.998	n.s

FUENTE: Elaboración propia.

Interpretación:

*: Diferencia significativa entre los dos tratamientos comparados.

n.s: No hay diferencia significativa entre los dos tratamientos comparados.

PRUEBA DE KRUSKAL-WALLIS EN CROMO VI 1 mg/L

H = 27,97 GL = 9 P = 0,001

H = 27,98 GL = 9 P = 0,001 (ajustados para los vínculos)

Interpretación:

P<0.05: Hay diferencia significativa entre los tratamientos.

P<0.01: Hay una alta diferencia significativa entre los tratamientos.

Comparaciones entre tratamientos y el comercial:

<i>Comparaciones</i>		$\frac{r_i}{n_i} - \frac{r_j}{n_j}$	<i>ALS</i>	<i>Significancia</i>
AF30-T45	Comercial	17.1667	3.3779	*
AF30-T60	Comercial	9.0000	3.3779	*
AF30-T75	Comercial	6.0000	3.3779	*
AF60-T45	Comercial	12.0000	3.3779	*
AF60-T60	Comercial	3.0000	3.3779	n.s
AF60-T75	Comercial	15.8333	3.3779	*
CIZ1-T45	Comercial	6.8333	3.3779	*
CIZ1-T60	Comercial	5.0000	3.3779	*
CIZ1-T75	Comercial	6.1667	3.3779	*

FUENTE: *Elaboración propia.*

Interpretación:

*: Diferencia significativa entre los dos tratamientos comparados.

n.s: No hay diferencia significativa entre los dos tratamientos comparados.

PRUEBA DE KRUSKAL-WALLIS EN CROMO VI 5 mg/L

H = 27,90 GL = 9 P = 0,001

Interpretación:

P<0.05: Hay diferencia significativa entre los tratamientos.

P<0.01: Hay una alta diferencia significativa entre los tratamientos.

Comparaciones entre tratamientos y el comercial:

<i>Comparaciones</i>		$\frac{r_i}{n_i} - \frac{r_j}{n_j}$	<i>ALS</i>	<i>Significancia</i>
AF30-T45	Comercial	16.3333	3.5184	*
AF30-T60	Comercial	19.6667	3.5184	*
AF30-T75	Comercial	17.3333	3.5184	*
AF60-T45	Comercial	12.3333	3.5184	*
AF60-T60	Comercial	9.3333	3.5184	*
AF60-T75	Comercial	6.0000	3.5184	*
CIZ1-T45	Comercial	6.0000	3.5184	*
CIZ1-T60	Comercial	3.0000	3.5184	n.s
CIZ1-T75	Comercial	3.0000	3.5184	n.s

FUENTE: Elaboración propia.

Interpretación:

*: Diferencia significativa entre los dos tratamientos comparados.

n.s: No hay diferencia significativa entre los dos tratamientos comparados.

PRUEBA DE KRUSKAL-WALLIS EN CROMO VI 10 mg/L

H = 28,10 GL = 9 P = 0,001

H = 28,11 GL = 9 P = 0,001 (ajustados para los vínculos)

Interpretación:

P<0.05: Hay diferencia significativa entre los tratamientos.

P<0.01: Hay una alta diferencia significativa entre los tratamientos.

Comparaciones entre tratamientos y el comercial:

<i>Comparaciones</i>		$\frac{r_i}{n_i} - \frac{r_j}{n_j}$	<i>ALS</i>	<i>Significancia</i>
AF30-T45	Comercial	18.0000	3.1636	*
AF30-T60	Comercial	15.0000	3.1636	*
AF30-T75	Comercial	3.0000	3.1636	n.s
AF60-T45	Comercial	12.0000	3.1636	*
AF60-T60	Comercial	6.0000	3.1636	*
AF60-T75	Comercial	9.0000	3.1636	*
CIZ1-T45	Comercial	6.5000	3.1636	*
CIZ1-T60	Comercial	6.5000	3.1636	*
CIZ1-T75	Comercial	5.0000	3.1636	*

FUENTE: *Elaboración propia.*

Interpretación:

*: Diferencia significativa entre los dos tratamientos comparados.

n.s: No hay diferencia significativa entre los dos tratamientos comparados.

ANEXO 5: GALERIA

DETERMINACIÓN DE HUMEDAD DEL CARBONES ACTIVADOS OBTENIDOS



CONTENIDO DE CENIZA DE LOS CARBONES ACTIVADOS OBTENIDOS



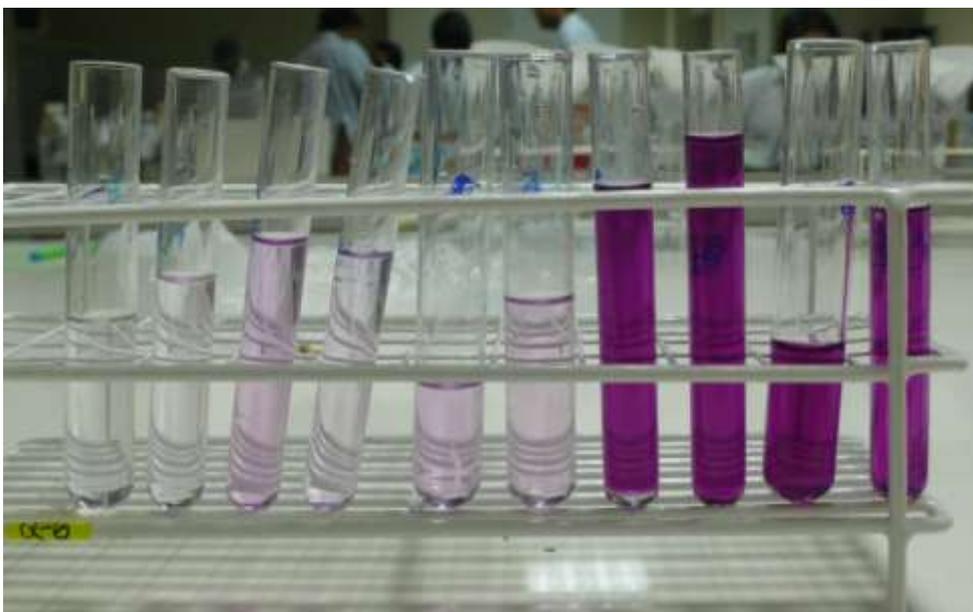
FILTRACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO PARA LA DETERMINACIÓN DE PH



PRUEBA DE AZUL DE METILENO



PRUEBA DE 1, 5- DIFENILCARBAZIDA PARA DETERMINAR CROMO VI



FILTRACIÓN DE LAS MUESTRA EN PAPEL WHATMAN 42 PARA DETERMINAR CROMO (VI)



