ACTIVACIÓN FÍSICA DE CASCARILLA DE ARROZ AGLOMERADA CON ENGRUDO DE ALMIDÓN DE YUCA PARA LA OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO.

ASTRID LILIANA CERÓN RODRÍGUEZ

YENI MILENA LEÓN CAMARGO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

BUCARAMANGA

2010

ACTIVACIÓN FÍSICA DE CASCARILLA DE ARROZ AGLOMERADA CON ENGRUDO DE ALMIDÓN DE YUCA PARA LA OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO.

ASTRID LILIANA CERÓN RODRÍGUEZ

YENI MILENA LEÓN CAMARGO

Trabajo de grado presentado como requisito para obtener el título de Ingenieras Químicas

Director de proyecto

JOSÉ CARLOS GUTIÉRREZ GALLEGO

Químico M.Sc.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

BUCARAMANGA

2010

DEDICATORIA

*A **Dios***
por guiarme y estar conmigo en cada paso que doy, por haber puesto en mi camino a todas aquellas personas que han sido mi compañía y soporte.

*A mis padres **Elsa y Alberto**,*
por su gran esfuerzo y dedicación, por creer en mí y ofrecerme siempre lo mejor.

*A mi tía **Yenny**,*
su apoyo incondicional fue fundamental en la consecución de este logro.

*A mis hermanos **Diego y Laura***
por su compañía y buenos deseos.

*A mi **Abuelito** y a mis tíos **Gloria, Lowis, Miryam, Carlos y Yenny***
por brindarme su ayuda y colaboración desinteresada.

*A **Yeni Layon***
por su amistad, paciencia y cariño, por tantos momentos bonitos que pudimos compartir en la realización de este proyecto.

*A **Jairo***
por ser tan especial y motivarme a seguir adelante, por brindarme su amor y cariño, por sus valiosos aportes y ayuda en la elaboración de este trabajo.

*A **Dianis***
por tantos momentos vividos en todos estos años de Colegio y Universidad, por ser más que una amiga, por celebrar y compartir mis logros.

*A **Jefifer, Anis y Jairito Andres**,*
por su sincera e incondicional amistad.

Astrid Liliana

DEDICATORIA

*A **Dios** todopoderoso*
Que es quien guia mi vida y mis acciones.

*A mis padres **Martha Isabel** y **Jose Alirio***
Por todo su amor, su constante apoyo y sus palabras de aliento en todo momento. Gracias a ustedes he alcanzado las metas que me he propuesto.

*A mis hermanos **Carlos**, **Fernando** y **Fredy***
Por su cariño, sus consejos y su constante apoyo.

*A **Jairo Andrés***
Porque su presencia ha llenado mi vida de felicidad y motivación para alcanzar mis sueños.

*A **Jennifer**, **Ana** y **Diana***
Por su comprensión y cariño; son una verdadera muestra de Amistad.

*A **Carlos** y **Maleja***
Amigos incondicionales con los que comparto momentos inolvidables.

*A **Jairo Güiza***
Por su sincera Amistad y sus grandes aportes que enriquecieron nuestro trabajo.

*A **Astrid Liliana***
mi gran amiga y compañera de proyecto
Por su paciencia , comprensión y constante interés que nos llevo a alcanzar la meta que nos habíamos propuesto.

Yeni Milena

AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Industrial de Santander**, por brindarnos la oportunidad de formarnos profesionalmente.

Al profesor **José Carlos Gutiérrez Gallego**, Químico M.Sc., Director del trabajo de grado, por sus valiosos aportes, orientación y apoyo durante la elaboración de este proyecto.

A **Johanson**, Gratitud por su pronta, oportuna e incondicional colaboración.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	
1. MARCO TEÓRICO	20
1.1. CARBÓN ACTIVADO	20
1.1.1. Generalidades.	20
1.1.2. Estructura y Propiedades.	20
1.1.3. Preparación.	21
1.1.3.1. Activación física o térmica.	21
1.1.3.2. Activación química.	22
1.1.4. Aplicaciones.	23
1.2. ADSORCIÓN	23
1.3. CASCARILLA DE ARROZ	24
1.4. ALMIDÓN DE YUCA	25
2. DESARROLLO EXPERIMENTAL	26
2.1. TRATAMIENTO FÍSICO	27
2.2. TRATAMIENTO TÉRMICO Y ACTIVACIÓN FÍSICA	27
2.3. CARACTERIZACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO	28

2.3.1. Índice de azul de metileno. 28

2.3.2. Adsorción de iones Cu^{++}. 29

2.3.3. Resistencia mecánica. 29

2.3.4. Determinación de pH 30

2.3.5. Pruebas de infrarrojo. 30

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS 31

3.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CASCARILLA DE ARROZ 31

3.2. RELACIÓN CASCARILLA DE ARROZ / ENGRUDO ALMIDON 32

3.3. ACTIVACIÓN TÉRMICA CON CO_2 Y VAPOR DE AGUA 33

3.4. ACTIVIDAD DEL CARBÓN C1 RESPECTO AL AZUL DE METILENO 35

3.5. pH DEL CARBÓN ACTIVADO 37

3.6. ADSORCIÓN DE IONES Cu^{++} 38

3.7. ANÁLISIS DE INFRARROJO 38

3.8. PRUEBA DE COMPRESIÓN 39

3.9. VIABILIDAD ECONÓMICA 39

3.10. IMPACTO AMBIENTAL 40

4. CONCLUSIONES 42

5. RECOMENDACIONES 43

BIBLIOGRAFÍA 44

ANEXOS 48

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Actividad de los diferentes carbones activados. 34

Figura 2. Isoterma de adsorción experimental. 35

Figura 3. Isoterma de adsorción de Freundlich. 36

Figura 4. Isoterma de adsorción de Langmuir. 36

Figura 5. Isoterma de adsorción de B.E.T. 37

Figura 6. Espectro IR de la cascarilla de arroz. 48

Figura 7. Espectro IR Líquidos pirolíticos. 48

Figura 8. Grupos superficiales comúnmente encontrados en un CA. 49

Figura 9. Estructura Molecular del azul de metileno. 49

Figura 10. Clasificación de los poros según su tamaño. 50

Figura 11. Engrudo de almidón de yuca, cascarilla de arroz y aglomerado. 51

Figura 12. Vista del aglomerado con el estereoscopio Nikon smz 645 ni -150. 51

Figura 13. Carbón activado. 52

Figura 14.Vista del CA con el estereoscopio Nikon smz 645 ni -150. 52

Figura 15. Soluciones patrones de azul de metileno. 53

Figura 16. Adsorción con azul de metileno. 53

Figura 17. Líquidos pirolíticos. 54

Figura 18. Ensayo de compresión. 55

Figura 19. Curva de calibración de azul de metileno. 56

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Proporciones almidón de yuca / agua, para la preparación del engrudo. 27

Tabla 2. Variación de los gases oxidantes durante la gasificación. 28

Tabla 3. Composición química de la cascarilla de arroz. 31

Tabla 4. Análisis IR de la cascarilla de arroz 32

Tabla 5. Relación cascarilla de arroz/Engrudo. 33

Tabla 6. Análisis IR líquidos pirolíticos. 38

Tabla 7. Prueba de compresión 39

Tabla 8. Isoterma experimental 57

Tabla 9. Isoterma de Freundlich 57

Tabla 10. Isoterma de Langmuir 58

Tabla 11.Isoterma de B.E.T 58

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO	48
ANEXO B. ESTRUCTURAS MOLECULARES	49
ANEXO C. CLASIFICACIÓN DE LOS POROS SEGÚN SU TAMAÑO	50
ANEXO D. PRECURSORES	51
ANEXO E. CARBÓN ACTIVADO OBTENIDO	52
ANEXO F. PODER ADSORBENTE DEL CARBÓN ACTIVADO OBTENIDO	53
ANEXO G. LÍQUIDOS PIROLÍTICOS	54
ANEXO H. ENSAYO DE COMPRESIÓN CA	55
ANEXO I. CURVA DE CALIBRACIÓN AZUL DE METILENO	56
ANEXO J. DATOS CONSTRUCCIÓN DE ISOTERMAS	57
ANEXO I. FICHA DE SEGURIDAD AZUL DE METILENO	59

LISTA DE ABREVIATURAS

CA	Carbón activado.
AM	Azul de metileno.
IR	Espectroscopia de infrarrojo.
UV	Ultravioleta.
CAP	Carbón activado en polvo.
CAG	Carbón activado granular.

RESUMEN

TÍTULO: ACTIVACIÓN FÍSICA DE CASCARILLA DE ARROZ AGLOMERADA CON ENGRUDO DE ALMIDÓN DE YUCA PARA LA OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO *

AUTORES: ASTRID LILIANA CERÓN RODRÍGUEZ

YENI MILENA LEÓN CAMARGO **

PALABRAS CLAVE: Cascarilla de arroz, Pirólisis, Almidón de yuca, Carbón activado.

CONTENIDO

El crecimiento de la producción agrícola e industrial en el mundo trae como consecuencia el incremento de residuos, y hace cada vez más difícil, costoso y ambientalmente poco sustentable su tratamiento y destino final.

Ante esta problemática surge una alternativa económica y ecológica que permite darle una utilidad y un mayor valor agregado al subproducto principal de la industrialización del arroz, la cascarilla, obteniendo carbón a partir de un proceso de pirólisis o degradación térmica que alcanza una temperatura de 400°C y que posteriormente es sometido a un proceso de activación por medio de una reacción de gases oxidantes como el CO_2 y vapor de agua.

Debido a que la densidad y tamaño de la cascarilla dificultan su manipulación esta fue aglutinada con engrudo de almidón de yuca, un adherente adecuado para la aglomeración de fibras naturales en virtud de su bajo costo, fácil elaboración, almacenamiento y obtención a nivel nacional, además de contribuir con la conservación del medio ambiente.

Como productos se obtienen humo líquido, gas carbónico y carbón activo, siendo este último el derivado de interés del presente trabajo, el cual resulta apropiado para la decoloración de efluentes líquidos.

---

*Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicoquimicas. Escuela de Ingenieria Química. Director: José Carlos Gutiérrez Gallego. Químico M.Sc.

ABSTRACT

TITLE: PHYSICAL ACTIVATION OF RICE HUSKS AGGLOMERATED WITH STARCH YUCCA PASTE TO PRODUCE ACTIVATED CARBON.*

AUTHORS: ASTRID LILIANA CERÓN RODRÍGUEZ

YENI MILENA LEÓN CAMARGO**

KEYWORDS: Rice husks, Pyrolysate, Starch Yucca Paste, Activated Carbon.

The growth of agricultural and industrial production in the world results in increasing waste, making its treatment and final destination more difficult, expensive and in terms of environment, little sustainable.

Due to this situation, It is right to think and develop an economic and ecological alternative in order to give greater utility and value added to the main by-product of the rice marketing, the rice husk, obtaining carbon from a process of pyrolysis or thermal degradation, which reaches a temperature of 400ºC and subsequently undergoes its activation through an oxidizing gas reaction such as carbon dioxide and water vapor.

The density and size of the rice husk make difficult its manipulation, whence It was agglutinated with starch yucca paste, which is a suitable adherent for the agglomeration of natural fibers by virtue of its low cost, easy preparation, storage and obtainment nationwide, in addition of contributing to the environment conservation.

Finally as products of this process, liquid smoke, carbon dioxide and activated carbon were obtained, being the latter the derivative of interest of this work, characteristics that make it a suitable adsorbent for liquid effluent decoloration.

---

*Graduation Project

** Physical and Chemical Engineering Faculty. Chemical Engineering Department. Director: José Carlos Gutiérrez Gallego. Chemical M.Sc.

INTRODUCCIÓN

La cascarilla de arroz es un desecho agroindustrial que se produce en grandes cantidades, y su disposición representa uno de los mayores inconvenientes en los países productores de arroz, debido a su naturaleza abrasiva, bajo valor nutritivo y alto contenido de cenizas. Esto representa un problema de gran importancia, pues se estima que el 20% del producto del cultivo es cascarilla. A esto se suma el considerable crecimiento de la industria arrocera año tras año. Por ello, surge la necesidad de conversión de estos residuos en productos útiles y de mayor valor agregado.

Actualmente, la cascarilla se emplea como sustrato en cultivos hidropónicos, como cama en avicultura y transporte de ganado, en la elaboración de concretos de alta resistencia y su mayor aplicación, como fuente energética, sustituyendo una parte del combustible empleado en el proceso de secamiento para la obtención de arroz blanco, opción que trae un nuevo problema, la disposición final de la ceniza producida.

Teniendo en cuenta que la cascarilla posee un contenido considerable de carbono fijo y que el carbón activado es el adsorbente más usado en la decoloración de efluentes líquidos, este trabajo propone un procedimiento para derivar carbón activado a partir de cascarilla de arroz, aglomerada con engrudo de almidón de yuca, planteando así un método de aprovechamiento de este residuo, con una novedosa presentación adaptable a distintas aplicaciones industriales, entre ellas la adsorción en columnas.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. CARBÓN ACTIVADO

1.1.1. Generalidades. El carbón activado es carbón que se produce artificialmente de manera que exhiba un elevado grado de porosidad y una alta superficie interna. Estas características, junto con la naturaleza química de los átomos de carbono que lo conforman, le dan la propiedad de atraer y atrapar de manera preferencial ciertas moléculas del fluido que rodea al carbón [1].

Las variedades comerciales del carbón difieren ampliamente en sus características, dependiendo especialmente del método de preparación, de esta forma es posible encontrarlo en el mercado en una gran variedad de formas físicas tales como polvo, granular, fibra e incluso tela [1][2].

1.1.2. Estructura y Propiedades. Desde el punto de vista de la composición química, el CA es carbón prácticamente puro, igual que el diamante, el grafito, el negro de humo y los diversos carbones minerales o vegetales. En el CA los átomos de carbono casi siempre se encuentran combinados en forma de placas grafíticas. Estas placas son planas, están separadas y tienen distintas orientaciones, por lo que existen espacios entre ellas. Estos espacios se denominan poros y son los que brindan al CA su principal característica: una gran área superficial y, por lo tanto, una alta capacidad adsorbente [3].

El CA tiene una gran variedad de tamaños de poros, los cuales pueden clasificarse en poros de adsorción y poros de transporte. Los poros de adsorción consisten en espacios entre placas grafíticas con una separación de entre una y cinco veces el diámetro de la molécula a retener. Los poros mayores son los de transporte, en esta clase de poros, sólo una placa ejerce atracción sobre el adsorbato y lo hace con una fuerza insuficiente para retenerlo, estos poros actúan como caminos de difusión; tienen poca influencia en la capacidad del CA, pero afecta a la cinética o velocidad con la que se lleva a cabo la adsorción [3].

Según la IUPAC existen tres tipos de poros de acuerdo su tamaño: Macroporos, mesoporos y microporos (ver Anexo C. Fig. 10) [4].

1.1.3. Preparación. Los CA comerciales son fabricados a partir de materiales orgánicos que son ricos en carbono, especialmente carbón mineral, madera, huesos y cáscaras de frutas, turba, breas y coques. Sin embargo, cada materia prima brindará características y calidades distintas al producto. La elección del precursor es fundamentalmente una función de su disponibilidad, precio y pureza, pero el proceso de fabricación y la posible aplicación del producto final han de ser muy tenidos en cuenta. Los procesos de fabricación se pueden dividir en dos tipos: activación física y activación química. La porosidad de los carbones preparados mediante activación física, es el resultado de la gasificación del material carbonizado a temperaturas elevadas, mientras que la porosidad que se obtiene en activación química es generada por reacciones de deshidratación química, las cuales que tienen lugar a temperaturas mucho más bajas [3].

1.1.3.1. Activación física o térmica. Normalmente se lleva a cabo en dos etapas, la carbonización del precursor y la gasificación controlada del carbonizado:

- **Pirólisis**: durante esta etapa se lleva a cabo la carbonización del precursor, en la cual se eliminan elementos como hidrógeno y oxígeno para dar lugar a un esqueleto carbonoso con una estructura porosa rudimentaria.

  La pirólisis consiste en la descomposición fisicoquímica de la materia orgánica bajo la acción del calor y en ausencia de un medio oxidante.

Cuando la biomasa se somete a un proceso de pirólisis se obtienen como productos gases, líquidos y sólidos en diferentes proporciones, según el proceso empleado [6].

Existen diferentes tipos de pirólisis en función de las condiciones físicas en las que se realice. Así, factores como la velocidad de calentamiento, el tiempo de residencia, la presión, entre otras, tienen una influencia muy grande en la distribución de productos que se obtienen [7].

Durante la carbonización tiene lugar la reorganización de los átomos de carbono en estructuras microcristalinas tipo grafito. A medida que aumenta la temperatura, los compuestos primarios se polimerizan e independientemente de que el material original tenga cadenas alifáticas o aromáticas, se origina un sistema planar de moléculas tipo benceno condensadas, formándose así un sólido como resultado de las uniones C-C entre planos vecinos [8].

- **Gasificación:** durante la gasificación, el carbonizado se expone a una atmósfera oxidante que elimina los productos volátiles y átomos de carbono, aumentando el volumen de poros y la superficie específica [3].

1.1.3.2. Activación química. El precursor, normalmente madera, se impregna con un agente químico, preferentemente ácido fosfórico, y el material impregnado

se calienta en un horno a 500-700ºC. Los agentes químicos utilizados reducen la formación de material volátil y alquitranes, aumentando el rendimiento en carbono. El carbón resultante se lava profundamente para eliminar el ácido. En los últimos años, se han desarrollado nuevos métodos químicos de preparación de carbón activado de muy altas superficies específicas (más de 3000m^2/g), utilizando hidróxido potásico [3].

1.1.4. Aplicaciones. Sus aplicaciones en medio líquido abarcan la decoloración de licores de azúcar, potabilización de aguas (eliminación de olor, color, sustancias químicas, bacterias), tratamientos de aguas residuales, decloración de aguas para su uso en la fabricación de bebidas refrescantes, decoloración y mejora de bebidas alcohólicas (vinos, rones), purificación de grasas y aceites comestibles, purificación de proteínas, como medicamento en la desintoxicación de personas, purificación de plasma sanguíneo, entre otras.Por su parte, en medio gaseoso encuentra sus aplicaciones en el almacenamiento y separación de gases, en máscaras antigás, protección antirradiactiva en plantas nucleares, desodorizante de productos alimenticios; además, hoy tiene amplias perspectivas de aplicación como soporte catalítico y como catalizador [9],[13].

No hay un solo tipo de CA que resulte ser el mejor para todas las aplicaciones. El de base madera es muy macroporoso y es excelente para remoción de color (moléculas grandes), pero usualmente se aplica CAP, ya que el CAG a base madera es demasiado suave para resistir en una operación de columna [9].

1.2. ADSORCIÓN

La adsorción es un proceso mediante el cual se extrae materia de una fase y se concentra sobre la superficie de otra fase (generalmente sólida). Por ello, se

considera como un fenómeno subsuperficial. La sustancia que se concentra en la superficie o se adsorbe se llama “adsorbato” y la fase adsorbente se llama “adsorbente” [13].

- **Equilibrio de adsorción e isotermas de adsorción**

  La gráfica que representa el componente adsorbido, C_s, en función de la concentración de la disolución, C_m, es la isoterma de adsorción, cuya expresión general es [10] [11]:

  $$C_s = K_d \cdot C_m$$

  Donde K_d se llama constante de adsorción, coeficiente de distribución o coeficiente de partición.

  Cuando la isoterma no es lineal, hay otras aproximaciones para describir la distribución entre el sólido y la disolución. Las más utilizadas son las aproximaciónes de Freundlich y de Langmuir [10].

1.3. CASCARILLA DE ARROZ

La cascarilla de arroz es una fibra corta que recubre naturalmente el grano para protegerlo del ambiente. Su longitud varía entre 5 y 11 mm (según la especie considerada), es de estructura ondulada y apariencia superficial irregular. Su estructura presenta un volumen poroso del 54%, cavidades que permanecerán cerradas en tanto no se someta a un proceso de combustión; su coeficiente de conductividad térmica permite presumir su utilidad como componente principal de sistemas de aislamiento térmico. Presenta un comportamiento ignífugo, es decir, que no inicia fácilmente la combustión y no produce llama mientras se quema. Es probable que este aspecto, así como su alta estabilidad bioquímica, se deba a que

es la fibra vegetal con mayor contenido de minerales, así como también a su alta concentración de silicio (90 al 97% SiO) [12], [15].

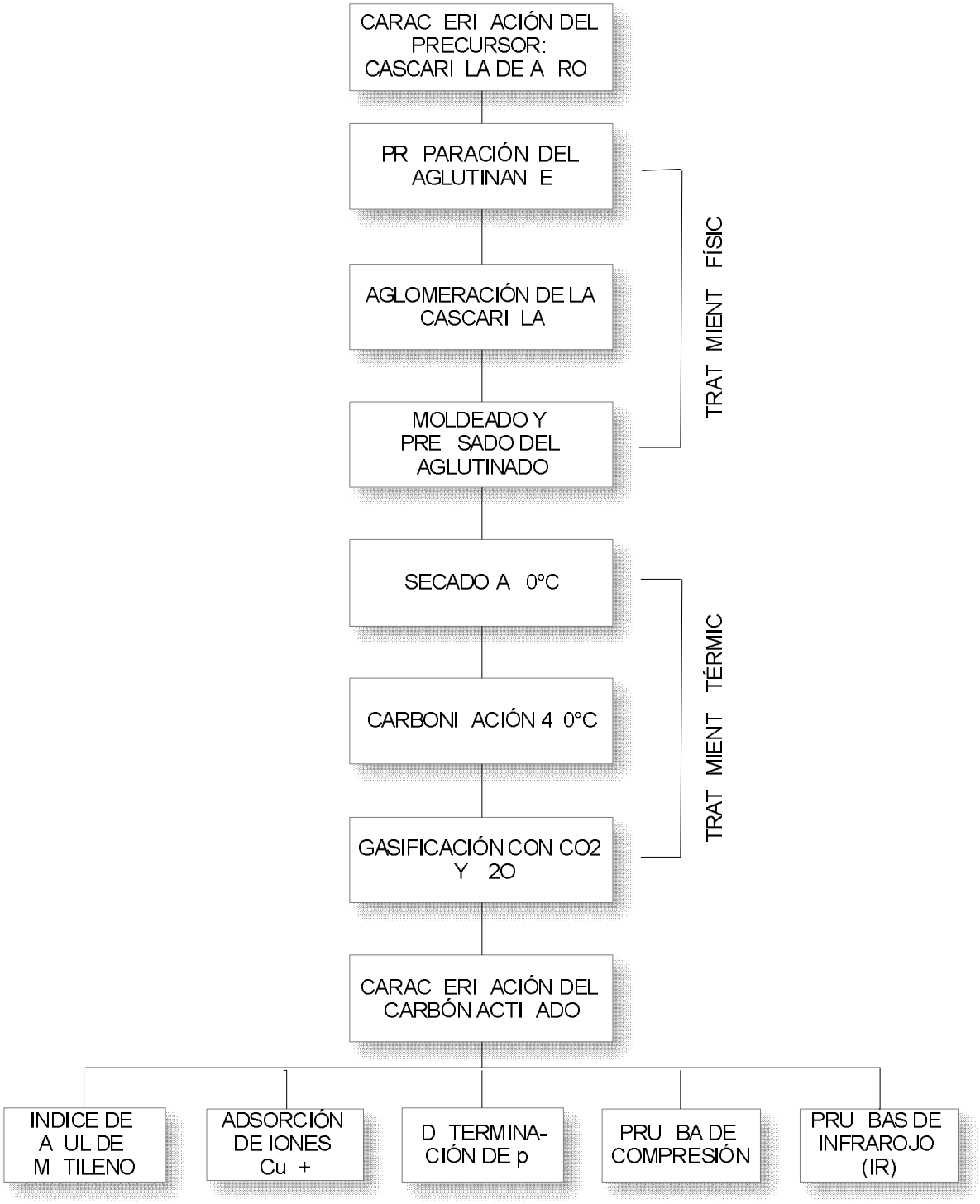
La industria arrocera colombiana produce 400,000 toneladas de cascarilla de arroz al año, de las cuales, cerca de un 15% es aprovechado como combustible y otro tanto como elemento para esparcir en establos, lo que significa que una gran proporción de esta fibra es incinerada infructuosamente o arrojada a cursos de agua, lo cual repercute negativamente en el ecosistema, dadas las exigentes condiciones que requiere su combustión completa y su elevada resistencia al ataque biótico, respectivamente [13].

1.4. ALMIDÓN DE YUCA

El almidón de yuca es un polvo blanco fino, insoluble en agua fría y en solventes orgánico. Por la acción del agua fría aumenta de volumen y con el agua caliente a 75ºC da una suspensión, que por enfriamiento y en concentraciones adecuadas produce engrudo, el cual es un adherente natural de fácil fabricación y obtención a nivel nacional y que además, no representa el impacto negativo para el ecosistema propio que generan aglutinantes químicos utilizados comúnmente en la producción de aglomerados de partículas [13].

El almidón está formado por una mezcla de dos compuestos, amilosa y amilopectina, que sólo difieren en su estructura. La influencia de la amilopectina es importante, ya que cuanto mayor es su contenido, el producto resulta mas adhesivo, característica que se aprovecha extensamente como agente espesante, estabilizante y adhesivo tanto en la industria alimentaria como en otras industrias [14].

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL



2.1. TRATAMIENTO FÍSICO

El engrudo fue preparado con las siguientes proporciones:

Tabla 1. Proporciones almidón de yuca/agua para la preparación del engrudo.

COMPONENTE	% p/p
Almidón de Yuca	20
Agua	80

Posteriormente se aglutinó la cascarilla con el engrudo de almidón de yuca, para luego someterla a una presión de 195.135 Kpa en una prensa hidráulica *Carver,* empleando un molde cilíndrico de acero inoxidable y obtener así troqueles compactos.

2.2. TRATAMIENTO TÉRMICO Y ACTIVACIÓN FÍSICA.

Una vez obtenidos los troqueles, se introducjeron en la estufa a 90°C con el fin de eliminar la mayor cantidad de humedad posible.

A continuación se llevó a cabo el proceso de carbonización de éstos, dentro de un reactor tubular de acero carbono de 20cm de longitud y 4cm de diámetro, con calentamiento externo (mufla), a una velocidad de aprox. 3°C/min, hasta alcanzar una temperatura de 400°C, para eliminar la humedad retenida y los compuestos volátiles. Los gases, vapores y líquidos fueron recogidos por uno de los extremos del reactor.

Cuando se alcanzó la temperatura de 400°C, se hizo circular por el reactor los

gases oxidantes: vapor de agua sobrecalentado a una temperatura de 200°C y CO_2.

Reacciones químicas presentes en el proceso:

$$C + H_2O \rightarrow CO + H_2$$

$$2CO + 2H_2 \rightarrow CH_4 + CO_2$$

$$C + 2H_2 \rightarrow CH_4$$

$$C + 2H_2O \rightarrow CO_2 + 2H_2$$

Para optimizar el proceso, se realizaron diferentes ensayos en los cuales se variaron los tiempos de flujo de vapor de agua y CO_2.

Tabla 2. Variación de los gases oxidantes durante la gasificación.

CARBÓN	TIEMPO FLUJO VAPOR DE AGUA (min)	TIEMPO FLUJO DE CO_2 (min)	PESO FINAL CA (g)
7	0	0	4,7632
6	20	0	3,8142
5	5	5	3,9930
4	10	10	3,7590
3	15	10	3,8286
2	10	5	3,4595
1	20	60	3,0291

2.3. CARACTERIZACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO

2.3.1. Índice de Azul de Metileno. A partir de una solución patrón de AM se tomaron alícuotas para preparar 5 soluciones de azul de metileno de concentraciones conocidas, con el objetivo de realizar la curva de calibración, con ayuda del equipo UV-VISIBLE SHIMADZU de la escuela de química, trabajando a una longitud de onda de 664 nanómetros (λ=664nm). Seguidamente, se

introdujeron carbones de iguales características en 5 soluciones diferentes de AM, y al cabo de 24 horas se tomaron pequeños volúmenes de las soluciones decoloradas para medir la absorbancia, determinar la concentración final de AM y así, comprobar la capacidad adsortiva del CA obtenido.

La expresión representativa del poder adsorbente es *mg de azul de metileno adsorbido por gramo de carbón* indicado en la siguiente ecuación:

$$actividad = \frac{mgA.M}{gC} = \frac{(C_1 - C_2) * V}{P}$$

C1: Concentración inicial de la solución de azul de Metileno.

C2: Concentración final de la solución de azul de Metileno.

V: volumen de la solución.

P: peso del carbón empleado.

2.3.2. Adsorción de iones Cu^{++}. Se tomaron 5 soluciones de sulfato de cobre de concentración conocida para realizar la curva de calibración, midiendo la absorbancia de cada una de ellas con el equipo UV-VIS SHIMADZU de la escuela de química, trabajando a una longitud de onda de 804 nanómetros (λ=804nm). Posteriormente, se introdujeron carbones activados en cada una de las soluciones para medir la absorbancia trascurridas 24 horas y así, conocer la concentración final de iones en la solución.

2.3.3. Resistencia Mecánica. Esta prueba se realizó en el Centro de Caracterización de Materiales, Edificio Álvaro Beltrán Pinzón de la Universidad Industrial de Santander, con el fin de determinar la resistencia a la compresión del CA. Este ensayo se llevó a cabo en la Máquina Universal de Ensayos *MTS 810 Material Test System*.

2.3.4. Determinación de pH. Para esta prueba se tomó un volumen de agua destilada y se midió su pH. A continuación, se introdujo un troquel de CA en el agua y pasadas 24 horas se midió nuevamente el pH, para conocer el carácter ácido o básico del CA. Este procedimiento se llevó a cabo con el medidor de pH.

2.3.5. Pruebas de Infrarrojo (IR). Esta prueba se realizó con el equipo *Bruker* modelo *tensor 27 FT-IR*, a una muestra de cascarilla de arroz y a los líquidos provenientes de la pirólisis.

La espectroscopia de infrarrojo es la medición de longitud de onda e intensidad de absorción de luz infrarroja cercana; esta luz tiene energía suficiente para excitar sobretonos y combinaciones de vibraciones moleculares a altos niveles de energía. La espectroscopia es usada para la medición cuantitativa de grupos funcionales orgánicos, especialmente O-H, N-H y C=O.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se presentan los resultados de los diferentes procedimientos experimentales que permitieron encontrar las condiciones óptimas para la obtención de un carbón activado con buena capacidad adsorbente. Inicialmente, se manipula la relación cascarilla/engrudo de la mezcla, a fin de garantizar la consistencia necesaria de los troqueles, los cuales son pirolizados posteriormente con diferentes combinaciones de temperatura, flujo de vapor y CO_2, para llegar alcanzar el carbón activado de mejores propiedades adsorbentes.

3.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CASCARILLA DE ARROZ

Tabla 3. Composición química de la cascarilla de arroz.

Componente	**%**
Carbono	39,1
Hidrógeno	5,2
Nitrógeno	0,25
Oxígeno	37,2
Azufre	0,43
Cenizas	17,8
Humedad (H_2O)	8,9

A partir de los datos obtenidos, es posible establecer que la cascarilla de arroz es un material lignocelulósico con una cantidad de carbón fijo, lo cual lo hace indicado como precursor de carbón activado mediante la modificación de su

estructura porosa.

También se puede observar el alto contenido de cenizas que posee la cascarilla, las cuales modifican el pH del CA obtenido.

Análisis Espectro IR de la cascarilla de arroz

Tabla 4. Análisis IR de la cascarilla de arroz.

Desplazamientos (cm^{-1})	**Análisis ir de la cascarilla de arroz**
3423,30	Vibración tensión del OH, perteneciente al grupo SiOH, no de H_2O
2923,92	CH_2
1640,90	C=C
1079,25	Si-O
821,75	Flexión OH del grupo SiOH

En el análisis IR de la cascarilla de arroz se evidencia el contenido de sílice en su estructura, reflejada en las bandas de los grupos SiOH y Si-O.

3.2. RELACIÓN CASCARILLA DE ARROZ / ENGRUDO DE ALMIDÓN DE YUCA

Se hicieron diferentes probetas, variando las cantidades de engrudo, cascarilla y presión aplicada para encontrar el troquel de mayor consistencia y fácil

manipulación.

Tabla 5. Relación Cascarilla de arroz / Engrudo

Probeta	Cascarilla de arroz (g)	Engrudo de almidón de Yuca (g)	Presión aplicada (Kpa)	Observación
1	15	55	195.535	Exceso de engrudo.
2	15	40	195.535	Exceso de cascarilla. Troquel quebradizo.
3	7	25	195.535	Quebradizo.
4	5	45	195.535	Exceso de engrudo.
5	7	45	195.535	Consistente.
6	7	40	195.535	Consistente.
7	7	40	488.976	Pérdida de engrudo con el aumento de la presión.
8	7	40	293.371	Consistente.

La probeta número 6, con 15% de cascarilla, 85% de engrudo y 195.535 Kpa de presión aplicada, presentó la mayor consistencia y menor cantidad de engrudo sobrante, características por las cuales fue seleccionada para su posterior tratamiento térmico (Ver Anexo D. Fig. 11).

Ya que el engrudo preparado se hizo a partir almidón de tipo dulce, este presentó una buena adherencia debido a que la amilopectina es el componente dominante en este tipo de almidones.

3.3. ACTIVACIÓN TÉRMICA UTILIZANDO COMO GASES ACTIVANTES CO_2 Y VAPOR DE AGUA

Como se muestra en la tabla 2, se realizaron diferentes ensayos de activación en los cuales se variaron los flujos de CO_2 y vapor de agua, donde se advierte que

con la omisión de alguno o ambos gases activantes, la capacidad adsortiva es menor en comparación con los ensayos en los que se utilizó una combinación de los gases mencionados. Esto se debe a que en la etapa de carbonización se eliminan: agua, compuestos volátiles y materiales no carbonáceos, y el carbono restante cristaliza con formaciones irregulares cuyos intersticios dan como resultado un carbón con una baja capacidad de adsorción.

Empleando el índice de AM para los distintos carbones obtenidos (con diferentes combinaciones de flujo de gases oxidantes), se determinó la adsortividad de cada uno con respecto a una solución de AM de igual concentración, como se muestra en la figura 1.

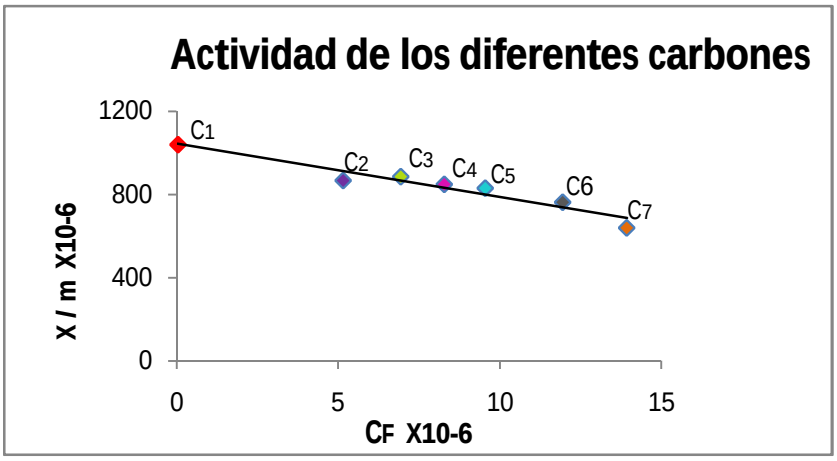


Figura 1. Actividad de los diferentes carbones.

De acuerdo con la gráfica el carbón C1 fue el que presentó una mayor capacidad adsorbente, por tanto se fijaron las condiciones de obtención de éste, como las condiciones seleccionadas para el proceso.

Tiempo de activación con vapor de agua: 20 min.

Tiempo de activación con CO_2: 60 min.

Con el paso del vapor de agua se aumenta la estructura porosa del carbonizado y

se extrae gran cantidad de materia volátil, además de otros compuestos que por su naturaleza polar son removidos. Debido a que la molécula de CO_2 posee un menor tamaño, ésta puede pasar por cavidades donde la molécula de agua no cabe, creando poros más pequeños y aumentando así su capacidad adsortiva.

3.4. ACTIVIDAD DEL CARBÓN C1 RESPECTO AL AZUL DE METILENO

Con los valores de absorbancia medidos de las 5 soluciones de AM que contenían CA (C1), se construyó la isoterma de adsorción para observar su comportamiento.

Las condiciones de trabajo fueron: Temperatura: 29°C, Presión: 1 atmosfera

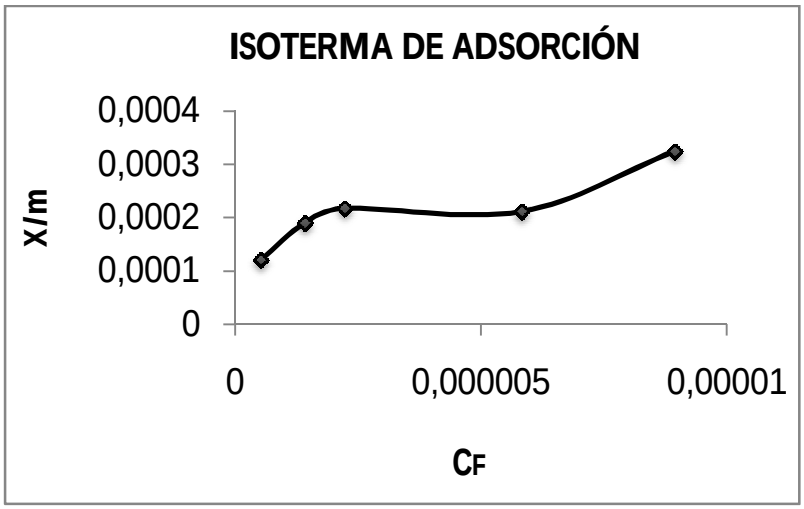


Figura 2. Isoterma de Adsorción (experimental).

Se puede observar que el proceso de activación fué efectivo, ya que el carbón (C1) presentó una actividad alta removiendo casi en su totalidad las moléculas de AM de la solución (Ver Anexo F. Fig 15,16), lo cual permitió evaluar la existencia de mesoporos y macroporos del CA, debido al gran tamaño de la molecula de AM, la cual no penetra a través de carbones de diametro medio inferior a 1.5nm.

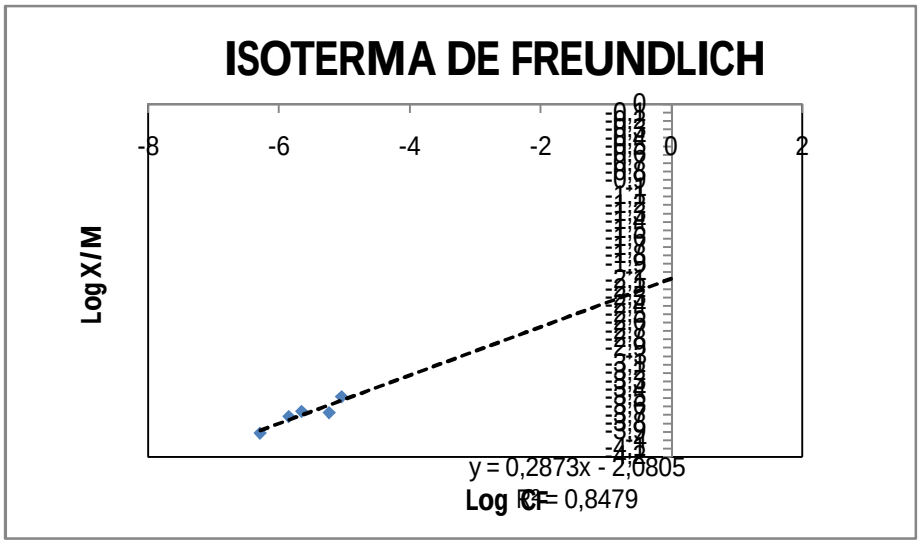


Figura 3. Isoterma de adsorción de Freundlich.

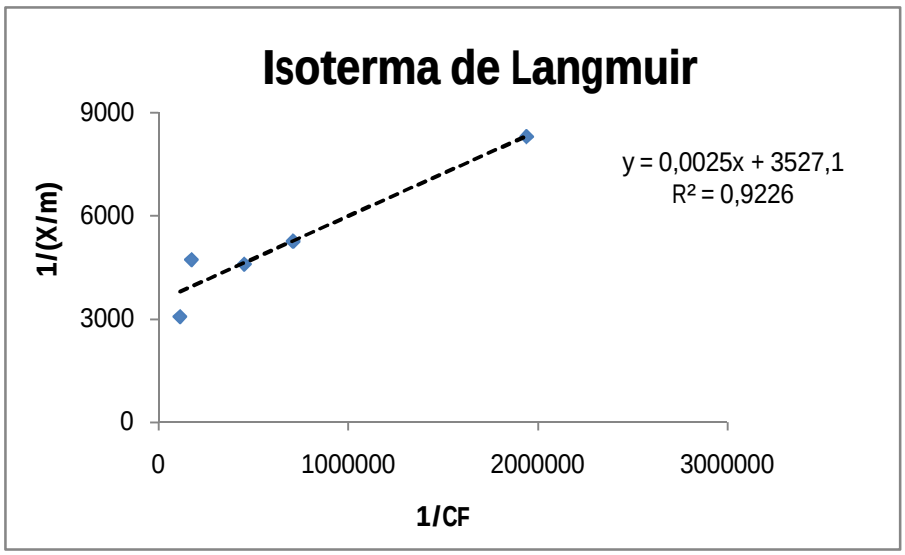


Figura 4. Isoterma de Langmuir.

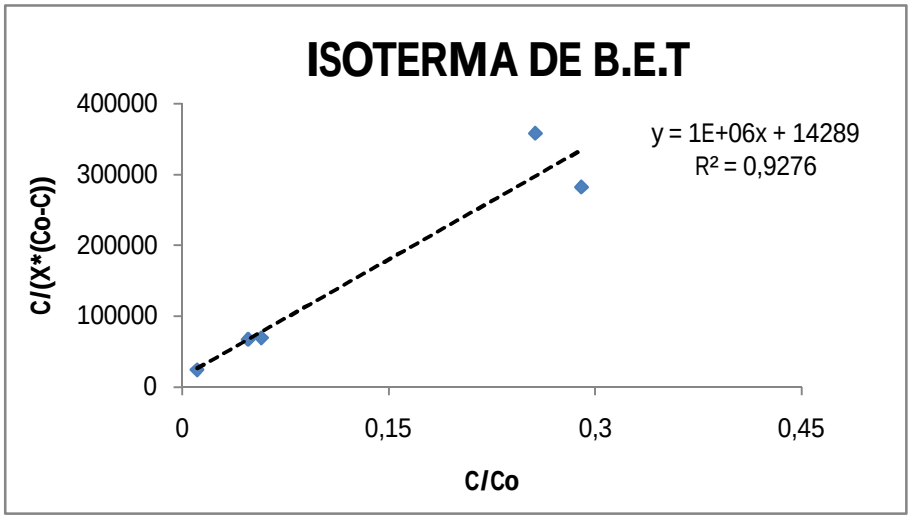


Figura 5. Isoterma de B.E.T.

Los datos experimentales obtenidos de la capacidad de adsorción del carbón activado repecto al azul de metileno, no se ajustan a los modelos matematicos de Freundlich, Langmuir y B.E.T, probablemente por el manejo de concentraciones bajas y a su tamaño y presentación (aglomerada y no en polvo). Esto solo indica que el carbón presenta un comportamiento diferente al de otros carbones (comerciales) que si se ajustan a estos modelos, lo cual no significa que la capacidad de adsorción del carbón obtenido sea baja.

3.5. pH DEL CARBÓN ACTIVADO

Se realizó la prueba de pH y se determinó que el CA experimental es de carácter básico, a causa de las cenizas dentro de la estructura del carbón, provenientes del precursor (cascarilla de arroz). Es también por esta razón, que se presenta cierta afinidad y atracción entre el CA y la molécula de azul de metileno, siendo esta última de comportamiento ácido.

3.6. ADSORCIÓN DE IONES Cu^{++}

Se realizó un procedimiento similar al que se llevó a cabo con el AM, observándose que en este caso, con las soluciones de sulfato de cobre no hubo ningún cambio significativo en los valores de absorbancia medidos, ya que el sulfato de cobre precipita en medio básico, formando una capa alrededor del carbón e impidiendo que los iones se adhieran a los poros del CA.

$$CuSO_4 \rightarrow Cu^{++} + SO_4^{=}$$
$$Cu^{++} + 2H_2O \rightleftharpoons Cu(OH)_2 + 2H^+$$
$$Cu^{++} + 2OH^- \rightarrow Cu(OH)_2 \downarrow$$

3.7. ANÁLISIS DE INFRARROJO

- Líquidos pirolíticos: se realizó la espectroscopia infrarroja a los líquidos producto de la activación térmica con el equipo *Bruker* modelo *Tensor 27 ft-ir* del laboratorio de instrumentación de la escuela de química, la cual permitió conocer los grupos funcionales presentes en dicha muestra.

Tabla 6. Análisis IR Líquidos Pirolíticos

Desplazamientos (cm^{-1})	**Grupo funcional**
3378,21	O-H
2920,34	N-H

2851,79	CH_2
1714,94	C=O
1513,93	C-C
1218,64	C-O
474,72	C-X (X=F, CL, Br, I)

3.8. PRUEBA DE COMPRESIÓN

En esta prueba se observó que el carbón posee buena resistencia a la compresión, lo cual ratifica que es apto para su aplicación en columnas permitiendo el apilamiento de gran cantidad de troqueles sin que éstos presenten fractura, evitando la obstrucción de las tuberías.

Tabla 7. Prueba de Compresión

Fuerza (N)	**Desplazamiento (mm)**
40	8.8

3.9. VIABILIDAD ECONOMICA

En Colombia la demanda de carbón activado en los últimos años ha sido del orden de 900 – 1300 ton/año, la cual es prácticamente abastecida en su totalidad mediante importaciones. Los precios del material importado se encuentran entre

$6.500 y $7.500 por kilogramo y los del nacional entre $4.000 y $5.000, dando lugar a la posible incursión de un carbón activado fabricado a partir de cascarilla de arroz aglomerada con engrudo de almidón de yuca.

Además, si se considera que la cantidad de materia prima no es una limitante sino más bien un problema debido a su exceso, y que actualmente estos residuos no tienen un valor aparente, mientras su desecho sí, entonces existe una oportunidad económica bastante interesante para dar mayor valor agregado al subproducto principal de la industrialización del arroz. De otra parte, al darle valor a este desecho, se evitaría que su disposición se hiciera de manera inadecuada, acarreando graves problemas para el ambiente.

Al poder fabricarlo a bajo costo, sería posible ponerlo a un menor precio en el mercado; esto permitiría su uso a aquellas empresas contaminantes, por ejemplo, tintorerías, que no pueden acceder al producto por razones económicas, con el consecuente beneficio para el ambiente.

3.10. IMPACTO AMBIENTAL

Los colores que se manifiestan en líquidos suelen ser moléculas de tamaño relativamente grande. Por lo tanto, se adsorben en poros grandes, lo que hace que los carbones más adecuados para retenerlos sean los de mayor macroporosidad como los obtenidos a partir de cascarilla de arroz y madera, particularmente los de maderas no muy duras (como pino). Considerando algunos aspectos e impactos ambientales de dichos precursores, se debe considerar que el empleo de la madera como materia prima para la obtención de carbón activado, ocasiona un desequilibrio en nuestro ecosistema, ya que su producción lleva consigo la deforestación y a partir de ésta se genera un sin número de problemas medioambientales entre los cuales se encuentran la erosión, la agudización de las

sequias, Inundaciones, pérdida de la biodiversidad y la desertificación entre otros. Por esto resultaría inapropiado emplear uno de nuestros más valiosos recursos naturales (madera) como materia prima en procesos térmicos para la obtención de carbón activado.

La cascarilla de arroz genera un impacto ambiental positivo en este proceso, ya que por ser un desecho agroindustrial, su uso como materia prima en la producción de CA no representa ninguna amenaza para nuestro ecosistema.

El producto de interés del presente estudio (carbón activado) es un excelente material que además de ser biodegradable, es un magnífico adsorbente de sustancias coloreadas.

La pirolisis permite hacer un aprovechamiento pleno de los subproductos. Los efluentes provenientes de este proceso (Líquidos pirolíticos), son fuente de ciertas sustancias orgánicas como ácidos, alcoholes, cetonas y fenoles, los cuales hoy en día son producidos en su mayor parte por la vía petroquímica. Así mismo en el producto gaseoso se obtienen compuestos principalmente de CO, CO_2, CH_4, C_2H_6 y pequeñas cantidades de hidrocarburos ligeros, que por ser gases de calor específico de combustión bajo, pueden ser empleados en motores de combustión interna.

4. CONCLUSIONES

- El carbón activado obtenido a partir de cascarilla de arroz y almidón de yuca, ofrece una alternativa para transformar los abundantes residuos de la industria arrocera en un producto de mayor valor agregado, teniendo en cuenta la alta demanda de carbón y el bajo costo de la materia prima.

- Los parámetros del proceso de obtención (tiempo de activación y temperatura) determinan las características finales del carbón, por lo que es necesario realizar una serie de pruebas con distintas condiciones para, de manera experimental, lograr un producto final con las propiedades deseadas.

- El carbón activado resultante presentó un buen desempeño en la adsorción de azul de metileno, por lo cual es apto para la remoción de colorantes en el tratamiento de efluentes líquidos; su forma aglomerada lo hace ideal para procesos que requieren operar de forma continua, pues, a diferencia del polvo, se evita la acumulación de carbón en las tuberías.

- Debido al alto contenido de cenizas del precursor, el carbón activado presentó un carácter significativamente básico, por lo que sus aplicaciones en el tratamiento de efluentes líquidos estarán limitadas en la medida en que el pH del adsorbato sea una variable determinante en el proceso.

RECOMENDACIONES

- Se sugiere un análisis más detallado a los líquidos provenientes de la pirolisis, esperando encontrar sustancias con alguna aplicación industrial, y así derivar otro producto de interés del proceso de carbonización de la cascarilla de arroz.

- Seguir el procedimiento descrito utilizando otro aglomerante económico, biodegradable y de fácil consecución como la melaza de caña, para analizar los posibles efectos en las propiedades adsorbentes del carbón activado resultante.

- Se recomienda evaluar el desempeño del carbón activado para la adsorción de gases y/o sustancias disueltas, mediante el diseño de un lecho a escala laboratorio y operando en forma continua, siendo ésta una de las posibles aplicaciones del producto obtenido en el presente estudio.

BIBLIOGRAFÍA

1. NAVARRETE, L. GIRALDO, L. BAQUERO, M. MORENO, J. Carbón activado: efecto del lavado con ácido sulfúrico del precursor lignocelulósico, cuesco de palma africana, sobre los procesos de carbonización y activación. Departamento de Química. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

2. ¿Qué es el carbón activado? CARBOTECNIA S.A. Zapopan, México, 2009. [en línea] www.carbotecnia.info/carbonactivado 1 [Citado 20 de Noviembre 2009]

3. RODRIGUEZ, F. Carbón Activado: Estructura, preparación y aplicaciones. Universidad de Alicante. Departamento de Química Inorgánica. España.

4. GARCIA, R. Caracterización textural de adsorbentes. Universidad de Concepción, Departamento de Físico-Química, Facultad de de Ciencias Químicas. Concepción, Chile

5. MENÉNDEZ, A. Residuos para la para la producción de carbones activos y otros materiales de interés tecnológico. Universidad de Oviedo. Facultad de Geología. 2008.

6. LESME, R. Pirólisis de biomasa experiencias y aplicaciones. CEEFE [en línea] http://www.cengican.org/Portal/SubOtrasAreas/Cogeneracion/Presentaciones/ PirolisisBiomasa.pdf [Citado 10 de diciembre de 2009]

7. PROCESOS TERMOQUÍMICOS, Centro Politécnico Superior. Universidad de Zaragoza, España [en línea] http://www.cps.unizar.es /~proter/Gasificaci% F3n. htm [Citado 5 de Noviembre de 2009]

8. MÁRQUEZ, F. Transformación térmica de la Madera. Universidad de Pinar del Río(UPR), Cuba. [en línea] http://www.monografias.com/trabajos15/transformacionmadera/transformacion-madera.shtml [Citado 15 de Enero de 2010]

9. MÁRQUEZ, F. El carbón activado. Obtención y caracterización. Universidad de Pinar (UPR), Cuba. [en línea] http://www.monografias.com/trabajos45/carbonactivado/carbon-activado.shtml [Citado 15 de Enero de 2010]

10. McCABE, W. SMITH, J. HARRIOT, P. Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. Ed. Mc Graw Hill, 4ª edición. Pág. 797-820.

11. SILVA, Ó. Isotermas de sorción y modelos cinéticos aplicados al estudio de la recuperación del oro con carbón activado. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.

12. VARÓN, J. Caracterización térmica y estequiométrica de la combustión de la cascarilla de arroz. Corporación Universitaria de Ibagué, Mayo 2004.

13. CADENA, C. BULA, A. Estudio de la variación en la conductividad de la cascarilla de arroz aglomerada con fibras vegetales. Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad del Norte, 2002.

14. COBANA, M. ANTEZANA, R. Proceso de extracción de almidón de yuca por vía seca. Centro de Alimentos y Productos Naturales, Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad Mayor de San Simón. Bolivia.

15. AHUMADA, L.M. RODRÍGUEZ, J. E. Uso del SiO_2 obtenido de la cascarilla de arroz en la síntesis de silicatos de calcio. Rev. Academia Colombiana de Ciencias. 30 (117): 581-594, 2006. ISSN 0370-3908.

16. URIBE, T. ROJAS, N. MORENO, J. Lodos industriales: basura utilizable. Universidad de los Andes, Colombia.

17. ELIAS, X. Reciclaje de residuos industriales. 2da ed. Díaz de Santos, 2007.

18. YALC, N. SEVINC, V. Studies of the surface area and porosity of activated carbons prepared from rice husks. Sakarya University, Arts and Sciences Faculty, Chemistry Department, Serdivan, Sakarya, 54180, Turkey. January 2000.

19. KALDERIS, D. BETHANIS, S. Production of activated carbon from bagasse and rice huskby a single-stage chemical activation method at low retention times. Department of Environmental Engineering, Technical University of Crete, 73 100 Chania, Greece. March 2008.

20. Productos Químicos Monterrey, S.A. de C.V. [en línea] http://antiguo.itson.mx/ laboratorios/AZUL%20DE%20METILENO.pdf [Citado 20 de abril de 2010]

ANEXOS

ANEXO A: ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO

Figura 6. Espectro IR de la cascarilla de arroz.

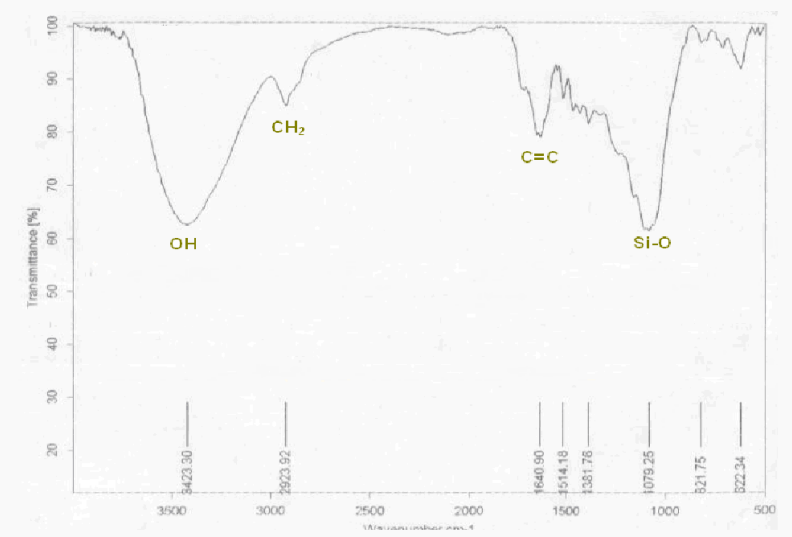
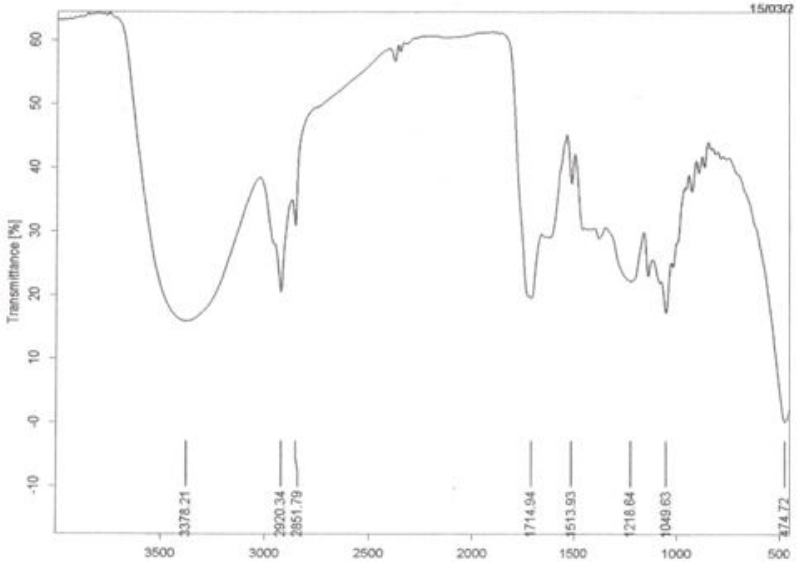
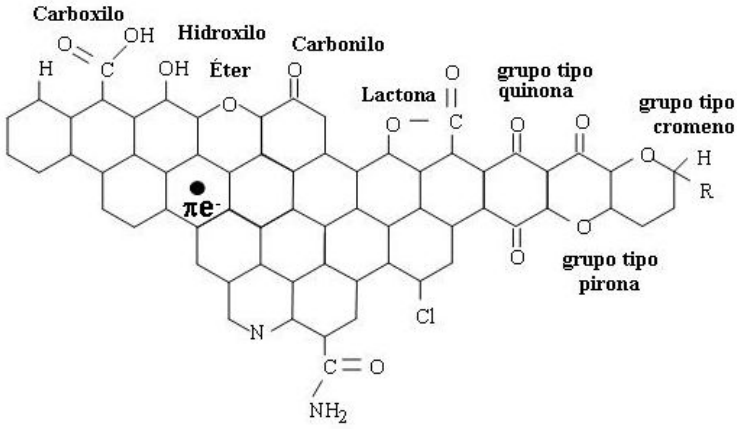


Figura 7. Espectro IR Líquidos pirolíticos.



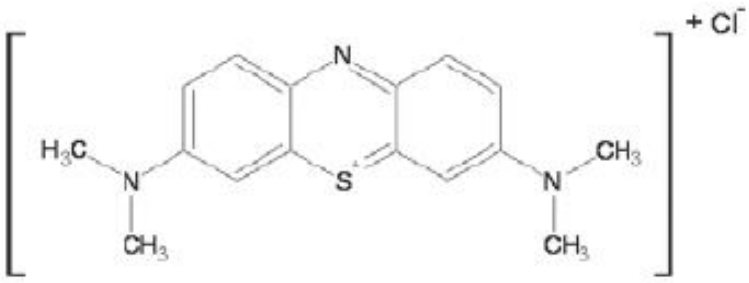
ANEXO B. ESTRUCTURAS MOLECULARES

Figura 8. Principales grupos superficiales que pueden encontrarse un carbón.



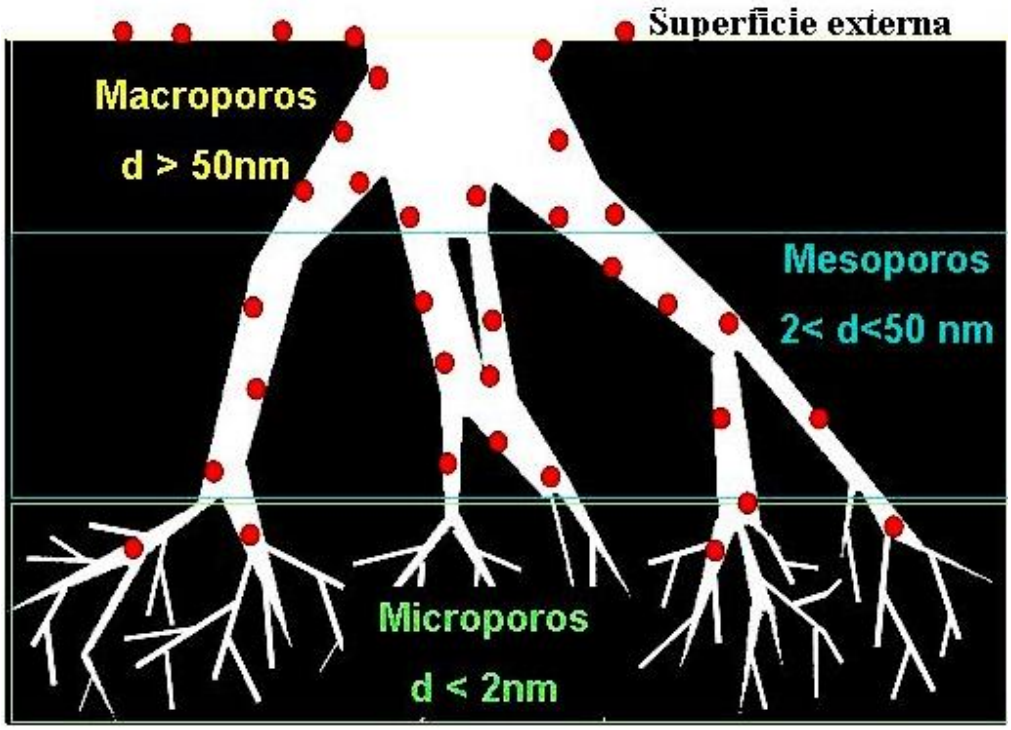
La mayoría de estos grupos son grupos oxigenados, debido a la tendencia de los carbones a oxidarse incluso a temperatura ambiente. Los electrones deslocalizados de los orbitales juegan un papel muy importante en la química superficial de los carbones [5].

Figura 9. Estructura del Azul de Metileno.



ANEXO C. CLASIFICACIÓN DE LOS POROS SEGÚN SU TAMAÑO

Figura 10. Representación esquemática del sistema poroso de un carbón y clasificación de los poros según su tamaño.



ANEXO D. PRECURSORES

Figura 11. Engrudo de almidón de yuca, Cascarilla y aglomerado.

Fuente: Los autores

Figura 12. Vista del Aglomerado con el Estereoscopio Nikon smz 645 ni -150 high intensity iluminator con fuente de luz polarizada.

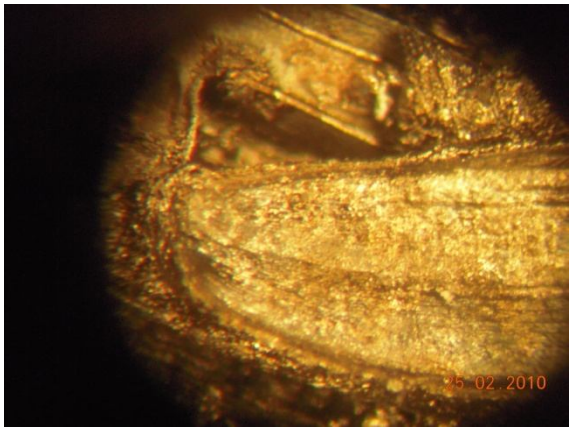
Fuente: Los autores

ANEXO E. CARBÓN ACTIVADO OBTENIDO

Figura 13. Carbón Activado.

Fuente: Los autores

Figura 14. Vista del Carbón Activado con el Estereoscopio Nikon smz 645 ni -150 high intensity iluminator con fuente de luz polarizada.



ANEXO F. PODER ADSORBENTE DEL CARBÓN ACTIVADO OBTENIDO

Figura 15. Soluciones Patrones de Azul de Metileno.

Fuente: Los autores

Figura 16. Adsorción con Azul de Metileno.

Fuente: Los autores

ANEXO G. LÍQUIDOS PIROLÍTICOS

Figura 17. Líquidos pirolíticos.

Fuente: Los autores

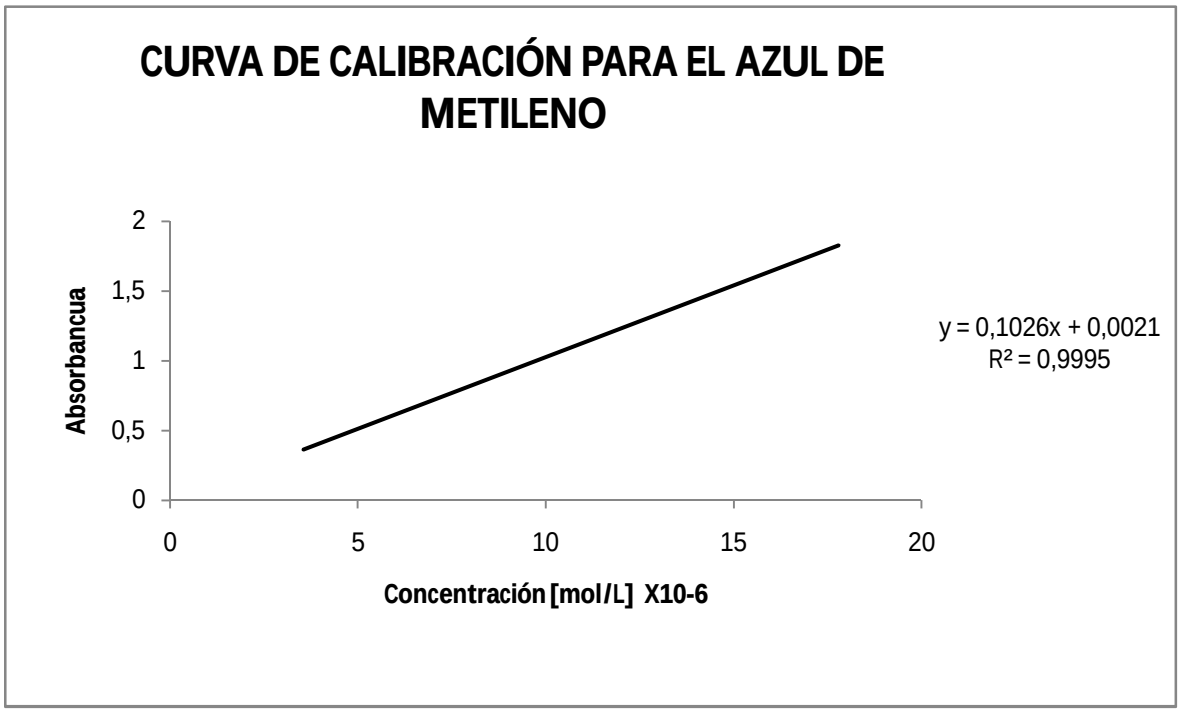
ANEXO H. ENSAYO DE COMPRESIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO

Figura 18. Ensayo de compresión.

Fuente: Los autores

ANEXO I. CURVA DE CALIBRACIÓN AZUL DE METILENO

Figura 19. Curva de calibración azul de metileno.



ANEXO J. DATOS CONSTRUCCIÓN DE ISOTERMAS

Tabla 8. Isoterma experimental

Peso CA [g]	Concentración inic. [mol/L]	Concentración final. [mol/L]	x=(Ci-Cf)*M*V	x/m
3,245	3,56E-06	5,15E-07	0,000452027	0,0001393
3,0407	5,91E-06	1,41E-06	0,000722368	0,000237566
3,5902	8,30E-06	2,22E-06	0,001004353	0,000279749
3,6678	1,19E-05	5,82E-06	0,001132071	0,000308651
3,4993	1,78E-05	8,94E-06	0,001621753	0,000463451

Ci= concentración inicial de AM x/m= actividad del CA V= volumen de la solución

Cf= concentración final de AM M= peso molecular AM m= peso CA

Tabla 9. Isoterma de Freundlich

Peso CA [g]	Concentración inic. [mol/L]	Concentración final. [mol/L]	x=(Ci-Cf)*M*V	x/m	Log(x/m)	Log Cf
3,245	3,56E-06	5,15E-07	0,000452027	0,0001393	-3,85605035	-7,42016317
3,0407	5,91E-06	1,41E-06	0,000722368	0,000237566	-3,62421492	-6,55032994
3,5902	8,30E-06	2,22E-06	0,001004353	0,000279749	-3,55323208	-6,32191892
3,6678	1,19E-05	5,82E-06	0,001132071	0,000308651	-3,51053186	-5,5172124
3,4993	1,78E-05	8,94E-06	0,001621753	0,000463451	-3,33399655	-5,28785421

Tabla 10. Isoterma de Langmuir

Peso CA [g]	Concentración inic. [mol/L]	Concentración final. [mol/L]	x=(Ci-Cf)*M*V	x/m	1/Cf	1/(x/m)
3,245	3,56E-06	5,15E-07	0,00045203	0,0001393	1939848,77	8304,69596
3,0407	5,91E-06	1,41E-06	0,00072237	0,00023757	708198,758	5267,22338
3,5902	8,30E-06	2,22E-06	0,00100435	0,00027975	450276,437	4600,00097
3,6678	1,19E-05	5,82E-06	0,00113207	0,00030865	171630,707	4736,50619
3,4993	1,78E-05	8,94E-06	0,00162175	0,00046345	111796,492	3082,47208

Tabla 11. Isoterma de B.E.T

Peso CA [g]	Concentración inic. [mol/L]	Concentración final. [mol/L]	x=(Ci-Cf)*M*V	x/m	X*	Y
3,245	3,56E-06	5,15E-07	0,00045203	0,0001393	0,01067547	24855,0124
3,0407	5,91E-06	1,41E-06	0,00072237	0,00023757	0,04765216	67579,8903
3,5902	8,30E-06	2,22E-06	0,00100435	0,00027975	0,05739821	69842,1748
3,6678	1,19E-05	5,82E-06	0,00113207	0,00030865	0,25627303	358209,265
3,4993	1,78E-05	8,94E-06	0,00162175	0,00046345	0,28971424	282389,706

$X^* = \frac{C_f}{C_i}$ $\qquad$ $y = \frac{C_f}{(x/m) * (C_i - C_f)}$

ANEXO I. FICHA DE SEGURIDAD DEL AZUL DE METILENO

SECCIÓN II.- DATOS GENERALES DE LA SUSTANCIA QUÍMICA	
1.- NOMBRE COMERCIAL ***Azul de Metileno***	2.- NOMBRE QUÍMICO ***Azul de Metileno***
3.- PESO MOLECULAR 319,65	4.- FAMILIA QUÍMICA No disponible
5.- SINÓNIMOS CI Azul Basico 9, Solvente Azul 8.	6.- OTROS DATOS Formula: $C_{16}H_{18}N_3SCl{\cdot}3H_2O$

SECCIÓN III.- COMPONENTES RIESGOSOS				
1.- % Y NOMBRE DE LOS COMPONENTES 100% Azul de Metileno	2.- N° CAS 61-73-4	3.- N° UN No regulado	4.- CANCERÍGENOS O TERATOGENICOS No disponible	
5.- LIMITE PERMISIBLE DE CONCENTRACIÓN No se dispone de información	6.- IPVS ppm LD50=1180 mg/kg (Oral Rata)	7.- GRADO DE RIESGO: 7.1.- SALUD Ligero	7.2.- INFLAMABILIDAD Ligero	7.3.- REACTIVIDAD Ninguna

SECCIÓN IV PROPIEDADES FÍSICAS	
1.- TEMPERATURA DE FUSIÓN, °C: Se descomopone	2.- TEMPERATURA DE EBULLICIÓN, °C: Se descompone
3.- PRESIÓN DE VAPOR, mmHg A 20°C: No se dispone de información	4.- DENSIDAD RELATIVA: No se dipone de información
5.- DENSIDAD DE VAPOR (AIRE=1): No se dispone de información	6.- SOLUBILIDAD EN AGUA, g/ml: Poco soluble en agua
7.- REACTIVIDAD EN AGUA: Ninguna	8.- ESTADO FÍSICO, COLOR Y OLOR: Solido, Cristal o Polvo, Verde Obscuro sin Olor
9.- VELOCIDAD DE EVAPORACIÓN (BUTIL ACETATO=1): No se dispone de información	10.- PUNTO DE INFLAMACIÓN: no se dispone de información
11.- TEMPERATURA DE AUTOIGNICION (°C): No se dispone de información	12.- PORCIENTO DE VOLATILIDAD, % : no se dispone de información
13.- LIMITES DE INFLAMABILIDAD (%): No se dispone de información INFERIOR:	SUPERIOR:

SECCIÓN V.- RIESGOS DE FUEGO O EXPLOSIÓN				
1.- MEDIO DE EXTINCIÓN:				
NIEBLA DE AGUA ✓ a fuegos grandes y pequeños	ESPUMA ✓ egos grandes y pequeños	HALON: ✓ a fuegos grandes y pequeños	CO2 ✓ para fuegos pequeños	POLVO QUÍMICO SECO ✓ para fuegos pequeños
2.- EQUIPO ESPECIAL DE PROTECCIÓN (GENERAL) PARA COMBATE DE INCENDIO: Mascarilla con suministro de oxigeno y ropa protectora para prevenir contacto con la piel y ojos.				
3.- PROCEDIMIENTO ESPECIAL DE COMBATE DE INCENDIO: No combatir con chorro de agua directamente, no introducir agua a los contenedores usar agua en forma de rocío para enfriar los contenedores.				
4.- CONDICIONES QUE CONDUCEN A UN PELIGRO DE FUEGO Y EXPLOSIÓN NO USUALES: Ninguno reportado				
5.- PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN: No se dispone de informacion				

SECCIÓN VI.- DATOS DE REACTIVIDAD

1.- SUSTANCIA		2.- CONDICIONES A EVITAR
ESTABLE ✓	INESTABLE	Materiales incompatibles

3.- INCOMPATIBILIDAD (SUSTANCIAS A EVITAR):

Agentes oxidantes fuertes, Agentes reductores fuertes,Alcalis, Dicromatos, Yoduros (alcalinos)

4.- DESCOMPOSICIÓN DE COMPONENTES PELIGROSOS:

Oxidos Nitrosos(NOx), Oxidos de Carbono(COx), Oxidos de Azufre(SOx)

5.- POLIMERIZACION PELIGROSA:		6.- CONDICIONES A EVITAR:
PUEDE OCURRIR	NO PUEDE OCURRIR ✓	No se dispone de información

SECCIÓN VII.- RIESGOS PARA LA SALUD

VÍAS DE ENTRADA	SÍNTOMAS DEL LESIONADO	PRIMEROS AUXILIOS
1.- INGESTIÓN ACCIDENTAL	Puede provocar irritacion gastrointestinal vomito, diarrea y nauseas.	De a beber inmediatamente agua o leche. Nunca de nada por la boca a una persona que se encuentre inconsciente. Solicitar asistencia medica de inmediato.
2.- CONTACTO CON LOS OJOS	Irritación y ardor en los ojos.	Lavar suavemente con agua corriente durante 15 min. abriendo ocasionalmente los párpados. Solicitar atención medica de inmediato.
3.- CONTACTO CON LA PIEL	Irritación y enrojecimiento de la piel.	Lavar con agua corriente durante 15 min. al mismo tiempo quitarse la ropa contaminada y calzado. Solicite atención medica
4.- ABSORCIÓN	No identificado	No se dispone de información
5.- INHALACIÓN	Irritación en las vías tractorespiratorias Puede causar metemoglobinemia, cyanosis taquicardia y en casos extremos la muerte.	Traslade a un lugar con ventilación adecuada, Si respira con dificultad suministrar oxigeno. Solicite atención medica de inmediato

6.- SUSTANCIA QUÍMICA CONSIDERADA COMO CANCERÍGENA:

STPS (INST. No.10) SI_____ NO____✓ **OTROS_____ SI_____ NO_____ ESPECIFICAR**

SECCIÓN VIII.- INDICACIONES EN CASO DE FUGA O DERRAMES:

Aislar el area de peligro (acordonar el area).

ELIMINAR todas las fuentes de ignición. Para la disposicion del material realizar el siguiente procedimiento:

Use equipo de protección personal (Secc. IX); con una jarra (plástico), coloque cuidadosamente el material dentro de un recipiente limpio (cubeta de plastico y/o bolsa de polietileno), seco y cubra; retire del área. Lave el área del derrame con agua, pero evitando que esta agua de lavado escurra, contener para evitar la introducción a las vías fluviales, alcantarillas, sótanos o áreas confinadas. *Solicitar asistencia para su disposición.*

SECCIÓN IX.- EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL:

1.- ESPECIFICAR TIPO:

Utilizar Guantes de Neopreno, Lentes de seguridad, Pechera de Vinilo, Camisa manga larga,

Mascarillas con cartuchos para vapores organicos y metylaminas aprobados por OSHA en 29 CFR 1010.134.

2.- PRACTICAS DE HIGIENE:

Después de estar en contacto con este producto lavar con agua y jabón todo su equipo de seguridad.

Bañarse y lavar su uniforme para evitar que este contaminada con residuos del producto.

SECCIÓN X.- INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTACIÓN (Deacuerdo con la reglamentación del transporte):

Material clasificado como: No regulado

Riesgo secundario: ninguno

UN: No regulado

Envase y embalaje: Grupo no regulado

NFPA: Salud (1), Inflamabilidad (1), Reactividad (0), Indic. Especial (Ninguna)

Pictogramas:

(Ninguna)

SECCIÓN XI.- INFORMACIÓN ECOLÓGICA (Deacuerdo con las reglamentaciones ecológicas)

Ecotoxicidad: No se dispone de información

SECCIÓN XII.- PRECAUCIONES ESPECIALES

1.- DE MANEJO Y ALMACENAMIENTO:

* El lugar de almacenamiento debe estar ventilado.
* Se debe de almacenar y/o transportar por compatibilidad.
* Estar debidamente etiquetado (Adherido, sin rayaduras e informacion clara)
* Tener el color de almacenaje (Verde)
* Indicaciones de primeros auxilios.

2.- OTRAS:

Residuos del producto pueden permanecer en el recipiente "vacío" pero con sus etiquetas para identificar el residuo.

Para el manejo de los recipientes vacíos y residuos se deben de tomar las mismas precauciones que en el manejo del producto.

Limpiar antes de volver a usar o alterar el contenido de un envase. (Usar solo en el mismo producto)