



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**“OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE CARBÓN
ACTIVADO A PARTIR DE SEMILLAS DE *Datura stramonium*
PARA APLICACIONES INDUSTRIALES”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTOR: DEISY ANABEL LOZADA MARTÍNEZ

DIRECTORA: Ing. MABEL MARIELA PARADA RIVERA MSc.

Riobamba – Ecuador

2021

© 2021, **Deisy Anabel Lozada Martínez**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Yo, Deisy Anabel Lozada Martínez, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 16 de septiembre de 2021

DEISY
ANABEL
LOZADA
MARTINEZ



Firmado
digitalmente por
DEISY ANABEL
LOZADA MARTINEZ
Fecha: 2021.12.04
172313-0506

Deisy Anabel Lozada Martínez,

180442567-4

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto de Investigación, “**OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE SEMILLAS DE *Datura stramonium* PARA APLICACIONES INDUSTRIALES**”, realizado por la señorita: **DEISY ANABEL LOZADA MARTÍNEZ** , ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Linda Mariuxi Flores Fiallos Msc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	LINDA MARIUXI FLORES FIALLOS <small>Firmado digitalmente por LINDA MARIUXI FLORES FIALLOS DN: cn=LINDA MARIUXI FLORES FIALLOS, o=SECURITY DATA S.A. TIPO ENTIDAD DE CERTIFICACION DE INFORMACION Módulo: Gey el autor de este documento Ubicación: Firma: 2021-11-08 15:18:05:00</small>	2021-09-16
Ing. Mabel Mariela Parada Rivera Msc. DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	 firmado electrónicamente por: MABEL MARIELA PARADA RIVERA	2021-09-16
Dr. Jorge Efren Silva Yumi Msc. PhD MIEMBRO DE TRIBUNAL	 firmado electrónicamente por: JORGE EFREN SILVA YUMI	2021-09-16

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación va dedicado a Dios y la Virgen quienes todos los días me dieron salud, fuerza y fortaleza para seguir adelante.

A mi madre Marlene por ser ejemplo de sacrificio y esfuerzo quien con gran amor y paciencia me apoyo incondicionalmente en toda mi etapa estudiantil.

A mi esposo Jonatan por estar a mi lado en toda mi etapa universitaria quien con su amor y comprensión supo ayudarme y guiarme en los momentos de confusión quien más que el para saber y entender el camino que tenía que recorrer.

Y un agradecimiento muy especial a mis hermanas Mariela y Liliana por estar siempre presentes con su apoyo moral y económico.

A mi sobrino Mathias que con su inocencia siempre dibujo una sonrisa en mi rostro en los momentos más complicados.

A mi tío Danilo por estar siempre presente como un padre apoyándome con un consejo o una palabra de aliento.

A mis suegros y cuñado(a) por estar siempre presentes brindándome todo su apoyo y las fuerzas necesarias para seguir adelante.

Deisy

AGRADECIMIENTO

A todos mis maestros a lo largo de mi formación académica en especial a la Ing. Mabel Parada y al Dr. Jorge Silva por brindarme su tiempo y su intenso apoyo en desarrollo del presente trabajo de integración curricular

Mi más sincero agradecimiento a cada una de las personas que estuvieron de una otra forma apoyándome en toda mi formación académica.

Deisy

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
INDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	2
1.1. <i>Antecedentes.....</i>	2
1.1.1. <i>Identificación del Problema.....</i>	4
1.1.2. <i>Justificación.....</i>	5
1.1.3. <i>Objetivos de la Investigación.....</i>	6
1.1.3.1. <i>General.....</i>	6
1.1.3.1. <i>Específicos.....</i>	6
1.2. Bases Teóricas.....	7
1.2.1. <i>Datura stramonium.....</i>	7
1.2.2. <i>Carbón activado.....</i>	8
1.2.3. <i>Tipos de carbón activado.....</i>	8
1.2.3.1. <i>Carbón activado en polvo.....</i>	9
1.2.3.2. <i>Carbón activado granular.....</i>	9
1.2.4. <i>Preparación de carbones en fase sólida.....</i>	9
1.2.5. <i>Procesos de activación.....</i>	10
1.2.5.1. <i>Proceso de activación física.....</i>	10
1.2.5.2. <i>Proceso de activación química.....</i>	11

CAPITULO II

2. MARCO METODOLÓGICO.....	13
2.1. Hipótesis General.....	13
2.2. Hipótesis Especificas.....	13

2.3.	Identificación de Variables	12
2.3.1.	<i>Variables Independientes</i>	13
2.3.2.	<i>Variables Dependientes</i>	13
2.3.3.	<i>Operacionalización de Variables</i>	14
2.3.4.	<i>Matriz de consistencia</i>	16
2.4.	Tipo y diseño de investigación	18
2.4.1.	<i>Método deductivo</i>	18
2.4.2.	<i>Método experimental</i>	18
2.5.	Diseño de la investigación	18
2.5.1.	<i>Diseño experimental</i>	18
2.5.2.	<i>Unidad de análisis</i>	20
2.5.3.	<i>Población de estudio</i>	20
2.5.4.	<i>Tamaño de muestra</i>	20
2.5.5.	<i>Selección de muestra</i>	20
2.5.6.	<i>Técnica de recolección de datos</i>	21
2.6.	Recolección de la muestra	21
2.7.	Secado	21
2.8.	Caracterización fisicoquímicos de la materia prima	21
2.9.	Calcinación	23
2.10.	Activación e impregnación	24
2.11.	Lavado	24
2.12.	Análisis físico químico del carbón activado	25
2.13.	Análisis de FTIR	26
2.14.	Índice de Yodo	27
2.15.	Aplicación Industrial	28

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	30
3.1.	Caracterización fisicoquímica de la materia prima semillas de <i>Datura stramonium</i>	30
3.1.1.	<i>Humedad</i>	30
3.1.2.	<i>Material volátil</i>	30
3.1.3.	<i>Ceniza</i>	30
3.1.4.	<i>Carbón fijo</i>	31
3.1.5.	<i>Densidad</i>	31

3.2.	Calcinación	32
3.3.	Activación e impregnación	34
3.4.	Análisis físico químico del carbón activado	35
3.4.1.	<i>Porcentaje de Humedad</i>	35
3.4.2.	<i>Material Volátil</i>	35
3.4.3.	<i>Ceniza</i>	35
3.4.4.	<i>Carbón Fijo</i>	36
3.4.5.	<i>Densidad Aparente</i>	36
3.5.	Análisis de FTIR.....	37
3.5.1.	<i>Espectros FTIR de las muestras</i>	37
3.5.2.	<i>Resultados de otros estudios</i>	40
3.6.	Análisis SEM	41
3.7.	Índice de Yodo.....	45
3.8.	Análisis de composición química	48
3.9.	Aplicación industrial del carbón activado	49
3.10.	Comprobación de hipótesis	51
3.10.1.	Hipótesis General.....	51
3.10.2.	Hipótesis específicas.....	51
3.10.2.1.	Hipótesis 1.....	51
3.10.2.2.	Hipótesis 2.....	51
3.10.2.3.	Hipótesis 3.....	51
3.10.2.4.	Hipótesis 4.....	52
	CONCLUSIONES.....	53
	RECOMENDACIONES.....	54
	GLOSARIO	
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Autores citados en los antecedentes del trabajo.....	7
Tabla 2-1:	Análisis inmediato de <i>Datura stramonium</i>	9
Tabla 3-1:	Análisis definitivo de <i>Datura stramonium</i>	9
Tabla 4-1:	Aplicaciones de los diferentes tipos de carbón activado	11
Tabla 1-2:	Operacionalización de variables.....	16
Tabla 2-2:	Matriz de consistencia	17
Tabla 3-2:	Diseño experimental.....	18
Tabla 4-2:	Matriz de correlación.....	19
Tabla 5-2:	ANOVA.....	19
Tabla 6-2:	Método de recolección de la muestra	21
Tabla 7-2:	Secado de la materia prima.....	21
Tabla 8-2:	Determinación del contenido de humedad	21
Tabla 9-2:	Determinación de la materia volátil.....	22
Tabla 10-2:	Determinación del contenido de ceniza.....	22
Tabla 11-2:	Determinación del carbono fijo	22
Tabla 12-2:	Prueba de densidad	23
Tabla 13-2:	Calcinación de la materia prima por pirolisis.....	23
Tabla 14-2:	Activación e impregnación con ácido fosfórico (H_3PO_4)	24
Tabla 15-2:	Lavado del carbón	24
Tabla 16-2:	Determinación del contenido de humedad	25
Tabla 17-2:	Determinación de la materia volátil.....	25
Tabla 18-2:	Determinación del contenido de ceniza.....	25
Tabla 19-2:	Determinación del carbono fijo	26
Tabla 20-2:	Prueba de densidad	26
Tabla 21-2:	Método para determinar el espectro ft-ir de carbón activado	26
Tabla 22-2:	Método para determinar el índice de yodo	27
Tabla 23-2:	Determinación del rendimiento de adsorción para una solución de plomo (II)....	28
Tabla 1-3:	Resultados de la Caracterización fisicoquímica de la materia prima	31
Tabla 2-3:	Resultados de la calcinación de la materia prima.....	32
Tabla 3-3:	Activación e impregnación con Ácido Fosfórico (H_3PO_4)	34
Tabla 4-3:	Resultados fisicoquímicos del carbón activado.....	36
Tabla 5-3:	Resultados obtenidos de la titulación para determinar el índice de yodo.....	47
Tabla 6-3:	Resultados del índice de yodo a concentraciones de 40 y 85% de H_3PO_4	47
Tabla 7-3:	Resultados porcentaje de carbono y nitrógeno del carbón activado.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Carácter ácido del carbon activado	10
Figura 1-3: FTIR carbón activado eucalipto para concentración de 30% y 85% de H ₃ PO ₄	40
Figura 2-3: SEM tratamiento 1	41
Figura 3-3: SEM tratamiento 2	41
Figura 4-3: SEM tratamiento 3	42
Figura 5-3: SEM tratamiento 4	42
Figura 6-3: SEM tratamiento 5	43
Figura 7-3: SEM tratamiento 6	43
Figura 8-3: SEM tratamiento 7	44
Figura 9-3: SEM tratamiento 8	44
Figura 10-3: SEM de carbón activado de lodos de plantas de tratamiento de AR.....	45

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3:	Calcinación de la materia prima	33
Gráfico 2-3:	Análisis FT-IR muestras de carbón activado.....	39
Gráfico 3-3:	Resultado del índice de yodo para 40 y 85 %	48
Gráfico 4-3:	Influencia del pH en el porcentaje de remoción de plomo (II).....	50

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** NORMA NTE INEN 1998:2013 PRODUCTOS QUÍMICOS INDUSTRIALES-
CARBÓN ACTIVADO PARA USO INDUSTRIAL- DETERMINACIÓN DEL
NÚMERO DE YODO.
- ANEXO B:** MUESTRAS DE CARBÓN ACTIVADO.
- ANEXO C:** GRÁFICAS DE IR DEL CARBÓN ACTIVADO.

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

μm	Micrómetro
C	Carbono
CA	Carbón activado
Cf	Carbón fijo
cm	Centímetros
Cz	Ceniza
g	Gramos
H	Hidrógeno
Hg	Mercurio
K	Potasio
kg	Kilogramos
m	Metros
min	Minutos
ml	Mililitro
mm	Milímetros
Mv	Material volátil
N	Nitrógeno
pH	Potencial de Hidrógeno

RESUMEN

En el presente trabajo de titulación tuvo como finalidad la obtención y caracterización de carbón activado a partir de semillas de *Datura stramonium* para aplicaciones industriales mediante activación química. Se realizó un análisis fisicoquímico de la materia prima, donde se determinó: humedad, material volátil, contenido de ceniza, carbón fijo y densidad. Posteriormente, se realizó la calcinación en un reactor Batch de 1,2 L con la variación de los parámetros de temperatura y tiempo. Para el proceso de activación química se utilizó como agente de activación el ácido fosfórico en concentraciones del 40 % y 85 %, además de la variación de tiempo y temperatura. La calidad del carbón activado se determinó mediante la medición a través de análisis con espectrometría infrarroja e índice de yodo. Teniendo como resultado del análisis de espectrometría infrarrojo obteniendo señales de máximos y mínimos donde se detallan varios grupos funcionales que se repitieron en cada una de las ocho muestras con una de las más notables que fue la correspondiente al enlace $P = O$ que resulta de la interacción con ácido fosfórico, en cuanto al índice de yodo de cada muestra, se obtuvieron valores superiores a los 500 mg/g, evidenciando la capacidad para adsorber contaminantes. Determinando que mediante el proceso de obtención carbón activado a partir de *Datura stramonium* fue eficaz obteniendo un producto capaz de ser aplicado a nivel industrial en la eliminación de contaminantes, dado sus características, se recomienda en el proceso realizar activación en medios básicos y realizar otros análisis como gravimétricos, para detallar de mejor manera al carbón activado como producto final de aplicación industrial.

Palabras clave: <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA>, <CARBÓN ACTIVADO>, <COMPOSICIÓN QUÍMICA>, <ACTIVACIÓN QUÍMICA>, <ÁCIDO FOSFÓRICO>, <ESPECTROMETRÍA DE INFRARROJO >, <ÍNDICE DE YODO>.

LEONARDO
FABIO
MEDINA
NUSTE

Firmado
digitalmente por
LEONARDO FABIO
MEDINA NUSTE
Fecha: 2021.11.23
12:11:24 -05'00'



2037-DBRA-UTP-2021

SUMMARY

The purpose of this graduation work was to obtain and characterize activated carbon from *Datura stramonium* seeds for industrial applications by chemical activation. A physicochemical analysis of the raw material was carried out to determine: moisture, volatile material, ash content, fixed carbon and density. Subsequently, calcination was carried out in a 1.2 L Batch reactor with variation of temperature and time parameters. For the chemical activation process, phosphoric acid was used as activation agent in concentrations of 40 % and 85 %, in addition to the variation of time and temperature. The quality of the activated carbon was determined by measurement through infrared spectrometry analysis and iodine index. As a result of the infrared spectrometry analysis, maximum and minimum signals were obtained, detailing several functional groups that were repeated in each of the eight samples, being the most notable the one corresponding to the P = O bond resulting from the interaction with phosphoric acid. As for the iodine index of each sample, values above 500 mg/g were obtained, showing the capacity to adsorb contaminants. It was determined that through the process of obtaining activated carbon *Datura stramonium* was effective obtaining a product capable of being applied at industrial level in the pollutant elimination. Considering the above mentioned characteristics, it is recommended to perform activation in basic media and perform other analyses such as the gravimetric ones in the whole process, to better detail the activated carbon as a final product for industrial application.

Keywords: <CHEMICAL ENGINEERING AND TECHNOLOGY>, <ACTIVATED CARBON>, <CHEMICAL COMPOSITION>, <CHEMICAL ACTIVATION>, <PHOSPHORIC ACID>, <INFRARED SPECTROMETRY>, <IODINE INDEX>.

ANA GABRIELA
REINOSO
ESPINOSA

Firmado digitalmente
por ANA GABRIELA
REINOSO ESPINOSA
Fecha: 2021.12.10
12:44:42 -05'00'

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, los problemas ambientales se han vuelto cada vez más severos y generalizados debido al crecimiento poblacional y las actividades agrícolas que generan altos volúmenes de residuos sólidos que deben ser manejados y eliminados. Para reducir el impacto de estos desechos, varios estudios han reportado intentos de utilizarlos para obtener productos de valor comercial. En particular, el uso de biomasa residual en la producción de carbón activado (CA) ha despertado un gran interés (Queiroz et al., 2020, p.110868).

Es así, que dentro de las variedades de obtención de carbón activado se encuentran también los preparados a partir de sintéticos, los materiales han recibido una atención cada vez mayor. Controlando el proceso sintético de los polímeros usados como precursores del carbón activado, las propiedades físicas y las estructuras de los poros de los carbonos activados pueden ajustarse fácilmente. Además, las propiedades superficiales de los carbonos activados se pueden modificar para mejorar su estructura y funcionamiento (Tseng, Wu y Juang, 2015, p.53).

Los carbonos activados se utilizan para diversas aplicaciones industriales, como depuración de gases, tratamiento de aguas, almacenamiento de energía, catalizadores, productos farmacéuticos, etc. Dado que los carbonos activados comerciales son costosos de producir, muchos investigadores se han centrado en la obtención de alternativas económicas. Algunos materiales biológicos como residuos agrícolas, algunas plantas, cáscaras de frutas las cuales se utilizaron para producir carbonos activados de bajo costo (Koyuncu y Kul, 2020, p.100653).

De esta manera *Datura stramonium* comúnmente conocida como manzana espina o jimsonweed, es una maleza anual de jardines, bordes de caminos o tierras cultivadas, se localiza principalmente en países más cálidos de todo el mundo. Sin embargo, en Ecuador no se ha llevado a cabo investigaciones referentes a esta especie por lo que no existe registros de la totalidad de esta dentro del país (Aysu y Durak, 2015, pp. 98-114).

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

Actualmente el desarrollo de alternativas que permitan el aprovechamiento de residuos agrícolas como agentes de cambio, en la mitigación de problemas ambientales causados por el mal manejo de residuos ha generado un amplio campo de oportunidades dentro del ámbito de la investigación y desarrollo donde el reutilizar materias orgánicas como fuente principal de generación de carbón activado para sus diferentes aplicaciones. En el estudio “Caracterización de carbón activado poroso preparado a partir de tallos de Arhar mediante el método de activación química de un solo paso”, se preparó carbón activado poroso a partir de tallos de Arhar, que son desechos agrícolas, mediante el método de activación química. Se utilizó polvo de tallo de Arhar mezclado directamente con KOH en una proporción en peso de 1:2 para la activación a 800 °C durante 2 horas para estudiar las características físicas y químicas de la microscopia de barrido electrónico de carbón activado de tallo de Arhar, se realizó difracción de rayos X, análisis termogravimétrico, análisis de transformada de Fourier y análisis de distribución de tamaño de poro. El material de carbón activado producido en este estudio tiene una estructura superficial microporosa, lo que se confirmó a partir de estudios morfológicos. A partir de los estudios de adsorción de N₂ de las áreas de superficie BET (Brunauer-Emmett-Teller) de carbón activado, se observó que el volumen de microporos y el volumen total de poros de carbón activado de tallo de Arhar eran 304.7250 m²/g, 0.0882 cm³/g y 0.17742 cm³/g respectivamente. El análisis de cristalografía por difracción de rayos X de carbón activado mostró que el material de carbón activado tiene una estructura amorfa. La estabilidad térmica del carbón activado fue significativamente mayor en comparación con el material precursor que se reveló a partir del análisis termogravimétrico (Prakash O. et al., 2020, p.33).

En otro estudio “Los efectos de la temperatura de carbonización en el desarrollo de los poros en el carbón activado a base de palma” hace énfasis a una serie de experimentos para estudiar los efectos de la temperatura de carbonización en el desarrollo de los poros en el carbón activado de cáscara de palma. La activación del carbón preparado a 500, 800 y 900 °C se realizó a 820 °C en un reactor de lecho fluidizado. El carbón activado preparado a partir de material carbonizado a alta temperatura tenía una cantidad significativa de volumen de microporos. Para todas las temperaturas de carbonización investigadas, tanto microporos como macroporos los volúmenes mostraron valores máximos en la combustión intermedia de carbono. Solo se desarrolló una pequeña cantidad de mesoporo en la etapa inicial de activación. Sin embargo, a medida que aumentaba el nivel de quemado, se observó un rápido desarrollo en mesoporo. No se demostró un patrón claro sobre los

efectos de la temperatura de carbonización en el desarrollo de volúmenes de mesoporos y microporos (Daud et al., 2000, p.1925).

Uno de los estudios referentes a la utilización del H_3PO_4 como medio de activación es el siguiente “Características de textura de los carbones activados derivados del bambú tabah fabricados mediante activación química H_3PO_4 ” Esta investigación tiene por objeto determinar las propiedades de textura de los carbones activados derivados del bambú tabah (*Gigantochloa nigrociliata*) que se activan químicamente con el agente activador H_3PO_4 . La carbonización se llevó a cabo hasta 800 °C durante 1,5 horas. Las activaciones se configuraron hasta 820 °C por cada 50, 100 y 150 minutos. Los carbones activados producidos se expresan como AC-50 min, AC-100 min y AC-150 min cada uno para su activación durante 50, 100 y 150 minutos. Los resultados de la investigación muestran que el mayor tiempo de activación produjo carbones activados con un mayor volumen de poros y un diámetro medio de poros más amplio, pero no se observó ningún patrón en el área de la superficie. El área superficial más alta de 398.400 m²/g y el volumen de poro más alto de 0.680 cm³/g se lograron con carbones activados CA-100min y CA-150 min, respectivamente. El N₂ más alto Se logró una capacidad de adsorción de 48.743 cm³/g sobre el carbón activado de CA-150 min. CA-50 min, CA-100 min y CA-150 min tienen diámetros de poro promedio, respectivamente, alrededor de 1.258 nm, 1.750 nm y 3.950 nm. CA-50 min y CA-100 min produjeron poros con una distribución de tamaño de poro monomodal y una distribución de tamaño de poro bimodal se encontró en CA-150 min (Negara et al., 2020, p.148).

El estudio “Caracterización y aplicación de carbón activado producido por H_3PO_4 y activación de vapor de agua” Los carbones activados en este estudio fueron preparados a partir de abedul de biomasa leñosa mediante varios procedimientos de activación: a) tratamiento con ácido fosfórico y pirolisis a 600 °C en atmósfera inerte, b) igual que en (a) seguido de activación con vapor a la misma temperatura y c) tratamiento con ácido fosfórico y pirolisis directa en corriente de vapor de agua a 700 °C. El área superficial y la porosidad de los carbones activados fueron fuertemente dependientes del tratamiento después de la impregnación con H_3PO_4 (pirolisis en atmósfera inerte, pirolisis con vapor o combinación de ambos). El carbón activado, preparado mediante impregnación con ácido fosfórico seguido de pirolisis con vapor (activación con vapor) tenía una estructura porosa muy desarrollada y la mayor superficie entre todos los carbonos preparados (índice de yodo 1280 mg /g y superficie BET 1360 m²/g). Se estudió la capacidad de adsorción de esta muestra de Hg (II) de solución acuosa en diferentes condiciones de tratamiento: tiempo de contacto, concentración de iones metálicos y pH. La adsorción siguió a las isothermas de Langmuir y la capacidad de adsorción de Hg (II) a 293 K fue de 160 mg /g (Budinova et al., 2006, p. 899). El enfoque del siguiente estudio “Optimización de Taguchi para la producción de carbón activado a partir de residuos agrícolas impregnados con ácido fosfórico mediante calentamiento por microondas para la eliminación de azul de metileno” es obtener carbones activados (CA) de cáscara de cebada, mazorca de maíz y hojas de *Agave salmiana* mediante activación química con ácido fosfórico para la eliminación del azul de

metileno. Se aplicó el diseño experimental de Taguchi (L9) para realizar los experimentos a diferentes niveles alterando cuatro parámetros operativos. Los efectos de los factores de control sobre el rendimiento de CA se estudiaron mediante análisis de varianza (ANOVA). Potencia microondas de 200 W (nivel 1), tiempo de radiación de 4 min (nivel 2), H₃PO₄ al 60 % (nivel 2) y caudal de nitrógeno de 200 cm³/min (nivel 3) fueron las condiciones óptimas. Se obtuvieron carbones activados con rendimientos del 72 % para CA hojas de *Agave salmiana*, 96 % para CA mazorca de maíz y 93 % para AC cáscara de cebada. El carbón activado mostró estructuras mesoporosas, cargas superficiales aniónicas y eficiencias de remoción significativas de azul de metileno como resultado de los efectos del agente de activación y las microondas. Es el primer informe del uso de CA de hojas de *Agave salmiana* para obtener CA, así como del uso de microondas para optimizar este proceso utilizando flujo de nitrógeno (Canales y Prieto, 2020, p. 108027).

Tabla 1-1: Autores citados en los antecedentes del trabajo.

Tema	Autor	Año
Characterization and application of activated carbon produced by H ₃ PO ₄ and water vapor activation.	Budinova et al.	2006
Taguchi optimization for production of activated carbon from phosphoric acid impregnated agricultural waste by microwave heating for the removal of methylene blue.	Canales y Prieto	2000
Effects of carbonization temperature on pore development in palm-shell-based activated carbon.	Daud et al.	2000
Textural characteristics of activated carbons derived from tabah bamboo manufactured by using H ₃ PO ₄ chemical activation	Negara et al.	2000
Characterization of porous activated carbon prepared from arhar stalks by single step chemical activation method.	Prakash O. et al.	2000

Realizado por: Lozada, D, 2021.

1.1.1. Identificación del problema

Los procesos productivos, incrementan la preocupación por la contaminación ambiental que se genera, lo que ha resultado en un creciente interés de investigar tecnologías verdes que permitan remediar los problemas presentes en los diferentes ecosistemas sin causar daños o alterar la composición del mismo. Los cuerpos de agua han sido los más afectados debido a la cantidad de metales pesados, en el sector industrial de la ciudad de Quito se ha encontrado que el hierro supera los valores de concentración en mg/L de los establecidos por el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA) en 3.71 veces aproximadamente, así como el vanadio en 10, zinc en 1.08, mercurio en 6 y cromo en 1.12, sin embargo existen diferentes métodos químicos

que facilitan su tratamiento pero que son tecnologías agresivas para el ambiente, por lo que la búsqueda de tecnologías amigables sigue siendo fundamental (López, 2012, p.21).

1.1.2. Justificación

Debido a las características que presenta el carbón activado se utiliza como un potente filtro, especialmente para la purificación de agua porque permite la remoción de impurezas, compuestos orgánicos y la retención de metales pesados mejorando así, la eficiencia de los procesos industriales a bajo costos y con altos rendimientos, consiguiendo con esto, garantizar el buen manejo del recurso agua. Considerando que actualmente las empresas poseen la responsabilidad ambiental que obliga al sector industrial a implementar acciones de producción más limpia, control de calidad del agua y aprovechamiento de la misma en busca de garantizar el desarrollo sostenible, el uso de carbón activado se presenta como una alternativa eficaz puesto que es obtenido de materiales abundantes en la naturaleza y a costos bajos para el sector empresarial (Aysu y Durak, 2015, p. 110).

La presencia de compuestos orgánicos principalmente en fuentes hídricas representa un peligro para el ambiente y la salud de los seres vivos, éstos compuestos pueden eliminarse del agua mediante el uso de adsorción, técnica que permite eliminar contaminantes orgánicos desde soluciones acuosas, por lo que la producción de carbón activado mediante recursos naturales representa una ayuda al ambiente pues, el agua será tratada antes de ser vertida nuevamente al ambiente (Aysu y Durak, 2015, p. 110).

El aprovechamiento del método de eliminación de los contaminantes utilizando el carbón activado producido a partir de *Datura stramonium* podrá permitir a las empresas generar residuos previamente tratados, así como también mejorara el uso del agua en los diferentes procesos industriales. La importancia de la investigación, recae en que el carbón activado es obtenido de residuos o semillas abundantes en lignocelulosa, debido a la abundancia de estos materiales, se consideran precursores que permiten la obtención de carbones activados de diferentes tamaños y distribución de poro por lo que estudiar las semillas de *Datura stramonium* como precursor de carbón activado permitirá establecer un uso aprovechable para la planta en el campo industrial, puesto que únicamente se la utiliza por sus características psicotrópicas en algunos países de Europa y Centro América, mientras que en Ecuador no es aprovechable por ningún sector comercial. El presente proyecto se desarrollará en los laboratorios de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en conjunto con el grupo de investigación “GIMA”.

1.1.3. Objetivos de la investigación

1.1.3.1. Objetivo general

Obtener y caracterizar carbón activado a partir de semillas de *Datura stramonium* para aplicaciones industriales.

1.1.3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar las semillas de *Datura stramonium* como materia prima mediante parámetros fisicoquímicos.
- Obtener carbón activado mediante el proceso de activación química a diferentes concentraciones de ácido fosfórico (H_3PO_4) como material activador.
- Caracterizar el carbón activado a través de análisis espectrométrico para la determinación de la estructura del material.
- Evaluar la eficacia del método químico en la obtención de carbón activado mediante la identificación de la composición química (CN) del material

1.2. Bases Teóricas

1.2.1. *Datura stramonium*

Es comúnmente conocida como manzana espina o jimsonweed, es una maleza anual de jardines, bordes de caminos, otros desechos o tierras cultivadas. *Datura stramonium* está ampliamente naturalizado en los países más cálidos de todo el mundo. La maleza es anual y puede alcanzar alturas de 1.5 m, la raíz es muy larga, espesa y blanquecina, desprendiendo muchas fibras. El tallo es robusto, erecto y frondoso, liso, de color verde amarillento pálido, ramificándose repetidamente en forma bifurcada y produciendo en las bifurcaciones de las ramas una flor frondosa, única y erecta (Aysu y Durak, 2015, p. 110).

Tabla 2-1: Análisis de composición porcentual de *Datura stramonium*.

Componente	Porcentaje (%)
Humedad	3.73
Ceniza	6.38
Lignina	24.33
Celulosa	42.20
Hemicelulosa	23.13
Holocelulosa	65.33

Fuente: (Aysu y Durak, 2015, p. 110).

Realizado por: Lozada, D, 2021.

Tabla 3-1: Análisis de composición porcentual final de *Datura stramonium*.

Componente	Porcentaje (%)
Carbono	4.66
Hidrógeno	6.98
Nitrógeno	0.77
Oxígeno	49.70
Relación molar H/C	1.66
Relación O/C	0.86
Formula empírica	$\text{CH}_{1.65}\text{N}_{0.015}\text{O}_{0.86}$

Fuente: (Aysu y Durak, 2015, p. 120).

Realizado por: Lozada, D, 2021.

1.2.2. Carbón activado

El carbón activado es un adsorbente de alta calidad y exhibe una extrema especificidad de aplicación a través de variaciones en su estructura. Un carbón activado puede considerarse como un espacio molecular, ya que este espacio está contenido dentro de una red tridimensional de átomos de carbono dispuestos en capas compuestas por estructuras de anillos unidas entre sí de manera algo imperfecta. Hoy en día en la producción de carbón activado se utilizan materiales de diversos orígenes principalmente de biomasa (residuos agrícolas). Estructuras producidas por su carbonización pueden considerarse como segmentos de láminas de grafeno de diferentes tamaños que alcanzan dimensiones nanométricas y un grado de perfección unidos entre sí de infinitas formas. El éxito y el uso continuo de carbones activados son una consecuencia directa de la singularidad y versatilidad de los carbones activados. Un material tan único y versátil, naturalmente, ha atraído la atención de una amplia gama de investigadores, desde ingenieros hidráulicos, grupos ambientales, ingenieros de diseño, hasta químicos, físicos, matemáticos y modeladores informáticos (Marsh y Rodríguez, 2006^a, p.13).

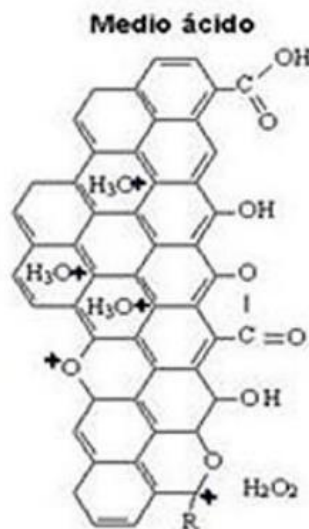


Figura 1-1: Carácter ácido del carbón activado

Fuente: (Rey, 2010, p.15).

1.2.3. Tipos de carbón activado

El carbón activado se clasifica según el tamaño de partícula en este contexto tenemos:

1.2.3.1. Carbón activado en polvo

En este tipo de carbón activado las partículas en polvo muestran dimensiones inferiores a 100 μm , mismas que comprenden comúnmente tamaños de partícula entre 15 y 25 μm (Chávez, 2008, p.1).

1.2.3.2. Carbón activado granular

Estas presentan un tamaño de partícula de entre 1 y 5 mm. En consecuencia, a este se subdivide en dos categorías que son carbón activado troceado que particularmente son obtenidos en procesos de molienda, tamizado y carbonización de la misma manera el carbón activado conformado es otra de las subcategorías del carbón activado granular el que se obtiene del proceso de paletización o por extrusión del carbón en polvo adicionado a una mezcla con distintos aglutinantes o aglomerantes (Chávez, 2008, p.1).

Tabla 4-1: Aplicaciones de los diferentes tipos de carbón activado

Tipo de carbón activado	Aplicaciones industriales
Carbón activado en polvo	<ul style="list-style-type: none">• Tratamientos de aguas• Decoloración de azúcar• Industria alimentaria• Emisiones de mercurio
Carbón activado granular	<ul style="list-style-type: none">• Purificación de gases• Recuperación de disolventes• Máscaras de gas• Purificación de aguas

Fuente: (Chávez, 2008, p.1).

Realizado por: Lozada, D, 2021.

1.2.4. Preparación de carbones en fase sólida

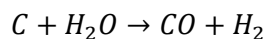
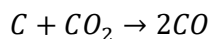
Tienen métodos bastante específicos de preparación y estos deben ser considerados para demostrar los diferentes mecanismos por los cuales se crea carbón. Generalmente se obtienen de la carbonización de materiales orgánicos; es decir su tratamiento se da a una atmosfera inerte a la temperatura requerida resultando en aumentos en el contenido de carbono y disminuciones en el contenido de heteroátomos, dichas carbonizaciones se producen en fases sólida, líquida y gaseosa.

1.2.5. Procesos de activación

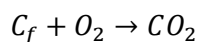
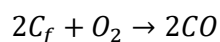
Dentro de esta categoría se describen varios métodos entre estos tenemos a los métodos físicos como químicos todos ellos fundamentados a fortalecer la capacidad de adsorción.

1.2.5.1. Proceso de activación física

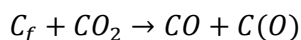
Existen dos procesos industriales que se utilizan para maximizar el potencial de adsorción de un material orgánico, natural o sintético. Primero, las modificaciones a un carbono, después de su producción, hacen uso de los dos agentes gasificantes dióxido de carbono y vapor de agua, ya sea por separado o juntos. Estos agentes "extraen" átomos de carbono de la estructura del carbono poroso de acuerdo con las siguientes ecuaciones estequiométricas. Reacciones 1 y 2, que describen estas reacciones endotérmicas: este método de activación, completamente dentro de la fase gaseosa, es conocido como activación térmica o física.



La gasificación por oxígeno molecular es una reacción exotérmica con velocidades de reacción que son difíciles de controlar. Como resultado, el oxígeno molecular a presión atmosférica (incluso aire) simplemente consume material de carbono (provocando ignición, quemaduras e incluso llamas). Esto ocurre de la superficie exterior y no penetra en el interior del carbono. Como resultado, sin mejora de los resultados de la porosidad. Las temperaturas de reacción más bajas y controladas con oxígeno molecular (aproximadamente 600 °C) favorecen la formación de dióxido de carbono y las temperaturas de reacción controladas más altas (aproximadamente > 900 °C) favorecen la formación de monóxido de carbono se muestra a continuación el mecanismo de reacción.

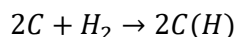
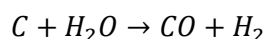


C_f es el símbolo utilizado para describir un átomo de carbono, libre de enlaces con complejos superficiales, y que está "disponible" para reaccionar con una molécula de oxígeno. Las reacciones de dióxido de carbono, vapor y oxígeno molecular, además de producir gases producto de la reacción, también dan como resultado la formación de oxígeno quimiadsorbido, llamado superficie complejos de oxígeno que poseen una amplia gama de funciones químicas. Estos complejos de oxígeno de superficie exhiben una amplia gama de estabilidades químicas y debido a esto, la química de estos complejos es una función de la temperatura de formación y posteriores tratamientos térmicos. La formación de estos complejos se describe mediante la siguiente reacción.

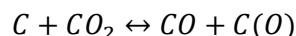


El oxígeno es quimiadsorbido sobre las superficies de carbono, donde $C(O)$ describe los complejos de oxígeno de la superficie sin ninguna referencia a su química. Durante el curso de un proceso de activación, estos complejos de oxígeno de superficie se comportan tanto como intermediarios de

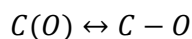
reacción en la gasificación del carbono, además de actuar como retardador (inhibidor) a la velocidad de reacción. Durante una activación, que implica el uso de vapor (agua-vapor), el hidrógeno se quimiadsorbe de manera similar en la superficie del carbono. Se muestra la siguiente reacción:



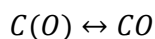
La velocidad de reacción del carbono (también llamado char) con dióxido de carbono y vapor también es inhibido (retardado) por los productos de reacción gaseosos de monóxido de carbono e hidrógeno. Para la reacción C-CO₂, se postula que el mecanismo es:



En el que se forma inicialmente un complejo de oxígeno superficial C (O), que posteriormente se convierte estable en las condiciones de reacción y actúa como retardante bloqueando los sitios de reacción:



Sin embargo, puede descomponerse dejando la superficie como CO.



Dejando un átomo de carbono de superficie "libre" disponible para la reacción. Los procesos de activación térmica (física) son inusuales entre las reacciones químicas en que la fase sólida es un reactivo. A diferencia de los procesos catalíticos que también involucran una fase sólida, la superficie del catalizador esencialmente no cambia. Los reactivos gasificantes "arrancan" un átomo de carbono de la superficie del carbono sólido (Marsh y Rodríguez, 2006, p.325).

1.2.5.2. Proceso de activación química

La activación de biocarbón se realiza con ayuda de agentes químicos tales como ácidos, bases y sales inorgánicas no sólo altera las propiedades fisicoquímicas cruciales, sino que también introduce grupos funcionales de superficie para las capacidades de sorción mejoradas. En un estudio realizado por (Marsh y Rodríguez, 2006, p.325), se observó que realizando un tratamiento a la biomasa con ácidos y agentes oxidantes aumentaba los grupos funcionales que contienen oxígeno y la hidrofilia, mientras que el área de superficie y la porosidad tenían efectos variables (Marsh y Rodríguez, 2006, p.325), también realizó una investigación y dedujo que la biomasa activada con H₂SO₄ y H₂C₂O₄ incrementaba la relación de oxígeno a carbono y agregaba oxígeno a grupos funcionales de superficie con el aumento de área de superficie. Los tratamientos realizados con ácidos como H₂SO₄ y HNO₃ han demostrado que provoca una disminución de la porosidad en la biomasa. Los tratamientos con álcalis tienden a aumentar la no polaridad de biocarbón y pueden

alterar el área de superficie y la porosidad y por tanto las capacidades de adsorción del biocarbón (Marsh y Rodríguez, 2006, p.325).

Principalmente el uso de H_3PO_4 aumenta gradualmente el volumen de los microporos presentes en la estructura molecular del biocarbón permitiendo el desarrollo de los demás tamaños de poro de una forma proporcional teniendo de esta manera carbones activados con altas capacidades de retención para compuestos orgánicos volátiles superiores a los que se logran empleando agentes activantes (Kim et al., 2013, p.270).

Un trabajo elaborado por (Taskin, 2019), sobre biomasa a partir de cáscaras de maní activado por KOH demostraba que el área de superficie y el volumen de poro aumentaban, permitiendo una mayor adsorción de una solución acuosa. El proceso de activación química se da por el proceso de carbonización mediante la adición de tal material como ácido fosfórico (H_3PO_4) o cloruro de zinc ($ZnCl_2$) o hidróxido de potasio (KOH) y carbonato de potasio (K_2CO_3).

Una composición química típica de los materiales lignocelulósicos es 48 % en peso de C, 6 % en peso de H y 45 % en peso de O, siendo la materia inorgánica un componente menor. Las proporciones atómicas correspondientes son: $O / C = 0.73$, $H / C = 1.5$ y $H / O = 2.07$. Como requiere la transformación al char la eliminación de O y H, el grado de conversión a carbono (rendimiento de carbonización) varía ampliamente en función de la cantidad de carbono que se elimina con O y H (como CO_x hidrocarburos).

Un proceso de carbonización típico rinde alrededor del 20 – 30 % en peso, más bajo que el valor esperado (hasta 48 % en peso) si el agua solo fuera el resultado de la eliminación de H y O. Este sugiere que una activación química, donde el agente activante es un compuesto deshidratante, aumentará el rendimiento, pero también cambiará la degradación térmica del precursor, lo que conducirá a un cambio posterior en la evolución de la porosidad.

La activación química de los materiales lignocelulósicos se dirige principalmente a la preparación de carbones activados en polvo. Como tal, con el precursor finamente dividido, se asegura la homogeneidad de la mezcla con el reactivo. Sin embargo, si el objetivo es preparar carbón activado granular la etapa de impregnación debe realizarse con especial cuidado para asegurar un contacto íntimo entre el precursor y el reactivo (Marsh y Rodríguez, 2006, p.325).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Hipótesis General

¿La obtención de carbón activado a partir de semillas de *Datura stramonium* por métodos químicos podrá ser utilizado para aplicaciones industriales?

2.2. Hipótesis Específicas

H1: La concentración del material activador para la obtención de carbón activado influye en la composición morfológica del material.

H2: La temperatura de calcinación para la obtención de carbón activado influye en la estructura del material.

H3: El análisis espectrométrico permitirá la determinación de la estructura del material.

H4: Para la obtención del carbón activado a partir de semillas de *Datura stramonium*, el método químico tiene una gran eficacia para mejorar la capacidad de adsorción del material.

2.3. Identificación de Variables

2.3.1. Variables Independientes

Las variables que toman en cuenta en este trabajo son:

- Concentración de ácido fosfórico (H_3PO_4) al 40 % y 85 %
- Variación de Temperatura 400 °C y 450 °C
- Variación del tiempo

2.3.2. Variables Dependientes

Las variables que dependen de las anteriormente descritas son:

- Rendimiento de proceso
- Estructura del carbón activado o grupos funcionales
- Características morfológicas

2.3.3. Operacionalización de Variables

Tabla 1-2: Operacionalización de variables

Variable	Tipo	Definición operacional	Categorización	Indicadores	Instrumentos de medición
Niveles de ácido fosfórico(H ₃ PO ₄)	Independiente	Concentración de ácido fosfórico		Molaridad Normalidad	
Variación de temperatura	Independiente	Magnitud física que indica la energía interna de un cuerpo		Grados Celsius	Termómetro
Rendimiento	Dependiente	Cantidad de producto obtenido		% Rendimiento	Balanza
Grupos funcionales	Dependiente	Conjunto de átomos enlazados de una determinada forma, que presentan una estructura y propiedades fisicoquímicas determinadas que caracterizan a los		Presencia o ausencia de grupos funcionales específicos	Espectrómetro o Infrarrojo

		compuestos orgánicos			
Características morfológicas	Dependiente	Estudio de las formas y estructuras	Tamaño, forma	Tamaño forma del carbón activado	Microscopio de barrido electrónico (SEM)

Realizado por: Lozada, D, 2021.

2.3.4. Matriz de consistencia

Tabla 2-2: Matriz de consistencia

ASPECTOS GENERALES				
PROBLEMA GENERAL		OBJETIVO GENERAL		HIPÓTESIS GENERAL
Debido al aumento de contaminación por procesos productivos se ha visto la necesidad de elaborar carbón activado si bien es una técnica que suele ser costosa, se busca la reducción de costos utilizando residuos agroindustriales o semillas de algunas plantas que no tienen mayor uso.		Obtener y caracterizar carbón activado a partir de semillas de <i>Datura stramonium</i> para aplicaciones industriales mediante activación química.		Es posible obtener carbón activado a partir de semillas de <i>Datura stramonium</i>
ASPECTOS ESPECÍFICOS				
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES DE LAS HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS
Se desconoce los parámetros físico- químicos de la materia prima	Caracterizar las semillas de <i>Datura stramonium</i> como materia prima mediante parámetros físico- químicos.	H1: Tanto las semillas de <i>Datura stramonium</i> como el carbón activado cumple con las propiedades adecuadas para la obtención de carbón activado y de un carbón activado característico	<ul style="list-style-type: none"> - Humedad - Ceniza total - Material Volátil - Carbón fijo - Densidad aparente 	Pruebas de determinación del % de Humedad, Ceniza, Carbón y Densidad

<p>Cuáles son las concentraciones óptimas para la obtención de carbón activado</p>	<p>Obtener carbón activado mediante el proceso de activación química a diferentes concentraciones de ácido fosfórico (H₃PO₄) como material activador.</p>	<p>H2: La concentración del material activador para la obtención de carbón activado influye en la composición morfológica del material.</p>	<p>Concentración de ácido fosfórico (H₃PO₄)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mufla - Desecador
<p>¿Cuáles son las características que presenta el carbón activado después del análisis espectrométrico?</p>	<p>Caracterizar el carbón activado a través de técnicas instrumentales para la determinación de las propiedades fisicoquímicas</p>	<p>H3: El análisis espectrométrico permitirá la determinación de la estructura del material.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Adsorción - Temperatura 	<p>Técnicas Espectroscópicas</p>
<p>¿El método químico es la mejor vía para la obtención de carbón activado?</p>	<p>Evaluar la eficacia del método químico en la obtención de carbón activado mediante la identificación de la composición química (CNH) del material.</p>	<p>H4: Para la obtención del carbón activado a partir de semillas de <i>Datura stramonium</i>, el método químico tiene una gran eficacia para mejorar la capacidad de adsorción del material.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Humedad - Ceniza total - Material Volátil - Carbón fijo - Densidad aparente 	<p>Pruebas de determinación del % de Humedad, Ceniza, Carbón y Densidad</p>

Realizado por: Lozada, D, 2021.

2.4. Tipo y diseño de investigación

2.4.1. Método deductivo

A partir de este método se puede ejecutar estudios desde varios puntos de vista, es decir, se los podrá realizar desde lo general hacia lo particular, debido a esta característica se calculará el rendimiento del carbón activado, dato que resulta importante para el desarrollo de esta investigación.

2.4.2. Método experimental

Este método requiere la intervención de elementos tecnológicos e instrumentos específicos que faciliten la obtención de valores empíricos al momento de realizar los ensayos de caracterización del producto o la materia prima. Con este método se facilita el diseño del procedimiento que se va a seguir para obtener el producto final con los parámetros preestablecidos deseados.

2.5. Diseño de la investigación

2.5.1. Diseño experimental

Para el desarrollo de esta investigación se empleó un diseño 2^k factorial completo con un punto central y dos repeticiones, para poder detectar la existencia de curvaturas en el modelo ajustado donde se estudia la interacción de los factores seleccionados. Los factores estudiados son la concentración del ácido usado en la activación química y el tiempo de calcinación.

La siguiente tabla muestran las corridas experimentales que serán realizadas, en el orden que deben ser conducidas. En este caso los valores -1 y 1 corresponden a los valores mínimo, central y máximo de los factores considerados.

Tabla 3-2: Diseño experimental

Ejecución	bloque	Concentración de ácido	Temperatura	Tiempo de calcinación
		%	°C	h
1	1	-1.0	-1.0	-1.0
2	1	1.0	-1.0	-1.0
3	1	-1.0	1.0	-1.0
4	1	1.0	1.0	1.0

5	1	1.0	1.0	-1.0
6	1	-1.0	1.0	1.0
7	1	1.0	-1.0	1.0
8	1	-1.0	-1.0	1.0
9	2	-1.0	-1.0	-1.0
10	2	1.0	-1.0	-1.0
11	2	-1.0	1.0	-1.0
12	2	1.0	1.0	1.0
13	2	1.0	1.0	-1.0
14	2	-1.0	1.0	1.0
15	2	1.0	-1.0	1.0
16	2	-1.0	-1.0	1.0

Realizado por: Lozada, D, 2021.

Tabla 4-2: Matriz de correlación

	A	B	AB
A	1.0000	0.0000	0.0000
B	0.0000	1.0000	0.0000
AB	0.0000	0.0000	1.0000

Realizado por: Lozada, D, 2021.

La matriz de correlación muestra las correlaciones entre las columnas de la matriz de diseño. Un diseño perfectamente ortogonal mostrará una matriz diagonal con 1's en la diagonal y 0's fuera de ella. Cualquier término distinto de cero implica que los estimados de los efectos correspondientes a esa fila y columna estarán correlacionados. En este caso, no hay correlación entre ninguno de los efectos. Esto significa que se obtendrán estimados 'limpios' para todos esos efectos.

Tabla 5-2: ANOVA

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	F
Entre grupos	GLE= k-1	SCE	CME= SCE/GLE	CME/CMI
Intra grupos	GLI = N-k	SCI	CMI= SCI/GLI	
TOTAL	GLT = N-1	SCT		
GLE: Grados de libertad entre GLI: Grados de libertad intra GLT: Grados de libertad totales				

SCE: Suma de cuadrados entre SCI: Suma de cuadrados intra SCT: Suma de cuadrados totales CME: Cuadrado medios entre CMI: Cuadrados medios intra
--

Realizado por: Lozada, D, 2021.

La tabla ANOVA muestra los grados de libertad posibles para estimar el error experimental, habitualmente se utilizan dos estimaciones: el error total, que incluye los grados de libertad que han sido utilizados para estimar los efectos que no están en el modelo actual. En este caso, el error total tiene 6 grados de libertad. En general, es una buena idea tener al menos tres o cuatro grados de libertad en el error para que los efectos estimados sean estadísticamente significativos. En otro caso, los contrastes estadísticos tendrán muy poca potencia, se analizaran los mismos entre grupos de datos y dentro de los mismos cuando tengamos experimentos repetitivos y variados, en este caso es un sistema general de análisis.

2.5.2. Unidad de análisis

Para la presente investigación la unidad de análisis será las semillas de *Datura stramonium*, al cual se le someterá a una serie de operaciones para la obtención de C.A.

2.5.3. Población de estudio

Semillas *Datura stramonium* obtenidas del cantón Guano, sector Balzayán.

2.5.4. Tamaño de muestra

Se trabajará con aproximadamente 4 kg de semillas de *Datura stramonium*.

2.5.5. Selección de muestra

Se seleccionará la muestra de diferentes lugares como orillas de ríos, establos, estercoleros, escombreras y vertederos de basuras del cantón Guano, sector Balzayán, verificando la calidad de la misma mediante la observación para realizar después la respectiva caracterización de las semillas de *Datura stramonium*.

2.5.6. Técnica de recolección de datos

La recolección de datos se realizará mediante el uso del método experimental y el análisis de documentación, lo que se busca principalmente es obtener datos en registros de los diferentes procesos utilizados con diferentes parámetros de control. El sistema de obtención de carbón activado se realizará en un ambiente controlado cuyo resultado será expuesto en fichas de registro que facilitarán el análisis de los datos obtenidos.

2.6. Recolección de la muestra

La recolección de las semillas de *Datura stramonium* se realizará en el sector de Balsayan perteneciente al cantón Guano en la provincia de Chimborazo, se utilizará la técnica de muestreo aleatorio simple.

Tabla 6-2: Método de recolección de la muestra

Procedimiento
➤ Se seleccionó la muestra seca de diferentes lugares como orillas de ríos, establos, y vertederos de basura.
➤ Se procedió con ayuda de guantes a abrir cuidadosamente el fruto y extraer las semillas dentro de una funda plástica hasta obtener 4 kg
➤ Se tamizó la muestra obtenida de manera que esté libre de impurezas

Realizado por: Lozada, D, 2021.

2.7. Secado

Tabla 7-2: Secado de la materia prima

Procedimiento
➤ Se colocó los 4 kg de semillas de <i>Datura stramonium</i> dentro de bandejas de aluminio
➤ Se llevó a la estufa por 24 horas en un rango de 68 - 70 °C

Realizado por: Lozada, D, 2021.

2.8. Caracterización fisicoquímicos de la materia prima

Tabla 8-2: Determinación del contenido de humedad

Procedimiento
➤ Se procedió a encender la balanza de humedad.
➤ Se colocó el plato de muestras dentro de la balanza cerrar y tarar.
➤ Se colocó 5 g de muestra de semillas de <i>Datura stramonium</i> dentro del plato.

➤ Se procedió a cerrar la balanza y esperar hasta que el equipo proporcione el porcentaje de humedad.
➤ Se procedió a retirar el plato con la muestra, limpiar y apagar el equipo.
Cálculos
➤ Se reportó cuantitativamente el porcentaje de humedad resultante

Realizado por: Lozada, D, 2021.

Tabla 9-2: Determinación de la materia volátil

Procedimiento
Se pesó 2g de semillas de <i>Datura stramonium</i> previamente seca Se taró el crisol con tapa y colocar la muestra dentro. Se procedió a encender el reverbero Se colocó sobre el reverbero el crisol con la muestra y dejar hasta que deje de eliminar humo Se retiró el crisol hacia el desecador hasta que se enfrié Se procedió a pesar
Cálculos
Se reportó cuantitativamente por diferencia de pesos

Realizado por: Lozada, D, 2021.

Tabla 10-2: Determinación del contenido de ceniza

Procedimiento
Se encendió la mufla y tarar el crisol hasta que el peso sea constante. Se colocó 2 g de semillas de <i>Datura stramonium</i> previamente utilizada para la determinación del contenido de humedad dentro de un crisol Se colocó dentro de la mufla a una temperatura de 550 °C por 24 horas hasta obtener ceniza blanca Se procedió a sacar el crisol y pesar
Cálculos
Se reportó cuantitativamente el porcentaje de ceniza obtenido

Realizado por: Lozada, D, 2021.

Tabla 11-2: Determinación del carbono fijo

Procedimiento
➤ Se obtuvo el porcentaje de material volátil ➤ Se obtuvo el porcentaje de cenizas ➤ Se determinó el porcentaje de carbón fijo a través de la siguiente formula: $\% Cf = 100 - (\% Cz + \% Mv)$ Donde:

% Cf = Porcentaje Carbón fijo % Cz = Porcentaje de ceniza % Mv = Porcentaje de material volátil
Cálculos
➤ Se reportó cuantitativamente el porcentaje de carbón fijo obtenido

Realizado por: Lozada, D, 2021.

Tabla 12-2: Prueba de densidad

Procedimiento
➤ Se procedió con ayuda de una balanza analítica pesar una probeta de 100 ml vacía ➤ Se agregaron a la probeta semillas de <i>Datura stramonium</i> hasta que esta esté llena y volver a pesar
Cálculos
➤ Se reportó cuantitativamente los datos obtenidos de la probeta vacía y la probeta llena

Realizado por: Lozada, D, 2021.

2.9. Calcinación

Tabla 13-2: Calcinación de la materia prima por pirolisis

Procedimiento
➤ Se colocó dentro del reactor 200 g de semillas de <i>Datura stramonium</i> ➤ Se procedió a cerrar y sellar el reactor ➤ Se encendió el equipo y abrir la llave de gas nitrógeno hasta que el manómetro de una presión de 30 y cerrar ➤ Se procedió a configurar el set point de la temperatura en el que el equipo ➤ Se procedió a tomar el tiempo que el equipo va a trabajar y revisar constantemente que la presión no se eleve, una vez transcurrido el tiempo que el equipo trabajó, apagar y dejar enfriar por 2 horas ➤ Se procedió a sacar la muestra y pesar ➤ Se procedió a analizar el rendimiento
Cálculos
➤ Se reportó los datos obtenidos de manera cuantitativa y cualitativa

Realizado por: Lozada, D, 2021.

2.10. Activación e impregnación

Tabla 14-2: Activación e impregnación con ácido fosfórico (H₃PO₄)

Procedimiento
➤ Se preparó las soluciones con ácido fosfórico (H ₃ PO ₄) al 40 y 85 %
➤ Se procedió en una capsula de 100 cm ³ colocar 25 g de carbón y agregar la solución de ácido fosfórico al 40 % en relación 1:3
➤ Se procedió en otra capsula de 100 cm ³ colocar 25 g de carbón y agregar la solución de ácido fosfórico al 85 % en relación 1:1
➤ Se procedió a cubrir las capsulas con papel aluminio dejando unos pequeños agujeros
➤ Se colocó en la estufa por 24 horas a una temperatura de 120 °C
➤ Se procedió a sacar de la estufa y lavar

Realizado por: Lozada, D, 2021.

2.11. Lavado

Tabla 15-2: Lavado del carbón

Procedimiento
➤ Se procedió con ayuda de un reverbero y un vaso de precipitación calentar agua destilada a 80 °C y agregar a la capsula que contiene el carbón activado con ácido fosfórico ya completamente seco
➤ Se procedió con una varilla de agitación remover constantemente
➤ Se procedió a cortar papel filtro según el embudo a utilizar
➤ Se procedió a pasar por el embudo y comenzar a lavar, como mínimo 10 lavados
➤ Se procedió a medir el pH este debe ser neutro
➤ De no llegar al pH deseado lavar con hidróxido de sodio y volver a lavar con agua destilada
➤ Se procedió a medir el pH
➤ Se procedió una vez lavado colocar dentro de la estufa por 24 horas a una temperatura de 74 °C
➤ Se procedió a sacar de la estufa y pesar

Realizado por: Lozada, D, 2021.

2.12. Análisis físico químico del carbón activado

Tabla 16-2: Determinación del contenido de humedad

Procedimiento
Se encendió la balanza de humedad. Se colocó el plato de muestras dentro de la balanza, cerrar y tarar. Se colocó 5 g de muestra de carbón activado dentro del plato. Se procedió a cerrar la balanza y esperar hasta que el equipo proporcione el porcentaje de humedad. Se retiró el plato con la muestra, limpiar y apagar el equipo.
Cálculos
Se reportó cuantitativamente el porcentaje de humedad resultante

Realizado por: Lozada, D, 2021.

Tabla 17-2: Determinación de la materia volátil

Procedimiento
Se pesaron 2 g de carbón activado Se procedió a tarar el crisol con tapa y colocar la muestra dentro. Se encendió el reverbero Se colocó sobre el reverbero el crisol con la muestra y dejar hasta que deje de eliminar humo Se retiró el crisol hacia el desecador hasta que se enfríe Se procedió a pesar
Cálculos
Se reportó cuantitativamente por diferencia de pesos

Realizado por: Lozada, D, 2021.

Tabla 18-2: Determinación del contenido de ceniza

Procedimiento
Se encendió la mufla y tarar el crisole hasta que el peso sea contante. Se colocó 2 g de carbón activado previamente utilizada para la determinación del contenido de humedad dentro de un crisol Se colocó dentro de la mufla a una temperatura de 550 °C hasta obtener ceniza Se procedió a sacar el crisol y pesar
Cálculos
Se reportó cuantitativamente el porcentaje de ceniza obtenido

Realizado por: Lozada, D, 2021.

Tabla 19-2: Determinación del carbono fijo

Procedimiento
<p>Se obtuvo el porcentaje de material volátil</p> <p>Se obtuvo el porcentaje de cenizas</p> <p>Se determinó el porcentaje de carbón fijo a través de la siguiente fórmula:</p> $\% Cf = 100 - (\% Cz + \% Mv)$ <p>Donde:</p> <p>%Cf = Porcentaje Carbón fijo</p> <p>%Cz = Porcentaje de ceniza</p> <p>%Mv = Porcentaje de material volátil</p>
Cálculos
Se reportó cuantitativamente el porcentaje de carbón fijo obtenido

Realizado por: Lozada, D, 2021.

Tabla 20-2: Prueba de densidad

Procedimiento
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Se procedió con ayuda de una balanza analítica pesar una probeta de 100 ml vacía ➤ Se procedió a agregar a la probeta carbón activado hasta que esta esté llena y volver a pesar
Cálculos
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Se procedió por diferencia de pesos reportar cuantitativamente

Realizado por: Lozada, D, 2021.

2.13. Análisis de FTIR

Tabla 21-2: Método para determinar el espectro FT-IR de carbón activado

Materiales	Pipeta Pasteur Algodón Espectrofotómetro Infrarrojo FT-IR
Reactivos	Muestra de carbón activado Alcohol antiséptico
Procedimiento	
<p>Encender el equipo presionando el switch Power.</p> <p>Para iniciar el barrido, ejecutar el software Spectra Manager en el ordenador conectado al equipo.</p> <p>Limpiar con algodón y alcohol el área de muestra ubicada en la parte interior central del equipo.</p>	

Realizar el Background al verificar la ausencia de sustancia en el área de muestra, cerrar la tapa del equipo y presionar el botón Start ubicado en la parte frontal.

Realizar el barrido espectral colocando la muestra sobre el cristal del área de muestra, quitar el seguro ubicado en la parte posterior, jalar hacia adelante el tornillo de ajuste, ajustarlo hasta que muestre fricción, cerrar la tapa y pulsar Start.

Procesar el espectro utilizando el programa Spectra Analysis, corregir las escalas seleccionando y eliminar el CO₂.

Identificar y etiquetar los picos más relevantes asignando límites de lectura.

Generar las líneas auxiliares.

Guardar el espectro como un archivo del mismo programa o en un procesador de texto Word.

Finalmente cerrar todos los programas y apagar el equipo de ambos switch, apagar el ordenador y desconectar los equipos.

Cálculos

Reportar los datos obtenidos de manera cuantitativa y cualitativa los picos (grupos funcionales) presentes en la muestra.

Fuente: Manual de operación de Espectrofotómetro Infrarrojo FT-IR del laboratorio de Química instrumental, ESPOCH.

Realizado por: Lozada, D, 2021.

2.14. Índice de yodo

Tabla 22-2: Método para determinar el índice de yodo

Materiales	Vasos de precipitación de 250 y 500 ml Balón aforado de 250 ml Varilla de vidrio Papel filtro Pipetas volumétricas Bureta Pinza metálica Soporte Espátula Desecador Trípode Embudos Capsulas de porcelana Balanza analítica Estufa
-------------------	--

Reactivos	Ácido clorhídrico Solución estándar tiosulfato de sodio 0.1 N Solución estándar de yodo 01 N Solución de almidón
Procedimiento	
<p>Previamente calentar la estufa hasta 145 °C</p> <p>En la balanza analítica pesar 2 g de carbón activado en las capsulas de porcelana</p> <p>Dejar las capsulas con la muestra durante dos horas</p> <p>Extraer las muestras y colocarlas en el desecado por 15 minutos</p> <p>Colocar en un vaso de precipitación una muestra de 1.5 g</p> <p>Agregar 10 ml de HCl al 5 % hasta que se humedezca toda la muestra</p> <p>Llevar los vasos de precipitación a fuego durante 30 segundos</p> <p>Dejar enfriar la muestra</p> <p>Agitar los vasos durante 30 segundos</p> <p>Filtrar la muestra utilizando los embudos</p> <p>Los primeros 25 ml filtrados deben ser descartados y recoger el resto en un vaso de precipitación</p> <p>En el balón aforado colocar 50 ml del filtrado</p> <p>Colocar tiosulfato de sodio 0.1 N en las buretas</p> <p>Iniciar la titulación</p> <p>Añadir 1 ml de la solución de almidón a las muestras hasta un color azul</p> <p>Titular hasta que desaparezca el color azul y anotar el volumen de titulación</p> <p>Para más información revisar el ANEXO A</p>	
Cálculos	
Reportar los datos obtenidos de manera cuantitativa y cualitativa	

Fuente: Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1988:2013.

Realizado por: Lozada, D, 2021.

2.15. Aplicación industrial

Tabla 23-2: Determinación del rendimiento de adsorción para una solución de plomo (II)

Procedimiento
<p>Se preparó una solución de concentración de 10 ppm de Pb^{2+} en un volumen de 50 mL</p> <p>Se midió el pH y se añadió carbón activado en una relación de 1 g/L.</p>

La solución fue puesta en agitación constante durante 3 horas, tiempo para que los iones lleguen al equilibrio. Se filtraron las soluciones obtenidas y se prepararon para la identificación de la concentración final de cada metal por el método designado para cada uno.

Se calculó el porcentaje de remoción que obtuvo cada metal.

Cálculos

Reportar los datos obtenidos de manera cuantitativa

Fuente: Laguna, G, 2021.

Realizado por: Lozada, D, 2021.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1. Caracterización fisicoquímica de la materia prima semillas de *Datura stramonium*

3.1.1. *Humedad*

El porcentaje de humedad de la semilla *Datura stramonium* se la determinó mediante una prueba de laboratorio en la que se obtuvo un resultado de 9.83 % en la primera muestra y en una posterior de 9.89 % dando una media de 9.86 %, siendo este porcentaje aceptable para realizar los análisis posteriores. Este porcentaje se refleja en la prueba realiza con la utilización de una balanza de humedad y posterior reporte cuantitativo.

3.1.2. *Material volátil*

Este ensayo de laboratorio se lo emplea para determinar el tanto por ciento de productos gaseosos expeliendo el vapor de humedad de la muestra analizada que se desprende bajo condiciones específicas de prueba para la determinación del material volátil de la semilla se utilizó las mismas previamente secas con equipo de laboratorio el cual fue un crisol en el que se colocó la muestra a tarar, a continuación se procedió a someterlo a temperaturas altas para eliminar los vapores, una vez culminado este paso se deja enfriar el crisol y se lo pesa para obtener el resultado por diferencia de pesos el cual es de 0.61%.

3.1.3. *Ceniza*

Para la determinación de este valor se realiza mediante la destrucción de la materia orgánica presente en la semilla *Datura stramonium* previamente utilizada por sometimiento a temperaturas de calcinación (550 °C) por 24 horas, una vez culminado el tiempo de calcinación se procedió a determinar gravimétricamente el residuo presente el cual se expresa en porcentaje (g/100 g de muestra) dando un resultado de 69.37 % y 85.91 %.

3.1.4. *Carbón fijo*

Para la determinación del carbón fijo presente en la muestra inicial se procedió a obtener el porcentaje de material volátil y el porcentaje de ceniza para aplicar la diferencia entre 100 y la suma de los

porcentajes mencionados ($100 - (\% Cz + \% Mv)$) y así obtener el porcentaje de carbono fijo el cual es de 29.80 y 13.19 respectivamente para cada muestra.

$$\%Cf = (100 - (\%Cz + \%Mv))$$

Siendo:

$\%Cf$ = Porcentaje de Carbón fijo

$\%Cz$ = Porcentaje de ceniza

$\% Mv$ = Porcentaje de material volátil

3.1.5. Densidad

En la determinación de la densidad de las semillas de *Datura stramonium* se utilizó una balanza analítica y una probeta de 100 ml, procediendo a pesar la probeta vacía, posteriormente se pesó la probeta llena de la muestra con lo que se puede reportar dos pesos y mediante una diferencia se puede obtener el resultado de 0,568 g/cm³ y 0,564 g/cm³ para las dos pruebas realizadas siendo este valor menor a la densidad del agua lo cual es correcto ya que esta semilla se sumerge en el agua con relativa facilidad. En la siguiente tabla se muestra los resultados de la caracterización fisicoquímica de la semilla de *Datura stramonium*, donde indica el porcentaje de humedad, materia volátil, ceniza, carbón fijo y densidad obtenidos.

Tabla 1-3: Resultados de la Caracterización fisicoquímica de la materia prima

Propiedades Fisicoquímicas	Materia prima	Muestra (%)		Promedio (%)
		1	2	Final
Humedad (%)	Semillas de <i>Datura stramonium</i>	9,83	9,88	9,855
Material Volátil (%)	Semillas de <i>Datura stramonium</i>	69,37	85,91	77,64
Ceniza (%)	Semillas de <i>Datura stramonium</i>	0,83	0,40	0,615
Carbón fijo (%)	Semillas de <i>Datura stramonium</i>	29.80	13.19	21,495
Densidad (g/cm³)	Semillas de <i>Datura stramonium</i>	0,568	0,564	0,566

Realizado por: Lozada, D, 2021.

Un trabajo similar realizado en Bogotá por Rincón et al. (2014), estudió la obtención de carbón activado a partir de semillas de eucalipto, donde se indica los resultados de la caracterización fisicoquímica de la mencionada semilla que tuvo valores de: humedad 13.56 %, materia volátil 4.60 %, ceniza 3.40 % y carbón fijo 78.44 %. En comparación a la semilla de *Datura stramonium*, se nota diferencias marcadas en el carbón fijo y el material volátil; sin embargo, el porcentaje de ceniza que contiene las semillas de *Datura stramonium* puede ayudar a la calidad del carbón por la baja contaminación de los compuestos minerales que se cuantifican en el porcentaje de ceniza.

3.2. Calcínación

La tabla 2-3 describe los resultados obtenidos de la calcínación de las semillas que comenzó con 200 g de muestra para cada caso, con la inyección de nitrógeno en el reactor. Para el cálculo del rendimiento de la masa obtenido se lo hace a través de la siguiente fórmula.

Donde:

P1 = Peso de materia prima

P2 = Peso carbón obtenido

El rendimiento se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento} = \frac{P2}{P1} * 100\%$$

Tabla 2-3: Resultados de la calcínación de la materia prima

Análisis	Muestra	Peso materia prima (g)	Ejecución de Tratamiento	Temperatura calcínación (°C)	Tiempo de calcínación (h)	Peso carbón (g)	Rendimiento calcínación (%)
1	1	200	1	400	1	55.05	27.52
			2	400	1		
	2	200	3	400	0.5	50.16	25.08
			4	400	0.5		
	3	200	5	450	1	59.12	29.56
			6	450	1		
	4	200	7	450	0.5	55.49	27.75
			8	450	0.5		
2	1	200	1	400	1		

			2	400	1	55.42	27.71
	2	200	3	400	0.5	50.79	25.39
			4	400	0.5		
	3	200	5	450	1	59.98	29.99
			6	450	1		
	4	200	7	450	0.5	55.03	27.51
			8	450	0.5		

Realizado por: Lozada, D, 2021.

Dónde: T1= Muestra tratamiento 1; T2= Muestra tratamiento 2; T3= Muestra tratamiento 3; T4= Muestra tratamiento 4

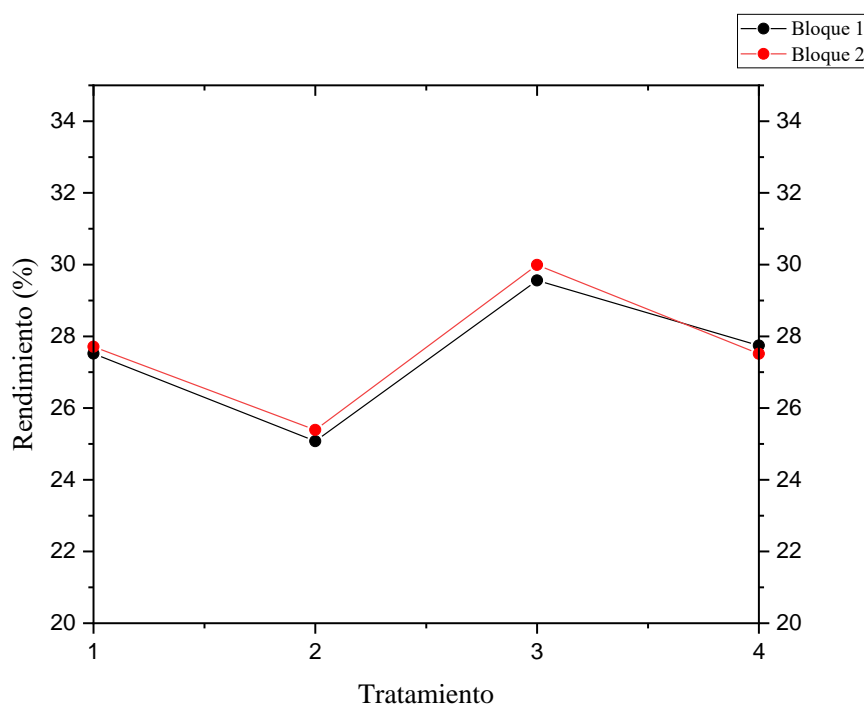


Gráfico 1-3: Porcentaje de rendimiento en la calcinación de la materia prima

Realizado por: Lozada, D, 2021.

Se identifica patrones claros que evidencian que la calcinación a temperatura de 450 °C con un tiempo de 1 hora dio mejores resultados para conseguir un peso mayor en cada una de las repeticiones; en adelante se tomará como referencia esta prueba para su comparación con las demás. Por el contrario, el menor tiempo de calcinación que en el tratamiento 2 y la disminución a 30 minutos y una temperatura de 400 °C resultó en una cantidad menor al del peso de producción de carbón en el tratamiento 3. Sin embargo, un proceso que puede ser mucho más eficiente en cuanto al coste energético es la que se utilizó es el tratamiento 4 realizada a 450 °C y 30 minutos, ya que al tener un menor tiempo de proceso se consigue un rendimiento superior que el tratamiento 3 al consumir menor cantidad de energía y tiempo.

Por otro lado, comparando con el estudio realizado por Rincón et al. (2014), Se calcinó las semillas de eucalipto a la temperatura de 600 °C por su mayor contenido de carbono fijo, en comparación con la aplicada en este trabajo que fue de 450-500 °C por su contenido menor de carbón fijo, todo ello debido a que una temperatura excesiva va a resultar en la pérdida de la materia prima si se la somete a temperaturas demasiado altas o muy bajas que no garanticen una correcta calcinación.

3.3. Activación e impregnación

La activación se basa en dos aspectos fundamentales, el primero es la carbonización de la semilla, seguida de la activación del producto carbonizado, para esto se realizó una activación química con ácido fosfórico, esto luego de la carbonización de la semilla de *Datura stramonium*, esto consiste en impregnar el material con una solución a diferentes concentraciones del agente activante (ácido fosfórico), sometiendo la muestra a temperaturas elevadas en ausencia de aire durante un periodo de tiempo determinado, así el agente se introduce en la estructura del carbón; posteriormente, se realiza un lavado de la misma con el objetivo de remover el ácido fosfórico de la superficie del carbón para crear la porosidad interna, con la utilización de los parámetros descritos en la siguiente tabla para cada uno de las ejecuciones en las muestras, donde P₁ es el peso de carbón que se activará e impregnará y P₂ es el peso de la solución de ácido fosfórico.

Tabla 3-3: Activación e impregnación con ácido fosfórico (H₃PO₄)

Análisis	Muestra	Ejecución de Tratamiento	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Concentración de ácido fosfórico (%)	Temperatura de impregnación (°C)	Tiempo de calcinación (h)
1	1	1	25	75	40	400	1
		2	25	25	85	400	1
	2	3	25	75	40	400	0.5
		4	25	25	85	400	0.5
	3	5	25	75	40	450	1
		6	25	25	85	450	1
	4	7	25	75	40	450	0.5
		8	25	25	85	450	0.5
2	1	1	25	75	40	400	1
		2	25	25	85	400	1
	2	3	25	75	40	400	0.5
		4	25	25	85	400	0.5

3	5	25	75	40	450	1
	6	25	25	85	450	1
4	7	25	75	40	450	0.5
	8	25	25	85	450	0.5

Realizado por: Lozada, D, 2021.

Dónde: T1= Muestra del tratamiento 1; T2= Muestra del tratamiento 2; T3= Muestra del tratamiento 3; T4= Muestra del tratamiento 4

Como se muestra en la tabla 30-3, se prepararon soluciones en concentraciones del 40 % y 85 % de ácido fosfórico, las cuales fueron agregadas al carbón en las relaciones de 1:3 y 1:1 respectivamente, además de la adición de calor a 400 °C y 450 °C en varias pruebas para facilitar la activación el carbón. Los datos obtenidos de estas pruebas se procedieron a realizar el análisis en el FT-IR para conocer detalladamente los grupos funcionales originados en el producto final de carbón activado, desarrollado en el proceso, los mismos que serán descritos posteriormente.

3.4. Análisis físico químico del carbón activado

3.4.1. Porcentaje de Humedad

El porcentaje de humedad presente en el carbón activo no influye en el poder de adsorción del mismo, pero aquellos que no son almacenados bajo condiciones favorables, pueden adsorber entre 25 y 30 % de humedad en el transcurso de uno o dos trimestres. La humedad presente en la superficie aumenta a medida que el tamaño de las partículas de carbón disminuye; en el análisis el porcentaje de humedad no debe superar el 8% para ser considerado un carbón activo redituable, siendo un parámetro que se cumple a cabalidad. Así mismo el porcentaje de humedad presente en todos los análisis no supera este porcentaje establecido para ser considerado un carbón activado aceptable.

3.4.2. Material Volátil

El contenido de material volátil en porcentaje fue entre 33.72 % y 69.27 % debido al ácido utilizado en el proceso, siendo un valor adecuado debido a la materia prima utilizada comprobando que no existe una diferencia marcada para el carbón activado obtenido de las semillas de *Datura stramonium*.

3.4.3. Ceniza

El porcentaje de cenizas es el contenido residual obtenido luego de someterlo a temperaturas elevadas (400 °C – 450 °C), hasta conseguir un peso constante expresado en términos de porcentaje; la cantidad de cenizas que quedan y su composición contribuyen a la adsorción y ciertas propiedades del carbón. Para disminuir el contenido de cenizas en el carbón se suele realizar lavados con ácidos para evitar afecciones por las mismas; así pues, al tener un porcentaje pequeño de cenizas aumenta su temperatura de ignición minimizando el riesgo que suceda siendo este resultado alto en varios ensayos.

3.4.4. Carbón Fijo

Tal como se observa en la tabla 31-3 el contenido de carbón fijo en promedio es de 65.97 % siendo un valor que se encuentra dentro del rango permitido para ser considerado como carbón activo el cual varía entre 60 y 95 %, así el contenido de carbón fijo es un parámetro que cumple con las especificaciones.

3.4.5. Densidad Aparente

La densidad aparente es una propiedad específica del carbón activado definida como el peso de partículas por el volumen que ocupan, esta propiedad debe ser tomada en cuenta al momento de elegir un carbón activado esto debido a que si tiene una densidad alta resulta ser beneficioso al existir una mayor cantidad de gramos de carbón en menor espacio. La densidad aparente para el carbón activado de las semillas de *Datura stramonium* en promedio es de 0.383 g/cm³ el cual es un valor que se encuentra entre los valores establecidos de 0.26 a 0.65 g/cm³ por la norma ASTM D – 2854 de manera que el producto obtenido se encuentra en el rango. Además, que al tener una densidad menor la adsorción del carbón activo es mucho mayor.

La tabla 31-3 muestra los resultados del análisis fisicoquímico realizado al material que resultó de la calcinación de las semillas de *Datura stramonium*, donde se obtuvo:

Tabla 4-3: Resultados fisicoquímicos del carbón activado

Análisis	Muestra	Ejecución de Tratamiento	Humedad (%)	Material Volátil (%)	Ceniza (%)	Carbón fijo (%)	Densidad Aparente (g/cm ³)
1	1	1	4.71	32.94	0.61	61.74	0.46
		2	3.56	60.66	0.56	35.22	0.32
	2	3	1.22	45.44	0.21	53.13	0.43
		4	1.18	33.32	0.33	65.17	0.37

	3	5	3.89	35.22	0.35	60.53	0.42
		6	3.10	67.12	0.39	29.39	0.36
	4	7	1.52	39.37	0.03	59.08	0.46
		8	1.42	43.12	0.22	55.24	0.35
2	1	1	4.66	32.96	0.54	61.84	0.48
		2	3.62	59.55	0.56	36.27	0.33
	2	3	1.37	45.37	0.29	52.97	0.39
		4	1.32	33.27	0.30	65.10	0.34
	3	5	3.85	35.24	0.38	60.53	0.44
		6	3.01	67.19	0.43	29.38	0.33
	4	7	1.31	39.10	0.15	59.44	0.45
		8	1.21	43.21	0.27	55.31	0.38
Promedio de los análisis 1 y 2	1	1	4.69	32.95	0.58	61.79	0.47
		2	3.59	60.11	0.56	35.75	0.33
	2	3	1.29	45.41	0.25	53.05	0.41
		4	1.25	33.29	0.32	65.14	0.36
	3	5	3.87	35.23	0.37	60.53	0.43
		6	3.06	67.16	0.41	29.39	0.35
	4	7	1.42	39.24	0.09	59.26	0.46
		8	1.32	43.17	0.25	55.28	0.37

Realizado por: Lozada, D, 2021.

Dónde: T1= Muestra del tratamiento 1; T2= Muestra del tratamiento 2; T3= Muestra del tratamiento 3; T4= Muestra del tratamiento 4

En relación con el carbón activado obtenido por Rincón et al. (2014), se nota diferencias más marcadas en humedad y ceniza, con un contenido de hasta 3 veces más y se deben a la cantidad que posee la materia prima con la que se realiza este proceso y a las temperaturas y métodos de trabajo. Por otro lado, en la cantidad de materia volátil y carbón fijo, se diferencian levemente por las condiciones de proceso que requieren cada una.

3.5. Análisis de FTIR

3.5.1. Espectros FTIR de las muestras

Después de realizar los análisis de las muestras de carbón activado se obtuvieron los análisis de los espectros IR los cuales se muestran a continuación, donde se puede observar que las 8 muestras poseen 4 zonas claramente semejantes en su número de onda, las cuales se las ha denotado como A,

B, C y D, se indican en el gráfico 2-3. Para un análisis más minucioso de los tratamientos revisar el ANEXO C.

Zona A: En esta primera zona se analizaron en un rango de número de onda de 2500 a 4000 cm^{-1} el cual se le atribuye en este caso al grupo hidroxilo OH, figura 1-1 se puede evidenciar la formación de enlaces hidroxilos en el proceso de formación de carbón activo en base a un medio ácido, la banda que se encuentra alrededor de los 3000 cm^{-1} se le puede atribuir al enlace C-H de un ciclo alcano y junto a esta banda cerca de los 2900 cm^{-1} al enlace C-H de un grupo metilo. A excepción de las muestras T3 y T4 que en sus rangos de bandas presentan ciertas interferencias en su medición, pero con forma característica de enlace OH. Cabe recalcar que las variaciones de porcentaje de transmitancia dependen de la escala para mejor visibilidad de la banda.

Zona B: En esta zona se analizaron en un rango de número de onda de 2000 a 2500 cm^{-1} , en cada una de las muestras la señal propia de la molécula de CO_2 , siendo una interferencia dentro de la medición, de todas las muestras sin excepción.

Zona C: Entre el rango de número de onda de 1500 a 2000 cm^{-1} se visualiza dos bandas juntas que representan el resultado de anillos aromáticos o enlaces dobles carbono-carbono. C=C.

Zona D: En el rango de número de onda entre 1000 y 1500 cm^{-1} , se le atribuye al enlace P = O que resulta del proceso de activación e impregnación en medio ácido (Ácido fosfórico) al que se sometieron todas las muestras calcinadas, además se puede evidenciar en el punto de 1100 cm^{-1} la presencia de enlaces carboxílicos, que también denotan característica ácida a las muestras obtenidas.

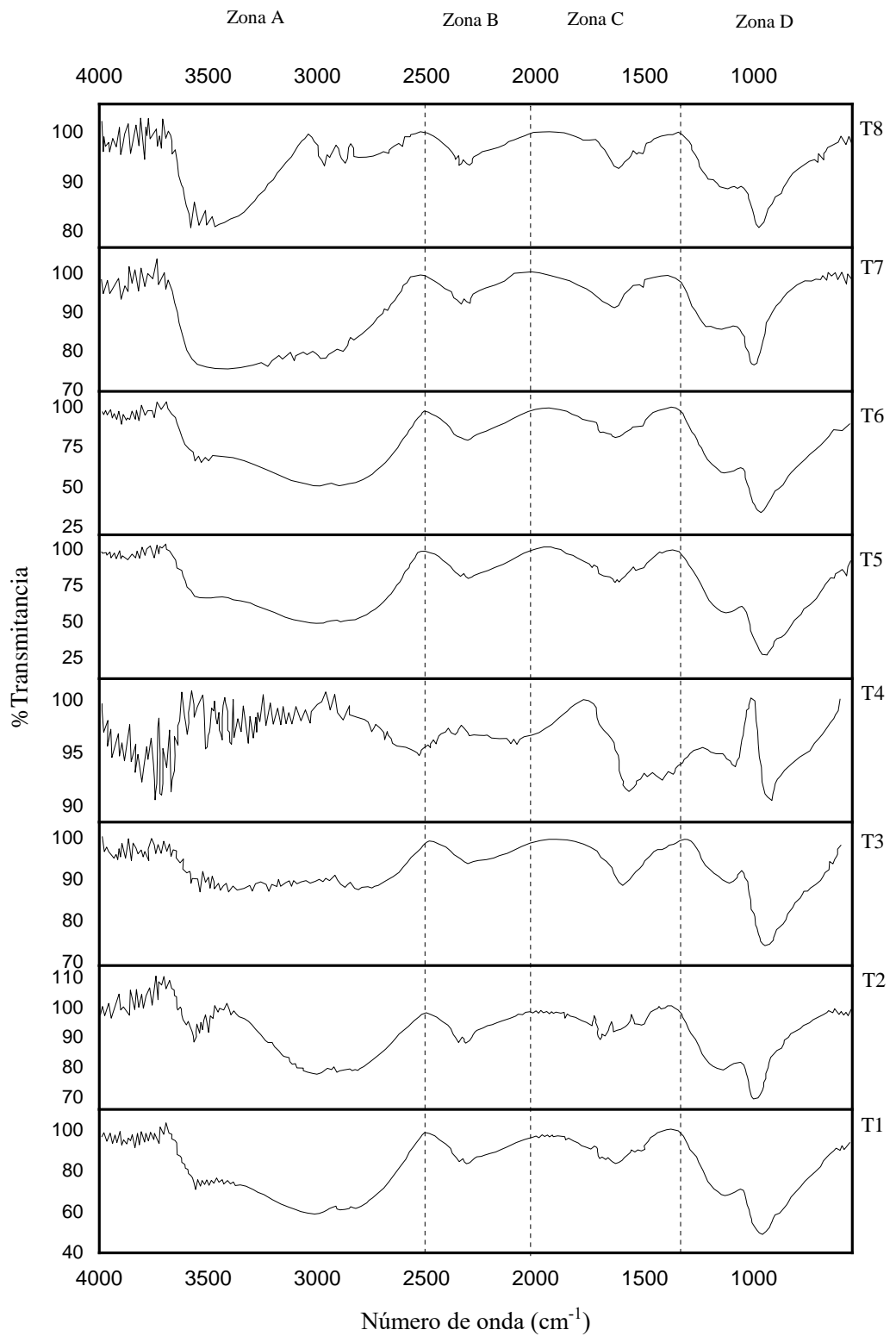


Gráfico 2-3: Análisis FT-IR muestras de carbón activado en diferentes tratamientos.

Realizado por: Lozada, D, 2021.

Dónde: T1= Muestra del tratamiento 1; T2= Muestra del tratamiento 2; T3= Muestra del tratamiento 3; T4= Muestra del tratamiento 4

3.5.2. Resultados de otros estudios

En el estudio realizado por Rincón, et al (2014), donde se utilizó semillas de eucalipto para obtener carbón y activarlo utilizando ácido fosfórico (H_3PO_4) en concentraciones de 30 % (muestra CAE 30) y en 80 % (muestra CAE 80), a una temperatura de 600 °C, presenta el siguiente análisis espectrométrico IR para sus dos muestras.

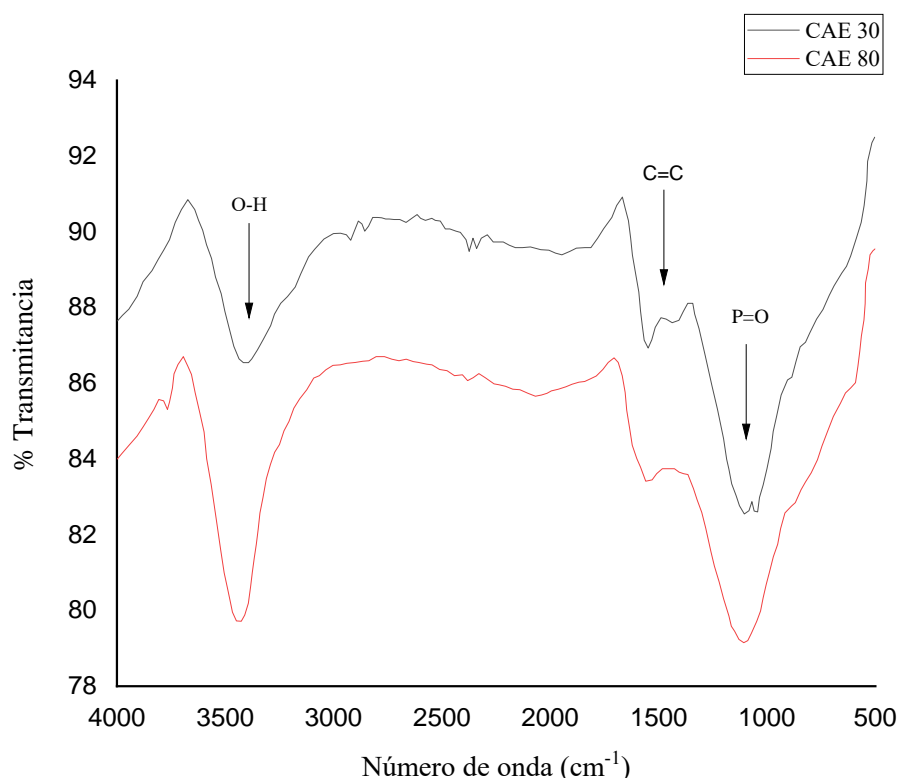


Figura 1-3: FTIR carbón activado eucalipto para concentración de 30% y 85% de H_3PO_4

Fuente: (Rincón, Nelson, et al. 2014, p.213).

Respecto a los casos de estudio gráfica 2-3, y en comparación de la figura 1-3 del estudio de eucalipto se tiene las bandas determinadas y descritas, las cuales todos los tratamientos presentan cierta similitud, pero el tratamiento 3 (T3), es el más parecido al estudio presente en Rincón et al (2014), cabe considerar que las condiciones del tratamiento cambian respecto al estudio con eucalipto, como sus concentraciones del agente ácido y de temperatura en el reactor usado, considerando eso se presenta los grupos funcionales hidroxilo con una banda muy ancha, la señal del CO_2 característica alrededor de los 2500 cm^{-1} , y la señal evidente de la impregnación del ácido fosfórico alrededor de los 1000 cm^{-1} , considerando que el número de onda es de 500 a 4000 cm^{-1} .

3.6. Análisis SEM

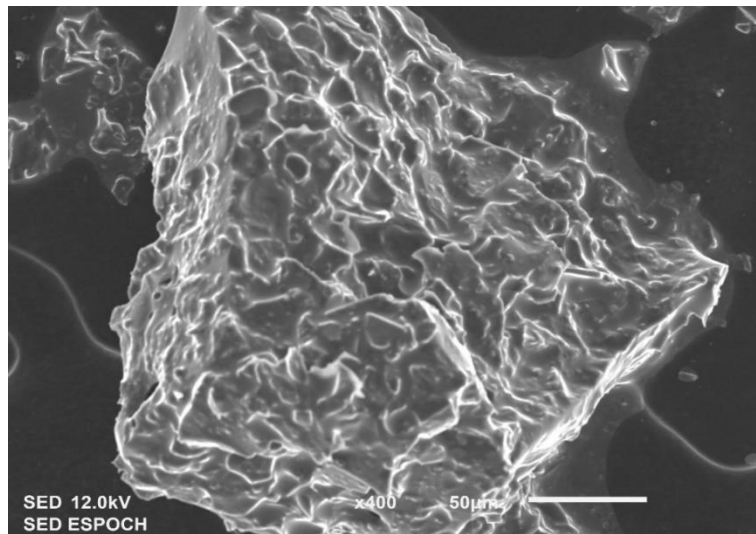


Figura 2-3: Microscopia electrónica de barrido para el tratamiento 1 de *Datura stramonium*.

Realizado por: Lozada, D, 2021.

El tratamiento 1 (T1), presenta poros anchos debido a la reacción entre el ácido fosfórico que tuvo una concentración del 40% y su relación con el tiempo de impregnación, las dos variables que influyen directamente ya que se sometieron a altas temperaturas (400 °C) con lo cual se ve afectado así a la estructura del carbón activado, evidentemente se relaciona con mesoporos dificultando así su capacidad de absorción.

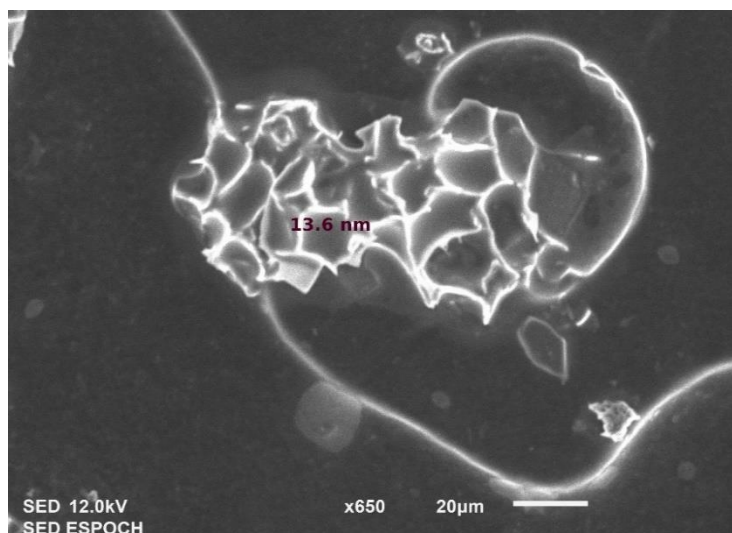


Figura 3-3: Microscopia electrónica de barrido para el tratamiento 2 de *Datura stramonium*.

Realizado por: Lozada, D, 2021.

El tratamiento 2 (T2), presenta a una concentración de 85% de ácido fosfórico el carbón activado posee una morfología de poros bien definida con lo cual se puede desempeñar procesos de adsorción teniendo un tamaño de poro de 13.6 nm que de acuerdo a la clasificación de IUPAC, ubicando al mismo dentro de los mesoporos siendo considerados como medio de entrada a la partícula de carbono, asociado con una distribución monomodal.

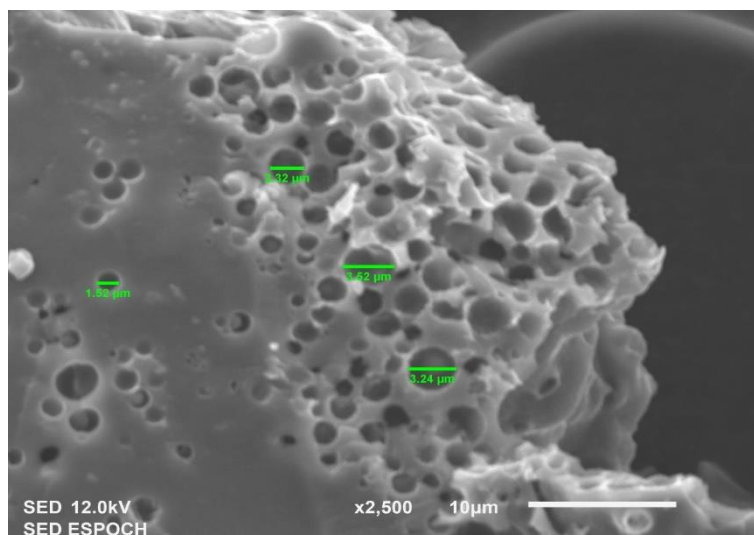


Figura 4-3: Microscopia electrónica de barrido para el tratamiento 3 de *Datura stramonium*.

Realizado por: Lozada, D, 2021.

Para el tratamiento 3 (T3) se identificaron microporos según la clasificación de la IUPAC, por su característica morfológica de poros de un diámetro menor que el tratamiento 2, concluyendo que presentaría mejor capacidad de adsorción, puede darse respecto al tiempo de impregnación del ácido fosfórico puesto que la variable concentración se mantiene constante con respecto al tratamiento 2.

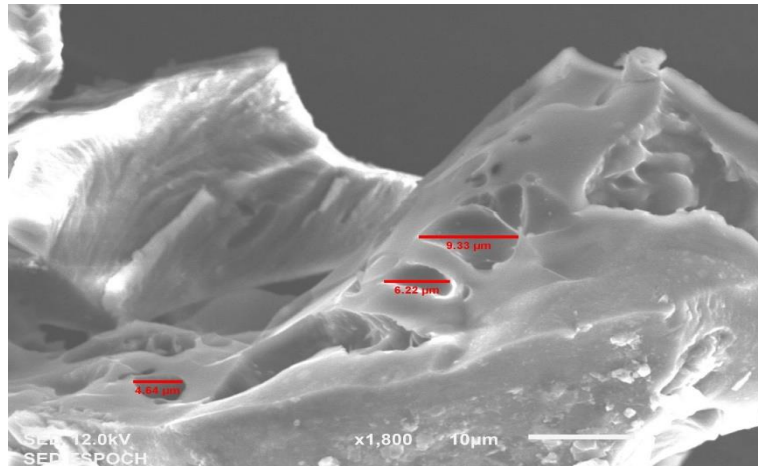


Figura 5-3: Microscopia electrónica de barrido para el tratamiento 4 de *Datura stramonium*.

Realizado por: Lozada, D, 2021.

En el tratamiento 4 (T4) se tiene que existe un aumento del tamaño de poro con respecto al tratamiento 3, esto es debido al tiempo de impregnación de 0.5 h, de acuerdo a la clasificación de la IUPAC lo ubican dentro de los mesoporos lo cual presenta propiedades que disminuyen su capacidad de adsorción del carbón activado.

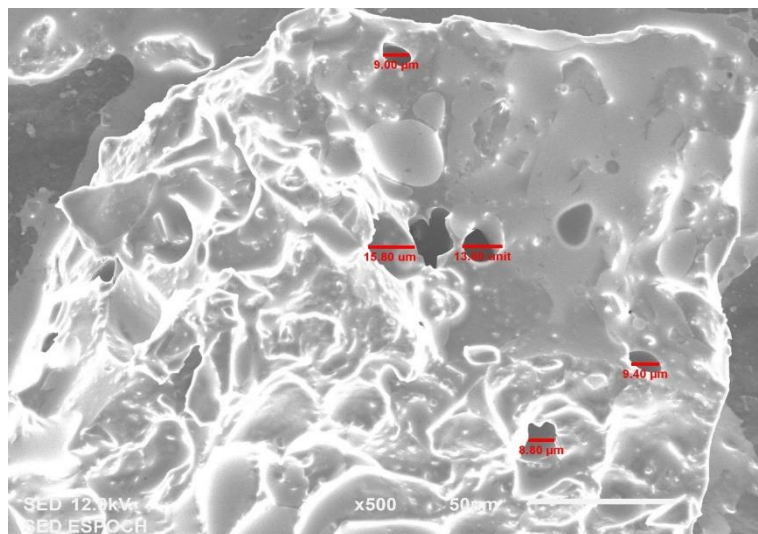


Figura 6-3: Microscopia electrónica de barrido para el tratamiento 5 de *Datura stramonium*.

Realizado por: Lozada, D, 2021.

En el tamaño de poro del tratamiento 5 (T5), mantiene un tamaño de poro superior a 2 nm ubicándolo dentro de la clasificación de los mesoporos esto es debido a la concentración de ácido fosfórico de 40% en un tiempo de impregnación de 1 h indicando así la dependencia del tamaño de poro por los dos parámetros fundamentales como la concentración del activante como del tiempo de impregnación.

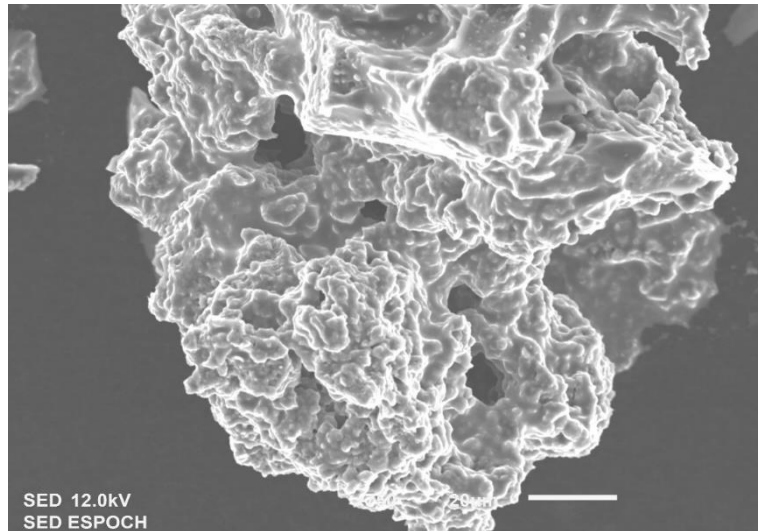


Figura 7-3: Microscopia electrónica de barrido para el tratamiento 6 de *Datura stramonium*.

Realizado por: Lozada, D, 2021.

El tamaño de poro en el tratamiento 6 (T6), se mantiene en relación al tratamiento 5 no existiendo un cambio considerable en su morfología, con lo cual se da similitud en el proceso.

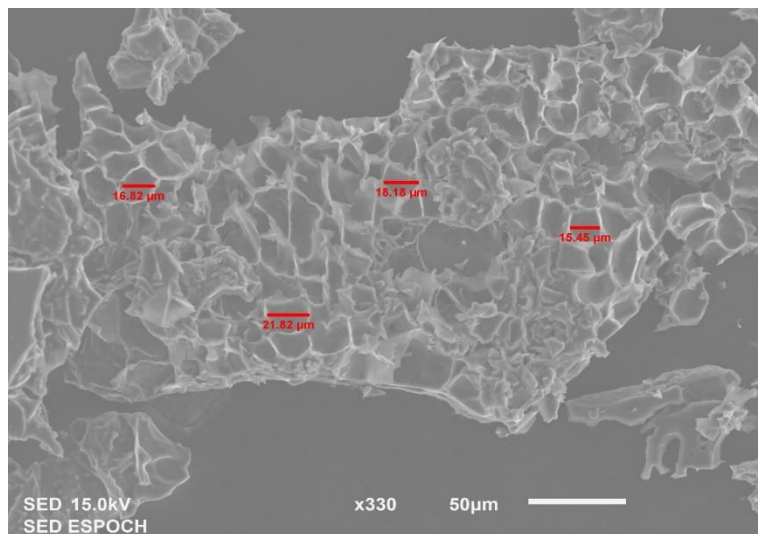


Figura 8-3: Microscopia electrónica de barrido para el tratamiento 7 de *Datura stramonium*.

Realizado por: Lozada, D, 2021.

El tamaño de poro aumenta en el tratamiento 7 (T7), considerándose como mesoporos lo cual dificulta su actividad como adsorbente, dichas características que toma se debe al tiempo de impregnación de ácido fosfórico.

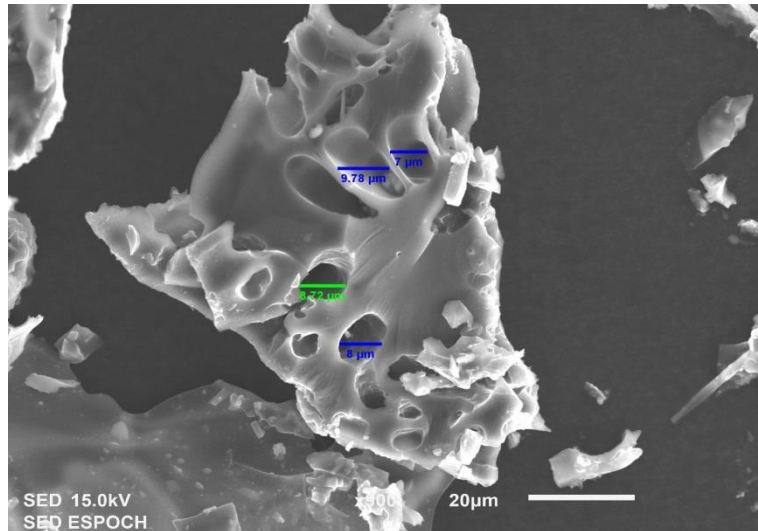


Figura 9-3: Microscopia electrónica de barrido para el tratamiento 8 de *Datura stramonium*.

Realizado por: Lozada, D, 2021.

El tratamiento 8 (T8), disminuye el tamaño del poro mejorando su capacidad de adsorbente, está fuertemente ligado a la concentración de ácido fosfórico y tiempo de impregnación del activante en la superficie del carbón activado.

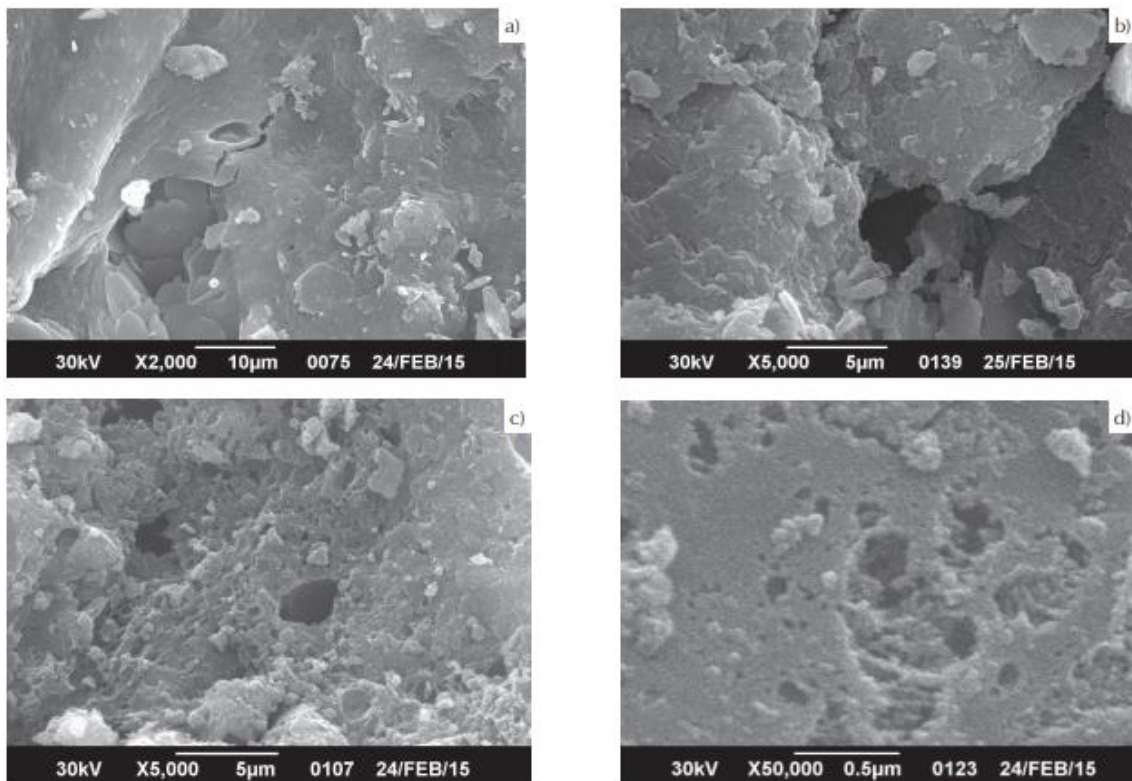


Figura 10-3: Microscopia electrónica de barrido (SEM) de carbón activado de lodos de plantas de tratamiento de Aguas Residuales

Realizado por: (Rojas, M, et al. 2016).

Se tomó las imágenes de carbón activado en SEM de Rojas, M, et al (2016), donde se comparó con los diferentes tratamientos realizados en la práctica, teniendo en conclusión que el tratamiento 3 (T3), se identifica como el mejor debido a que presenta microporos según la clasificación de la IUPAC, por su característica morfológica de poros de menor diámetro que el tratamiento 2 se concluye que tiene mejor capacidad de adsorción debido al gran volumen específico de los microporos y a su elevada superficie específica. Generalmente, para distintos carbones activados comerciales, el volumen de micro poro varía entre 0.15 y 0.50 cm³/g su superficie específica cuando menos asciende hasta el 95% del valor total. Esto puede deberse al tiempo de impregnación del ácido fosfórico y temperatura de impregnación, como se puede observar en los análisis de la Figura 10-3.

3.7. Índice de Yodo

De acuerdo con la norma ASTM D-4607 el valor del índice de yodo para el carbón activo comercial se encuentra en un rango de 500 y 1200 mg/g; este factor se considera uno de los más importantes a la hora de determinar si el carbón es de calidad o no, pues al ser mayor el valor de índice de yodo mayor capacidad de adsorción tendrá además de un tiempo de vida útil más prolongado. Se utilizó la norma técnica NTE INEN 1988:2013 (ANEXO A) para determinar el índice de yodo presente en los carbones activos resultantes utilizando las muestras a las dos concentraciones variando el volumen de titulación con Na₂S₂O₃.

$$\text{Índice de yodo} = \frac{V}{m} * f$$

$$\frac{V}{m} = \frac{A - (2,2 * B * V1)}{mc}$$

$$A = N_1 * 12693$$

$$B = N_2 * 126.93$$

$$C = \frac{N_2 * V_1}{50}$$

V/m: mg de yodo absorbido por g. de carbón activado

C: normalidad del filtrado residual (para calcular factor f)

f: factor de corrección

V₁: Volumen utilizado de tiosulfato de sodio 0.1 N en ml

N₁: normalidad de la solución estándar de yodo 0.1 N

N₂: normalidad de la solución estándar del tiosulfato de sodio 0.1 N

Los resultados del índice de yodo se muestran a continuación para cada una de las muestras de carbón activado.

Tabla 5-3: Resultados obtenidos de la titulación para determinar el índice de yodo

	Concentración 40% H ₃ PO ₄				Concentración 85% H ₃ PO ₄			
	Muestra T1	Muestra T3	Muestra T5	Muestra T7	Muestra T2	Muestra T4	Muestra T6	Muestra T8
P ₁ (g)	223.06	193.90	193.21	193.21	239.04	205.09	196.61	196.61
P ₂ (g)	225.49	195.85	195.19	195.34	241.12	206.77	198.45	198.64
P (g)	2.43	1.94	1.98	213	2.08	1.68	1.84	2.03
mc (g)	1.89	1.52	1.54	1.66	1.50	1.21	1.33	1.46
V ₁ (ml)	10.00	12.50	13.00	10.00	16.00	17.50	16.50	16.00
N ₁	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
N ₂	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10

Realizado por: Lozada, D, 2021.

Donde:

P₁: Peso de la capsula

P₂: Peso de la capsula con muestra

P: Peso de la muestra

mc: Masa del carbón activado seco

V₁: Volumen Na₂S₂O₃

N₁: Normalidad de solución de yodo

N₂: Normalidad de Na₂S₂O₃

Tabla 6-3: Resultados del índice de yodo a concentraciones de 40 y 85% de H₃PO₄

Datos	Concentración 40% H ₃ PO ₄				Concentración 85% H ₃ PO ₄			
	Muestra a T1	Muestra a T3	Muestra a T5	Muestra a T7	Muestra a T2	Muestra a T4	Muestra a T6	Muestra a T8
A	126.93	126.93	126.93	126.93	126.93	126.93	126.93	126.93
B	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27
C	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03
v/m	507.56	606.59	587.66	595.11	549.50	631.22	608.10	561.77

F	0.99	0.97	0.96	1.01	0.93	0.93	0.97	0.93
Índice de yodo	500.61	585.36	564.15	602.85	511.04	587.03	563.29	522.45

Realizado por: Lozada, D, 2021.

Donde:

A= Constante resultante; B= Constante resultante; C= Constante resultante;

v/m= Coeficiente para cálculo de índice de yodo

f= Factor del índice de yodo

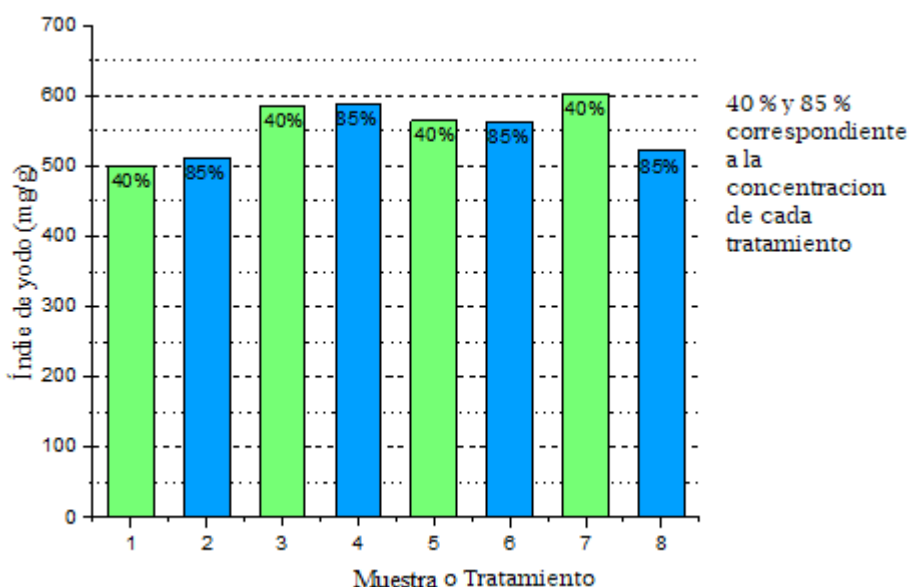


Gráfico 3-3: Resultado del índice de yodo para 40 y 85 %

Realizado por: Lozada, D, 2021.

Para cada uno de los ensayos de carbón activado a 40 % y 85 % se obtuvo un resultado de 500.61 mg/g, 511.04 mg/g, 585.36 mg/g, 587.03 mg/g, 564.15 mg/g, 563.29 mg/g, 602.85 mg/g, 522.45 mg/g para cada ensayo realizado; de acuerdo a la norma ASTM D-4607 el valor de este apartado no debe ser inferior a 500 ni superior a 1200 mg/g para ser considerado un carbón activo de buena calidad, pues como se observa todas las muestras presentan un valor superior a los 500 mg/g siendo el tratamiento 3 (T3) el de mejores características con un valor de (585.36 mg/g) considerando todos los resultados de los análisis anteriores y limitando el rango establecido según la Norma en este apartado, teniendo como evidencia final la calidad aceptable del producto obtenido para su posterior aplicación.

3.8. Análisis de composición química

En la composición química del carbón activado se observa el porcentaje de N y C que es muy similar entre todos los tratamientos. Las muestras tratadas han conseguido una composición típica de los materiales lignocelulósicos, donde el carbón tiene la mayor parte de la composición con un 48%, no muy alejado de los análisis, sin embargo, no es un factor decisivo en la capacidad de adsorción. Como se muestra anteriormente, los datos obtenidos de los pesos en la calcinación demuestran que se ha conseguido una eficiencia esperada a un material de origen vegetal.

El nitrógeno que compone el carbón resulta en una baja composición, como resultado calcinación a alta temperatura, sin embargo, no se aleja del valor que presentarían otros materiales sometidos a este tratamiento. En este tratamiento de acorde a la secuencia de análisis que se ha realizado, se tiene que el tratamiento 3 presenta la mayor proporción de composición química de carbono con un valor de 42.83% y 0.0125% de Nitrógeno, en una concentración de 45%, respecto a la secuencia se puede evidenciar que el tratamiento 3 es el más efectivo. Se realizó el análisis de la composición del porcentaje de carbón y nitrógeno para las muestras de carbón activado.

Tabla 75-3: Resultados porcentaje de Carbono y Nitrógeno del Carbón Activado

Análisis	Muestra	Ejecución de Tratamiento	Composición química	
			%C	%N
Promedio de los análisis 1 y 2	1	1	39.17	0.013
		2	39.05	0.015
	2	3	42.83	0.013
		4	40.69	0.013
	3	5	39.09	0.014
		6	41.48	0.013
	4	7	41.67	0.013
		8	41.69	0.013

Realizado por: Lozada, D, 2021.

Dónde: T1= Muestra del tratamiento 1; T2= Muestra del tratamiento 2; T3= Muestra del tratamiento 3; T4= Muestra del tratamiento

3.9. Aplicación industrial del carbón activado para la remoción de plomo (II)

Mediante la obtención del carbón activado obtenido de *Datura stramonium* como un material adsorbente de metales para la aplicación industrial, se desarrolló un ensayo de pruebas considerando todos los ocho tratamientos obtenidos, logrando identificar la capacidad de adsorción de plomo (II) y su influencia con la variación de pH, este trabajo lo realizó Laguna (2021), con la temática "Evaluación de carbón activado a partir de semillas de *Datura stramonium* como material adsorbente de metales (Cromo VI y Plomo II)."

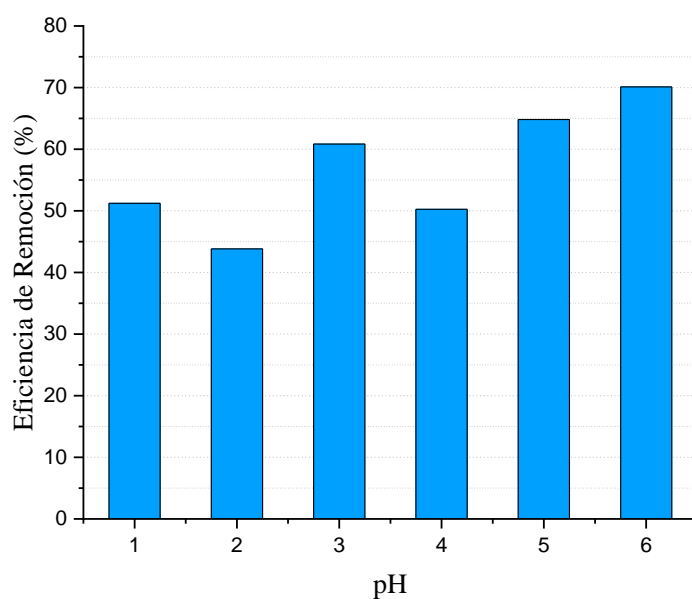


Gráfico 4-3: Influencia del pH en el porcentaje de remoción de plomo (II)

Fuente: Laguna, G, 2021.

Como se observa en la gráfica 4-3, la influencia del pH no afecta considerablemente la capacidad de adsorción de plomo (II) en las seis muestras de remoción donde el carbón activado resulta favorable para la aplicación en distintos campos industriales que poseen aguas residuales con distintas características.

En cuanto a datos del rendimiento en general, se obtuvo alrededor de un 74 % de remoción de plomo (II) con respecto al valor inicial. El buen resultado que se ha obtenido en la eliminación del contaminante resulta de muy útil por la dificultad que tienen las grandes industrias al tratar sus efluentes y el costo que conlleva. Este resultado presente no es un limitante para este material, ya que, al haber una gran variedad de contaminantes, es indudable que habrá una mayor afinidad por unos, respecto a otros y con el estudio de cada uno de ellos se realizarán los análisis correspondientes.

3.10. Comprobación de Hipótesis

3.10.1. Hipótesis General

*¿La obtención de carbón activado a partir de semillas de *Datura stramonium* por métodos químicos podrá ser utilizado para aplicaciones industriales?*

Se acepta la presente hipótesis ya que se obtuvo carbón activado a partir de las semillas de *Datura stramonium*, mediante el método de activación química en medio ácido con ácido fosfórico, obteniendo un alto contenido de carbón de 42.823% verificando su aplicación industrial en la adsorción de Plomo (II) en el tratamiento de aguas residuales.

3.10.2. Hipótesis Específica

3.10.2.1. Hipótesis 1

La concentración del material activador para la obtención de carbón activado influye en la composición morfológica del material.

La hipótesis es aceptada, respecto a que se analizaron las muestras en concentraciones diferentes del 45% y 80% en medio ácido, con lo cual en los análisis instrumentales como el IR y el SEM se puede evidenciar la diferencia en la longitud de las bandas de los grupos funcionales y en el SEM se puede evidenciar la diferencia en la formación de poros debido al tiempo de impregnación teniendo una comparación para la determinación del tratamiento 3 (40%) como el idóneo respecto a los demás.

3.10.2.2. Hipótesis 2

La temperatura de calcinación para la obtención de carbón activado influye en la estructura del material.

Se acepta la hipótesis debido a que en la activación en medio ácido y la calcinación dependen directamente de la temperatura en el procedimiento, se aplicaron dos intervalos de 400°C y 500°C, en tiempos de 30 minutos a 1 hora, teniendo variaciones en las estructuras por lo que se identifica el mejor tratamientos respecto a sus análisis.

3.10.2.3. Hipótesis 3

El análisis espectrométrico permitirá la determinación de la estructura del material.

Se acepta la hipótesis debido a que el análisis FTIR permite determinar en niveles de %transmitancia respecto al número de onda las bandas en una gráfica que se determinan los grupos en base a la forma y la ubicación de picos, además de poder obtener una comparación entre los diferentes tratamientos.

3.10.2.4. *Hipótesis 4*

Para la obtención del carbón activado a partir de semillas de Datura stramonium, el método químico tiene una gran eficacia para mejorar la capacidad de adsorción del material.

La hipótesis es aceptada debido a que se determinaron los parámetros necesarios para identificar la eficiencia de obtención de carbón activado a partir de *Datura stramonium*, teniendo en cuenta que el método se basó en una activación en medio ácido, se obtuvo que respecto a los 8 tratamientos el más adecuado en todos sus análisis fue el tratamiento 3.

CONCLUSIONES

- Se caracterizaron las semillas de *Datura stramonium*, debido a que es un residuo agrícola, que se trata como maleza en nuestro país, el cual es un material que en su proceso de calcinación es rentable por su bajo contenido de humedad de 9.855% y por su alto contenido de carbono fijo de 21.495%, siendo estos los parámetros relevantes obtenidos en la caracterización de la materia prima con lo cual se puede obtener carbón activado mediante tratamiento con activación ácida.
- Se realizó el proceso de activación química en ocho tratamientos con concentración de 40% y 85% de ácido fosfórico (H_3PO_4) como medio activante, además se consideró el rango de temperatura de impregnación de 400 a 450 °C en tiempos de calcinación de 0.5 a 1 hora, con lo cual el proceso que ha proporcionado los mejores resultados, es el tratamiento 3 con un tiempo de calcinación de la materia prima de 0.5 H a una de concentración de 40% y una temperatura de impregnación de 400 °C el cual detallo las mejores características en la prueba de yodo, además de la caracterización de Yodo donde todos los tratamientos cumplieron con la Norma establecida.
- Se caracterizaron los 8 tratamientos de carbón activado después de activarlos en medio ácido mediante el análisis espectrofotométrico IR, donde los tratamientos se analizaron en un rango de 1000 a 5000 cm^{-1} en número de onda y un rango de 25 a 100 en % de Transmitancia, donde se analizaron los picos o bandas, donde se pudieron verificar las coincidencias precisas de los picos formados, teniendo en cuenta esta descripción se concluyó que el Tratamiento 3 es el más idóneo, además del análisis SEM que se determinó la estructura presentaba mayor cantidad de reacción con el ácido generando así más espacio adsorbente para sus posteriores aplicaciones,
- Se evaluó las eficiencias típicas, las cuales se encuentra dentro de los límites normales de obtención de masa de carbón activado, donde el porcentaje presente de carbono es alto además de un bajo contenido de material inorgánico resultando la similitud de cualquier otro material lignocelulósico, después de ser sometido a la calcinación y activación teniendo Carbono y Nitrógeno con un contenido de 42.823% y 0.0125% respectivamente, en el tratamiento 3 que es el más apto para la aplicación en el proceso de adsorción de plomo (II) en el tratamiento de aguas residuales.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar la activación de la materia prima con un medio básico a diferentes concentraciones para verificar la eficiencia y selectividad del mismo en su activación.
- Realizar otros tipos de caracterización adicionales a los ya mencionados como termo gravimetría (TGA), determinando la muestra en rangos variados de temperatura, la espectrofotometría de masas para el análisis a mayor detenimiento de la composición química con la finalidad del análisis a fondo de la materia prima y el producto terminado, además investigar sobre la mezcla de carbón activado de distintos tipos de origen y formas de activación para aprovechar la sinergia en la reducción de distintos tipos de contaminantes.
- Realizar más aplicativos industriales del carbón activado, como en tratamiento de aguas, decoloración del azúcar, purificación de gases entre otros logrando identificar la mayor eficiencia del carbón activado obtenido.

GLOSARIO

FTIR: La espectroscopia de transmisión de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR) se emplea en la caracterización de diferentes compuestos para identificar los grupos funcionales presentes en las muestras. Esta técnica es sensible a la estructura ya que reflejan las vibraciones características de los grupos de átomos por lo que se emplean para identificar especialmente los grupos orgánicos (Marsh y Rodríguez, 2006, p.325).

INEN: Esta norma establece las reglas para la estructura, redacción y presentación de los documentos normativos expedidos (Marsh y Rodríguez, 2006, p.325).

ASTM: International (American Society for Testing and Materials) es una de las organizaciones internacionales de desarrollo de normas más grandes del mundo. En ASTM se reúnen productores, usuarios y consumidores, entre otros, de todo el mundo, para crear normas de consenso voluntarias (Marsh y Rodríguez, 2006, p.325).

Calcinación: es la remoción de agua, dióxido de carbono y otros gases que se encuentran químicamente unidos en forma de hidratos o carbonatos, durante el proceso de calcinación cambia la naturaleza química del mineral (Marsh y Rodríguez, 2006, p.325).

Quimisorción: es la formación de enlaces químicos entre las moléculas de adsorbato y localizaciones específicas de la superficie del adsorbente, también llamadas sitios activos. Los ensayos de quimisorción se emplean para evaluar cuantitativamente el número de sitios activos en la superficie, estos sitios en catalizadores son los que luego actuarán para promover reacciones químicas (Marsh y Rodríguez, 2006, p.325).

Índice de yodo: El índice de yodo es una medida de la actividad que posee el carbón activado es decir un carbón activado que posea mayor índice de yodo será capaz de adsorber mayor cantidad de contaminantes que uno que posee índice bajo, además de presentar una vida más larga de duración (Marsh y Rodríguez, 2006, p.325).

BIBLIOGRAFÍA

AYSU, T.; & DURAK, H. "Thermochemical conversion of *Datura stramonium* L. by supercritical liquefaction and pyrolysis processes". *Journal of Supercritical Fluids* [en línea], 2015, volumen (102), pp. 98-114. [Consulta: 06 noviembre 2020]. ISSN 08968446. DOI 10.1016/j.supflu.2015.04.008. Disponible en: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.supflu.2015.04.008>>.

BUDINOVA, T., et al. "Characterization and application of activated carbon produced by H₃PO₄ and water vapor activation". *Fuel Processing Technology*, volumen, 87 (2006), pp. 899-905. ISSN 03783820. DOI 10.1016/j.fuproc.2006.06.005.

CANALES, R.; & PRIETO, F. "Taguchi optimization for production of activated carbon from phosphoric acid impregnated agricultural waste by microwave heating for the removal of methylene blue". *Diamond and Related Materials* [en línea], 2020, volumen (109), p. 108027. [Consulta: 03 diciembre 2020]. ISSN 09259635. DOI 10.1016/j.diamond.2020.108027. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.diamond.2020.108027>>.

CHÁVEZ, L. *Producción y Caracterización de Nuevos Materiales: Carbón Activado y Materiales Obtenidos del Frijol*. 2008. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, a.c.

DAUD, W., et al. "Effects of carbonization temperature on pore development in palm-shell-based activated carbon. *Carbon*"; volumen, 38 (2000), pp. 1925-1932. ISSN 00086223. DOI 10.1016/S0008-6223(00)00028-2.

KIM, W., et al. "Characterization of cadmium removal from aqueous solution by biochar produced from a giant *Miscanthus* at different pyrolytic temperatures". *Bioresource Technology* [en línea], 2013, volumen (138), pp. 266-270. [Consulta: 03 diciembre 2020]. ISSN 18732976. DOI 10.1016/j.biortech.2013.03.186. Disponible en: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2013.03.186>>.

KOYUNCU, H.; & KUL, A. "Synthesis and characterization of a novel activated carbon using nonliving lichen *cetraria islandica* (L.) ach and its application in water remediation: Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies of malachite green removal from aqueous media". *Surfaces and Interfaces* [en línea], 2020, volumen (21), p. 100653. [Consulta: 03 enero 2021]. ISSN 24680230. DOI 10.1016/j.surfin.2020.100653. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.surfin.2020.100653>>.

LAGUA LÓPEZ, W., Evaluación de carbón activado a partir de semillas de *Datura stramonium* como material adsorbente de metales (Cromo VI y Plomo II). (Trabajo de titulación) [en línea] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ciencias, Ingeniería Química. Riobamba, Ecuador. 2021. pp. 36-39.

MARSH, H.; & RODRÍGUEZ, F. "Activated Carbon (Origins - a)". *Activated Carbon*. 2006. S.l.: s.n., pp. 13-86.

MARSH, H.; & RODRÍGUEZ, F. "Activation Processes (Chemical - b)". *Activated Carbon*. 2006. pp. 322-365. DOI 10.1016/b978-008044463-5/50020-0.

MARSH, H.; & RODRÍGUEZ, F. "Activation Processes (Thermal or Physical - c)". *Activated Carbon*, 2006. volumen (2), pp. 243-321. DOI 10.1016/b978-008044463-5/50019-4.

MOJICA, L., et al. "Síntesis de carbón activado proveniente de semillas de Eucalipto por activación física y química". *Afinidad*, vol. 69, (2012). ISSN 00019704, pp. 203-210.

NEGARA, D., et al. "Textural characteristics of activated carbons derived from tabah bamboo manufactured by using H₃PO₄ chemical activation". *Materials Today: Proceedings* [en línea], 2020, volumen (22), pp. 148-155. [Consulta: 20 agosto 2020]. ISSN 22147853. DOI 10.1016/j.matpr.2019.08.030. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.08.030>>.

OM, M., et al. "Characterization of porous activated carbon prepared from arhar stalks by single step chemical activation method". *Materials Today: Proceedings* [en línea], 2020, ISSN 22147853. DOI 10.1016/j.matpr.2020.05.370. [Consulta: 20 agosto 2020]. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.370>>.

QUEIROZ, L., et al. "Activated carbon obtained from amazonian biomass tailings (acai seed): Modification, characterization, and use for removal of metal ions from water". *Journal of Environmental Management* [en línea], 2020, volumen (270), p. 110868. ISSN 10958630. DOI 10.1016/j.jenvman.2020.110868. [Consulta: 20 octubre 2020]. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110868>>.

RINCÓN, N., et al. "Obtención de carbones activados a partir de semillas de eucalipto, por activación química con H₃PO₄. Caracterización y evaluación de la capacidad de absorción de fenol desde solución acuosa". *Ingeniería y Competitividad* [en línea], 1970, volumen (16), pp. 207-219. ISSN 0123-3033. DOI 10.25100/iyv.v16i1.3725. [Consulta: 20 octubre 2020].

Disponible en: <<http://www.scielo.org.co/pdf/inco/v16n1/v16n1a18.pdf>>.

ROJAS, M., GUTIÉRREZ, G., & COLINA, A. "Obtención y caracterización de carbón activado obtenido de lodos de plantas de tratamiento de agua residual de una industria avícola". [En línea], 2016, volumen (4), pp. 453-462. ISSN ISSN 1405-7743 FI-UNAM. [Consulta: 20 enero 2021]. Disponible en: <<http://www.scielo.org.mx/pdf/iit/v17n4/1405-7743-iit-17-04-00453.pdf>>.

TSENG, R., WU, F., & JUANG, R. "Adsorption of CO₂ at atmospheric pressure on activated carbons prepared from melamine-modified phenol-formaldehyde resins". *Separation and Purification Technology* [en línea], 2015, volumen (140), pp. 53-60. ISSN 13835866. DOI 10.1016/j.seppur.2014.11.018. [Consulta: 20 septiembre 2020]. Disponible en: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2014.11.018>>.

3.3 Reactivos

3.3.1 Acido clorhídrico al 5% (m/v). A 550 cm³ de agua destilada, añadir 70 cm³ de ácido clorhídrico concentrado, $d = 1,19$ (ver nota 1).

3.3.2 Solución estándar de Tiosulfato de sodio estándar 0,1 N. Disolver 24,82 g de tiosulfato de sodio, para análisis, Na₂S₂O₃·5H₂O, en 1 litro de agua destilada fresca y hervida. Añadir unas pocas gotas de cloroformo para minimizar la descomposición bacteriana de la solución de tiosulfato (ver anexo A).

3.3.3 Solución estándar de yodo 0,1 N. Disolver 12,7 g de yodo, (I₂) y 19,1 g de yoduro de potasio en aproximadamente 25 cm³ de agua destilada. Dejar la solución en reposo durante 4 h, agitando ocasionalmente. Diluir a 1 litro en un frasco aforado con agua destilada. Colocar en una botella de vidrio de color oscuro con tapa; almacenar en un lugar oscuro (ver anexo B).

3.3.4 Solución de almidón. Tomar 2,5 g de almidón, añadir una pequeña cantidad de agua destilada y moler en un mortero para formar una pasta delgada. Verter en una botella de 1 litro que contenga agua destilada hirviendo, enrasar. Preservar con 1,25 g de ácido salicílico por 1 litro de solución de almidón.

3.4 Procedimiento

3.4.1 Moler una muestra representativa hasta que el 95 % del carbón, pase el tamiz INEN de 45 µm. Se puede determinar la finura del carbón en base de un análisis por tamizado en húmedo.

3.4.2 Secar una porción de muestra del carbón pulverizado, a 140 °C por 2 h o también 110 °C por 3 h.

3.4.3 Dependiendo del carbón usado, pesar de 1,0 g a 1,6 g de carbón pulverizado seco y colocar en un matraz Erlenmeyer de 250 cm³.

3.4.4 Añadir, 10 cm³ de HCl al 5% (m/m) y dar vueltas el frasco Erlenmeyer, hasta que todo el carbón se haya humedecido.

3.4.5 Colocar el frasco Erlenmeyer sobre una plancha de calentamiento, llevar el contenido a ebullición y mantener así durante 30 s exactamente.

3.4.6 Dejar enfriar el Erlenmeyer y su contenido a temperatura ambiente y añadir mediante pipeta volumétrica, 100 cm³ de solución estándar de yodo 0,1 N.

3.4.7 Tapar inmediatamente el frasco Erlenmeyer y agitar vigorosamente el contenido durante 30 s, filtrar a través del papel filtro Whatman N° 2V o su equivalente.

3.4.8 Descartar los primeros 20 cm³ a 30 cm³ de filtrado, y recoger el filtrado en un frasco Erlenmeyer limpio.

3.4.9 Mezclar el filtrado en el frasco Erlenmeyer con una varilla de vidrio y pipetear 50 cm³ del filtrado en un Erlenmeyer de 250 cm³.

3.4.10 Titular los 50 cm³ de muestra, con una solución estándar de tiosulfato de sodio 0,1 N, hasta que el color amarillo haya desaparecido. Añadir aproximadamente 1 cm³ de solución de almidón y continuar la titulación hasta que el color azul del indicador desaparezca.

NOTA 1. Pureza de los reactivos. Los reactivos utilizados en esta norma deben ser productos químicos con grado analítico.

(Continúa)

3.4.11 Anotar el volumen usado de la solución estándar de tiosulfato de sodio 0,1 N (ver nota 2).

3.4.12 Efectuar la determinación por duplicado.

3.5 Cálculos

3.5.1 El número de yodo del carbón se calcula aplicando la ecuación siguiente:

$$\text{Número de yodo} = \frac{Y}{m} \times f$$

En donde

$$\frac{Y}{m} = \frac{A - (2,2 \times B \times V)}{m_0}$$

$$C = \frac{N_2 \times V_1}{50}$$

$$A = N_1 \times 12693$$

$$B = N_2 \times 126,93$$

V/m = mg de yodo absorbidos por g de carbón activado

C = normalidad del filtrado residual (para calcular f)

f = factor de corrección (ver Anexo C)

V_1 = volumen utilizado de tiosulfato de sodio 0,1 N, en cm³

N_1 = normalidad de la solución estándar de yodo 0,1 N

N_2 = normalidad de la solución estándar de tiosulfato de sodio 0,1 N

3.6 Errores de Método

3.6.1 La diferencia entre los resultados de una determinación efectuada por duplicado no debe exceder del 5% del valor promedio, en caso contrario, debe repetirse la determinación.

3.7 Informe de resultados

3.7.1 Como resultado final, debe informarse la media aritmética de los resultados de la determinación.

3.7.2 En el informe de resultados debe indicarse el método usado y el resultado obtenido; debe mencionarse, además, cualquier condición no especificada en esta norma o considerada como opcional, así como cualquier circunstancia que pueda haber influido sobre el resultado.

3.7.3 Debe incluirse todos los detalles para la completa identificación de la muestra.

NOTA 2. La capacidad de un carbón para cualquier adsorción depende de la concentración de la adsorción en el medio que contiene el carbón. De esta manera la concentración del filtrado residual debe ser especificada para que los factores adecuados, puedan ser aplicados para corregir la concentración para que concuerde con la definición.

La cantidad de muestra que se usare en la determinación está regulada por la actividad del carbón. Si la normalidad "C" del filtrado residual, no está dentro del rango 0,0080 N - 0,0334 N indicado en el Anexo C, repetir el procedimiento utilizando una cantidad de muestra diferente.

Lo anterior es importante para el análisis, ya que la relación de peso de yoduro de potasio a yodo es 1,5. 1 de la solución estándar de yodo.

(Continúa)

ANEXO A

ESTANDARIZACIÓN DE SOLUCIÓN DE TIOSULFATO DE SODIO 0,1 N, MEDIANTE LA SOLUCIÓN DE BIYODATO DE POTASIO 0,1 N, [KI (I₀₃)₂] (ver nota 3).

A.1 Pesar 3,249 g de biyodato de potasio 0,1N [KI (I₀₃)₂] y llevar a un litro con agua destilada en un frasco volumétrico. Conservar en una botella de vidrio con tapa.

A.2 Añadir 80 cm³ de agua destilada, mediante chorro constante, 1 cm³ de ácido sulfúrico (d = 1,84), 10 cm³ de solución de biyodato de potasio 0,1 N y 1 g de yoduro de potasio (KI).

A.3 Titular la mezcla anterior inmediatamente con la solución de tiosulfato de sodio. Añadir de 2 a 3 gotas de almidón, cuando el yoduro presenta un ligero color amarillo.

A.4 Continuar la titulación, añadiendo la solución de tiosulfato de sodio gota a gota, hasta que una gota ya no produzca color.

A.5 Anotar el volumen de la solución de tiosulfato de sodio, utilizado en la titulación.

A.6 La normalidad N₂ se calcula mediante la ecuación siguiente:

$$N_2 = \frac{1000}{\text{Tiosulfato de sodio consumido cm}^3}$$

NOTA 3 Para preparar la solución de biyodato de potasio 0,1 N, utilizar biyodato de potasio de calidad estándar primario, el cual ha sido secado durante 12 h a 105 °C y enfriado en un desecador.

(Continúa)

ANEXO B

ESTANDARIZACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE YODO 0,1 N

B.1 Pipetear 25 cm³ de solución de yodo 0,1 N a un Erlenmeyer de 250 cm³.

B.2 Titular inmediatamente con solución de tiosulfato de sodio 0,1 N.

B.3 Añadir de 2 a 3 gotas de almidón cerca del punto final, continuar la titulación hasta que la solución sea incolora.

B.4 Anotar el volumen utilizado de solución estándar de tiosulfato de sodio 0,1 N.

B.5 La normalidad N₁ se calcula mediante la ecuación siguiente:

$$N_1 = \frac{\text{cm}^3 \text{ tiosulfato de sodio utilizado por N del tiosulfato}}{25}$$

(Continúa)

ANEXO C
FACTOR DE CORRECCIÓN f PARA LA DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE YODO

NORMALIDAD DEL FILTRADO RESIDUAL, C	0,0000	0,0001	0,0002	0,0003	0,0004	0,0005	0,0006	0,0007	0,0008	0,0009
0,0080	1,1625	1,1613	1,1600	1,1575	1,1550	1,1538	1,1513	1,1500	1,1475	1,1463
0,0090	1,1438	1,1425	1,1400	1,1375	1,1363	1,1350	1,1325	1,1300	1,1288	1,1275
0,0100	1,1250	1,1238	1,1225	1,1213	1,1200	1,1175	1,1163	1,1150	1,1138	1,1113
0,0110	1,1100	1,1088	1,1075	1,1063	1,1038	1,1025	1,1000	1,0988	1,0975	1,0963
0,0120	1,0950	1,0938	1,0925	1,0900	1,0888	1,0875	1,0863	1,0850	1,0838	1,0825
0,0130	1,0800	1,0788	1,0775	1,0763	1,0750	1,0738	1,0725	1,0713	1,0700	1,0688
0,0140	1,0675	1,0663	1,0650	1,0625	1,0613	1,0600	1,0588	1,0575	1,0563	1,0550
0,0150	1,0538	1,0525	1,0513	1,0500	1,0488	1,0475	1,0463	1,0450	1,0438	1,0425
0,0160	1,0413	1,0400	1,0388	1,0375	1,0375	1,0363	1,0350	1,0333	1,0325	1,0313
0,0170	1,0300	1,0288	1,0275	1,0263	1,0250	1,0245	1,0238	1,0225	1,0208	1,0200
0,0180	1,0200	1,0188	1,0175	1,0163	1,0150	1,0144	1,0138	1,0125	1,0125	1,0113
0,0190	1,0100	1,0088	1,0075	1,0075	1,0063	1,0050	1,0050	1,0038	1,0025	1,0025
0,0200	1,0013	1,0000	1,0000	0,9988	0,9975	0,9975	0,9963	0,9950	0,9950	0,9938
0,0210	0,9938	0,9925	0,9925	0,9913	0,9900	0,9900	0,9888	0,9875	0,9875	0,9863
0,0220	0,9863	0,9850	0,9850	0,9838	0,9825	0,9825	0,9813	0,9813	0,9800	0,9788
0,0230	0,9788	0,9775	0,9775	0,9763	0,9763	0,9750	0,9750	0,9738	0,9738	0,9725
0,0240	0,9725	0,9708	0,9700	0,9700	0,9688	0,9688	0,9675	0,9675	0,9663	0,9663
0,0250	0,9650	0,9650	0,9638	0,9638	0,9625	0,9625	0,9613	0,9613	0,9600	0,9600
0,0260	0,9600	0,9588	0,9588	0,9575	0,9575	0,9563	0,9563	0,9550	0,9550	0,9538
0,0270	0,9538	0,9525	0,9525	0,9513	0,9513	0,9513	0,9500	0,9500	0,9500	0,9488
0,0280	0,9488	0,9475	0,9475	0,9463	0,9463	0,9463	0,9450	0,9450	0,9438	0,9438
0,0290	0,9425	0,9425	0,9425	0,9413	0,9413	0,9400	0,9400	0,9394	0,9388	0,9388
0,0300	0,9375	0,9375	0,9375	0,9363	0,9363	0,9363	0,9350	0,9350	0,9350	0,9346
0,0310	0,9333	0,9333	0,9325	0,9325	0,9325	0,9319	0,9313	0,9213	0,9300	0,9300
0,0320	0,9300	0,9294	0,9288	0,9288	0,9280	0,9275	0,9275	0,9275	0,9270	0,9270
0,0330	0,9263	0,9263	0,9257	0,9250	0,9250	-	-	-	-	-

(Continúa)
2013.1320

APÉNDICE Z
Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR

Esta norma no requiere de otras para su aplicación.

Z.2 BASES DE ESTUDIO

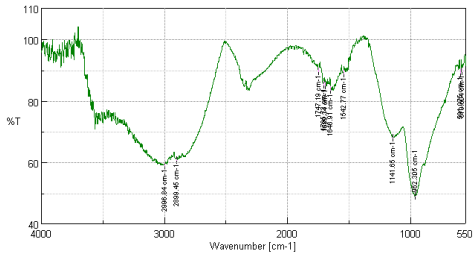
Norma ASTM D 4807-94 (Reapproved 2006). *Standard Test Methods for determination of Iodine Number of Activated Carbon*. West Conshohocken, 2006.

ANEXO B: MUESTRAS CARBÓN ACTIVADO

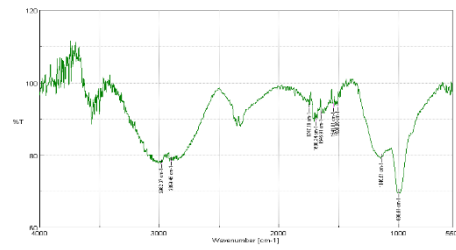


ANEXO C: GRÁFICAS DE IR DEL CARBON ACTIVADO

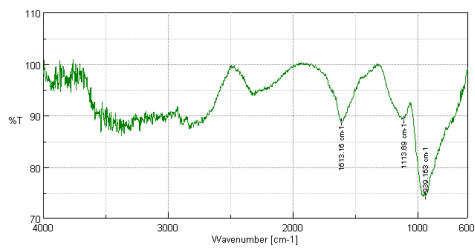
T1 40% Concentración



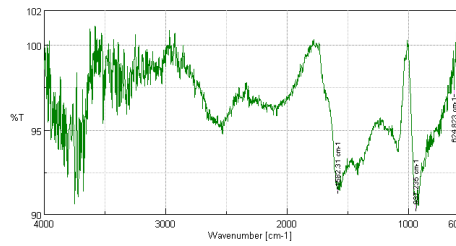
T2 85% Concentración



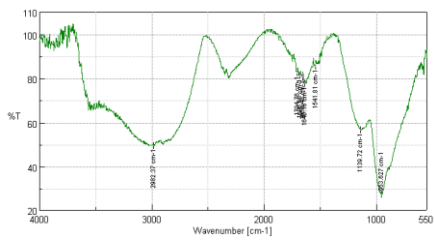
T3 40% Concentración



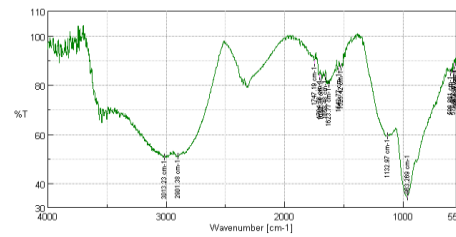
T4 40% Concentración



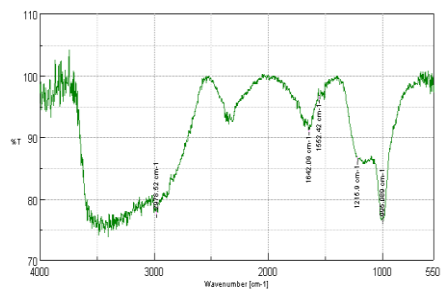
T5 40% Concentración



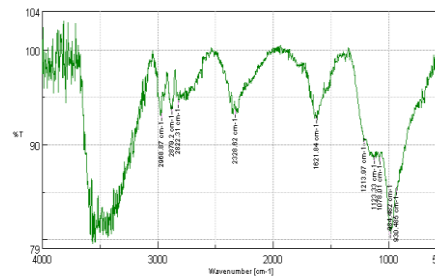
T6 40% Concentración



T7 40% Concentración



T8 40% Concentración





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL APRENDIZAJE
UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 23 / 11 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: <i>Deisy Anabel Lozada Martínez</i>
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: <i>Ciencias</i>
Carrera: <i>Ingeniería Química</i>
Título a optar: <i>Ingeniera Química</i>
f. Analista de Biblioteca responsable: <i>Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.</i>

**LEONARDO
FABIO MEDINA
NUSTE**

Firmado digitalmente por
LEONARDO FABIO
MEDINA NUSTE
Fecha: 2021.11.23 11:17:01
-05'00'



2037-DBRA-UTP-2021