



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A
PARTIR DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS DE LA *Musa x
paradisica* MEDIANTE ACTIVACIÓN QUÍMICA**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar el título de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR: ALEX DAMIAN CHULDE ORTEGA

DIRECTOR: ING. PAUL GUSTAVO PALMAY PAREDES MSc.

Riobamba – Ecuador

2023


© 2023, Alex Damian Chulde Ortega

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 de Autor.

Yo, Alex Damian Chulde Ortega, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular 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 autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 23-08-2023

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Alex Damian Chulde Ortega', with a large, stylized flourish extending upwards and to the left.

Alex Damian Chulde Ortega

175024854-2

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS DE LA *Musa x paradisiaca* MEDIANTE ACTIVACIÓN QUÍMICA** realizado por el señor: **ALEX DAMIAN CHULDE ORTEGA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Camilo Pavel Haro Barroso, Mgs PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-08-23
Ing. Paul Gustavo Palmay Paredes, MsC. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-08-23
Ing. Mónica Lilian Andrade Ávalos, Mgs ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-08-23

DEDICATORIA

Querida madre, con profundo amor y gratitud, dedico esta tesis a ti. Hoy, al finalizar esta etapa académica, quiero expresar de todo corazón mi agradecimiento por todo lo que has hecho por mí. Tus desvelos, sacrificios y amor incondicional han sido pilares fundamentales en mi formación y éxito. Esta tesis no solo refleja mis esfuerzos, sino también los tuyos. Tu apoyo inquebrantable ha sido mi motivación constante. Te honro y te agradezco desde lo más profundo de mí ser. Te amo infinitamente.

Alex

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis amigos, profesores y a esta universidad por su invaluable apoyo durante mi trayectoria académica. A mis amigos, les agradezco por su constante aliento, apoyo y por estar siempre dispuestos a ayudarme. A mis profesores, les estoy profundamente agradecido por su dedicación, conocimientos y por guiarme en mi aprendizaje. A esta universidad, le agradezco por brindarme la oportunidad de adquirir conocimientos y por su compromiso con la excelencia educativa. Sin su apoyo, confianza y enseñanzas, mi camino no habría sido el mismo.

Alex

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIÓN	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRAC.....	xv
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
1.1. <i>Identificación del problema</i>	2
1.2. <i>Limitaciones y Delimitaciones</i>	2
1.2.1. <i>Limitaciones</i>	2
1.2.2. <i>Delimitaciones</i>	2
1.3. <i>Problema General de la Investigación</i>	3
1.4. <i>Problemas Específicos de la Investigación</i>	3
1.5. <i>Objetivos</i>	3
1.5.1. <i>General</i>	3
1.5.2. <i>Específicos</i>	3
1.6. <i>Justificación</i>	3
1.6.1. <i>Justificación Teórica</i>	3
1.6.2. <i>Justificación Metodológica</i>	4
1.6.3. <i>Justificación Práctica</i>	4

CAPÍTULO II

2. MARCO TEORICO REFERENCIAL	5
2.1. <i>Antecedentes de la investigación</i>	5

2.2.	<i>Bases teóricas</i>	6
2.2.1.	<i>Carbón Activado</i>	6
2.2.2.	<i>Propiedades Químicas</i>	6
2.2.3.	<i>Propiedades Físicas</i>	8
2.2.4.	<i>Preparación de los carbones activados</i>	9
2.2.4.1.	<i>Precursores lignocelulósicos</i>	9
2.2.4.2.	<i>Métodos de preparación</i>	9
2.2.4.3.	<i>Activación física</i>	9
2.2.4.4.	<i>Activación química</i>	10
2.2.5.	<i>Generalidades del cultivo de plátano</i>	11
2.2.5.1.	<i>Cascara</i>	12
2.2.5.2.	<i>Remanentes o raquis</i>	12
2.2.5.3.	<i>Características de los residuos de Musa x Paradisiaca</i>	12
2.2.6.	<i>Contaminación del agua</i>	13
2.2.6.1.	<i>Análisis de la calidad del agua</i>	13
2.2.6.2.	<i>Muestreo de la calidad del agua</i>	13
2.2.6.3.	<i>Parámetros de análisis para determinar la calidad del agua</i>	13
2.2.7.	<i>Resultados y aplicaciones del carbón activado obtenido a partir de desechos agroindustriales</i>	14
CAPÍTULO III		15
3.	MARCO METODOLÓGICO	15
3.1.	<i>Localización y duración del experimento</i>	15
3.2.	<i>Enfoque de investigación</i>	15
3.2.1.	<i>Cuantitativo</i>	15
3.3.	<i>Nivel de Investigación</i>	15
3.3.1.	<i>Explicativa</i>	15
3.3.2.	<i>Correlacional</i>	16
3.4.	<i>Diseño de investigación</i>	16

3.4.1.	<i>Según la manipulación o no de la variable independiente</i>	16
3.4.1.1.	<i>Experimental:</i>	16
3.5.	<i>Tipo de estudio</i>	17
3.5.1.	<i>De campo</i>	17
3.5.2.	<i>Documental</i>	17
3.6.	<i>Población y Planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra</i>	17
3.6.1.	<i>Población</i>	17
3.6.2.	<i>Planificación</i>	17
3.6.3.	<i>Selección</i>	18
3.6.4.	<i>Calculo del Tamaño de la muestra</i>	18
3.7.	<i>Métodos, técnicas e instrumentos de investigación</i>	18
3.7.1.	<i>Secado de muestras a analizar</i>	18
3.7.2.	<i>Molienda de muestra seca</i>	18
3.7.3.	<i>Carbonización de residuos del plátano secados</i>	19
3.7.4.	<i>Método de ensayo de activación acida de carbón a base de residuos de plátano</i>	19
3.7.5.	<i>Método de ensayo de porcentaje de adsorción de carbón activado en una solución de cromo</i>	20
3.7.6.	<i>Método para determinar el espectro FTIR por transformada de Fourier</i>	21

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	23
4.1.	<i>Caracterización del carbón activado y la materia Prima</i>	23
4.1.1.	<i>Rendimiento y humedad en el proceso de activación</i>	23
4.1.1.1.	<i>Rendimiento en el proceso de carbonización o pirolisis</i>	23
4.1.1.2.	<i>Rendimiento en el proceso de activación</i>	24
4.1.2.	<i>Caracterización de carbón activado mediante espectro FTIR por transformada de Fourier</i>	25
4.1.2.1.	<i>Comparación de la caracterización del carbón activado con ácido fosfórico al 85%, 55% y 35%</i>	25

4.2. Determinación de adsorción de cromo con carbón activado por el método colorimétrico.	28
.....	28
4.2.1. Curva de calibración	28
4.2.2. Determinación de concentración de cromo en muestras filtradas con carbón activado ..	29
.....	29
4.2.3. Resultados del análisis estadísticos ANOVA	30
CONCLUSIONES	31
RECOMENDACIONES	32
BIBLIOGRAFIA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Características de los residuos de <i>Musa x Paradisiaca</i>	12
Tabla 1-3: Condiciones meteorológicas del cantón Riobamba	15
Tabla 2-3: Estructura del Diseño completamente al azar	16
Tabla 3-3: Estructura de ANOVA	16
Tabla 4-3: Materiales, insumos, reactivos, equipos empleados en el secado de la muestra	18
Tabla 5-3: Materiales, insumos, reactivos, equipos empleados en la molienda de la muestra ..	18
Tabla 6-3: Materiales, insumos, reactivos, equipos empleados en la carbonización de la muestra	19
Tabla 7-3: Materiales, insumos, reactivos, equipos empleados en la activación acida del carbón a base de residuos del plátano.	19
Tabla 8-3: Materiales, insumos, reactivos	20
Tabla 9-3: Materiales, insumos, reactivos, equipos empleados en la determinación del espectro FTIR por transformada de Fourier.	21
Tabla 1-4: Perdidas en el proceso de obtención de carbón activado.....	23
Tabla 2-4: Resultados de la identificación de picos sobresalientes presentes en el carbón activado con ácido fosfórico al 85, 55 y 35%	25
Tabla 3-4: Relación de grupos funcionales con el número de onda en el espectro FTIR	26
Tabla 4-4: Grupos funcionales presentes en el carbón activado con ácido fosfórico al 85, 55 y 35%	26
Tabla 5-4: Resultados del análisis de la curva de calibración.....	28
Tabla 6-4: Resultados del análisis del contenido de cromo de muestras filtradas con carbón activado mediante ácido fosfórico	29
Tabla 7-4: Resultados del análisis estadístico de la adsorción de cromo de muestras filtradas con carbón activado mediante ácido fosfórico.....	30
Tabla 8-4: Resultados del análisis estadístico ANOVA	30

ÍNDICE DE ILUSTRACIÓN

Ilustración 1-2: Representación esquemática de los grupos funcionales que se encuentran en un carbón activado	7
Ilustración 1-3: Planificación del proyecto de investigación	17
Ilustración 1-4: Comparación de los Espectros FTIR del carbón activado con H ₃ PO ₄ al 85, 55 y 35% de pureza.....	25
Ilustración 2- 4: Curva de calibración método colorímetro (concentración de cromo).....	28

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue determinar la concentración de H_3PO_4 óptima en la activación de carbón elaborado de residuos de plátano (*Musa x paradisiaca*) para la remoción de cromo, para lo cual se secó, molió y carbonizó los residuos, la carbonización se hizo en el Reactor Batch de Pirolisis Térmica a 400 grados Celsius, luego se realizó la activación con Ácido fosfórico (H_3PO_4) a diferentes concentraciones T1-85, T2-55, T3-35% con 4 repeticiones cada una, luego se caracterizó el carbón activado utilizando la técnica de Espectroscopia Infrarroja FTIR para identificar presencia de grupos funcionales, la capacidad de adsorción del carbón se midió mediante el método colorimétrico para lo cual se realizó una curva de calibración usando dicromato de potasio para elaborar una solución madre ($K_2Cr_2O_7$) y luego pasar a 0,05; 0,125; 0,250; 0,500; 0,750; 1,00; 2,50; y 5,00 μg cromo /ml agua y la difenilcarbazida para titular de acuerdo a la concentración de cromo estas muestras fueron leídas en un espectrofotómetro, posteriormente se elaboró los filtro de carbón activado donde se pasó una solución con una concentración de cromo de 10 μg , se agregó la difenilcarbazida y se leyó en el espectrofotómetro. El rendimiento del proceso fue 3.36%, en cuanto al análisis infrarrojo FTIR hubieron varios grupos funcionales pero todas las muestras tuvieron señal fuerte a un número de onda de T1: 987.375, T2: 987.375, T3: 995.089 [cm^{-1}], lo que indica grupos funcionales fosfatados; en la capacidad de adsorción el mejor resultado se dio en el T1 con un porcentaje de adsorción de 89.645%. El análisis estadístico concluyó que si hay diferencias significativas en cuanto a la adsorción de cromo de acuerdo a la concentración de activante siendo el tratamiento T1 el más efectivo (H_3PO_4 85%). Se recomienda realizar los análisis con dicromato de potasio el mismo día para evitar un margen de error amplio en el análisis.

Palabras clave: < RESIDUOS DE PLÁTANO (*Musa x paradisiaca*)>, <CARBÓN ACTIVADO>, <ACIDO FOSFORICO>, <GRUPOS FUNCIONALES>, <ADSORCIÓN>

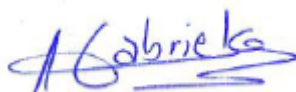


1988-DBRA-UPT-2023

ABSTRACT

The purpose of this research was to determine the optimum concentration of H₃PO₄ in the activation of char derived from plantain (*Musa x paradisiaca*) residues for chromium removal. For this purpose, the residues were dried, crushed and carbonized using the Thermal Pyrolysis Batch Reactor at 400 degrees Celsius. Subsequently, activation was carried out with phosphoric acid (H₃PO₄) at different concentrations (T1-85, T2-55, T3-35%), each with 4 replicates. The characterization of the activated carbon was performed by FTIR Infrared Spectroscopy to identify the presence of functional groups. The adsorption capacity of the carbon was evaluated by a colorimetric method. A calibration curve was prepared using potassium dichromate to prepare a stock solution (K₂Cr₂O₇) and then dilutions of 0.05; 0.125; 0.250; 0.500; 0.750; 1.00; 2.50; and 5.00 µg chromium/ml water, titrated with diphenylcarbazide and measured in a spectrophotometer. Activated carbon filters were prepared and exposed to a solution with a chromium concentration of 10 µg. Diphenylcarbazide was added and read in the spectrophotometer. The yield of the process was 3.36%. In the FTIR infrared analysis, several functional groups were identified, but all samples showed a strong signal at a wavenumber of T1: 987.375, T2: 987.375, T3: 995.089 [cm⁻¹], indicating the presence of phosphate functional groups. Regarding the adsorption capacity, the best result was obtained with the T1 treatment, with an adsorption percentage of 89.645%. The statistical analysis concluded that there are significant differences in chromium adsorption according to the concentration of the activating agent, with treatment T1 (H₃PO₄ 85%) being the most effective. It is recommended to perform the analyses with potassium dichromate on the same day to avoid a wide margin of error in the results.

Key words: <WASTE OF BANANA (*Musa x paradisiaca*)>, <ACTIVATED CARBON>, <PHOSPHORIC ACID>, <FUNCTIONAL GROUPS>, <ADSORPTION>.



Abg. Ana Gabriela Reinoso. Mgs.

CI. 1103696132

INTRODUCCIÓN

El carbón es un mineral de origen orgánico compuesto principalmente por carbono. Se forma a partir de la lenta condensación de la materia vegetal parcialmente descompuesta. Este proceso de descomposición vegetal da lugar a la formación de una capa conocida como turba. Por esta razón, se busca aprovechar los residuos orgánicos generados en la producción de plátanos. (Marcas, 2011, p. 9).

La implementación de soluciones ambientales para abordar la contaminación es un tema ampliamente debatido tanto en industrias alimentarias. Por consiguiente, la valorización de residuos alimentarios ha adquirido una relevancia significativa en la actualidad, ya que proporciona alternativas valiosas y diversas para la gestión de desechos.

La producción de banano o plátano es un sector crucial en la región costera. Sin embargo, según Moreira (2013, p. 19), esta fruta consiste en un 60% de pulpa y un 40% de cáscara, lo que implica que aproximadamente 7,25 kg de una caja de 18,14 kg se desperdician. Dada esta situación, es fundamental explorar alternativas para utilizar estos residuos y evitar que contribuyan a los problemas de contaminación. En este contexto, la producción de carbón activado adquiere gran importancia, ya que no solo permite reutilizar los desechos, sino que también ofrece soluciones para otros desafíos, como el tratamiento de aguas residuales.

La historia del carbón activado se remonta a siglos atrás, con usos médicos desde el 1550 a.C., como adsorbente en prácticas médicas. Hipócrates lo recomendó en el 400 a.C. para filtrar agua y eliminar malos olores y sabores. Los barcos fenicios usaban barriles de madera carbonizada en el 450 a.C. para almacenar agua. A lo largo de los siglos, se ha utilizado en diversas aplicaciones, como mitigar olores en 1793, decolorante en 1794, y en sistemas de ventilación para cloacas en 1854. Posteriormente, en 1872, se fabricaron las primeras mascarillas con filtros de carbón activado para proteger contra la inhalación de vapores de mercurio en la industria química. Hoy en día, el carbón activado sigue siendo utilizado en una amplia gama de campos, demostrando su versatilidad y utilidad a lo largo de la historia.

Existen varias metodologías para producir carbón activado, siendo una de las más destacadas la activación química, que puede realizarse tanto con ácidos como con bases. En esta investigación, se llevará a cabo la activación química utilizando ácido fosfórico en diferentes concentraciones. El objetivo es determinar la eficacia de este proceso en la adsorción de cromo, con el fin de abordar el problema de la contaminación del agua por metales.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación del problema

La agricultura genera residuos orgánicos que son tratados mediante procesos de combustión (quema de residuos) al aire libre lo que genera contaminación en el medio ambiente y afectan a las áreas cercanas al lugar de quema por la producción de CO₂ y óxidos de nitrógeno, gases muy tóxicos para la salud humana.

La industria platanera forma parte importante del sector agroindustrial, dedicada a la producción local y exportación de plátano (*Musa x paradisiaca*) y sus derivados ya que es el segundo producto no petrolero con mayor participación en la exportación del Ecuador, lo cual genera un mayor interés en los agricultores para la producción del mismo, esto conlleva a la acumulación de gran cantidad de residuos orgánicos (cascara del verde, raquis, tallos) que son desechados a la basura sin un tratamiento previo, perdiendo utilidad para un proceso secundario como un subproducto.

Los residuos orgánicos del plátano post consumo genera impacto ambiental negativo debido a la aglomeración de los residuos agrícolas, esta es una gran problemática ya que estos generan contaminación en ríos, océanos, aire y suelos, las consecuencias de esta actividad es la variabilidad en el equilibrio del medio ambiente, mediante la introducción de agentes físicos, químicos y biológicos, teniendo como resultados daños casi irreversibles.

1.2. Limitaciones y Delimitaciones

1.2.1. Limitaciones

El trabajo de investigación puede verse limitado por la falta de calibración de los equipos de laboratorio, así como de la antigüedad de los mismos, factores que pueden alterar el resultado de las pruebas. El exceso de estudiantes y tesis ya que ocupan los laboratorios y por ende los instrumentos no abastecen a todos.

1.2.2. Delimitaciones

Las pruebas serán a nivel de los laboratorios de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, la investigación se realizara desde septiembre 2022 hasta marzo 2023. La investigación se basara en la teoría del carbón activado con ácido fosfórico elaborada por Marcas (2011), este trabajo se empleara para la disminución de contaminantes presentes en el agua en específico el cromo.

1.3. Problema General de la Investigación

¿La síntesis y caracterización de carbón activado químicamente a partir de los residuos orgánicos de la *Musa x paradisiaca* ayudará en la disminución de contaminante en el agua?

1.4. Problemas Específicos de la Investigación

- ✓ ¿La elaboración de carbón activado a partir de residuos orgánicos de la *Musa x paradisiaca* ayudara mediante la adsorción en la disminución de cromo?
- ✓ ¿Cuál sería la concentración óptima en la activación de ácido fosfórico para incrementar la eficiencia de adsorción del carbón usado?
- ✓ ¿La caracterización de carbón activado mediante espectroscopia infrarroja permitirá identificar los mejores tratamientos?

1.5. Objetivos

1.5.1. General

Determinar el porcentaje óptimo de H_3PO_4 en la activación de carbón elaborado a base de residuos de plátano (*Musa x paradisiaca*) para la remoción de cromo en una solución acuosa

1.5.2. Específicos

- ✓ Obtener el carbón a partir de los residuos de la *Musa x paradisiaca*.
- ✓ Activar químicamente el carbón obtenido por pirolisis a varias concentraciones de ácido fosfórico (H_3PO_4).
- ✓ Caracterizar el carbón activado obtenido mediante el uso de espectroscopia infrarroja.
- ✓ Establecer el mejor tratamiento de activación de acuerdo a la concentración de ácido fosfórico para la adsorción de cromo en una solución acuosa mediante la aplicación de ANOVA.

1.6. Justificación

1.6.1. Justificación teórica

Esta investigación se realiza con el fin de implementar una solución a la acumulación de los residuos del plátano (*Musa x paradisiaca*), permitiendo tener un plan de manejo de residuos y una alternativa a la quema y mala disposición de estos. Por lo cual esta investigación se justifica

teóricamente, porque utilizará todo el referencial teórico existente sobre la elaboración de carbón activado y su aplicación para la mitigación de la contaminación

1.6.2. Justificación Metodológica

Con esta investigación se propone la elaboración del carbón activado a partir de los residuos orgánicos del plátano *Musa x paradisiaca*, donde se implementara una activación química con ácido fosfórico, usando las diversas metodologías ya implementadas en estudios anteriores, con el fin de usar este producto en el tratamiento de aguas residuales y principalmente en la remoción de cromo de las mismas, para disminuir la contaminación ambiental.

1.6.3. Justificación Práctica

Esta investigación se realiza con el fin de dar una solución a la acumulación de los residuos del plátano (*Musa x paradisiaca*) para lo cual se propuso la obtención de carbón activado como una alternativa para reutilizarlos y darle valor agregado a estos subproductos de desecho lo que permite aprovechar los mismos, al mismo colaborar en la purificación de los líquidos de los procesos ya que actúa como adsorbente, removiendo contaminantes y elementos indeseables del agua, como pesticidas, herbicidas, ozono y compuestos orgánicos que causan olores o sabores desagradables, por tal motivo mediante esta investigación con la obtención de carbón activado se evaluará la eficiencia de adsorción de cromo en aguas residuales, así damos utilidad tanto a los residuos como al producto obtenido.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEORICO REFERENCIAL

2.1. Antecedentes de la investigación

El implementar soluciones ambientales para tratar la contaminación es uno de los problemas más cuestionados por las industrias alimentarias o no alimentarias. Por ende, la valorización de residuos de origen agroindustrial tiene una visión importante ya que promueve alternativas distintas y útiles para el manejo de residuos (Silva, 2021, p. 3).

La existencia y utilización de carbón activado se ha venido dando desde hace muchos años atrás, parece haber tenido aplicaciones médicas ya que en 1550 a.C. se detalla la utilización de carbón vegetal para la adsorción en algunas prácticas en la medicina, en 400 a.C. Hipócrates invita el uso de carbón vegetal para filtrar agua eliminando el mal olor y sabor, en el año 450 a.C. los barcos fenicios utilizaban barriles con madera parcialmente carbonizada para guardar el agua para beber, en el año 1793 se usa el carbón activo en fase gas para mitigar los olores emanados por la gangrena, en 1794 se implementa el carbón activo como decolorante en una industria de azúcar, el 1854 se utiliza a gran escala el carbón activo en fase de gas para elaborar filtros en sistemas de ventilación en cloacas, en 1872 se elaboran por primera vez mascarillas con filtros de carbón activo empleadas en una industria química para impedir la aspiración de emanaciones de mercurio, actualmente el carbón activo está implementado en diversos campos (Marcas, 2011, pp. 7-8).

El carbón orgánico se compone principalmente de carbono y se forma a partir de la condensación de materia vegetal parcialmente descompuesta. Durante el proceso de descomposición, las plantas generan una capa conocida como turba. Por esta razón, se busca aprovechar los residuos orgánicos provenientes de la producción de plátanos (Marcas, 2011, p. 9).

Ecuador es considerado como el primer productor mundial de banano, además es el primer exportador desde 1952. La calidad que tiene este producto hace que la mayoría del mundo prefiera el banano Ecuatoriano, por ello el Ecuador se considera como líder bananero por aproximadamente cuatro décadas en el ámbito internacional bananero. Cabe recalcar que las condiciones climáticas junto a las características nutritivas del suelo contribuyen en gran magnitud para que el Ecuador se convierta en un productor agrícola de excelente calidad, manteniendo la disponibilidad de la fruta todo el año (Moreira, 2013, p.15). La producción del banano y plátano son uno de los principales rubros cultivables del Ecuador con una producción de 6'684,916 y 763,455 t respectivamente (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2022, p. 1).

Los pseudotallos de banano se destinan a la quema a cielo abierto o disposición en relleno sanitario, es por ello la importancia del aprovechamiento de estas fibras naturales ya que representarían una solución ambiental, cabe recalcar que los pinzotes o raquis son ricos en fibra lo que también lo hace una buena materia prima para la elaboración de subproductos como carbón activado (Alvarado et al., 2021: p.4).

El agua es un solvente universal de gran importancia para la supervivencia de todos los seres vivos en especial para los seres humanos, sin embargo también se considera un recurso no renovable debido a que su cantidad es limitada, por esto se debe evitar que se contamine o se abunde de materia orgánica, nutrientes, metales pesados o sustancias químicas ya que sería inservible para el consumo o para la actividad a la que vaya destinada (Cabezas, 2021, p. 17).

Por lo antes mencionado la elaboración de carbón activado mediante residuos del plátano es un camino efectivo para la conversión de estos desechos en productos de alto valor.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Carbón Activado

El carbón activado es un material caracterizado por sus parámetros físicos y químicos como área superficial, grupos funcionales, volumen de poro, capacidad de adsorción que contiene oxígeno en su estructura. Ha sido ampliamente utilizado como adsorbente en catálisis o soportes de catalizadores, así como en procesos de purificación y separación. Entre estas aplicaciones destaca como adsorbente, ya que es uno de los materiales más utilizados a escala industrial, junto con el gel de sílice, la alúmina activada y los tamices moleculares (Vidal, et al., 2018: p. 441).

Además el carbón activado es considerado como un adsorbente capaz de eliminar especies metálicas tóxicas lo que lo hace sumamente importante en la conservación ambiental (Penedo, et al., 2015: p.112)

Los métodos de producción intervienen en las propiedades estructurales del carbón activado. Existen básicamente dos métodos para sintetizar carbón activado a partir de material lignocelulósico: activación física y activación química (Vidal, et al., 2018: p. 442).

2.2.2. Propiedades químicas

El carbón activo distingue una gran cantidad de espectro de materiales que difieren fundamentalmente en su estructura interna y en su granulometría. De acuerdo a las características de la composición química, el carbón activo es carbón puro posee la propiedad para adsorber, que consiste en un fenómeno físico-químico con el que un sólido denominado adsorbente apresa en

sus paredes a algunas moléculas, denominadas adsorbatos que se encuentran incluidas en un líquido o gas. En general las características químicas del carbón activo es de 75-80% de carbono, 5–10% cenizas, 60% oxígeno y 0,5% hidrógeno (Infante, 2017, pp. 24-25.)

En la superficie del carbón se encuentran ubicados diversos grupos funcionales, cuya composición y cantidad podrían afectar su naturaleza química; los grupos funcionales en el CA son principalmente grupos oxigenados y nitrogenados. Estos grupos se forman en los procesos de activación o los productos químicos, por interacción de los radicales libres de la superficie del carbón con átomos de O y N (Pérez y Ventura, 2019, pp. 25 – 27).

En la ilustración 1-2 se muestran los principales grupos funcionales que suelen encontrarse en el Carbón Activado. El grado de deslocalización de los electrones en los átomos de carbono y la presencia de los grupos funcionales son responsables de la reactividad química de la superficie del carbón. Esta reactividad afecta las propiedades adsorbentes del carbón y éste puede considerarse hidrófobo, lo que facilita su aplicación en adsorción de gases en presencia de humedad o especies en solución acuosa, de preferencia moléculas apolares (Pérez y Ventura, 2019, pp. 25 – 27).

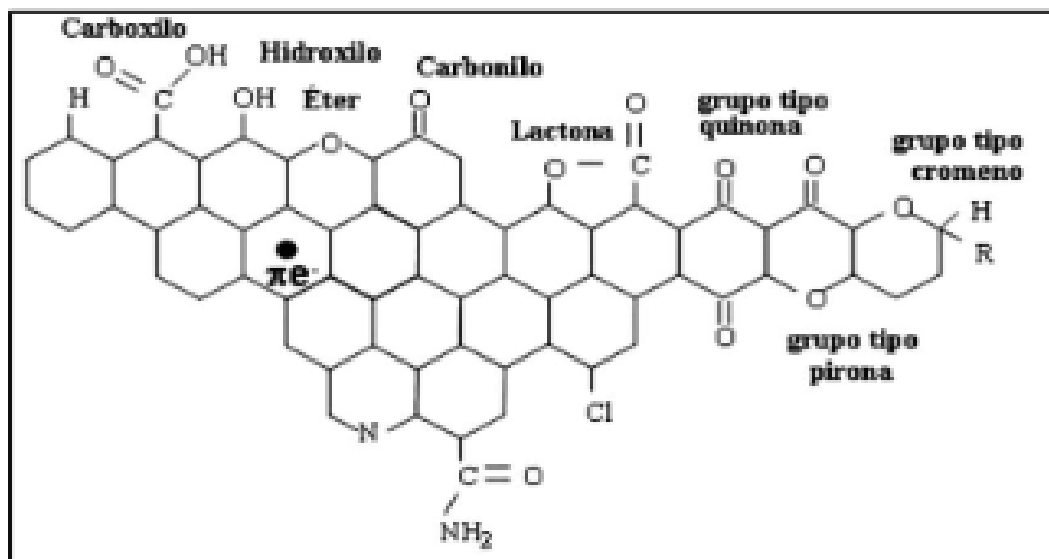


Ilustración 1-2: Representación esquemática de los grupos funcionales que se encuentran en un carbón activado

Fuente: Pérez y Ventura, 2019, p. 27

Los grupos carboxilo, hidroxilo y lactona se comportan como ácidos cuando el pH es básico. El carácter básico o ácido del CA dependerá de la cantidad y tipo de grupos funcionales. La forma y

el comportamiento que adopten estos grupos, que pueden interactuar entre ellos, estará afectado además por el pH de la solución en el proceso de adsorción (Pérez y Ventura, 2019, pp. 25 – 27).

2.2.3. Propiedades físicas

En cuanto a las propiedades físicas tiene una disposición microcristalina que se asimila al grafito. La estructura que tiene el carbón activo da lugar a una distribución de tamaño de poro bien definitiva. Hay tres tipos de poros según su radio: macroporos ($r > 25$ nm), mesoporos ($25 > r > 1$ nm) y microporos ($r < 1$ nm) (Infante, 2017, pp. 24-25.)

El carbón en polvo se aplica en productos líquidos, mientras que el granular se aplica generalmente en líquidos y gases, entre las aplicaciones más importantes se destacan (Infante, 2017, p. 26.):

- Eliminación de impurezas que ocasionan color, olor y sabor desagradable en agua potable
- Tratamiento de aguas residuales y agua en procesos industriales.
- Depuración de aguas subterráneas y para piscina
- Refinamiento de las aguas residuales tratadas
- Tratamiento de emisiones atmosféricas.
- Purificación de aire y gases.
- Decoloración de vinos, zumos, vinagre, azúcar y caramelo.
- Mascarillas de gases.
- Eliminación de olores en plantillas de zapatos.
- Potabilización de agua superficial y de pozo.
- Eliminación de ozono mediante agua potable.
- Desodorización y eliminación de gusto para productos alimentarios
- Eliminación de color en industria alimenticia, farmacéutica y química.
- Separación de dioxinas y purificación de aires y emisiones gaseosas.
- Reparación de solventes en procesos de aire y gases.
- Separación de compuestos no orgánicos.
- Eliminación de cloro libre en agua potable.

2.2.4. Preparación de los carbones activados

2.2.4.1. Precursores lignocelulósicos

La utilización de residuos lignocelulosicos generados durante la fabricación de pasta o papel, son vías de obtención de carbón activo más atractivas. La madera contiene fibras de celulosa y hemicelulosa entrelazadas entre sí a través de la lignina, este polímero está formado por la combinación aleatorizada de tres monómeros derivados del fenilpropano, los alcoholes p-cumarílico, coniferílico y sinapílico, formando una red amorfa compleja, cuyo peso molecular excede de 2000 uma, lo que hace que no sea posible describir una estructura definida (Martínez, 2012, p.12)

2.2.4.2. Métodos de preparación

Las propiedades del Carbón activado asociadas a su textura y a la química de superficie, dependen además de la naturaleza del precursor y del método empleado para la activación. La elección del método de activación dependerá de las características deseables en el Carbón activado, de sus aplicaciones y de factores económicos. Se conocen dos métodos generales para preparar carbones activados: activación física y activación química.

2.2.4.3. Activación física

Es la activación más utilizada; emplea el carbón vegetal granulado como materia prima, obtenido anticipadamente por métodos de carbonización a temperaturas desde 400 hasta 600 °C. El carbón vegetal, luego es sometido a una molienda, enseguida clasificado, empleando tamices de diferentes tipos de abertura, para tener el tamaño de partículas uniforme antes de la activación. El carbón vegetal, molido, se coloca dentro de un lecho de activación (construido con material resistente a altas temperaturas) por donde se hace pasar corrientes de gas a temperaturas entre 800 a 1000 °C (Grisales y Rojas, 2016, pp. 8).

Los gases para la activación empleados son: el vapor de agua, dióxido de carbono, cloro, gases provenientes de una combustión o gases que actúan sobre los materiales volátiles, provocando su arrastre y separación de la estructura del carbón (Grisales y Rojas, 2016, p. 8).

En la activación usando aire, ocurre a los 600 °C, no obstante, a pesar de su bajo costo, su uso genera reacciones exotérmicas difíciles de controlar. Por lo general, los gases activadores son gases inertes los que permiten obtener carbones activados de buena calidad. El gas dióxido de carbono se aplica a 900 °C y el vapor de agua, de bajo costo, alrededor de 1000 °C. La activación

puede ser un proceso autónomo de la carbonización o darse después de esta. Radica en hacer reaccionar al activante con los átomos de carbono de la muestra carbonizada que está siendo activada; de tal manera se genera un quemado selectivo, creando poros e incrementando la porosidad hasta convertirlo en un carbón activado (Grisales y Rojas, 2016, p. 8).

2.2.4.4. Activación química

Llamada también activación térmica, consiste en provocar oxidación parcial del carbón para formar poros, evitando la gasificación (Farrera et al., 2017, p. 41.)

Los principales activantes son cloruro de zinc, ácido fosfórico, hidróxido de potasio u otros reactivos químicos, la materia prima se convierte en carbón obteniendo características con una actividad y poder adsorción. La activación química es aplicada a la materia prima. Se obtiene juntando la misma con un producto químico denominado activante. La carbonización y activación suele realizarse con una temperatura de 500 a 900°C; mientras la temperaturas se más altas, la activación será muy óptima.

Terminado el proceso, se saca el carbón y se deja enfriar, posteriormente se realiza el lavado del carbón para reutilizar el agente activador. Finalmente el carbón activado se pasa por un filtro y se deseca. Los procesos químicos de activación son logrados por impregnación utilizando productos químicos deshidratantes como el cloruro de zinc, ácido fosfórico, ácido sulfúrico, ácido bórico, ácido nítrico, sulfuro de potasio, sulfatos de magnesio y sodio, etc. De la misma forma que el cloruro de zinc, el ácido fosfórico procede sobre la materia prima, deshidratándola y mezclándose con los compuestos oxigenados e hidrogenados, para dar agua como producto restante (Grisales y Rojas, 2016, pp.9-10) y (Rodríguez, 2020, p. 16).

La activación química con H_3PO_4 metódicamente ha reemplazado al $ZnCl_2$ y los antecesores en este tipo de activación son en su mayoría madera, cáscara de coco, hueso de aceituna, etc.

Según Rodríguez (2020, p. 16) la activación de carbón con ácido fosfórico (H_3PO_4) involucra las siguientes etapas:

- Trituración y categorización de la materia prima.
- Mezcla de la materia prima con ácido fosfórico (H_3PO_4).
- Proceso térmico entre 100 y 200°C, conservando la temperatura cerca de 1 hora, continua de un nuevo proceso térmico de 400°C hasta 500°C, conservando la temperatura por 1 hora.

- Lavado, desecado y categorización del carbón activado.

La relación H_3PO_4 : precursor empleado generalmente es 1:5, el rendimiento en el proceso de elaboración de carbón activado suele ser del 50%.

La activación con KOH se realizó durante 70 años, para originar los carbones superactivados. Los predecesores destacados para la activación con KOH son los de bajo contenido en volátiles y alto en carbono (Grisales y Rojas, 2016, p. 10) (Rodríguez, 2020, p. 17).

La principal ventaja de este método frente al método físico es que la carbonización y activación tienen lugar en una sola etapa en presencia de un agente químico, lo cual permite usar menores temperaturas que las requeridas en la activación física.

El grado óptimo de activación está en función de cada agente activante y permite desarrollar carbones activados con una alta microporosidad.

El ácido fosfórico (H_3PO_4), como activante de materiales lignocelulósicos, incrementa el número de microporos, sin embargo también ayuda en el desarrollo de los demás tamaños de poro de una forma proporcionada, lo que interviene en producción de carbones activados con diferentes volúmenes de microporos, pero con una misma repartición de la microporosidad. El uso de H_3PO_4 como activante admite conseguir carbón activado con capacidades de retención alta para compuestos orgánicos volátiles, con una actividad de retención superior a la que se consigue empleando otro tipo de activante (Rodríguez, 2020, p. 16).

2.2.5. Generalidades del cultivo de plátano

Ecuador es un país agrícola, en los últimos años el cultivo del plátano ha incrementado convirtiéndose en un importante producto de exportación y de consumo nacional. La planta de plátano es un recurso natural que no es explotado eficientemente por el cultivador, ya que una vez que produce el racimo, la planta es cortada quedando como abono para la cosecha, al igual su cáscara que es considerada como desecho.

El desaprovechamiento de estos desechos agrícolas provoca contaminación de suelos, aguas subterráneas, proliferación de bacterias y enfermedades por su descomposición abierta sin ningún control.

Según Moreira (2013, pp. 19-21) la cosecha generan cerca del 95% de residuos vegetales, los cuales no son correctamente utilizados por el productor, debido a que este se encamina en la

producción del fruto como opción alimenticia por lo que los residuos son empleados como abonos o como simples desechos, los principales residuos generados en el cultivo de plátano son:

2.2.5.1. Cascara

Estos residuos no ayudan a la nutrición del suelo, sino que impactan negativamente el medio ambiente ya que generan el crecimiento de diversos microorganismos en zonas donde no deberían crecer la composición química de este residuos es: 2,7% de fructosa, 3,2% de glucosa y 7,8% de sacarosa en base seca; en cuanto a la fibra cruda en la cáscara de plátano contiene 60% de lignina, 25% de celulosa y 15% de hemicelulosa

2.2.5.2. Remanentes o raquis

Tiene mayor concentración de elementos minerales, azúcares totales y proteína bruta que la pulpa, lo cual indica que esos órganos poseen un gran potencial de uso como fuente de abono orgánico y como materia prima para la elaboración de alimentos para animales su composición química es: rico en fibra 8%. Es por lo cual el 15% del raquis producido en la zona Caribe de Costa Rica es empleado en la elaborar fibra para papel.

La utilización de los residuos del plátano se convierte en una alternativa viable de producción para estos desechos que poseen alto contenido de celulosa y almidón, y por las características mencionadas es apto para la producción de carbón activado.

2.2.5.3. Características de los residuos de *Musa x Paradisiaca*

Según Méndez (2019, p. 9) las características de los residuos de la planta de plátano (*Musa x Paradisiaca*) son los que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 1-2: Características de los residuos de *Musa x Paradisiaca*

Partes de residuos	Ceniza, %	Humedad, %	Carbón fijo, %
Raquis	21.22	2.95	9.45
Pseudotallo E.	13.69	4.52	9.82
Pseudotallo C.	18.66	2.47	10.00
Hojas	12.82	2.03	14.48

Fuente: Méndez, 2019, p. 9

Realizado por: Chulde, Alex, 2022

2.2.6. Contaminación del agua

Según Méndez (2019, pp. 9-10) la contaminación del agua se genera principalmente por las actividades humanas como el progreso industrial, el crecimiento poblacional, utilización de insumos químicos, extracción de minerales y desecho de aguas residuales en ríos o suelos.

2.2.6.1. Análisis de la calidad del agua

La calidad del agua se origina con el fin de establecer causas y problemas relacionados a contaminantes específico, por medio del análisis de parámetros físicos, químicos y microbiológicos para plantear alternativas de solución (Méndez 2019, p. 10)

2.2.6.2 Muestreo de la calidad del agua

Según Méndez (2019, p. 10) una muestra de agua debe cumplir los siguientes requisitos:

- Ser representativa del sistema en el momento del muestreo.
- Volumen pequeño para facilitar su transporte y manipulación.
- Preservar valores del parámetro a establecer hasta el momento de su análisis.
- Poseer identificación espacial, temporal y de manipulación.

2.2.6.3. Parámetros de análisis para determinar la calidad del agua

El parámetro es una característica que se determina mediante observación o medición entre los más importante se destacan los siguientes (Méndez 2019, p. 10):

- Turbiedad
- Temperatura
- Color
- Sólidos: Sólidos Suspendidos (SS), Sólidos Suspendidos totales (SST), Sólidos orgánicos (SO), Sólidos inorgánicos (SI), Sólidos sedimentables (SS), Sólidos suspendidos coloidales (SSC).
- Potencial de Hidrogeno (pH)
- Coliformes fecales (CF)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 Días (DBO5):
- Nitratos (NO₃-)
- Fosfatos (PO₄³⁻)
- Oxígeno Disuelto (OD).

2.2.7. Resultados y aplicaciones del carbón activado obtenido a partir de desechos agroindustriales

Según Méndez (2019, p. 10) mediante su investigación analizo sobre el trabajo de investigación “Evaluación de las condiciones operacionales en el proceso de preparación de carbón activado de cascara de naranja valenciana (*Citrus Sinensis* Linn Osbeck), Laboratorios de Química UNAN-Managua, II semestre 2016”, se reporta que las condiciones óptimas de la producción de carbón activado en el proceso de carbonización correspondió a 3 horas con una temperatura de 450°C en el proceso de activación con ácido fosfórico (H_3PO_4) al 26% de concentración. Cabe recalcar que esta investigación es similar a la elaborada en este trabajo ya que se usa carbón activado con ácido fosfórico a diferentes concentración entre ellas está a 35% siendo esta la que menor adsorba cromo en comparación a las demás concentraciones, sin embargo adsorbe aproximadamente el 50% de cromo lo que indica que es un excelente adsorbente.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Localización y duración del experimento

El presente proyecto fue desarrollado en los laboratorios de Química Analítica de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, ubicada en la Panamericana Sur km 1 ½ en la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo, Ecuador. El trabajo experimental tuvo una duración de aproximadamente 8 semanas.

Tabla 1-3: Condiciones meteorológicas del cantón Riobamba

Variable Meteorológica	Valor	Unidad
Precipitación	223	mm/año
Temperatura	4-14	°C promedio anual
Humedad relativa	85	%

Fuente: Weather Atlas (2022)

Realizado por: Chulde, Alex, 2022

3.2. Enfoque de investigación

3.2.1 Cuantitativo

En esta investigación se empleó un enfoque cuantitativo ya que por este medio se pudo identificar los parámetros cinéticos precisos en la obtención y caracterización de carbón activado. Los datos experimentales fueron obtenidos por medio de tomas nuestras, tiempo, temperatura, ecuación de la isoterma de Freundlich que son datos numéricos. Además para determinar si hay diferencias significativas se utilizó datos estadísticos, es por ello de la elección de este enfoque.

3.3. Nivel de Investigación

3.3.1 Explicativa

El uso de este nivel de investigación se debe a que se determinó la causa y efecto que tienen las diversas concentraciones del ácido fosfórico en la activación del carbón.

3.3.2 Correlacional

La investigación utilizó este nivel de investigación, debido a que también se estableció la relación entre dos variables (concentración ácido fosfórico vs adsorción de cromo).

3.4. Diseño de investigación

3.4.1. Según la manipulación o no de la variable independiente

3.4.1.1 Experimental:

En lo referente al diseño de investigación es de tipo experimental por que tuvo como objeto someter variables experimentales independientes (concentraciones de ácido fosfórico) a determinadas condiciones para verificar que efectos y reacciones se producen a la variable dependiente, lo que fue importante para evaluar y determinar qué tratamiento debería considerarse más preciso en el trabajo a desarrollar.

Se aplicó un diseño completamente al azar con tres tratamientos y cuatro repeticiones, y para establecer si existen diferencias significativas se aplicará el análisis de ANOVA usando Tukey para la separación de medias.

Tabla 2-3: Estructura del Diseño completamente al azar

Tratamiento (concentraciones de H ₃ PO ₄)	Adsorción cromo			
	R1	R2	R3	R4
H ₃ PO ₄ 85%				
H ₃ PO ₄ 55%				
H ₃ PO ₄ 35%				

Realizado por: Chulde, Alex, 2022

Tabla 3-3: Estructura de ANOVA

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F calculado	F tabulado
Tratamientos					
Error					
Total					

Realizado por: Chulde, Alex, 2022

3.5. Tipo de estudio

3.5.1. De campo

La investigación tuvo un estudio de campo porque se realizó en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ciencia de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo logrando de esta manera manipular las muestras y obtener los datos directamente de los análisis.

3.5.2. Documental

También se hizo un estudio documental porque se usó el conocimiento teórico basado en las conceptualizaciones, fuentes investigativas, libros, revistas y otras publicaciones, usando datos y resultados para correlacionar con las variables en estudio y poder realizar las interpretaciones de los resultados obtenidos en esta investigación.

3.6. Población y Planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra

3.6.1. Población

La población de estudio se centró principalmente en los productores de plátanos y bananos, quienes desechan tanto los tallos como los raquis durante la cosecha. Sin embargo, también se consideraron los consumidores de estos productos, ya que descartan las cáscaras de estos frutos. Esta investigación aborda todos los desechos generados por este fruto, incluyendo cáscaras, tallos, raquis y hojas.

3.6.2. Planificación

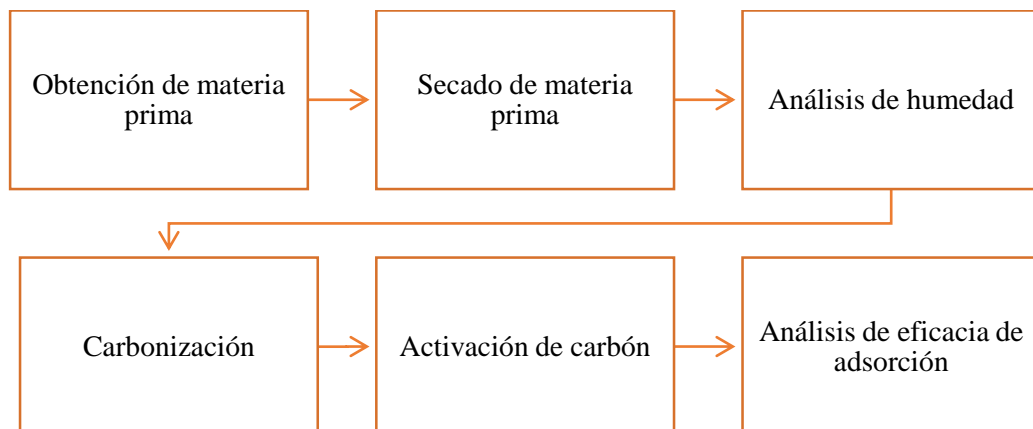


Ilustración 1-3: Planificación del proyecto de investigación

Realizado por: Chulde, Alex, 2022

3.6.3. Selección

La selección de la muestra se dio mediante un método no probabilístico, ya que se obtiene los residuos del plátano

3.6.4. Cálculo del Tamaño de la muestra

En este estudio, se administraron tres tratamientos, cada uno con cuatro repeticiones. Para cada análisis, se emplearon 10 g de carbón. Por ende, para el estudio completo, se utilizó una muestra de carbón previa a su activación. Considerando que, según (Ayala et al, 2003: pp. 54-55), los residuos de plátano (cáscara y vástago) tienen una humedad del 85,0 %, se requirieron 5 kg de materia prima, teniendo en cuenta también las pérdidas durante el proceso. Además, para los análisis de adsorción y caracterización, se emplearon 120 g de carbón activado.

3.7. Métodos, técnicas e instrumentos de investigación

3.7.1. Secado de muestras a analizar

Tabla 4-3. Materiales, insumos, reactivos, equipos empleados en el secado de la muestra

Insumos	Materiales	Equipos
Materia prima (residuos de plátano)	Papel aluminio Cuchillos	Estufa

Realizado por: Chulde, Alex, 2022

Para realizar el proceso de secado se llevó a cabo una técnica similar a la de (Mazzeo et al, 2010: p. 3), en que se va a secar usando una estufa a 60°C por 16 horas, antes de realizar este proceso se procederá a hacer incisiones, cortes o disminuir el tamaño de las muestras para un secado más equilibrado.

3.7.2. Molienda de muestra seca

Tabla 5-3. Materiales, insumos, reactivos, equipos empleados en la molienda de la muestra

Insumos	Materiales	Equipos
Materia prima seca (residuos de plátano)	Papel de cartón Cinta masking	Triturador de alimentos

Realizado por: Chulde, Alex, 2022

Para realizar la molienda se usó un triturador de alimentos, en el que se le añadió las muestras secas hasta obtener un producto triturado homogéneamente, posterior a eso se puso en bolsas de cartón y se selló hasta su posterior uso, evitando que incremente su humedad

3.7.3. Carbonización de residuos del plátano secados

Tabla 6-3. Materiales, insumos, reactivos, equipos empleados en la carbonización de la muestra

Insumos	Reactivos	Equipos
Materia prima seca y molida	Nitrógeno	Reactor Batch de Pirolisis Térmica (RBPT)

Realizado por: Chulde, Alex, 2022

Para realizar la carbonización de los residuos del plátano seco y molido se llevó a cabo la técnica usada por (Silva, 2020, p. 36), donde se colocó la materia prima triturada y secada, se cerró con cuidado y exactitud el Reactor Batch de Pirolisis Térmica, posterior a eso se pasó nitrógeno para purificar y comprobar que no existan fugas en el reactor, seguidamente se encendió y colocó la temperatura (400°C) que se necesitó para que la muestra sea carbonizada, luego se fue subiendo poco a poco la temperatura, teniendo en consideración siempre el manómetro para medir la presión y verificar que estuviese correcta, posteriormente se dejó el tiempo indicado y necesario para el proceso de carbonización y finalmente se dejó enfriar.

3.7.4. Método de ensayo de activación acida de carbón a base de residuos de plátano

Tabla 7-3. Materiales, insumos, reactivos, equipos empleados en la activación acida del carbón a base de residuos del plátano.

Insumos	Materiales	Reactivos	Equipos
Carbón a base de residuos de plátano	Pipeta (1 mL)	H ₃ PO ₄ 85 % (Ácido fosfórico)	Estufa (105° C)
	Vasos de precipitación	NaOH 0.1 N (Hidróxido de Sodio)	Agitador Magnético
	Balones de aforo	Agua destilada	Bomba al vacío
	Varilla de agitación		
	Embudo Buchner		
	Vidrio Reloj		
	Espátula		
	Filtro		
	Tamiz		
	Desecador		

Realizado por: Chulde, Alex, 2022

Para realizar la activación acida del carbón a base de residuos de plátano se va a implementar el protocolo usado por Navarrete (2021, p. 37), donde:

- Se tomó una cantidad específica de carbón a base de residuos de plátano, con relación 5:1 (activante : carbón) en esta investigación el activante usado fue H_3PO_4 al 85,55,35%, luego se dejó agitándose durante 3 horas y a continuación se dejó en reposo para una mejor impregnación durante 24 horas
- Posteriormente se metió la muestra a la estufa a $100^\circ C$ por 2 horas para mejorar la impregnación, pasado las 2 horas se filtró con una bomba al vacío y se lavó con agua destilada y NaOH 0.1 N, para eliminar el reactivo usado y obtener un pH neutro.
- Por último se metió la muestra a la estufa a $100^\circ C$ para eliminar el excedente de agua y se almacenó en fundas ziploc y de cartón para evitar el aumento de humedad.

3.7.5. Método de ensayo de porcentaje de adsorción de carbón activado en una solución de cromo

Tabla 8-3: Materiales, insumos, reactivos

Insumos	Materiales	Reactivos	Equipos
Carbón activado	Balones de aforo (50, 100 y 500 ml) Lana de vidrio Filtro de papel Jeringuilla 50 ml Varilla de agitación Pipetas volumétricas (1, 2, 5, 10 y 20 ml) Bureta (10 ml) Propipeta Vasos de precipitación Piseta Tijeras	Dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) Difenilcarbazida Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) Acetona Agua destilada Agua ultrapura	Espectrofotómetro Balanza analítica pHmetro

Realizado por: Chulde, Alex, 2022

Para llevar a cabo este análisis se consideró la metodología aplicada por Clesceri et al. (1992, pp. 3:101–3:103), la cual se basa en un método colorimétrico por la reacción con difenilcarbazida en solución acida con el cromo ya que esta da una coloración rojo-violeta capaz de ser medida mediante un espectrofotómetro para lo cual se realizó lo siguiente:

- Primero se elaboró una curva de calibración con las siguientes concentraciones: 0,05; 0,125; 0,250; 0,500; 0,750; 1,00; 2,50; y 5,00 $\mu g/ml$ para lo cual se elaboró una solución madre con 0,7070 mg de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) en 500 ml de agua destilada o ultrapura para evitar interferencias en la lectura, cabe recalcar que esta solución tiene una concentración de 50 $\mu g Cr$, para obtener las concentraciones de la curva de calibración se midió 0,12; 0,25; 0,50;

1,00; 1,50; 2,00; 5,00 y 10 ml de solución madre con pipetas volumétricas y buretas. Posteriormente se añade agua y ácido sulfúrico a 0,2 N para tener un pH ácido ($1\pm 0,3$) y se afora en balones de 100ml, a continuación se añadió 2 ml de difenilcarbazida y se esperó de 5 a 10 ml para proceder hacer la lectura.

- La elaboración de la difenilcarbazida se elaboró con 250 mg de 1,5 – Difenilcarbazida en 50 ml de acetona para lo cual se usó un balón de aforo de 50ml, se usó una varilla de agitación para diluir correctamente la difenilcarbazida.
- Luego de elaborar la curva de calibración se hizo la solución de cromo a una concentración de 10 $\mu\text{g/ml}$ para pasarla por el filtro de carbón activado, en la elaboración del filtro se usó filtro de papel con el diámetro de la jeringuilla; 2,4 g lana de vidrio y 5 g de carbón activado. El filtro estaba compuesto inicialmente por papel filtro, seguido de 1,2 g de lana de vidrio, luego 5 g de carbón activado, y finalmente otros 1,2 g de lana de vidrio. Una vez elaborado el filtro, se pasó la solución de cromo a través del mismo y se recolectó en balones aforados de 100 ml. Posteriormente, se sometieron estas muestras al mismo tratamiento que las soluciones de patrón. La filtración se hizo de acuerdo a la concentración de ácido fosfórico (H_3PO_4) usado en la activación del carbón de las cuales se hicieron 4 repeticiones de cada tratamiento.
- Finalmente se midió todas las muestras a una longitud de onda de 540 nm.

3.7.6 Método para determinar el espectro FTIR por transformada de Fourier

Tabla 9-3: Materiales, insumos, reactivos, equipos empleados en la determinación del espectro FTIR por transformada de Fourier

Insumos	Materiales	Reactivos	Equipos
Carbón activado	Pipeta Pasteur Algodón	Alcohol antiséptico	Espectrofotómetro Infrarrojo FT- IR

Realizado por: Chulde, Alex, 2022

Para realizar la determinación del espectro FTIR por transformada de Fourier, se consideró la metodología aplicada en el Manual de operaciones de Espectros Infrarrojo FT-IR del laboratorio de Análisis instrumental, ESPOCH, donde se llevó a cabo las siguientes actividades (Silva, 2021, p. 23):

- Se encendió el equipo presionando el switch Power, para comenzar con el barrido, se ejecutó el software Spectra Manager en el computador que se encuentra conectado al equipo.

Posteriormente se limpió con alcohol y algodón el área donde se ubica la muestra en la parte interna central del equipo.

- Luego se realizó el Background para verificar la ausencia de sustancia en el área de muestra, luego se cerró la tapa del equipo y presionó el botón Start, seguido se realizó el barrido espectral poniendo el analito sobre el cristal del área del mismo, se quitó el seguro ubicado en la parte posterior, y se jala hacia adelante el tornillo de ajuste, se ajustó hasta que mostró fricción, se cerró la tapa y presionó Start.
- El espectro se procesó utilizando el programa Spectra Analysis. Se ajustaron las escalas y se identificaron y etiquetaron los picos más destacados, estableciendo límites de lectura. Posteriormente, se generaron las líneas auxiliares y se guardó el espectro como un documento del programa o en un archivo de texto de Word. Finalmente, se apagaron los equipos, incluyendo ambos switches y la computadora, y se desconectaron los dispositivos.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Caracterización del carbón activado y la materia Prima

4.1.1 Rendimiento y humedad en el proceso de activación

Para llevar a cabo el proceso de activación del carbón proveniente de residuos del plátano se realizaron diversos procesos los cuales conllevan varias pérdidas las cuales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 1-4: Pérdidas en el proceso de obtención de carbón activado

Actividad	Peso	Humedad %
Materia Prima	5000 g	84.233 ± 0.850
Primer secado	1158 g	9.718 ± 0.249
Molienda	1056 g	9.718 ± 0.249
Segundo secado	600 g	2.477 ± 0.450
Carbonización	188.789 g	0.994 ± 0.029
Activación	168 g	6.327 ± 0.312

Realizado por: Chulde, Alex, 2022

El rendimiento se calculó para el proceso de carbonización y activación:

4.1.1.1 Rendimiento en el proceso de carbonización o pirolisis

En el proceso de obtención de carbón activado químicamente con ácido fosfórico (H_3PO_4) inicio con 5000 g de materia prima (residuos de *Musa x paradisiaca* (cascara y raquis)), posterior al proceso de primer secado, molienda y segundo secado se obtuvo 600 g de biomasa seca lo cuales se ingresaron al reactor para la pirolisis, luego de este proceso se obtuvieron 188,78 g de carbón dando el siguiente rendimiento:

$$\%rendimiento = \frac{\text{peso final}}{\text{peso inicial}} \times 100$$

$$\%rendimiento = \frac{188,78 \text{ g}}{600 \text{ g}} \times 100$$

$$\%rendimiento = 31,46 \%$$

4.1.1.2 Rendimiento en el proceso de activación

Para el proceso de activación se utilizaron 180 g de carbón sin activar, los cuales 60 g fueron activados con ácido fosfórico (H_3PO_4) al 85%, 60 g con ácido fosfórico (H_3PO_4) al 55% y 60 g con ácido fosfórico (H_3PO_4) al 35%. El carbón activado obtenido fue un total de 168 g, teniendo el siguiente rendimiento:

$$\%rendimiento = \frac{\text{peso final}}{\text{peso inicial}} \times 100$$

$$\%rendimiento = \frac{160 \text{ g}}{180 \text{ g}} \times 100$$

$$\%rendimiento = 88,88 \%$$

La humedad del carbón activado obtenido en esta investigación tuvo un valor de 6.327 ± 0.312 %, el valor obtenido está dentro de la normativa INEN (1995, p. 3) ya que esta establece que el carbón activado debe tener un porcentaje no mayor al 12% de humedad. En la investigación elaborada por Tutiven (2020, p. 68) el valor de humedad obtenido en el carbón activado de residuos procedentes del plátano es de 5, 89%, valor cercano al encontrado en esta investigación.

4.1.2 Caracterización de carbón activado mediante espectro FTIR por transformada de Fourier

4.1.2.1 Comparación de la caracterización del carbón activado con ácido fosfórico al 85%, 55% y 35%

El carbón activado con diferentes concentraciones de ácido fosfórico, fue caracterizado mediante el espectro FTIR, a continuación se realizó la gráfica que relaciona el número de onda con respecto a la transmitancia.

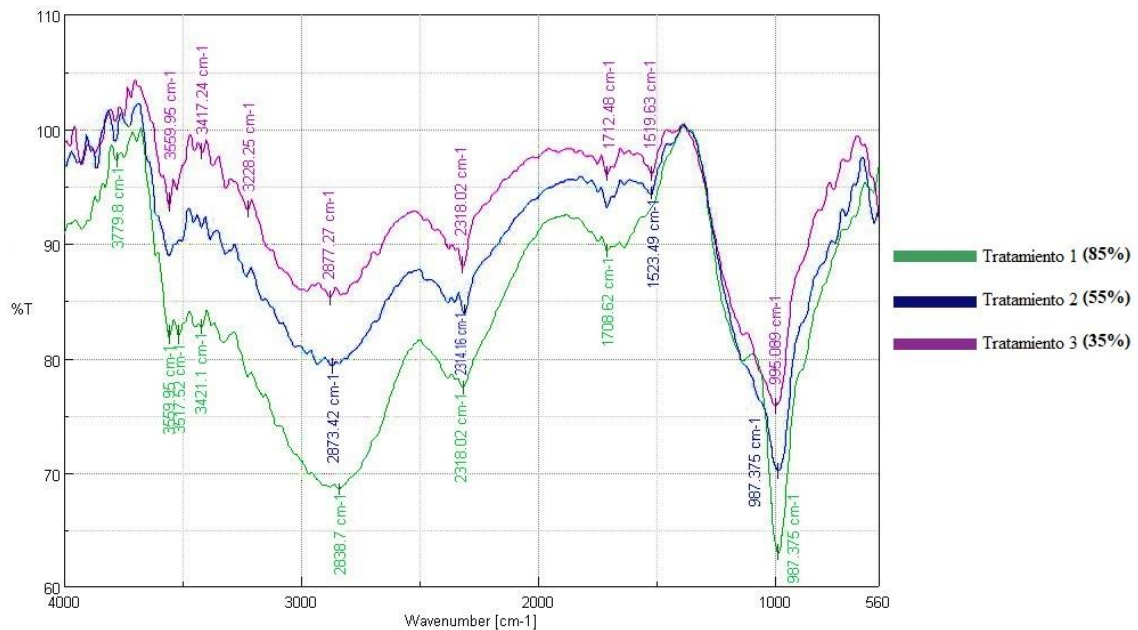


Ilustración 1-4: Comparación de los Espectros FTIR del carbón activado con H₃PO₄ al 85, 55 y 35% de pureza

Realizado por: Chulde, Alex, 2022

En la ilustración 1-4 se puede observar los picos sobresalientes en el análisis de espectros FTIR del carbón activado con H₃PO₄ (85%, 55% y 35%), lo que indica la presencia de grupos funcionales, los cuales se describen en la Tabla 2-4.

Tabla 2-4: Resultados de la identificación de picos sobresalientes presentes en el carbón activado con ácido fosfórico al 85, 55 y 35%

Numero de Onda [cm-1] 85%	Transmitancia	Numero de Onda [cm-1] 55%	Transmitancia	Numero de Onda [cm-1] 35%	Transmitancia
3559.95	81.8114	3559.95	88.9587	3417.24	98.2419
3517.52	81.9515	2873.42	79.4072	3228.25	93.0145
3421.1	82.659	2314.16	83.9355	2877.27	85.2917
2838.7	68.4404	1712.48	93.3352	2318.02	87.8979
2318.02	77.4132	1523.49	94.4643	1712.48	96.2001
1708.62	89.3906	987.375	70.2361	1519.63	96.2178
987.375	63.0061	582.397	91.9695	995.089	75.5348

Fuente: Domínguez et al., 2019, p. 6; Rivera y Alba, 2017, p. 201

Realizado por: Chulde, Alex, 2022

Para poder identificar los grupos funcionales presentes en el carbón activado se investigó bibliográficamente con diferentes autores, lo cuales establecen los grupos funcionales de acuerdo al número de onda, en la tabla 3-4 se establece la relación:

Tabla 3-4: Relación de grupos funcionales con el número de onda en el espectro FTIR

Rango de numero de onda para grupo funcional	Grupo Funcional
3300 - 3700	N-H - Amina
3300 - 3700	N-H - Amina
3180 - 3500	N – H (triple enlace) - Amida
2850 - 2960	C-H - Alcano
2270 - 2320	P-H (triple enlace) – Fosfinas
1700 - 1730	C=O (triple enlace) – Ácidos Carboxílicos
1515 - 1570	N-H (doble enlace) – Amida Primaria
810 - 1090	P=O (triple enlace) - Fosfatos

Fuente: Domínguez el al., 2019, p. 6; Rivera y Alba, 2017, p. 201

Realizado por: Chulde, Alex, 2022

Mediante el uso de la tabla 2-4 y la tabla 3-4, se pudo identificar los grupos funcionales presentes en los carbones activados de esta investigación, en la tabla 4-4 se los describe:

Tabla 4-4: Grupos funcionales presentes en el carbón activado con ácido fosfórico al 85, 55 y 35%

Tratamiento 1 (85%)		Tratamiento 2 (55%)		Tratamiento 3 (35%)	
Numero de Onda [cm-1]	Grupo funcional	Numero de Onda [cm-1]	Grupo funcional	Numero de Onda [cm-1]	Grupo funcional
3559.95	N-H: Amina	3559.95	N-H: Amina	3417.24	N-H: Amina
3517.52	N-H: Amina	2873.42	C-H: Alcano	3228.25	N – H (triple enlace): Amida
3421.1	O-H: Alcohol	2314.16	P-H (triple enlace): Fosfinas	2877.27	C-H: Alcano
2838.7	C-H (triple enlace): Aldehído	1712.48	C=O (triple enlace): Ácidos Carboxílicos	2318.02	P-H (triple enlace): Fosfinas
2318.02	P-H (triple enlace): Fosfinas	1523.49	N-H (doble enlace): Amida Primaria	1712.48	C=O (triple enlace): Ácidos Carboxílicos
1708.62	C=O (triple enlace): Ácidos Carboxílicos	987.375	P=O (triple enlace): Fosfatos	1519.63	N-H (doble enlace): Amida Primaria
987.375	P=O (triple enlace): Fosfatos	582.397	Haluros de alquilo	995.089	P=O (triple enlace): Fosfatos

Fuente: Domínguez el al., 2019, p. 6; Rivera y Alba, 2017, p. 201

Realizado por: Chulde, Alex, 2022

En la activación de carbón mediante el uso de ácido fosfórico al 85% se presentaron mediante el análisis de espectros FTIR diferentes grupos funcionales como se puede observar en la tabla 4-4, al número de onda 3559.95 y 3517.52[cm-1] hay la presencia de grupos Aminas (OH), la vibración de estiramiento del enlace O-H (Alcohol) aparece alrededor de los 3421.1 [cm-1], en el número de onda 2838.7 [cm-1] aparecen los grupos Aldehídos (C-H(triple enlace)), la vibración del enlace P-H (triple enlace) fosfinas aparecen a los 2318.02, la presencia del grupos funcionales Ácidos Carboxílicos C=O(triple enlace) se encuentran en un numero de onda 1708,62 [cm-1] y finalmente la principal banda que aparece a 987.375 [cm-1] nos establece que hay la presencia de grupos fosfatos P=O (triple enlace), cabe recalcar que los grupos funcionales con mayor fuerza de bandas anchas son los: aldehídos, fosfinas y fosfatos.

En la activación de carbón mediante el uso de ácido fosfórico al 55% se presentaron mediante el análisis de espectros FTIR diferentes grupos funcionales como: Aminas, Alcanos, Fosfinas, Ácidos Carboxílicos, Amidas primarias, Haluros de Alquilo y finalmente la principal banda que aparece a 987.375 [cm-1] nos establece que hay la presencia de grupos fosfatos P=O (triple enlace).

En la activación de carbón mediante el uso de ácido fosfórico al 35% se presentaron mediante el análisis de espectros FTIR diferentes grupos funcionales como: Aminas, Amidas, Alcanos, Fosfinas, Ácidos Carboxílicos, Amidas Primarias como se puede observar en la tabla 4-4, a 995.089 [cm-1] nos establece que hay la presencia de grupos fosfatos P=O (triple enlace).

Los siguientes autores (Gutiérrez y Perilla, 2019: p. 24) ; (Lavado et al., 2010, p. 170) y (Pinedo, 2016, p. 63) establecen que la presencia de grupos fosfatos se encuentra en un rango de numero de onda de 900 a 1300[cm-1], mientras que (Díaz y Soto, 2020: p. 42) establecen que el número de onda para carbones activados con ácido fosfórico va a depender de varios factores como: temperatura de impregnación, cantidad de activante por gramo de carbón y concentración de activante, el análisis más similar a la de esta investigación refleja un número de onda de 951 [cm-1] para grupos fosfatos. Dichos trabajos se asemejan a esta investigación ya que se utiliza el mismo agente activante y el rango de grupos fosfatos coinciden lo que quiere decir que el carbón está activado.

Los tratamiento T1, T2, T2 (ácido fosfórico al 85, 55, 35% respectivamente) presentan grupos fosfatos marcados, sin embargo el T1 tiene mayor intensidad en el pico que representa a los grupos fosfatos.

4.2. Determinación de adsorción de cromo con carbón activado por el método colorimétrico.

4.2.1 Curva de calibración

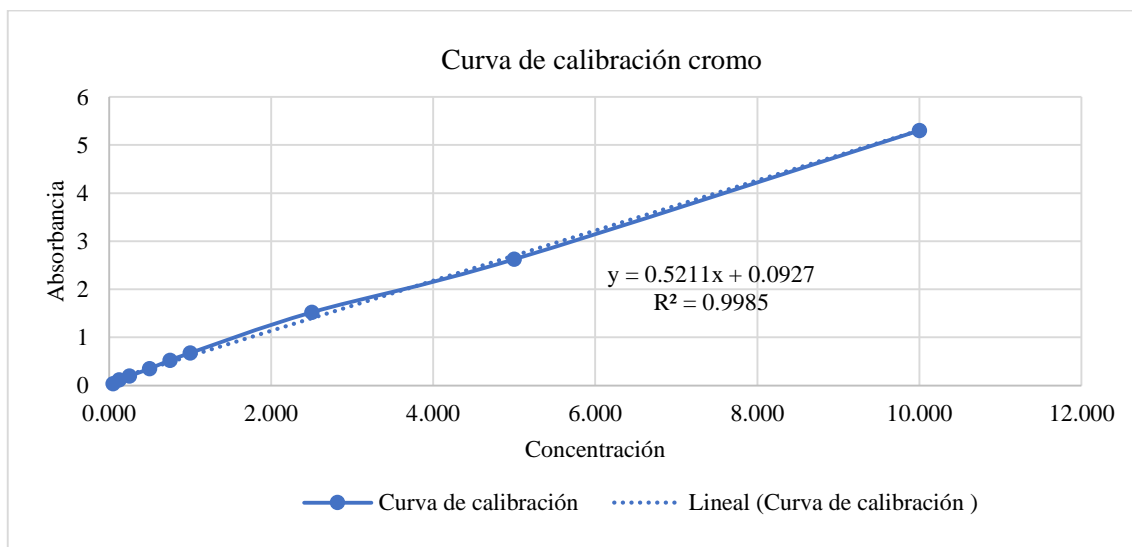


Ilustración 2- 2: Curva de calibración método colorímetro (concentración de cromo)

Realizado por: Chulde, Alex, 2022

Tabla 5-4: Resultados del análisis de la curva de calibración

Curva de calibración	
Concentración (µg/ml)	Absorbancia
0.050	0.04
0.125	0.116
0.250	0.196
0.500	0.35
0.750	0.524
1.000	0.675
2.500	1.52
5.000	2.625
10.000	5.302

Realizado por: Chulde, Alex, 2022

La Curva de calibración elaborada con Dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) arrojó datos favorables debido a que $R^2 = 0.9985$, lo que permite usar estos datos para la determinación del contenido de cromo de muestras filtradas con el carbón activado elaborado.

4.2.2 Determinación de concentración de cromo en muestras filtradas con carbón activado

Tabla 6-4: Resultados del análisis del contenido de cromo de muestras filtradas con carbón activado mediante ácido fosfórico

Tratamiento (concentraciones de H ₃ PO ₄)	Adsorción de cromo					
	Concentración Inicial cromo (µg/ml)	Concentración cromo luego de la filtración (µg/ml)				
		R1	R2	R3	R4	Promedio + Desv. Est.
(T1) H ₃ PO ₄ 85%	10	0.623	1.338	0.947	1.234	1.036 ± 0.316
(T2) H ₃ PO ₄ 55%	10	2.119	2.880	2.384	2.435	2.455 ± 0.321
(T3) H ₃ PO ₄ 35%	10	4.821	4.202	3.922	4.762	4.427 ± 0.437

Realizado por: Chulde, Alex, 2022

La Tabla 6-4 presenta los resultados de la adsorción de cromo utilizando un filtro de carbón activado tratado con ácido fosfórico al 85%, 55% y 35% de pureza. Todas las muestras iniciaron con una concentración inicial de cromo de 10 µg/ml. Tras el filtrado, el tratamiento T1 mostró la concentración de cromo más baja, con un valor de 1.036 ± 0.316 µg/ml. El tratamiento T2 presentó una concentración de cromo de 2.455 ± 0.321 µg/ml, mientras que el tratamiento T3 registró la concentración más alta, con 4.427 ± 0.437 µg/ml, lo que indica una menor capacidad de adsorción. Según Navarrete (2021, p. 56), el carbón activado tratado con ácido fosfórico al 85% posee mejores propiedades que otras variantes tratadas con diferentes compuestos químicos. Sin embargo, Silva (2020, p. 34) señala que el rendimiento de adsorción del carbón activado tratado con ácido fosfórico al 37% es bajo para la eliminación de cadmio. Estas investigaciones respaldan los hallazgos de este estudio, destacando que el rendimiento de adsorción está influenciado por el metal o compuesto específico que se pretende eliminar.

4.2.3. Resultados del análisis estadísticos ANOVA

Tabla 7-4: Resultados del análisis estadístico de la adsorción de cromo de muestras filtradas con carbón activado mediante ácido fosfórico

RESUMEN					
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	% de cromo eliminado en la solución
(T1) H ₃ PO ₄ 85%	4	4.1420	1.0355	0.1030	89.645
(T2) H ₃ PO ₄ 55%	4	9.8180	2.4545	0.0997	75.455
(T3) H ₃ PO ₄ 35%	4	17.7070	4.4268	0.1910	55.732

Realizado por: Chulde, Alex, 2022

Tabla 8-4: Resultados del análisis estadístico ANOVA

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	23.205	2	11.603	88.422	0.00000121	4.2565
Dentro de los grupos	1.181	9	0.131			
Total	24.386	11				

P<0.01: Existen diferencias altamente significativas

Realizado por: Chulde, Alex, 2022

El análisis estadístico revela que los tratamientos T1, T2 y T3 difieren significativamente entre sí, con un valor de $p < 0.01$, lo que indica diferencias altamente significativas. El tratamiento más efectivo resulta ser el T1, con un porcentaje de cromo filtrado del 89.645%. Por otro lado, el tratamiento menos efectivo en términos de adsorción de cromo es el T3, con un porcentaje del 55.732%. Es importante destacar que todos los carbones activados poseen grupos funcionales, lo que les permite adsorber cierta cantidad de cromo.

CONCLUSIONES

- El rendimiento del carbón activado obtenido fue del 3,36%, lo que indica una pérdida de peso del 96,64% durante el proceso de elaboración debido al elevado contenido de humedad de la materia prima. La humedad del carbón activado alcanzó un valor del 6.327 ± 0.312 %, lo que demuestra que cumple con el requisito establecido por la norma INEN, que especifica que la humedad no debe exceder el 12%
- En el análisis de los espectros de FTIR, se identificó varios grupos funcionales para cada tratamiento. Para el T1, se observaron grupos como N-H - Amina, O-H - Alcohol, C-H (triple enlace) – Aldehído, P-H (triple enlace) – Fosfinas, C=O (triple enlace) – Ácidos Carboxílicos y P=O (triple enlace) – Fosfatos. En el caso del T2, se detectaron grupos como aminas, alcanos, fosfinas, ácidos carboxílicos, amidas primarias, haluros de alquilo, y una banda principal a 987.375 [cm⁻¹] indicativa de grupos fosfatos (P=O, triple enlace). Para el T3, se observaron los mismos grupos funcionales, aunque la intensidad del pico en el grupo de las fosfinas varió, siendo el T1 el que mostró la intensidad más alta.
- En la adsorción de cromo mediante filtros de carbón activado se obtuvo diferentes niveles de efectividad para cada tratamiento, en el T1 se obtuvo un porcentaje de adsorción de 89,645%, para el T2 el porcentaje de adsorción fue de 75,455%, y en el T3 se presentó la menor adsorción con un valor de 55.732%, esto implica que el T1 es el tratamiento más eficaz en este estudio de investigación.
- El análisis estadístico ANOVA indica que hay una diferencia altamente significativa en los datos examinados, nos revela que el tratamiento T1 es el más efectivo, ya que se observa una reducción considerable en los niveles de cromo después de que las muestras fueron pasadas por el filtro de carbón activado al 85% en concentración de H₃PO₄.

RECOMENDACIONES

- Es altamente recomendable mantener un alto nivel de precisión en la medición del peso del dicromato de potasio, ya que esto contribuirá a evitar la introducción de un margen de error significativamente amplio en los resultados. Asimismo, es aconsejable abstenerse de reutilizar la solución preparada para su aplicación en análisis futuros. Esta precaución se justifica por la tendencia observada en la alteración de la coloración, tanto del dicromato de potasio como de la difenilcarbazida, lo cual podría introducir sesgos o inexactitudes en los análisis subsiguientes. Por tanto, mantener una nueva solución para cada análisis garantizará una mayor confiabilidad en los resultados obtenidos.

BIBLIOGRAFÍA

ALVARADO, Miguel; et al. “Residuos del banano (*Musa paradisiaca*) como materia prima alternativa en la elaboración de papel”. *Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios* [En línea], 2021, (Ecuador) 8(1), p. 4. [Consulta: 04 octubre 2022]. ISSN: 2313-7819. Disponible en: https://www.revistas.up.ac.pa/index.php/revista_colon_ctn/article/view/1932/1496

AYALA, Claudia; et al. Estudio proximal comparativo de la cascara y pulpa del plátano (*musa paradisiaca*) para su aprovechamiento completo en la alimentación humana y animal [En línea] (Trabajo de titulación) (Tercer nivel) Universidad De El Salvador, Facultad de Química y Farmacia. (San Salvador - El Salvador). 2003. pp. 54-55. [Consulta: 2022-10-04]. Disponible en: <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/5595/1/10122377.pdf>

CLESCERI, Leonore; et al. *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Madrid-España, 1992, pp. 3:101 – 3:103.

DIAZ ROJAS, Yuliana Yasmith, & SOTO CALDERÓN, Katterine Guissela. Efecto del agente químico y temperatura en el rendimiento de carbón activado de la cáscara de la semilla de mamey (*Mammea americana*) [En línea] (Trabajo de titulación) (Tercer nivel) Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Facultad de Ingeniería Química. (Lambayeque – Perú). 2020. p.42. [Consulta: 2023-01-24]. Disponible en: https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/10083/D%c3%adaz_Rojas_y_Soto_Calder%c3%b3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y

DOMÍNGUEZ, Leydy; et al. “Caracterización vibracional de grupos funcionales en granos de cacao durante el tostado usando espectroscopía de infrarrojo por transformada de Fourier”. *Revista SCIELO* [en línea], 2019, (México) 29, p. 6. [Consulta: 24 enero 2023]. ISSN online 2007.9621. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/au/v29/2007-9621-au-29-e2172.pdf>

FARRERA, Rocío; et al. “Producción de carbón activado a escala de laboratorio a partir de residuos de café” *Revista Ingeniería* [en línea], 2017, (México) 40, p. 41. [Consulta: 04 octubre 2022]. Disponible en: https://www.ingenieria.unach.mx/images/Articulos_revista/revistapakbal_40_pag40-44.pdf

GRISALES MOTATO, Angela Lorena, & ROJAS ARRIETA, Wilmer. Obtención de carbón activado a partir de activación química de pulpa de café y su aplicación en la remoción de colorantes en aguas residuales industriales [En línea] (Trabajo de titulación) (Tercer nivel) Universidad Tecnología de Pereira, Facultad de Tecnología. Pereira-Colombia. 2019. pp. 8-10. [Consulta: 2022-10-04]. Disponible en: <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/5c456630-0b2e-4a17-a4e4-43273d4115a8/content>

GUTIERRÉZ LARA, Angie Paola, & PERILLA ROJAS, Paula Andrea. Carbón activado mediante activación química con ácido fosfórico a partir de la cascarilla de cacao para la captura de CO₂ [En línea] (Trabajo de titulación) (Tercer nivel) Universidad Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería. Bogotá-Colombia. 2019. p. 24. [Consulta: 2023-01-24]. Disponible en: <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/8244/Trabajo%20de%20grado.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

INFANTE CHIPILE, Denis. Carbón activo granular, en la mejora de la calidad del agua potable [En línea] (Trabajo de titulación) (Tercer nivel) Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería. Cajamarca-Perú. 2017. pp. 24-25. [Consulta: 2022-10-04]. Disponible en: <file:///C:/Users/Alex/Downloads/Infante%20Chipile,%20Denis.pdf>

LAVADO MEZA, Carmencita; et al. “Adsorción de plomo de efluentes industriales usando carbones activados CON H₃PO₄”. *Revista SCIELO* [en línea], 2010, (Perú) 76(2), p. 170. [Consulta: 24 enero 2023]. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v76n2/a07v76n2.pdf>

MARCAS ÑAVINCOPA, Samuel. “Manual del Carbón Activo”. *Aguapedia* [en línea], 2011, (España), pp. 7-54. [Consulta: 04 octubre 2022]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/DiegoGeovanniCaamalMas/manual-del-carbn-activo>

MARTINEZ FIERRO, Maria Cristina. Preparación y caracterización de carbón activo a partir de lignina para su aplicación en procesos de descontaminación de aguas [En línea] (Trabajo de Titulación). (Doctorado) Universidad Autónoma de Madrid, Facultad de Ciencias. Madrid-España, 2012. p. 12. [Consulta: 2022-10-04]. Disponible en: https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/12833/61732_fierro_martinez_cristina.pdf?sequence=1

MAZZEO MENESES, Miguel; et al. “Aprovechamiento industrial de residuos de cosecha y poscosecha del plátano en el Departamento de Caldas”. *Revista Educación en Ingeniería* [en línea], 2010, (Colombia) (9), p. 3. [Consulta: 04 octubre 2022]. ISSN: 1900-8260. Disponible en: https://www.acofi.edu.co/revista/Revista9/2010_I_02.pdf

MÉNDEZ VERDUGA, Ronny Antonio. Producción de carbón activado con raquis de banano y su efecto en el tratamiento de agua destinada al consumo humano, Quevedo. Año 2018. [En línea] (Trabajo de Titulación). (Maestría) Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Unidad de Posgrado. Quevedo-Ecuador. 2019. pp. 9- 14. [Consulta: 2022-10-04]. Disponible en: <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/6018/1/T-UTEQ-0021.pdf>

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA. Panorama Agroestadístico [blog]. Ecuador: Sistema de Información Pública Agropecuaria, 2022. [Consulta: 04 octubre 2022]. Disponible en: http://sipa.agricultura.gob.ec/descargas/panorama_estadistico/panorama_estadistico.pdf

MOREIRA CARRION, Karina. Reutilización de residuos de la cáscara de bananos (*Musa paradisiaca*) y plátanos (*Musa sapientum*) para la producción de alimentos destinados al consumo humano (Trabajo de Titulación). (Tercer Nivel) Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química. Guayaquil – Ecuador. 2013. Pp. 15-21 [Consulta: 2022-10-04]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/3666/1/1113.pdf>

NAVARRETE MACHADO, Carla. Estudio comparativo de las propiedades físicas y químicas del carbón activo (C.A), activado por diversos métodos de funcionalización, proveniente del residuo de *Solanum Tuberosum* [En línea] (Trabajo de Titulación). (Tercer Nivel) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba-Ecuador. 2021. pp.37-56. [Consulta: 2022-10-04]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/14964/1/96T00621.pdf>

NTE INEN 1991:1994:1995-10. *Productos Químicos Industriales. Carbón Activado Para Uso Industrial. Requisitos*

PENEDO, Margarita; et al. “Adsorción de níquel y cobalto sobre carbón activado de cascarón de coco”. *SCIELO* [en línea], 2015, (Cuba) 35(1), p. 112. [Consulta: 04 octubre 2022]. ISSN 2224-6185. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224-61852015000100010&script=sci_arttext&tlng=en

PEREZ MENDORA, Natalia & VENTURA HERNÁNDEZ, Nidia. Propuesta de diseño de un sistema de remoción de plomo en aguas, a nivel de laboratorio, utilizando estopa de coco (*Cocos nucifera*) como medio adsorbente [En línea] (Trabajo de Titulación). (Tercer Nivel) Universidad De El Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura. San Salvador. 2019. pp. 25-27 [Consulta: 2022-10-04]. Disponible en: <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/19515/1/Propuesta%20de%20Dise%C3%B1o%20de%20un%20Sistema%20de%20Remoci%C3%B3n%20de%20plom%20en%20aguas%2C%20a%20nivel%20de%20laboratorio%2C%20utilizando%20estopa%20de%20coco%20%28Cocos%20nucifera%29%20como%20medio%20adsorbente.pdf>

PINEDO FLORES, Ángela Vanesa. Preparación y caracterización de un material compuesto a base de carbón activado y armazones metal orgánicos aplicados en la adsorción de Dimetilamina [En línea] (Trabajo de Titulación). (Maestría) Pontifica Universidad Católica del Perú, Escuela de Posgrado. (Lima- Perú). 2016. p. 63. [Consulta: 2023-01-24]. Disponible en: https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/6934/PINEDO_ANGELA_PREPARACION_CARACTERIZACION_MATERIAL_COMPUESTO_BASE_CARBON.pdf?sequence=1&isAllowed=y

RIVERA, Astrid; & ALBA, José M. “Revisión: NIRS en el análisis de alimentos para la nutrición animal”. *Revista Ingenio UFPSO* [en línea], 2017, (Colombia) 13, p. 201. [Consulta: 24 enero 2023]. ISSN2011-642X. Disponible en: <https://revistas.ufps.edu.co/index.php/ingenio/article/view/2149/2242>

RODRÍGUEZ MALES, Israel Santiago. Elaboración y caracterización de carbón activado a partir de residuos agroindustriales para reducir fluoruros en aguas de consumo [En línea] (Trabajo de titulación). (Tercer nivel) Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Facultad de Ciencias, Carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental. Riobamba-Ecuador. 2020. pp. 16-17. [Consulta: 2022-10-04]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/14274>

SILVA VILLAGÓMEZ, Anabeth Mishell. Obtención y caracterización de carbón activado a partir de cáscara de Jackfruit (*artocarpus heterophyllus*) mediante activación ácida y básica [En línea] (Trabajo de titulación). (Tercer nivel) Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Facultad de Ciencias, Carrera Ingeniería Química. (Riobamba-Ecuador).2021. pp. 3-38. [Consulta: 2022-10-04]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/16913>

TUTIVÉN RAMÓN, Bélgica Alexandra. Evaluación de la eficiencia del carbón activado procedente del pseudotallo de plátano (*Musa paradisiaca L.*) para su uso en remoción de contaminantes en agua de pozo [En línea] (Trabajo de titulación). (Tercer nivel) Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, Carrera Ingeniería Agroindustrial. (Guayaquil-Ecuador). 2020. p. 68. [Consulta: 2023-01-24]. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/15510/1/T-UCSG-PRE-TEC-CIA-67.pdf>







UNIVERSIDAD DE MURCIA. 2018. Unidad de Innovación. Práctica de Humedad. [En línea] 2018. [Consulta: 04 octubre 2022.] <https://www.um.es/web/innovacion/plataformas/ocw/listado-de-cursos/higiene-inspeccion-ycontrolalimentario/practicas/determinacion-de-la-humedad>.

VIDAL, Angie; et al. “Potencial de residuos agroindustriales para la síntesis de Carbón Activado: una revisión”. *Scientia et technica* [en línea], 2018, (Colombia) 23(03), pp. 412-413. [Consulta: 04 octubre 2022]. ISSN 0122-1701. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6760221>



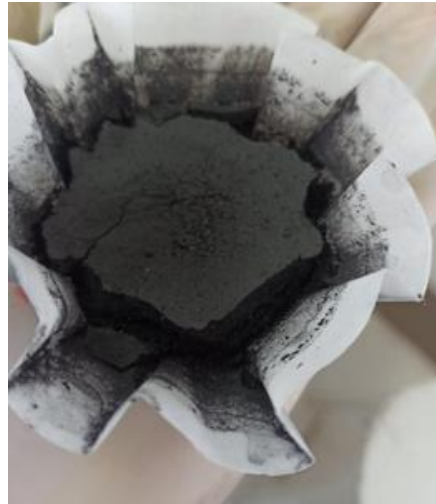
ANEXOS

ANEXO A: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

	
<p>1. Residuos del plátano deseco</p>	<p>2. Residuos de plátano deseco y molido</p>
	
<p>3. Prueba de nitrógeno para mejorar el proceso de carbonización</p>	<p>4. Carbonización de residuos del plátano.</p>
	
<p>5. Residuos de plátano carbonizado</p>	<p>6. Activación de carbón</p>



7. Lavado y filtrado de carbón activado



8. Carbón activado seco



9. Tratamientos de carbón activado



10. Solución madre de dicromato de potasio



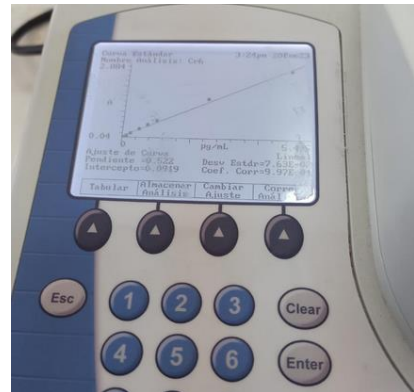
11. Solución madre de dicromato de potasio



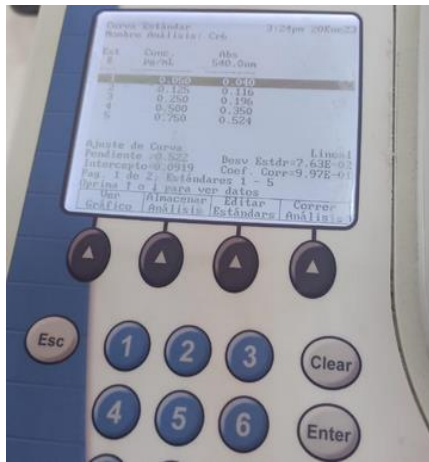
12. Solución de Difenilcarbazida



13. Muestras para la curva de calibración



14. Gráfico de la curva de calibración



15. Resultados numéricos de la curva de calibración



16. Pesaje de carbón activado para elaboración de filtro



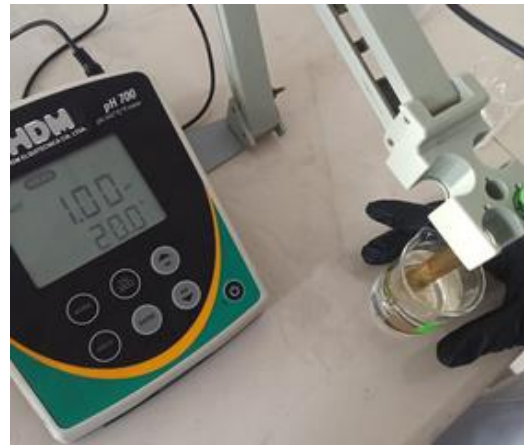
17. Filtros elaborados de carbón activado



18. Muestra de cromo antes de filtrar



19. Muestra filtrada con carbón activado



20. Disminución de pH para la titulación



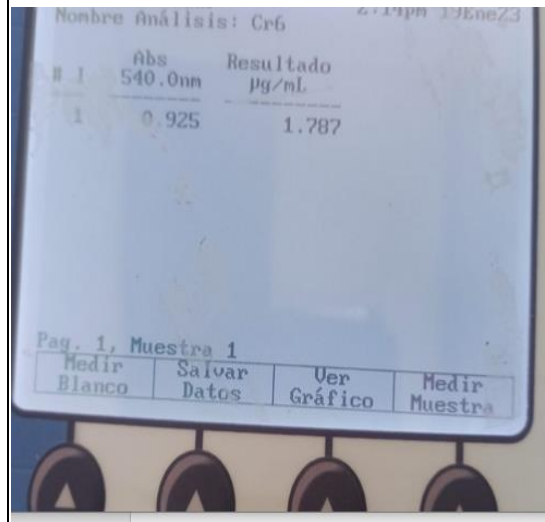
21. Titulación de muestras filtradas (H_3PO_4 85%)



22. Titulación de muestras filtradas (H_3PO_4 55%)



23. Titulación de muestras filtradas (H_3PO_4 35%)



24. Lectura de muestras filtradas



25. Desecho de soluciones de cromo



26. Espectrofotómetro empleado en los análisis de la investigación



epoch

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: 05 / 03 / 2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Alex Damian Chulde Ortega
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Química
Título a optar: Ingeniero Químico
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo



1988-DBRA-UPT-2023