



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE QUÍMICA

**“ADSORCIÓN DE PLOMO SOBRE CARBÓN ACTIVADO
OBTENIDO DE RESIDUOS DE FRUTOS DE *Crescentia Cujete*”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para obtener al grado académico de:

QUÍMICA

AUTORA: KATHERINE ABIGAIL TUBÓN RENGEL

DIRECTOR: Dr. JORGE E. SILVA Y.

Riobamba – Ecuador

2021

©2020, Katherine Abigail Tubón Rengel

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de autor Yo, Katherine Abigail Tubón Rengel declaro que el presente trabajo de integración curricular es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos del documento provienen de otras fuentes y se encuentran debidamente citados y referenciados. Como autora 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, 18 de febrero de 2021.

Katherine Abigail Tubón Rengel

180475861-1

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE QUÍMICA

El Tribunal del trabajo de integración curricular certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto de Investigación, “**ADSORCIÓN DE PLOMO SOBRE CARBÓN ACTIVADO OBTENIDO DE RESIDUOS DE FRUTOS DE Crescentia Cujete**”, realizado por la señorita: **KATHERINE ABIGAIL TUBÓN RENGEL**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de integración, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Dra. Yolanda Dolores Diaz Heredia

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

2021-02-18

Dr. Jorge Efrén Silva Yumi

**DIRECTOR DEL TRABAJO
DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

2021-02-18

Ing. Rosa Elena Pinos Neira

MIEMBRO DE TRIBUNAL

2021-02-18

DEDICATORIA

A Dios, por guiarme en la vida y cuidarme porque siempre está presente en cada instante de mi existencia.

A mis padres, que son lo más importante en mi vida, por todo el apoyo incondicional brindado y mostrado en todo momento, dándome ánimos en los tiempos difíciles y en los tropiezos; porque nunca perdieron la fe en mí, ayudándome a seguir mi camino y lograr mis metas, contribuyendo en mi formación personal y profesional.

A mis hermanos, amigos y a nuestros compañeros por el apoyo brindado, por sus consejos e incondicional amistad.

Katherine

AGRADECIMIENTO

Quiero Agradecer a Dios y a San Juan Bautista por haber puesto personas maravillosas en mi vida desde el primer día hasta hoy.

A mis padres, por regalarme el don de la vida y acompañarme siempre en todo momento incondicionalmente apoyándome a crecer tanto espiritual como personalmente.

A mis hermanos, primos, tíos, amigas, quienes siempre me han apoyado en cada etapa de mi vida y porque con ellos el día a día se hace mucho más alegre y llevadero.

A mi director de tesis Jorge Silva, por su apoyo brindado, su disposición y tiempo brindado, en el desarrollo del presente trabajo al igual que al miembro de mi Tesis Rosita Pinos.

A todo el personal docente de la Carrera de Química de la Universidad ESPOCH, por todos estos años de aprendizaje que fueron un período de crecimiento personal y profesional, también expresar mi agradecimiento a Mercedes por atenderme muy amablemente cuando lo necesitaba.

A Mauricio Alvarez por ayudarme a llevar a cabo este trabajo junto con Josué ayudándome y guiándome con el uso de los diferentes equipos dentro del laboratorio, les agradezco por su ayuda desinteresada.

Katherine

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
INDICE DE ECUACIONES	xv
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xvi
INDICE DE ANEXOS	xvii
RESUMEN	xviii
ABSTRACT.....	xix
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	4
1.1. Antecedentes de la investigación	4
1.2. Marco Teórico	6
<i>1.2.1. Metales pesados</i>	<i>6</i>
<i>1.2.2. Contaminación del agua por metales</i>	<i>7</i>
<i>1.2.3. Plomo</i>	<i>8</i>
<i>1.2.4. Contaminación del ser humano por plomo</i>	<i>9</i>
<i>1.2.5. Plomo en el Ecuador</i>	<i>9</i>
1.2.6. Árbol de mate (<i>Crescentia cujete L</i>)	12
<i>1.2.6.1. Origen, hábitat y distribución geográfica.....</i>	<i>13</i>
<i>1.2.6.2. Descripción botánica.....</i>	<i>13</i>
<i>1.2.6.3. Agricultura</i>	<i>14</i>
<i>1.2.6.4. Propiedades y usos del Mate</i>	<i>14</i>
1.2.7. Métodos para la obtención del carbón vegetal.	15

1.2.8. Método tradicional	15
1.2.9. Método tradicional industrial	16
1.2.10. Horno artesanal	16
1.2.10.1.Historia	16
1.2.10.2.Horno artesanal criollo.....	16
1.2.11. Carbonización de la materia prima	18
1.2.12. Carbón activado	19
1.2.13. Activación	19
1.2.14. Método de prueba estándar para Análisis Químico de Carbón de Madera.	22
1.2.14.1.Calidad del carbón vegetal	22
1.2.15. El carbón activo en tratamientos de aguas.	23

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO	27
2.1. Tipo De Investigación	27
2.1.1. <i>Por el método de investigación</i>	27
2.1.2. <i>Según el objetivo</i>	27
2.1.3. <i>Según las condiciones de estudio</i>	27
2.1.4. <i>Según el periodo temporal</i>	27
2.1.5. <i>Hipótesis</i>	27
2.1.5.1. <i>Hipótesis general</i>	27
2.1.5.3. <i>Hipótesis alternativa</i>	28
2.2. Población de estudio	28
2.3. Tamaño de la muestra	28
2.4. Lugar de recolección de la muestra	28
2.5. Equipos, Materiales y Reactivos	30

2.6.	Diseño Experimental	31
2.7.	Esquema del Procedimiento	32
2.8.	Caracterización de la materia prima y Carbón activado obtenidos	37
2.9.	Análisis físico	37
2.9.1.	<i>Porcentaje de humedad</i>	37
2.9.2.	<i>Ceniza</i>	38
2.9.3.	<i>Material volátil</i>	39
2.9.4.	<i>Densidad aparente</i>	40
2.9.5.	<i>Caracterización usando el SEM</i>	41
2.9.6.	<i>Granulometría</i>	41
2.9.7.	<i>Espectroscopia infrarroja (FTIR)</i>	42
2.9.8.	<i>Índice de yodo</i>	43
2.9.10.	<i>Porcentaje de Rendimiento alcanzado durante la Activación</i>	44
2.9.11.	<i>Porcentaje de remoción del plomo</i>	44
2.10.	Determinación cuantitativa de plomo	45
2.10.1.	<i>Preparación de la solución madre de plomo</i>	45
2.10.2.	<i>Preparación de soluciones estándar</i>	45

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	47
3.1.	Análisis de materia prima utilizada para la obtención del carbón activado	47
3.2.	Granulometría	49
3.3.	Resultados obtenidos de la Humedad	52
3.4.	Contenido de Material Volátil	52
3.5.	Contenido de Ceniza de los carbones obtenidos	53
3.6.	Contenido de Densidad Aparente	54

3.7. Índice de yodo	55
3.8. Espectroscopía infrarroja	56
3.9. Microscopía electrónica de barrido (SEM)	58
3.10. Adsorción	59
3.11. El porcentaje de remoción	60
3.12. Comparación de carbón activado obtenido con el comercial de la empresa ERAFI	60
CONCLUSIONES	62
RECOMENDACIONES	63
GLOSARIO	
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

INDICE DE ABREVIATURAS

- ASTM:** Asociación Americana de Ensayo de Materiales.
- C.A.F:** Carbón activado físicamente.
- C.A.Q:** Carbón activado químicamente.
- ESPOCH:** Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- FAO:** Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- FTIR:** Espectroscopia infrarroja por transformadas de Fourier.
- GIMA:** Grupo de Investigación en Materiales Avanzados.
- NCAS:** Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación para Suelos Contaminados.
- Pb:** Plomo
- SEM:** Microscopía electrónica de barrido.

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Principales actividades generadoras de metales pesados	6
Tabla 2-1: Propiedades Física y Químicas del plomo.	8
Tabla 3-1: Las provincias con actividad minera dentro del Ecuador	10
Tabla 4-1: Metales pesados en colas de cianuración y relaves según (NCAS).....	11
Tabla 6-1: Taxonomía del mate.....	13
Tabla 7-1: Normas de calidad del carbón vegetal en diferentes países.....	23
Tabla 8-1: Ficha técnica de carbones activados producidos en Erafi.....	24
Tabla 9-1: Carbón activo comercial - Parámetros	25
Tabla 1-2: Equipo de laboratorio.....	30
Tabla 2-2: Equipo de campo	30
Tabla 3-1: Reactivos empleados	31
Tabla 4-2: Materiales del laboratorio	31
Tabla 1-3: Determinación del % de humedad de la materia prima (Crescentia cujete).	47
Tabla 2-3: Contenido de material volátil de la materia prima.	47
Tabla 3-3: Contenido de Ceniza de la materia prima	48
Tabla 4-3: Rendimiento del carbón activado física y químicamente	48
Tabla 5-3: Granulometría del carbón activado químicamente.....	49
Tabla 6-3: Granulometría del carbón activado físicamente	50
Tabla 7-3: Humedad de los 2 carbones activados.....	52
Tabla 8-3: Material volátil de los carbones activados físicamente y químicamente.	52
Tabla 9-3: Contenido de cenizas de los carbones activados tanto física como química	53
Tabla 10-3: Densidad aparente del carbón activado físicamente	54
Tabla 11-3: Densidad aparente del carbón activado químicamente	54

Tabla 12-3: Índice de yodo de los carbones obtenidos	55
Tabla 13-3: Parámetros seguidos para llevar a cabo el proceso de adsorción.....	59
Tabla 14-3: Porcentaje de remoción del plomo sobre los carbones estudiados	60
Tabla 15-3: Comparación entre carbones obtenidos con el comercial (ERAFI).....	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Árbol de Crescentia cujete.	13
Figura 2-1: Usos del mate.	14
Figura 3-1: Estructura del horno artesanal.	17
Figura 4-1: Horno Criollo.	18
Figura 5-1: a) Capas planas del grafito. b) Estructura de las capas del carbón activado.....	19
Figura 6-1: Poros del carbón activado.....	21
Figura 7-1: Principales grupos presentes en la superficie de un carbón activado.	22
Figura 1-2: Ruta de la recolección de la muestra desde el lugar de origen.	28
Figura 2-2: Lugar donde se llevó a cabo la investigación.	29
Figura 3-2: Esquema Experimental del proceso.....	32
Figura 4-2: Fruto de Crescentia cujete	33
Figura 5-2: Proceso de remoción de la pulpa del mate; sacado la pulpa	33
Figura 6-2: Reducción de tamaño del mate.....	34
Figura 7-2: Encendido del horno.....	34
Figura 8-2: Carbonización de la materia prima	35
Figura 9-2: Activación Física del carbón.	35
Figura 10-2: Ácido fosfórico y mate	36
Figura 11-2: Activación química del mate a 506 °C	36
Figura 12-2: Molino usado para reducir el tamaño del carbón.	37
Figura 13-2: Análisis de humedad, cápsulas de porcelana más muestra.	38
Figura 14-2: Mufla con crisoles para análisis de ceniza	39
Figura 15-2: Mufla a 950 °C con crisoles	40
Figura 16-2: Densidad aparente del carbón físico	41
Figura 17-2: Uso de mallas para granulometría	42

Figura 17-2: Preparación de soluciones para remover el plomo con carbón.	45
Figura 19-2: Botella con solución filtrada y botella con plomo y carbón.	46
Figura 1-3: Espectro del carbón activado químicamente.....	56
Figura 2-3: Espectro del carbón activado físicamente.....	57
Figura 3-3: a-b) Carbón físico (5-10 μm). c-d) Carbón Químico (5-10 μm).	58

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-2: Porcentaje de humedad	38
Ecuación 2-2: Porcentaje de ceniza	39
Ecuación 3-2: Material volátil.....	39
Ecuación 4-2: Densidad aparente	40
Ecuación 5-2: Porcentaje retenido en el tamiz	42
Ecuación 6-2: Índice de yodo.....	43
Ecuación 7-2: Porcentaje de rendimiento de activación	44
Ecuación 8-2: Porcentaje de remoción en función de la concentración	44

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3: Curva granulométrica de C.A.Q.	50
Gráfico 2-3: Curva granulométrica del C.A.F.	51

INDICE DE ANEXOS

ANEXO A: PROCESO DE SECADO TRADICIONAL DEL MATE.

ANEXO B: ENCENDIDO DEL HORNO Y CARBONIZACIÓN.

ANEXO C: ACTIVACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA.

ANEXO D: SOLUCIÓN MADRE DE NITRATO DE PLOMO.

ANEXO E: PROCESO DE OBTENCIÓN DE LA MATERIA PARA ANÁLISIS.

ANEXO F: INFORME DE ABSORCIÓN DE PLOMO.

ANEXO G: ÍNDICE DE YODO DEL CARBÓN ACTIVADO FÍSICAMENTE.

ANEXO H: ÍNDICE DE YODO DEL CARBÓN ACTIVADO QUÍMICAMENTE.

ANEXO I: ESPECTRO DEL ÁCIDO FOSFÓRICO PROVENIENTE DE CÁSCARA DE ARROZ
ACTIVADAS CON ÁCIDO FOSFÓRICO.

ANEXO J: CARBÓN ACTIVADO. DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE YODO.

ANEXO K: DENOMINACIÓN DE SUELOS.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación denominado “Adsorción de plomo sobre carbón activado obtenido de frutos de *Crescentia Cujete*” tuvo como objetivo el estudio de la remoción del plomo mediante adsorción con carbón activado proveniente de residuos de *Crescentia Cujete*, para lo cual se obtuvo carbón activado por el método de carbonización y se realizó la activación mediante métodos físicos y químicos de forma artesanal; se determinó la capacidad de remoción del plomo. Se llevó a cabo el análisis de la materia prima obtenida del Recinto Gramalote en el que se hizo análisis de ceniza, humedad; también se realizó la caracterización de los dos carbones activados obtenidos evaluando parámetros como el índice de yodo, densidad aparente, rendimiento del proceso y el porcentaje de remoción de plomo. Para saber la estructura porosa presente en los 2 carbones activados obtenidos se utilizó microscopía electrónica de barrido, el porcentaje de remoción del plomo se determinó mediante 1 prueba en lotes para los dos carbones obtenidos. Los resultados de los carbones activados obtenidos se compararon en función de las normas American Society of Testing Materials (ASTM), en donde se comparó el % de humedad, ceniza, densidad aparente, pH, de los dos carbones y dio como resultado que estos se encuentran en el rango o cercano al rango establecido por la norma ASTM. Los resultados también se compararon con el carbón activado de la empresa ecuatoriana Erafi de los que se puede decir que el carbón activado químicamente es el que más se acerca a los rangos que presenta esta empresa. Se puede concluir que el carbón activado químicamente fue el que mayor cantidad de plomo pudo remover presentando un porcentaje del 47,71 %.

Palabras clave: <QUÍMICA>, <CARBÓN ACTIVADO>, <PLOMO>, <MATE (*Crescentia cujete*)>, <REMOCIÓN>, <ADSORCIÓN>, <MÉTODO TRADICIONAL>, <ACTIVACIÓN FÍSICA>, <ACTIVACIÓN QUÍMICA>, <RENDIMIENTO>, <CARACTERIZAR>.



04-01-2021

0525-DBRAI-UPT-2020

ABSTRACT

The "Adsorption of lead on activated carbon obtained from fruits of *Crescentia Cujete*" aimed to study the removal of lead by adsorption with activated carbon from residues of *Crescentia Cujete*, for which activated carbon was obtained by the carbonization method. The activation was carried out by physical and chemical methods in an artisanal way, and the lead removal capacity was determined. The analysis of the raw material obtained from the enclosed state Gramalote was carried out, in which an analysis of ash, humidity; The characterization of the two activated carbons obtained was also carried out, evaluating parameters such as the iodine number, apparent density, process performance and the percentage of lead removal. To find out the porous structure present in the two activated carbons obtained, scanning electron microscopy was used. The lead removal percentage was determined by one batch test for the two coals obtained. The results of the activated carbons obtained were compared according to the American Society of Testing Materials (ASTM) standards, where the% moisture, ash, apparent density, pH, of the two carbons were compared and the result was that they were They are in the range or close to the range established by the ASTM standard. The results were also compared with activated carbon from the Ecuadorian company Erafi, in which it can be said that chemically activated carbon is the one that is closest to the ranges presented by this company. It can be concluded that chemically activated carbon was the one that could remove the highest amount of lead, presenting a percentage of 47.71%.

Keywords: <CHEMISTRY>, <ACTIVATED CARBON>, <LEAD>, <MATE (*Crescentia kujete*)>, <REMOVAL>, <ADSORPTION>, <TRADITIONAL METHOD>, <PHYSICAL ACTIVATION>, <CHEMICAL ACTIVATION>, <PERFORMANCE>, <CHARACTERIZE>.

INTRODUCCIÓN

El plomo es un metal que se encuentra en la naturaleza de forma natural, debido al desarrollo industrial y minero los niveles permisibles de este metal han ido aumentando su concentración en las aguas ya que no hay tratamientos previos antes de la descarga a los efluentes líquidos como ríos o canales, exponiendo al ecosistema a una grave contaminación, al igual que a la salud de la población por su bioacumulación y a otros organismos vivos. En el Ecuador, los casos de contaminación por plomo en el agua han sido, en su mayoría, por el manejo irresponsable de las pequeñas mineras de oro y sus descargas sin tratamiento a cuerpos de agua.

El incremento de la concentración de plomo en las aguas causa efectos tóxicos en la población que consumen el agua contaminada, existen tratamientos para metales pesados los cuales son muy costosos de ejecutarlos (como ósmosis inversa, intercambio iónico y precipitación), por esta razón se busca hacer una propuesta de tratamiento no convencional mucho más barato, utilizando el fruto de *Crescentia cujete* conocido ordinariamente como mate a modo de adsorbente en forma de carbón activado aplicado a la remoción del plomo presente en aguas contaminadas preparadas en el laboratorio, que nos ayude a contrarrestar los problemas ocasionados por este metal, siendo mucho más factible el poder implementarse.

El presente trabajo que se realiza a continuación es una propuesta hecha de manera artesanal, idónea para eliminar el plomo presente en muestras de agua preparadas en el laboratorio, por medio del proceso de adsorción en el que el plomo presente en la fase líquida se va a transferir al sólido quedando en la superficie del carbón activado obtenido a partir de *Crescentia cujete*.

El primer paso que se llevó a cabo fue la obtención del carbón activado tanto en forma física y activación química a diferentes temperaturas para llevar a cabo la activación utilizando un horno artesanal criollo, donde el tiempo de carbonización del carbón físico fue de 20 minutos a 300 °C, mientras que la activación química se llevó a cabo a una temperatura de 500 °C por 45 minutos siendo este carbón el que mejor rendimiento presentó. Para asegurar la calidad del carbón activado obtenido se realizó pruebas físicas y químicas; con una prueba de remoción en lotes se llevó a cabo el análisis del porcentaje de remoción.

JUSTIFICACIÓN

En el Ecuador principalmente se incorpora el plomo al ambiente por la minería artesanal teniendo a las provincias con actividad minera importantes dentro del Ecuador a: Esmeraldas, El Oro, Imbabura, Zamora, Napo y Morona Santiago. (Andrade y Fernando, 2017). La Provincia de El Oro es la más importante en la extracción de oro con un 85%, específicamente en 2 cantones Zaruma y Portovelo, donde el plomo ha afectado la biodiversidad acuática en el río Puyango-Tumbes, así como el Calera y Amarillo entre otros. (Hernández, 2008).

La presente investigación se realizará para obtener carbón activado de los residuos de *Crescentia cujete* (mate) de forma artesanal y para conocer más a fondo sobre los residuos que se usan para llevar a cabo la adsorción de este metal en medio acuoso, por adsorción ya que estudios realizados alrededor del mundo, han mostrado que el plomo causa daños a la salud. Las emisiones naturales de plomo alcanzan las 19.000 ton/año por desgaste geológico y actividades volcánicas y por actividad antropogénica alcanza de 120 a 130 mil ton/año. (Andrade y Fernando, 2017, p. 12-15)

La eliminación del plomo en aguas contaminadas es la forma de contrarrestar la contaminación por este metal, llevando a cabo diferentes procesos, siendo uno de ellos la adsorción. El proceso de adsorción consiste en que los átomos o moléculas de una sustancia son retenidas en la superficie de otra sustancia. (Andrade y Fernando, 2017, p. 12-15)

Por estudios realizados con anterioridad se sabe que el carbón activado por su estructura química posee propiedades únicas como agente adsorbente. En esta investigación se aprovechará y se dará uso a residuos de los frutos del árbol de *Crescentia cujete* para la obtención de carbón activado de forma artesanal y como una posible aplicación en la remoción del plomo existente en las minerías del oro, este residuo a utilizarse es de fácil adquisición económica, para así mejorar la calidad del agua y contribuir a mejorar el bienestar social y ambiental de nuestro país. (Pernía et al., 2018, p. 80-105)

Esta investigación se realizará en el Cantón Mocha- Barrio El Calvario ya que se va hacer la obtención del carbón activado en forma artesanal donde se dispone de los materiales necesarios para este tipo de estudios como es un horno de barro criollo, además, esta investigación cuenta con el aval del Grupo de Investigación en Materiales Avanzados (GIMA). La investigación del rendimiento de carbón a partir de los residuos de la especie *Crescentia cujete* (mate), permite demostrar que los hornos artesanales contribuyen dando un buen rendimiento y calidad, según los parámetros físico- químicos pudiendo dar a este producto un uso adecuado.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Estudiar la remoción del plomo mediante adsorción con carbón activado proveniente de residuos de *Crescentia Cujete*.

Objetivos Específicos

- Obtener los residuos y el carbón activado mediante carbonización del fruto de *Crescentia cujete*.
- Realizar la activación mediante métodos físicos y químicos del carbón obtenido de forma artesanal.
- Determinar la capacidad de remoción de plomo desde medios acuosos.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes de la investigación

Según un estudio llevado a cabo por Céliz y Forneris (2018) la planta de la Cooperativa Olivícola 12 Olivos Limitada es una planta pequeña destinada a la producción de aceite ubicada en Perú en Catamarca, mediante estudios realizados a esta planta se obtuvo que produce aceite de buena calidad, en su obtención se genera una gran cantidad de desechos produciendo impacto ambiental, por lo que en busca de soluciones eficaces y con la finalidad de mejorar la sustentabilidad de la planta buscan dar valor agregado a los corozos de aceituna convirtiéndolos en carbón activado y usando como fuente de energía (combustible). La etapa de secado de las aceitunas es la etapa que más energía consumió. Se obtuvo carbón activado con propiedades similares a los carbones comerciales y se dio uso a los corozos de aceituna generando una buena rentabilidad e ingresos también por la comercialización del carbón obtenido por parte de la empresa, también ayudo a disminuir el impacto generado.

El estudio llevado a cabo por (Pernía et al., 2018) tuvo como objetivo la evaluación del rendimiento del proceso y conocer la calidad de carbón vegetal, provenientes de los residuos de aublet y willd en el departamento de Madre de Dios. La carbonización fue artesanal de manera horizontal, utilizando un diseño factorial 2 x 3, los factores que se experimentaron fueron tipo de residuo y nivel de ubicación en el horno (inferior, medio y superior). El rendimiento de carbón fue de 382.702 kg por 1 m³ de residuo de despunte (34.072 % del peso y 56.045 % del volumen), de acuerdo al análisis de variancia, únicamente, existió significancia ($p < 0.01$) en tipo de residuos más no en la ubicación de carbonización e interacciones. Las propiedades fisicoquímicas de los tipos de residuos industriales de madera presentaron diferencias significativas con la excepción del contenido de cenizas.

En Nicaragua se obtiene carbón a partir del fruto del jícara sabanero para filtrar el agua y purificarla en forma de filtro natural. Este estudio se llevó a cabo para conocer la calidad del carbón producidos por la Asociación de Campesinos y Artesanos (DECAB) y activar al carbón del jícara a escala de laboratorio. Se hicieron diferentes pruebas en el laboratorio como fue: pre carbonización a 400°C y la posterior activación Química con ácido fosfórico a 600°C siendo este el más exitoso en el rendimiento con un 40% este carbón obtenido tuvo una capacidad de adsorción superior a los demás.

El carbón activado en el laboratorio presento mejores propiedades y características que los obtenidos artesanalmente mostrando así las limitaciones del proceso artesanal.(Pernía et al., 2018)

Según un estudio realizado por Ortiz y Zarur (Carriazo, Saavedra y Molina, 2010) hacen una revisión acerca de los adsorbentes de origen orgánico para la eliminación de metales presentes en una solución. Se destaca la importancia de subproductos agrícolas por ser económicamente factibles de adquirirlos y ser eficientes; además, se realizaron modificaciones químicas para obtener carbón activado mejorando la eficiencia en la adsorción de los metales de: Pb (II), Hg (II), Ni (II) y Cr (VI) mostrando así que la biosorción es un proceso nuevo y eficiente en lograr extraer los contaminantes presentes en los efluentes acuosos. Las biomásas que se pueden utilizar son muchas como el aserrín, hongos y productos que contienen lignocelulosa. Este artículo de revisión analiza diferentes trabajos de los cuales lograron concluir que los diferentes tipos de biomásas son útiles para lograr remover metales pesados y que hay variables como tamaño de partícula y pH que afectan la eficiencia de adsorción, pero que, la eficiencia de adsorción va a depender mucho del tipo de biomasa que se ocupe.

En la investigación llevada a cabo (Meza, Sun y Bendezú, 2019) demostraron que el carbón activado es óptimo para adsorber el Pb en un 99.85 % y un 99.85 % para Cd a un pH de 6. Los estudios realizados para determinar la cinética de adsorción indicaron que el proceso alcanzo el equilibrio en 100 minutos con 19.95 mg/g para plomo y 19.94 mg/g para cadmio, siguiendo el modelo cinético de pseudo segundo orden de tipo Frencludich para ambos metales. El tratamiento para la remoción de plomo y cadmio en soluciones acuosas se realizan en carbón mineral impregnado con disulfuro de carbono e hidróxido de sodio. Esta modificación muestra como resultado un aumento considerable en la adsorción de plomo y cadmio con respecto al carbón mineral, lo que indica que este adsorbente resulta favorable para la remoción de metales pesados.

Las cáscaras de cacao han sido evaluadas como un residuo capaz de adsorber los metales pesados como es el Plomo y Cadmio, preparando soluciones acuosas sintéticas, mediante un proceso continuo de lecho fijo. Este trabajo controlo parámetros como el pH, concentración inicial de los metales, velocidad de flujo y se determinó el efecto de la altura del lecho en la remoción. En las pruebas llevadas con Pb se logró una remoción de 91,32 %, mientras que el Cd logro una remoción de 87,80 % después del transcurso de 4,5 h. Las concentraciones finales de las soluciones se determinaron mediante adsorción atómica. Los resultados obtenidos en este trabajo nos muestran que los residuos de cacao usados pueden ser aplicados para la remoción de metales pesados presentes en aguas residuales satisfactoriamente.(Andrade y Fernando, 2017)

Gracias al estudio llevado a cabo por (Hao et al., 2015) se elaboró carbón activado proveniente del rastrojo de maíz y para su activación química se utilizó el ácido fosfórico al 5 % v/v utilizando una

proporción 3:1 carbonizando la materia a una temperatura de 120 °C y para llevarse a cabo la activación química del carbón se utilizó una temperatura de 450 °C bajo flujo de nitrógeno. Los estudios llevados a cabo para determinar los procesos de adsorción del Pb²⁺ disuelto en agua con carbón activado, estos estudios se llevaron a cabo en un intervalo de concentraciones desde 2 a 25 ppm con un pH de 4. Obteniéndose un porcentaje de remoción del 89.1 % del plomo presente en medios acuosos.

1.2. Marco Teórico

1.2.1. Metales pesados

Los metales no son creados y no pueden ser destruidos por el ser humano, son probablemente los tóxicos más antiguos destacado por el hombre. (Andrade y Fernando, 2017)

Son un grupo de elementos químicos cuya densidad es alta siendo incluso cinco veces mayor que la del agua. Son importantes en la producción de bienes y servicios los más importantes son: Cromo (Cr), Estaño (Sn), Cobre (Cu) Níquel (Ni), Zinc (Zn), Cobalto (Co), etc. (Andrade y Fernando, 2017)

A los metales pesados también se los nombran como metales tóxicos debido a que no se degradan por lo que se acumulan en sistemas ambientales causando daños irreparables al ambiente así como daños a la salud de los seres vivos.(Andrade y Fernando, 2017, p. 20-25)

Los metales pesados se encuentran de forma natural en la hidrósfera, litósfera y atmósfera en concentraciones pequeñas que no presentan daño a las diferentes formas de vida e incluso son esenciales para el desarrollo de la vida, algunos son nutrientes esenciales para las plantas y los animales, micronutrientes como Mn, Mo, Cu, Co, Zn , Sc y V mientras que otros elementos como el Ni, Sn y Cr son esenciales solo para animales; sin embargo, los procesos antrópicos han ocasionado un paulatino aumento de dichas concentraciones en los diferentes componentes de la corteza terrestre. (Andrade y Fernando, 2017, p. 16-22)

Tabla 1-1: Principales actividades generadoras de metales pesados

Industria	Metal	Contaminación
Extracción de minerales	Ni, Pb, Cu, Zn.	Presencia en las menas y subproductos.
Fundición	Pb, Cd, Tl	Procesamiento de los minerales para obtener metales

Metalurgia	Mn, Pb, Cu, Cr, Zn.	Obtención y tratamiento térmico para la obtención de metales.
Aceros y aleaciones	Cu, Te, Pb, Ni, Cd, Mo, Zn.	Reciclaje de metales y aleaciones.
Gestión de residuos	Zn, Cu, Cd, Pb, Ni, Cr, Hg, Mn	Incineración de residuos o lixiviados.
Corrosión metálica	Fe, Cr, Pb, Ni, Co, Zn	Inestabilidad de los metales expuestos al medio ambiente.
Galvanoplastia	Cr, Ni, Zn, Cu	Los efluentes líquidos de procesos de recubrimiento.
Pinturas y pigmentos	Pb, Cr, Ti, Ba, Zn	Residuos de la fabricación y deterioro de la pintura vieja.
Baterías	Cd, Sb, Pb, Zn, Ni.	Pila residual elimina su contenido interior contaminando al suelo y aguas subterráneas.
Ganadería y agricultura	Mo, Mn, Cd, Pb, U, V, Cu Zn.	Contaminación a aguas subterráneas, superficiales por escorrentía

Fuente:(Andrade y Fernando, 2017). Actividades que generan metales pesados.

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

1.2.2. Contaminación del agua con metales

Se define a la contaminación del agua como *“la alteración dañina del agua al adicionar una serie de elementos que cambian las condiciones naturales de esta, causando daños al ingerirla”* (Manahan, 2007, p. 207-212). Las concentraciones elevadas de metales presentes en el agua causan serios daños al biomagnificarse y al ser persistentes. (Manahan, 2007, p. 207-212)

Los sistemas acuáticos en la actualidad están sufriendo un impacto ambiental muy severo, generando una cantidad de cambios irreparables a los diferentes ecosistemas ya sea por el vertido de los desechos domésticos, rurales e industriales de los que destacan los metales pesados. (Pernía et al., 2018, p. 95-105) La calidad del ecosistema acuático es modificada de 2 formas; la primera es de forma natural y la segunda es por actividades antropogénicas (Andrade y Fernando, 2017, p. 16-22). La modificación de forma natural es producida como el resultado de procesos de lixiviación de suelos, piedras y erupciones volcánicas, en donde los metales son introducidos por este medio a los sistemas acuáticos. La segunda forma de contaminación puede ser por actividades realizadas por el hombre. (Pernía et al., 2018, p. 95-105)

Los metales pesados tienen la capacidad de formar asociaciones con sustancias minerales (carbonatos, sulfatos, etc.) (Pernía et al., 2018, p. 95-105)

1.2.3. Plomo,

El plomo es un metal pesado que se representa con el símbolo (Pb) su peso atómico es 207.19 g su número atómico es el 82, presenta un color gris-azulado, se encuentra en la naturaleza raramente en forma de metal, generalmente se encuentra formando compuestos con otros elementos, la mayor cantidad de plomo proviene de actividades mineras, manufactura industrial y quema de combustibles. (Flórez, 2012, p. 45-50)

El plomo se encuentra en la naturaleza formando 200 compuestos entre los más importantes se encuentra la galena o sulfuro de plomo (PbS) la cerusita o carbonato de plomo (PbCO₃) anglesita o sulfato de plomo (PbSO₄), otros minerales donde se encuentra el plomo son corcoita, wulfenita, piromorfita, matlockita, mimetita, vanadinita, etc. (Lara et al., 2016, p. 113-124)

En la industria química los compuestos más importantes son los óxidos de plomo (PbO) usado para recubrir las placas de las baterías de autos, el tetróxido de plomo (Pb₃O₄) usado en fabricación de pinturas y en placas de acumuladores eléctricos.(Lara et al., 2016, p. 113-124). Su apreciación en la industria se debe principalmente por su resistencia a la corrosión, al ácido sulfúrico y ácido clorhídrico. La mayor parte proviene de la minería y de la manufactura industrial.

Las aplicaciones que tiene el plomo son muchas como en la elaboración de productos metálicos como son soldaduras y cañerías, también se tiene la fabricación de láminas de protección y en la elaboración de municiones. (Lara et al., 2016, p. 113-124). En el revestimiento de cables de internet, teléfono o electricidad, producción de pesticidas, explosivos, reactivos químicos, joyería, elementos de construcción, latas de conservas, tintes de pelo, aleaciones metálicas, etc. (Lara et al., 2016, p. 113-124)

Tabla 2-1: Propiedades Física y Químicas del plomo. (Pérez y Hernandez, 2019)

Propiedades Físicas	
Estado ordinario	Sólido
Punto de ebullición	1749 °C
Punto de fusión	327,46 °C
Presión de vapor	$4,21 \times 10^{-7}$ Pa a 326,85 °C
Entalpía de fusión	4,799 kJ/mol
Propiedades Químicas	
Radio atómico	1,75 Å
Radio iónico	1,20 Å
Radio covalente	1,47 Å
Estado de oxidación	4, 2 (anfótero)

Estructura cristalina	Cúbica centrada en las caras (fcc)
-----------------------	------------------------------------

Fuente: (Pérez y Hernandez, 2019). Propiedades del plomo.

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

1.2.4. Contaminación del ser humano por plomo

El plomo afecta tanto a la salud mental como a la física alrededor del mundo. (Maestre y Layana, 2018). No se conoce con exactitud el límite permisible de plomo en la sangre, ya que niveles bajos del metal producen lesiones múltiples en el cuerpo. Aún no existe un nivel de exposición considerado seguro frente al plomo. (Maestre y Layana, 2018)

Los niños son los más perjudicados al estar expuestos a la contaminación por este metal generando daños desde el desarrollo normal del feto como es malformaciones, bajo peso y nacer prematuramente. El plomo va a afectar a la salud de forma negativa ya que va a causar daños en el desarrollo del sistema nervioso y cerebro del niño. La exposición al plomo durante la niñez puede provocar retraso mental y de aprendizaje. (Maestre y Layana, 2018, p. 22-32)

El plomo provoca “anemia, insuficiencia renal, hipertensión, toxicidad a los órganos reproductivos” (Maestre y Layana, 2018, p. 22-32)

. El plomo al afectar al cerebro y al sistema nervioso central puede generar un coma, convulsiones e incluso la muerte. (Maestre y Layana, 2018, p. 22-32)

1.2.5. Plomo en el Ecuador

Según (Velasco, 2015) la Cámara de Minería del Ecuador los metales que presenta buen potencial minero en Ecuador son los siguientes, con sus respectivas reservas y recursos:

- Oro: 39 millones de Onzas
- Plata: 88 millones de Onzas
- Cobre: 8 millones de toneladas métricas
- Plomo: 28 mil toneladas métricas
- Zinc: 209 mil toneladas métricas

Tabla 3-1: Las provincias con actividad minera dentro del Ecuador son:

Provincia	Porcentaje de concesiones mineras	Provincia	Porcentaje de concesiones mineras
Azuay	14	Esmeraldas	3
Guayas	12	Imbabura	2
Zamora Chinchipe	12	Morona Santiago	2
El Oro	11	Manabí	2
Pichincha	11	Pastaza	2
Loja	10	Napo	1
Tungurahua	4	Sucumbíos	1
Chimborazo	4	Bolívar	1
Cañar	3	Orellana	1
Cotopaxi	3		

Fuente: (Guerrero Campos, 2013). Reporte de minería en el Ecuador.

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

La mayor actividad minera se centra en el sur del Ecuador en el Azuay, Zamora Chinchipe y El Oro. (Nacional y Macroeconómica, 2017, p. 12)

En la provincia del El Oro, en los ríos las descargas de contaminantes provenientes de la actividad minera afectan a toda forma de vida, así como a la salud de los seres humanos. Zaruma y Portovelo son dos de los cantones en los que se puede afirmar los daños provocados debido al consumo de agua y alimentos contaminados. (Oviedo-anchundia et al., 2017, p. 438-441)

En la minería del oro se necesita emplear productos químicos y el uso de grandes cantidades de agua en los pozos de extracción, en estos pozos se encuentran una gran cantidad de sustancias de la mina que se combinan con los productos químicos formando desechos tóxicos “proveniente de relaves y escombros que contienen azufre, cadmio, plomo, molibdeno, cianuro y compuestos fenólicos.” (Oviedo-anchundia et al., 2017, p. 438-441)

Los desechos al ser incorporados al suelo sin ningún tipo de tratamiento adecuado provocan contaminación. En la tabla 1-4 se puede apreciar los límites permisibles según la Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación para Suelos contaminados (NCAS) establecida en Ecuador, así como la concentración de metales pesados encontrados en relaves de amalgamación y colas de cianuración en los cantones Zaruma y Portovelo. (Oviedo-anchundia et al., 2017, p. 438-441)

Tabla 4-1: Concentraciones de metales pesados en colas de cianuración y relaves excediendo las concentraciones permisibles según la Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación para Suelos contaminados (NCAS)

Metales pesados	Limite permisible (mg/kg)	Colas de cianuración (mg/kg)	Relaves (mg/kg)
Hg	10	1	35,90
Cd	10	40.11	27.40
Pb	150	1796	4060
Mn	1258	281

Fuente: (Oviedo-anchundia et al., 2017). Plomo en colas de cianuración y relaves en minería.

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

Los impactos ambientales generados a la calidad del agua por los relaves, estériles de mina, pilas de lixiviación; en las minas de Au, Ag, se encuentran asociados a sulfuros, estos sulfuros se exponen al agua durante el proceso de minado en donde se forma ácido sulfúrico. El cual se convierte en lixiviado y disuelve a los metales que se encuentren en los materiales minados tales como Cd, Cu, Pb etc. El drenaje es ácido y se puede liberar fácilmente de la mina. En cuanto al drenaje ácido y lixiviados se tiene que la mayor preocupación es por el impacto negativo que estos tienen sobre la flora y fauna existentes en el agua o medio acuático ya que una contaminación severa podría acabar con la biota del río; sin embargo, los metales pueden ser arrastrados por el río recorriendo así largas distancias contaminando otros cauces y formas de vida, lejos del punto de origen de la contaminación. (Guerrero Campos, 2013)

En el sector de Puyango se ha encontrado concentraciones de plomo que están entre 3972 y 5080 ug/g. Un estudio realizado en el 2006 por el Ministerio de Ambiente del Ecuador (MAE) en el río Puyango en la parroquia Malvas (Zaruma) se encontraron grandes cantidades de plomo en plantaciones de café con una concentración de 8.7 ug/g, dentro de esta investigación se estudió también al río Amarillo (Portovelo) y se encontró peces contaminados con plomo con concentraciones superiores a 20 mg/g. (Oviedo-anchundia et al., 2017, p. 438-441)

Los estudios llevados a cabo en los 2 cantones Zaruma y Portovelo afirman que la contaminación por Plomo en el río Puyango, propiciado por el mal manejo de los residuos, así como en el río Amarillo, permitió evidenciar con la determinación de plomo la existencia de altas concentraciones de este elemento en animales y plantas. (Oviedo-anchundia et al., 2017, p. 438-441)

En la **Tabla 5-1**: Consecuencias en la salud humana al sobrepasar los límites permisibles en agua para consumo humano.

Se puede observar los metales pesados y sus límites permisibles según lo registrado por la ley ecuatoriana y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA). (Oviedo-anchundia et al., 2017, p. 438-441)

Metales	USEPA (mg/L)	ECUADOR (mg/L)	Consecuencias en la salud
Hg	0.00003	0.001	Artritis reumatoide y enfermedades renales, vasculares y neuronales.
Cd	0.01	0.01	Daño renal y efecto carcinógeno.
Pb	0.006	0.05	Daño cerebral, enfermedades renales, vasculares y neuronales.
Mn	0.20	1.00	Daños en el tracto respiratorio y cerebro, alucinaciones y daños en los nervios.

Fuente: (Oviedo-anchundia et al., 2017). Consecuencias en la salud humana al sobrepasar los límites permisibles en agua para consumo humano.

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

1.2.6. *Árbol de mate (Crescentia cujete L)*

Nombre científico: *Crescentia cujete L*

Nombres comunes: “Mate, jícaro, mimbre, cirián, tecomate, güiro, cuaitecomate, árbol de las calabazas, guirototumo, guitoxiga, morro, palo de huacal, totumo, tzima, zacual” (Flórez, 2012, p. 44-51).

Origen: Nativo de: México, Venezuela, Honduras, Perú, Ecuador, Brasil, Colombia. (Flórez, 2012, p. 44-51).



Figura 1-1: Árbol de *Crescentia cujete*.

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

1.2.6.1. Origen, hábitat y distribución geográfica

Es un árbol nativo de México, Centro América, Caribe y Sur América (Venezuela, Perú, Brasil, Ecuador y Colombia). Cultivados en patios, jardines, fincas de cultivo y potreros, en forma silvestre se encuentra en colinas y bosques, además, este presenta muchas variedades con diversas formas y tamaños siendo la más apreciada la de la forma redonda. (Flórez, 2012, p. 44-51).

1.2.6.2. Descripción botánica

Es un árbol que alcanza una altura promedio entre los 6-8 m de altura, el tronco hasta 2 m de diámetro con largas ramas extendidas. Hojas de varios tamaños en un mismo grupo entre 6-15 cm, obtusas, cortantes acuminadas en el ápice, de color verde oscuro. Flores olorosas solitarias grandes, coliflores, a lo largo de las ramas o sobre el mismo tronco. Son ensanchadas con un diámetro de 4-7 cm, presentan un color amarillo. El fruto es como una calabaza ovoide-elíptica de 13-30 cm de diámetro, con la corteza leñosa y lisa. Contiene pulpa blanca fibrosa, jugosa, gelatinosa y numerosas semillas pequeñas y sin alas dentro de la pulpa. (Espitia-baena et al., 2011, p. 337-346)

Tabla 6-1: Taxonomía del mate.

Reino	Plantae
Filo	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida (Dic)
Orden	Lamiales Bromhead

Familia	Bignoniaceae Juss
Género	<i>Crescentia L.</i>
Nombre científico	<i>Crescentia cujete L</i>

Fuente: (Espitia-baena et al., 2011). Estudio del Mate

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

1.2.6.3. Agricultura

El fruto se obtiene por recolección de huertos o en forma silvestre. Para poder cultivar estos árboles se requiere de un clima caliente preferiblemente seco que posea un suelo apto. Se realiza la siembra usando semillas que se propagan por el suelo, estas tardan en germinar de 2 a 3 meses. Los frutos se recolectan al estar maduros. (Espitia-baena et al., 2011, p. 337-346)

Los frutos de mate se pueden recolectar directamente del árbol o cuando caen, sus frutos pesan aproximadamente 27 kilogramos; el fruto permanece en el árbol de 5 a 7 meses antes de caer una vez maduro; este árbol es resistente a la sequía, a pesar de su buen contenido de proteína, carbohidratos, actualmente no se aprovechan, lo único que se usa son las cáscaras de los frutos una vez secos para utilizarlos en actividades artesanales y para usos medicinales. (Flórez, 2012)

1.2.6.4. Propiedades y usos del Mate



Figura 2-1: Usos del mate.

Fuente (Espitia-baena et al., 2011)

A partir del fruto se obtiene la cáscara dura y seca de los cuales se obtiene instrumentos que pueden ser trabajados para obtener recipientes como vasijas o tasas que sirven para poner agua o alimentos, además los árboles en sí son utilizados como ornamentos al igual que los instrumentos que se pueden obtener de sus frutos. (Flórez, 2012, p. 44-51).

1.2.7. Métodos para la obtención del carbón vegetal.

Existen diversos métodos para producir carbón, siendo estos de forma tradicional e industriales, va a depender del método utilizado para que el carbón posea las características necesarias para ser considerado de calidad. (García y Pañi, 2013)

1.2.8. Método tradicional

Se basa en la disponibilidad de 2 recursos siendo el primero la disponibilidad del recurso forestal disponible en el lugar y el segundo es que exista el espacio suficiente para el horno según (García y Pañi, 2013, p. 410-416) sigue el siguiente proceso:

- **Corte de leña:** es importante el tipo de leña que se usa para obtener un carbón de buena calidad es importante que esté seco y se despoje de ramas quedando solo los trancos principales (grosor entre 13-18 cm) que serán llevados al horno posteriormente a ser carbonizados.
- **Colocación en el horno:** los troncos secos se van a colocar dentro del horno de forma concéntrica uno sobre otro dependiendo de la cantidad que se desee obtener.
- **Encendido del horno:** al momento de recoger la leña para producir el carbón también se recolecta leña como combustible para generar calor dentro del horno, para prender el horno se hacen fogatas y se las prende de tal forma que la leña ya encendida se va a introducir dentro de la cavidad del horno. El proceso de encendido puede tardar entre 2 y 4 horas tiempo en el que se debe estar alimentando constantemente al horno hasta que se prenda completamente.
- **Cocción:** el carbón está completamente carbonizado cuando el humo que sale deja de ser blanco y comienza a tener un color azulado en ese momento se deja de alimentar al horno y se deja enfriar.
- **Enfriado:** al momento que se deja de alimentar al horno este se va apagando lentamente por lo que se debe dejar por unos 2 a 3 días dependiendo de la cantidad de leña que haya sido puesta a carbonizar que se enfríe de forma natural obteniéndose así un carbón de buena calidad por el contrario hay personas que vierten agua en el horno para enfriar de forma más rápida el carbón restándole así calidad al mismo.
- **Carbón:** el carbón una vez frío es retirado del horno y usado en diversas actividades mediante su venta. (García y Pañi, 2013, p. 410-416)

1.2.9. Método tradicional industrial

Este proceso ya no se da en el campo directamente a cielo abierto sino en lugares específicos para la producción de carbón a grandes escalas, la construcción del horno sigue siendo la misma por lo general son diseñados con capacidad de producción establecidos. La madera utilizada para producir el carbón es adquirida en aserraderos con tamaños mucho más específicos que en el modo tradicional y la entrega se hace por camiones. La obtención del carbón es el mismo que del modo tradicional. (García y Pañi, 2013, p. 410-416)

1.2.10. Horno artesanal

1.2.10.1. Historia

El horno de barro se lo conoce con este nombre debido a que el barro es el principal material que se usa en su construcción, se puede usar el adobe, arena, paja, viruta y agua entre otros, con esta mezcla se forma la materia principal para construir el horno. (Molina, 2005, p. 37-41)

Los usos del horno de barro se pierden en la historia de la humanidad. Su origen, según recientes descubrimientos, nos remonta a Egipto en los años 4000 a.C entre la región comprendida entre los ríos Éufrates y Tigris lugares ricos en arcilla. En Europa se usaban los grandes hornos “comunitarios” en donde los cocineros preparaban el pan del día primero para el rey y su corte y después para el pueblo. En Chile y en todo el Pacífico se usó huecos rodeados de piedra y eran conocidos como “boucaners”. En Paraguay y en sus cercanías los indios guaraníes llamaban al horno de barro TATACÚA (Cueva de fuego) o PACÚA (Hueco del diablo). (Molina, 2005, p. 37-50)

1.2.10.2. Horno artesanal criollo

De acuerdo a la Real Academia de la lengua el horno es una fábrica pequeña abovedada con un respiradero que usualmente sirve para hornear pan y otras cosas, este horno funciona a partir de materiales forestales. (Vargas, 2015).

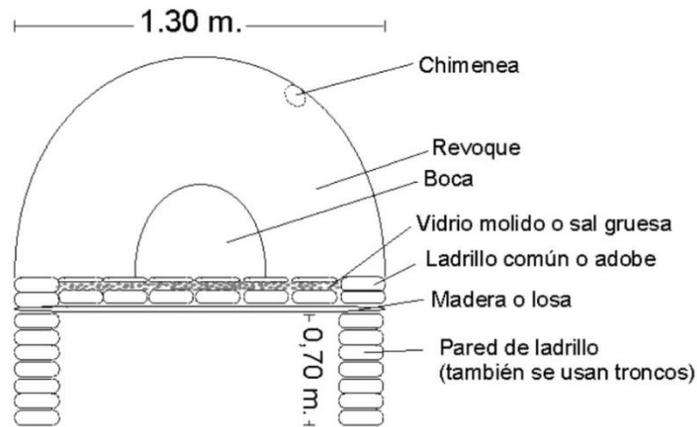


Figura 3-1: Estructura del horno artesanal.

Fuente. (Vargas, 2015)

Los hornos de ladrillos contruidos y operados correctamente representan uno método efectivo para obtener carbón. Además, se pueden obtener rendimientos sorprendentemente buenos de carbón de buena calidad apta para usos industriales y domésticos. (Vargas, 2015)

Funcionamiento

1. Se debe llenar la cavidad o boca del horno con leña seca de fácil combustión.
2. Prender los leños y esperar que toda la leña este encendida.
3. Una vez que las leñas se hayan consumido completamente se debe proceder a ladear las cenizas.
4. Verificación de temperatura: existe 2 métodos que se pueden usar para saber si es que el horno tiene buena temperatura.
5. El primer método se lo conoce como “los Bunge” en el que se toma un puñado de harina blanca y se la tira dentro de la cavidad del horno, esta debe empezar a dorarse y es una señal de que el horno criollo ya está listo con una temperatura ideal para hornear. (Vargas, 2015)
6. El segundo método es “Mitro” este consiste en tomar una hoja de papel e introducirlo en el horno hay que tirarla despacio y si la hoja queda flotando es que el horno está caliente a una temperatura equilibrada, en caso de que la hoja caiga al piso sin flotar en horno está aún frío y sí la hoja se quema es porque el horno está a una temperatura elevada y para hornear pan se debería dejar que baje la temperatura del horno. (Vargas, 2015)
7. Alcanzada la temperatura deseada se procede a introducir lo que se desee hornear por la cavidad por donde se colocó la madera. (Vargas, 2015)
8. Para poder sacar nuestro producto horneado se debe utilizar un instrumento que se lo conoce como pala (esta es un instrumento que posee un palo de 2 metros y en la punta tiene una pala)

Cada especialidad requiere su propio tiempo ya que cada cosa es diferente hay que hacer muchos intentos para que las recetas queden perfectas.



Figura 4-1: Horno Criollo.

Fuente: Horno criollo artesanal (Vargas, 2015)

1.2.11. Carbonización de la materia prima

La carbonización y pirólisis son términos que se refieren de igual manera a la degradación térmica de la materia usada, en donde el primero hace mención a la formación del carbonizado, mientras que el segundo menciona la formación y propiedades de la fase volátil. La carbonización es una etapa importante y se da a temperaturas menores a los 800°C y aquí es donde se forma la estructura porosa para su activación. (Klose, 2010, p. 10-15)

Las temperaturas elevadas provocan que el carbón posea un bajo rendimiento y cambia la composición química hasta casi obtener carbono puro, por lo que se tiene carbono fijo en mayor cantidad por ende se tiene un carbón de mejor calidad, pero con un rendimiento bajo. (Klose, 2010)

Una temperatura baja provoca un mayor rendimiento en el carbón, pero de muy baja calidad ya que este carbón es corrosivo ya que posee alquitranes ácidos que producen humo al quemarse. Un carbón de buena calidad debe tener carbono fijo aproximadamente del 75%, para lo cual se debería alcanzar una temperatura de 500°C. (Klose, 2010, p. 10-15)

1.2.12. Carbón activado

La estructura química del carbón activo puede definirse como una forma bruta de grafito, con una estructura amorfa aleatoria altamente porosa, siendo las elevadas temperaturas y la atmósfera lo que activan al carbón, creando así una porosidad con poros de distintas dimensiones, desde cavidades y huecos visibles hasta otros de dimensiones moleculares. (Gonzales y Bach, 2004).

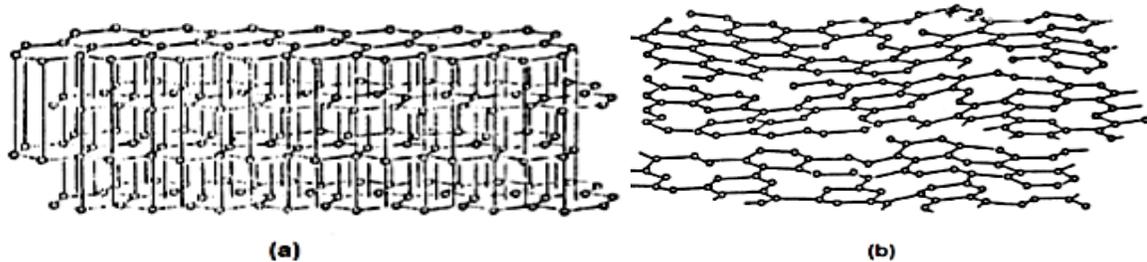


Figura 5-1: a) Estructura de las capas del grafito. b) Arreglo estructural de las capas del carbón activado.

Fuente (Gonzales y Bach, 2004)

El carbón se obtiene por descomposición térmica de la materia prima que es de origen vegetal o de origen animal. La de origen vegetal puede ser: madera, cáscara de coco y almendra, etc. La materia de origen animal son los huesos y para poder llevar a cabo la activación del carbón se lo hace con aire vapor de agua o dióxido de carbono (CO_2) a temperaturas elevadas que va desde los 700-1100 °C o mediante la aplicación de tratamientos químicos con lo que se obtiene una mayor superficie específica. (Gamarra, 1994, p. 63-98)

Los átomos del carbón que se encuentran en la superficie son capaces de atraer moléculas de otros compuestos para así realizar el proceso conocido como adsorción. La activación del carbón lo que hace es que multiplica el área superficial ya existente en una mucho más porosa para que se dé una mejor adsorción. (Gonzales y Bach, 2004)

1.2.13. Activación del carbón

El proceso de obtención del carbón activado tiene dos etapas importantes: la primera es la carbonización de la materia prima y la segunda es la activación del producto carbonizado. Comúnmente, la mayoría de materiales carbonosos pueden convertirse en carbón activado, donde las propiedades del producto que se obtenga van a depender en gran medida de la materia prima

seleccionada, así como del agente activante y de las condiciones a los que se someta a la materia en el proceso de activación. (Salazar y Rodríguez, 2017)

1.2.13.1. Activación Física

Esta activación tiene lugar en dos etapas: *primero se da la carbonización y segundo se da la activación del carbonizado utilizando gases oxidantes como, vapor de agua, dióxido de carbono, aire, donde el oxígeno que se encuentra presente es el que carboniza completamente al esqueleto carbonoso, así como el alquitrán que se encuentra retenido dentro de los poros; el proceso de quemado depende de la temperatura de activación y del gas que se use. Este proceso por lo general presenta un bajo rendimiento en la etapa de activación (30%).* (Ster Polit y Sevilla, 2015, p. 48)

1.2.13.2. Activación Química

Se caracteriza porque el proceso de carbonización y activación se da en una sola etapa, llevada a cabo por altas temperatura se da la descomposición térmica de la materia prima empapada con el activante, los activantes más conocidos son tiocianato potásico, cloruro de zinc, ácido fosfórico siendo estos los más utilizados. Se obtienen rendimientos de hasta un 50%. (Ster Polit y Sevilla, 2015, p. 48)

El grado de activación del carbón está en función de cada agente activante usado permitiendo desarrollar una alta microporosidad.

El agente activante ácido fosfórico (H_3PO_4) es un buen agente activante de materiales lignocelulósico, ya que aumenta el volumen de microporos en el carbón permitiendo obtener carbones activados con una elevada capacidad de adsorción por la presencia de microporos, mesoporos. (Salazar y Rodriguez, 2017, p. 72-101)

Clasificación de poros

Según la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC) se basa en el diámetro de los poros y se clasifican de acuerdo a lo siguiente (Klose, 2010):

Microporos: menores a 2 nm.

- Ultramicroporos: < 0.7 nm
- Supermicroporos: > 0.7 nm

Mesoporos: entre 2 y 50 nm.

Macroporos: entre 50 y 100,00 nm.

Arriba de 100,000 nm ya son consideradas grietas por lo que empiezan a ser detectadas por el ojo humano.

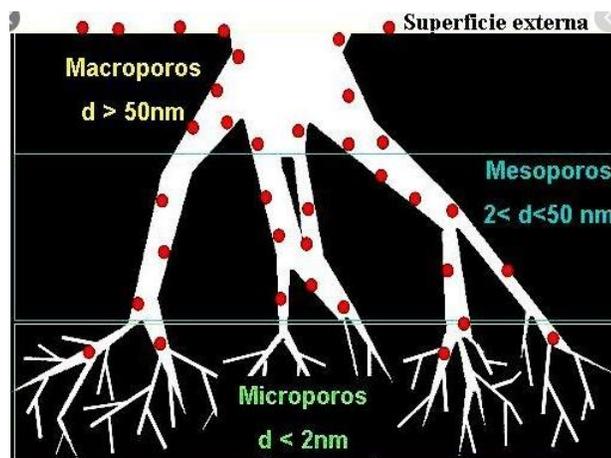


Figura 6-1: Poros del carbón activado.

Fuente (Salazar y Rodríguez, 2017)

Son los microporos los que poseen el tamaño adecuado para retener moléculas pequeñas, tales como sabores, olores y solventes. Los macroporos son los que facilitan el acceso de los adsorbatos a los microporos, mientras que los mesoporos son apropiados para retener moléculas de tamaño intermedio entre las anteriores. (Klose, 2010). Recientemente la IUPAC incorporó a la clasificación 2 clases de poros más que se encuentran dentro de los microporos y son los ultramicroporos y supermicroporos; estos están inmiscuidos en el relleno de los microporos considerándose como un proceso de fisiorción. A menudo es útil distinguir entre los microporos estrechos (también llamados ultramicroporos) de ancho aproximado $< 0,7$ nm y microporos anchos (también llamados supermicroporos). Los ultramicroporos se rellenan por un proceso conocido como “primario” a presiones bajas; mientras que los supermicroporos se rellenan por un proceso conocido como “secundario” a presiones relativas más amplias. (Thommes et al., 2015)

No solo la superficie del carbón activado es útil también es muy útil la naturaleza química ya que en su estructura posee heteroátomos tales como oxígeno, hidrógeno y nitrógeno retienen sustancias, además existen átomos de carbono en los márgenes de los planos que poseen electrones libres y estos se unen a los heteroátomos que formando grupos funcionales superficiales que modifican las propiedades adsorbentes del carbón. (Salazar y Rodríguez, 2017, p. 72-101)

Los átomos de carbono que se encuentran en los planos basales, poseen orbitales π , que dentro de estos planos basales se tiene la presencia de electrones más o menos deslocalizados. El grado de deslocalización de los electrones, así como la presencia de grupos superficiales va a afectar a la interacción del carbón con otros compuestos o elementos. (Salazar y Rodríguez, 2017, p. 72-101)

En la Figura 7-1. Se da una representación de los grupos superficiales que pueden hallar en un carbón activado.

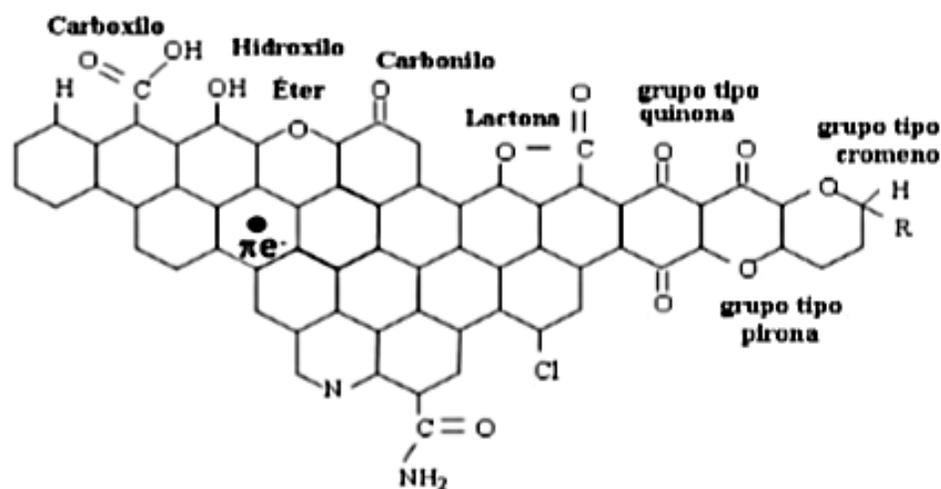


Figura 7-1: Superficie de un carbón activado con sus principales grupos funcionales.

Fuente. (Salazar y Rodriguez, 2017)

La naturaleza química del carbón activado es anfótera por poseer grupos que pueden presentar una naturaleza ácida o básica. Dependerá de los grupos funcionales predominantes para que el carbón sea completamente ácido o básico. (Salazar y Rodriguez, 2017, p. 72-101)

1.2.14. Método de prueba estándar para Análisis Químico de Carbón de Madera.

Este método (Norma Internacional ASTM D 176284) consiste en la determinación de cenizas, materia volátil y humedad en carbón hechos de madera. El método es aplicable a grumos y bloques y está diseñado para evaluar la calidad del carbón. (Paucar y Rodriguez, 2017, p. 40-59)

Este método consiste en triturar la muestra de manera especificada, la humedad se determina como la pérdida de peso en un horno de secado a 105 °C, la materia volátil se da como la pérdida de peso a 950 °C, el porcentaje de cenizas se obtiene después de quemar hasta peso constante a 750 °C. (Paucar y Rodriguez, 2017, p. 40-59)

1.2.14.1. Calidad del carbón vegetal

El carbón vegetal menos exigente con su calidad es el doméstico por lo que su calidad es compensado con el precio. Para el gasto nacional, la calidad del carbón vegetal no es muy rigurosa donde se

considera características como las macroscópicas (observables a simple vista) el peso, humedad, que no genere muchos finos, que posea brillo, que dure suficiente tiempo ardiendo y posea un tamaño aceptable. (Paucar y Rodriguez, 2017, p. 40-59)

El carbón vegetal destinado a exportación, debe cumplir estándares y normas que regulen su calidad, según el destino, siendo estos mercados generalmente mercados continentales, tales como: el asiático, el europeo y el de América del Norte. (Paucar y Rodriguez, 2017, p. 40-59)

Tabla 7-1: Normas de calidad del carbón vegetal en diferentes países.

Parámetros de calidad	Región de Japón	Europa	América del Norte
Contenido de humedad	7.5 % máximo	7 a 8 %	8% máximo
Ceniza	4 % máximo	5 a 6 %	6% máximo
Material volátil	12 % máximo	10 a 12 %	16% máximo
Carbono fijo	76 % máximo	75 a 82 %	75% máximo

Fuente: (Paucar y Rodriguez, 2017). Normas del carbón en diferentes países.

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

1.2.15. El carbón activo en tratamientos de aguas.

“El carbón activado posee dos propiedades que le han dado su utilidad en el tratamiento de aguas” (Ster Polit y Sevilla, 2015). La primera propiedad es que tiene la capacidad de atrapar todo tipo de contaminantes en sus paredes por la presencia de poros, con una eficacia tal que puede dejar un agua contaminada prácticamente libre de estos compuestos contaminantes. La segunda propiedad, es que puede desinfectar el agua adsorbiendo al cloro residual libre que ha quedado sin reaccionar. (Ster Polit y Sevilla, 2015, p. 48-55)

Desde hace décadas se ha utilizado el carbón activado como una de las tecnologías más rentables en industrias para potabilizar agua, usando carbón activado para llevarse a cabo el proceso de purificación. (Ster Polit y Sevilla, 2015, p. 48-55)

1.2.16. Mercado de carbón activado en Ecuador.

El carbón activo es apreciado por la diversidad de usos a los que se puede aplicar tanto para las industrias potabilización de agua, farmacéuticas, entre otras. (CABOT, 2014)

En el Ecuador hoy en día ya se da la comercialización de este producto, en Quito hay empresas importantes que se dedican a la producción, venta y distribución de este. Una de estas empresas es Ecuacarbones Cia.Ltda. y Erafi S.A. estas empresas comercializan carbón en polvo y granular destinados a diferentes usos. (CABOT, 2014)

Erafi S.A. comercializa carbón activado proveniente del coco de la palma africana. Esta empresa está ubicada en Quito comercializa carbón en polvo y granulado para limpiar tuberías o purificadores de agua y sus productos son adquiridos bajo pedido. Produciendo de 4 a 5 toneladas de carbón activado mensualmente. Al momento no exportan ya que considera que las regulaciones del mercado extranjero son más estrictas y más costosas ya que exigen normas de calidad más elevadas. (CABOT, 2014)

Tabla 8-1: Carbón activado producido por Erafi

Especificaciones		
Tipo	Granular	Polvo
Código	CA-G	CA-P
Materia prima	Palma africana (coco)	
Especificaciones Técnicas		
Densidad aparente Kg/m³	450-500	
Humedad %	Max6 %	
Cenizas %	Max12 %	
Volumen de poro cc/g	0.3-0.4
Área superficial m² /g	700	
Índice de yodo mg/g	700	

Fuente: Especificaciones del carbón de Erafi. (Erafi, S.A. : Allbiz» 2019)

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

1.2.17. Requisitos de carbón activado comercial

Tabla 9-1: Carbón activo comercial - Parámetros

Parámetro	Unidades de Medida	Rango de valores	Normativa
Densidad aparente	g/cm ³	0.25-0.65	ASTM D-2854
Radio medio de poro y Volumen total del poro	nm y cm ³	0.7-500 y 0.2-1	ASTM C-699
Area superficial	m ² /g	500-1200	ASTM D-3037 BET
Numero de yodo	mg/g de carbón	500-1200	ASTM D-4607
Rango de tamaño de partícula	Malla estándar	4x8-20x50	ANSI/AWWA B604-90
Dureza	Adimensional	30-99	ASTM D-3802
Coefficiente de uniformidad	Adimensional	< 2.1	ANSI/AWWA B604-90
Tamaño efectivo de partícula	Mm	0.4-3.3	ANSI/AWWA B604-90
pH del extracto acuoso	pH	2-11	ASTM D-3838
Contenido de cenizas totales	% base seca	3-15	ASTM D-2866
Humedad	%	2-15	ASTM D-2867
Solubles en agua	% base seca	0.5-7	ASTM D-5029

Fuente: (Activado). Extraído de tesina. Especificaciones y reactivación de carbón activado.

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

1.2.18. Adsorción

De forma general se puede definir la adsorción como un fenómeno superficial que implica a un adsorbato y un adsorbente debido a la aparición de fuerzas de interacción entre ambos. El mecanismo de adsorción implicado, es de tipo físico fundamentalmente, lo que permite disolver el contaminante una vez que se haya agotado la capacidad del adsorbente, gracias al carácter reversible de este tipo de adsorción. (Ramírez, 2012)

La adsorción es un proceso en el que los átomos que se encuentran en la superficie del sólido, atraen y retienen a las moléculas. Como este fenómeno ocurre en la superficie se tiene que, mientras mayor sea el área superficial que esté disponible en el sólido, mejor adsorbente es. (Ramírez, 2012)

En el proceso de adsorción, las moléculas que serán adsorbidas logran llegar desde la parte de afuera a donde se llevara a cabo la adsorción y estas moléculas se propagan para ocupar totalmente los sitios de adsorción. (Ramírez, 2012)

La adsorción se puede clasificar en adsorción física y adsorción química, siempre que dependa de la naturaleza de la fuerza de interacción entre el adsorbato y el adsorbente. La adsorción física implica fuerzas débiles, como las fuerzas de Van der Waals, por otra parte, la quimisorción se da cuando el adsorbato reacciona con el adsorbente creando enlaces químicos de tipo iónico o covalentes. El proceso se ve afectado por muchos factores, tales como: el grupo de superficie del adsorbente, área de superficie específica y tamaño de poro, la forma química del adsorbato, pH, temperatura, potencial redox, concentración de iones, fuerza iónica, etc. (Correa-guimaraes, 2016)

Existen tres pasos sucesivos primordiales en el proceso de adsorción sobre adsorbentes porosos: Transferencia del soluto a la fase líquida, prácticamente es rápido debido a la agitación.

1. Transporte del soluto a través de la fase líquida al exterior del adsorbente (carbón activado).
2. Propagación del adsorbato dentro de los poros del adsorbente (difusión de poro), se da a continuación del transporte a través de la capa exterior del adsorbente. La difusión en el poro consigue llevarse a cabo de dos maneras: difusión en el líquido dentro del poro y/o en las áreas activas a lo largo de la superficie de las paredes del poro conocido como difusión superficial.
3. En último lugar se da la adsorción del soluto en la superficie interna del adsorbente. (Correa-guimaraes, 2016, p. 173)

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Tipo De Investigación

2.1.1. *Por el método de investigación*

Cuantitativa porque se trata de buscar el porcentaje de remoción de plomo usando los 2 carbones activados obtenidos (Físico y Químico).

2.1.2. *Según el objetivo*

Aplicada, porque se quiere poner en práctica los conocimientos adquiridos, con un fin aplicativo, obteniendo carbón activado.

2.1.3. *Según las condiciones de estudio*

De laboratorio, debido a que se requiere realizar pruebas física y químicas, requiriendo de equipos y materiales de laboratorio.

2.1.4. *Según el periodo temporal*

Transversal, porque se encuentra previsto finalizar el trabajo en un tiempo determinado que nos mostraran resultados muy fiables para corroborar la hipótesis planteada.

2.1.5. *Hipótesis*

2.1.5.1. *Hipótesis general*

El carbón activado proveniente de residuos de *Crescentia cujete* es capaz de remover el plomo presente en medios acuosos de la minería del oro.

2.1.5.2. *Hipótesis nula*

El carbón activado proveniente de residuos de *Crescentia cujete* no es capaz de remover el plomo presente en medios acuosos de la minería del oro.

2.1.5.3. Hipótesis alternativa

El carbón activado proveniente de residuos de *Crescentia cujete* si es capaz de remover el plomo presente en medios acuosos de la minería del oro.

2.2. Población de estudio

- Cáscara de mate (*Crescentia cujete*)
- Carbón activado
- Adsorción de plomo

2.3. Tamaño de la muestra

Se utilizó 4535.92 g de cáscara de mate (*Crescentia cujete*) seca, partidos por la mitad, sacados previamente el contenido del interior.

2.4. Lugar de recolección de la muestra

El mate fue recolectado de la población de árboles de mate existentes en el recinto Gramalote perteneciente al cantón Ventanas provincia de Los Ríos con coordenadas: latitud:1.4416° S y Longitud:79.4594° O

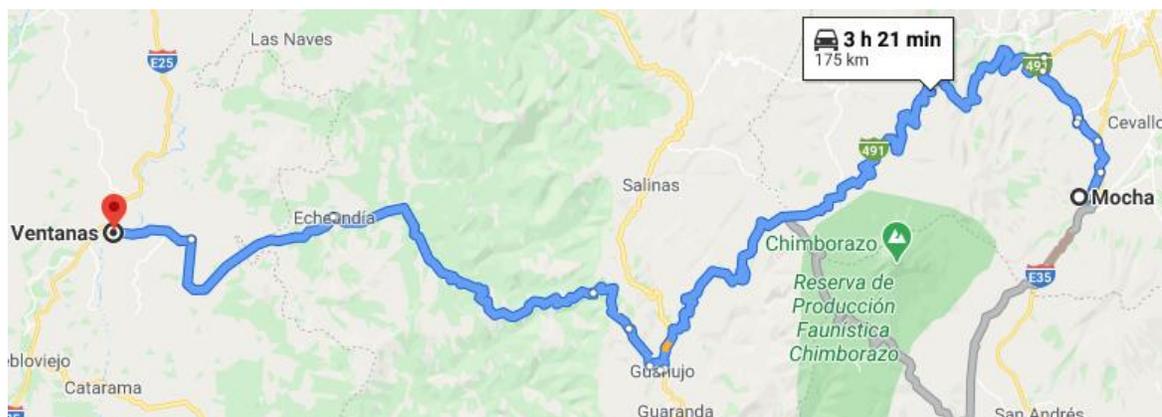


Figura 1-2: Ruta de la recolección de la muestra desde el lugar de origen.

Fuente: (Google Maps, 2020).

2.4. Lugar de la Investigación

La investigación de tipo experimental se llevó a cabo en dos lugares; el primero se realizó en el cantón Mocha- Barrio El Calvario localizada en la provincia de Tungurahua con coordenadas $1^{\circ}25'00''\text{S } 78^{\circ}40'00''\text{O}$.



Figura 2-2: Lugar donde se llevó a cabo la investigación.

Fuente: (Google Maps, 2020).

La segunda parte se llevó a cabo en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo perteneciente a la ciudad de Riobamba donde se dio uso de los siguientes laboratorios:

- Laboratorio de Analítica
- Laboratorio de Instrumental
- Laboratorio del grupo de Investigación GIMA

2.5. Equipos, Materiales y Reactivos.

Los diferentes equipos, materiales y reactivos utilizados en el presente trabajo son descritos en las siguientes tablas.

2.5.1. Equipos

Tabla 1-2: Equipo de laboratorio

Balanza analítica RADWAG modelo AS 220.R2	Espectrofotómetro de infrarrojo FT/IR-4100 Jasco
Estufa Memert SNB 400	Evaporizador de oro Sputter Coating Quorum Q105R
Reverbero	Microscopio electrónico de barrido Tescan
Extractor de gases	PHmetro Oakton HDM
Desecador Borde plano 300 mm con tapa y placa de porcelana	Mufla Vulcan A-550

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

Tabla 2-2: Equipo de campo

Horno artesanal
Termómetro infrarrojo láser Modelo PM6519B (DEKO)
Recipiente (olla)
Gramera CAMRY Modelo EK9155
Bascula de mano

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

2.5.2. Reactivos

Tabla 3-1: Reactivos empleados

Agua destilada
Nitrato de plomo
Ácido fosfórico (85%)
Ácido Nítrico concentrado
Ácido clorhídrico al (5%)
Solución estándar de yodo (0.1N)
Tiosulfato de sodio 0.1N.

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

2.5.3. Materiales

Tabla 4-2: Materiales del laboratorio

Vasos de precipitación de 250 ml	Papel toalla
Vidrio reloj	Cápsula de porcelana
Espátula	Crisol
Probeta de 100ml	Pinza de crisol
Embudo de plástico	Guantes
Papel filtro	Papel aluminio

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

2.6. Diseño Experimental

Muestreo para la obtención de los frutos de mate.

Muestreo no probabilístico discrecional ya que es el experimentador el que decide que muestra desea tomar según sus intereses.

2.7. Esquema del Procedimiento

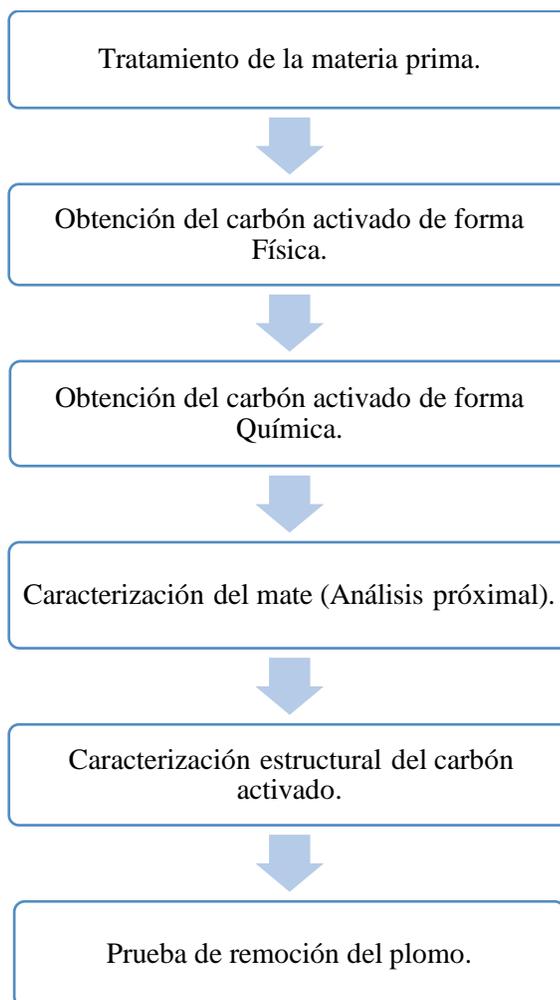


Figura 3-2: Esquema Experimental del proceso

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

2.7.1. Obtención de la materia prima

Se recolectó la materia prima (fruto de mate) maduros que se encontró en las mejores condiciones en el Recinto Gramalote del Cantón Ventanas provincia de Los Ríos.



Figura 4-2: Fruto de *Crescentia cujete*

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

El mate se partió a la mitad utilizando una sierra, posterior a esto se sacó todo el contenido del interior (pepas y pulpa) con una cuchara dejando solamente la cáscara del mate y se dejó secar realizando un secado tradicional.



Figura 5-2: Proceso de remoción de la pulpa del mate; sacado la pulpa.

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

2.7.2. Reducción de tamaño

Los mates secos se partieron en pedazos pequeños utilizando un martillo y una manta para poder recogerlos y guardarlos en una bolsa plástica.



Figura 6-2: Reducción de tamaño del mate.

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

2.7.3. Encendido del horno artesanal

El horno se llenó de troncos de madera secos con diámetros aproximadamente de entre 20 a 30 cm y una altura comprendida entre 50 a 100 cm. Estos troncos fueron colocados en forma de pirámide en la entrada del horno con hoja de eucalipto seca y con una vela se procedió a encender las ramas de eucalipto para que de esta forma los troncos se quemen también. El horno una vez prendido se dejó por 12 horas y se alimentó continuamente hasta que estuvo completamente caliente y hubo abundante carbón para usar.



Figura 7-2: Encendido del horno

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

2.7.4. Carbonización de la materia prima

Se pesó 2,065 g de mate en una báscula de mano y posterior a esto se colocó en una bandeja donde se llevó dentro del horno caliente con ayuda de una pala y se carbonizo a 300 °C por 20 minutos se sacó y se dejó enfriar. La temperatura del horno se tomó con un termómetro infrarrojo láser.



Figura 8-2: Carbonización de la materia prima

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

2.7.5. Carbón físico

En una olla tamalera grande se llenó con 5 litros de agua destilada y se colocó la parrilla, sobre esta se colocó los trozos de carbón, se tapó y se introdujo dentro del horno hasta que el agua destilada se evapore completamente destapando los poros del carbón y por ende activándolo. Luego se sacó la materia y se dejó enfriar para posteriormente pesar. La temperatura del horno fue de 300 °C.



Figura 9-2: Activación Física del carbón.

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

2.7.6. Obtención del carbón activado químicamente

Se pesó 2,263 g de cáscaras de mates secos usando una báscula de mano, se colocó en una vasija de barro, se puso 5 litros de ácido fosfórico al 85 % se tapó y se dejó reposar por 16 horas removiendo cada 20 minutos para que todas las cáscaras de mate se impregnen completamente del activante.



Figura 10-2: Ácido fosfórico y mate

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

2.7.6.1. Activación Química del carbón

El ácido fosfórico sobrante fue retirado de las cáscaras de mate y estas fueron colocadas dentro de una olla y se tapó, se introdujo dentro del horno artesanal caliente a una temperatura de 506 °C y se dejó por 45 minutos, posteriormente el carbón fue retirado del horno. (Alberto et al., 2012)



Figura 11-2: Activación química del mate a 506 °C

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

2.7.7. Reducción de tamaño del carbón activado físicamente y químicamente.

Se usó un molino tradicional de manivela el cual se colocó sobre una base y se ajustó hasta la máxima capacidad el tornillo ajustador para obtener el molido más fino que tiene el molino corona. Se colocó el carbón en la tolva baja, para recoger el carbón triturado se colocó un recipiente en el pie del molino, se procedió a dar manivela. Este proceso se realizó con los 2 carbones activados obtenidos con anterioridad.



Figura 12-2: Molino usado para reducir el tamaño del carbón.

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

2.8. Caracterización de la materia prima y carbón activado obtenidos.

Los procesos llevados a cabo para realizar los análisis tanto químicos como físicos se describen a continuación estos análisis se realizaron a los dos carbones activados obtenidos del mate y el análisis físico realizado a la materia prima.

2.9. Análisis físico

En este apartado se muestra la metodología que se va a seguir para llevar a cabo los análisis físicos sobre los carbones obtenidos.

Caracterización del producto terminado

2.9.1. Porcentaje de humedad

Se da por la pérdida de peso y esto se expresa en porcentaje, la pérdida de peso se da en una estufa. (Paucar y Rodriguez, 2017)

$$\%H = \frac{A_1 - A_2}{A_1 - A} \times 100$$

Ecuación 1-2: Porcentaje de humedad

Donde:

A: cápsula de porcelana vacía

A1: peso de la cápsula más peso de la muestra húmeda

A2: peso de la cápsula más peso de la muestra seca

Descripción del método

1. Se tararon 6 cápsulas de porcelana en una estufa por 60 minutos y se dejaron enfriar en un desecador hasta que alcanzaron un peso constante.
2. Pesar entre 1y 2g de muestra del carbón activo en las cápsulas de porcelana.
3. La estufa debe estar precalentada a una temperatura de 105 ± 5 °C.
4. Las muestras se deben colocar en la estufa por 1 hora.
5. Las muestras colocarlas en el desecador hasta que se enfríe.
6. Pesar la muestra en la balanza analítica (Peso constante).
7. Hacer el cálculo pertinente.



Figura 13-2: Análisis de humedad, cápsulas de porcelana más muestra.

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

2.9.2. Ceniza

Describe a las cenizas como al residuo inorgánico que resta después de la combustión completa del carbón. Son sustancias minerales presentes en la madera original, recogidos como contaminantes del suelo. (Paucar y Rodriguez, 2017)

$$\% \text{ Ceniza} = \frac{D}{B} \times 100$$

Ecuación 2-2: Porcentaje de ceniza

Dónde:

D = gramos de muestra

B = gramos de muestra después de secar a 105 °C

Descripción del método

1. Se taró los crisoles y se dejó enfriar hasta que sea constante en un desecador y se tomó el peso.
2. Se pesó un rango de muestra entre 1 y 2 g en crisoles de porcelana.
3. Colocar en la mufla a una temperatura de 500 °C.
4. Dejar por 6 horas.
5. Colocar en un desecador hasta temperatura ambiente y su peso sea constante.
6. Calcular



Figura 14-2: Mufla con crisoles para análisis de ceniza

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

2.9.3. *Material volátil*

$$\% \text{ material volátil} = \frac{B-C}{B} \times 100$$

Ecuación 3-2: Material volátil

Dónde:

C = gramos de muestra después de secar a 950 °C.

B = gramos de muestra después de secar a 105 °C.

Descripción del método por (Paucar y Rodriguez, 2017)

1. Esterilizar los crisoles en una estufa a 105 °C por 1 hora, luego enfriarlos en un desecador por 30 minutos, para así pesarlos.
2. Se colocaron en cada crisol entre 1 a 2 g de la muestra de carbón seco, los crisoles se colocaron dentro de la mufla a 950 °C.
3. Se dejó por un período de 6 minutos.
4. Después de haber cumplido el tiempo se retiró los crisoles y se colocó en un desecador dejando enfriar hasta temperatura ambiente y peso constante.
5. Pesar.



Figura 15-2: Mufla a 950 °C con crisoles

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

2.9.4. Densidad aparente

Para llevar a cabo este análisis se tomo como referencia a la norma NTE INEN 1986: Productos químicos industriales. Carbones con usos industriales, para lo cual se debe tener la cantidad de humedad que tiene cada carbón, para este fin se va a utilizar la siguiente ecuación.

$$d_{ap} = \frac{A-B}{C}$$

Ecuación 4-2: Fórmula de la densidad aparente

Donde:

A= peso de la probeta llena

B= peso de la probeta vacía

C= volumen de la probeta

d_{ap} = densidad aparente en g/cm^3

Descripción del método

1. Llevar la probeta. a la pesa
2. Sobre la probeta colocar un embudo.
3. Poner la muestra en el embudo.
4. Llenar la probeta con la muestra hasta la marca de 100 cm^3



Figura 16-2: Densidad aparente del carbón físico

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

2.9.5. Caracterización usando el SEM

Se puso 1 pizca de muestra las cuales fueron colocadas sobre una capa de cinta de carbono doble faz en una porta muestra para microscopia electrónica de barrido. A continuación, fueron cubiertas con oro, para este fin se usó un evaporizador de oro Sputter Coating Quorum Q105R bajo las siguientes condiciones: 15 mA y 80 mTorr por 30 segundos, produciendo una capa de un espesor aproximado de 20 nm. Las observaciones en el SEM se realizaron a 10 kV.

2.9.6. Granulometría

El análisis granulométrico se realizó en base a la norma ASTM D2862-97. Se colocaron los tamices U.S. Standard Sieve desde el tamiz con el poro más ancho en la parte superior hasta el tamiz más pequeño en la parte inferior. El carbón activado en polvo se pesó 50 g, se ubicó la muestra en el tamiz superior y se movió todos los tamices de arriba hacia abajo por 5 minutos de forma manual, al finalizar,

se consiguió el peso del carbón activado retenido en cada uno de los tamices para así poder llevar a cabo el cálculo del porcentaje retenido mediante la siguiente ecuación.

$$\%R = \frac{\text{Peso del carbón activado retenido en el tamiz}}{\text{Peso inicial del carbón activado}} \times 100$$

Ecuación 5-2: Porcentaje retenido en el tamiz



Figura 17-2: Uso de mallas para granulometría

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

Se calculó el diámetro de partícula D10, D30, D60 y el coeficiente de uniformidad con las siguientes ecuaciones:

Coeficiente de uniformidad (Cu)

Se utiliza para evaluar la uniformidad del tamaño de las partículas. Se expresa como la relación entre:

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Coeficiente de curvatura (Cc)

El coeficiente de curvatura es un indicador del equilibrio relativo que existe entre los diferentes rangos de tamaño de partículas.

$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

2.9.7. Espectroscopia infrarroja (FTIR)

El procedimiento se llevó a cabo en las instalaciones del laboratorio de Instrumental de la Facultad de Ciencias, en el equipo espectrofotómetro infrarrojo JASCO FT/IR-4100, se preparó la muestra

tritúrandola completamente y colocando la muestra en el mortero para pulverizarlo completamente, se colocó la muestra en el dispositivo portador de muestra completamente pulverizado, luego se registró el espectro. La medida se realizó a tres muestras de los 2 carbones activados obtenidos.

2.9.8. Índice de yodo

Se tomo como referencia la norma NTE INEN 1988:2013 Para llevar a cabo la determinación del índice de yodo, mediante la siguiente ecuación.

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

Ecuación 6-2: Índice de yodo

En donde:

Cálculo de relación V/m.

$$\frac{V}{m} = \frac{A - (2.2 \times b \times V_1)}{mc}$$

Cálculo de la constante del índice de yodo A y B.

$$A = N_1 \times 12693$$

$$B = N_2 \times 126.93$$

Cálculo de la constante C para determinar factor f del índice de yodo.

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

Donde:

f: factor de corrección

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

V/m: mg de yodo absorbidos por gramo de carbón activado.

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

N1: normalidad de la solución estándar de yodo 0.1 N.

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

Descripción del método

1. Calentar la estufa a una temperatura de 145 °C.
2. Pesar 2 g de carbón activado en cada cápsula de porcelana.
3. Llevar la muestra a la estufa por 2 horas.
4. Colocar la muestra en el desecador por 15 minutos.

5. Pesar 1.5 g del carbón activado y ponerlo en un vaso de precipitación.
6. Añadir 10 ml de HCl al 5 % con movimientos giratorios al vaso de precipitación para que todo el carbón activado se humedezca.
7. El vaso de precipitación colocarlo en un reverbero, esperar que hierva y conservar así durante 30 segundos.
8. Los vasos de precipitación deben alcanzar temperatura ambiente, con una pipeta añadir 100 ml de la solución estándar de yodo 0.1 N.
9. Prontamente los vasos de precipitación se deben tapar y comenzar a agitar enérgicamente por 30 segundos.
10. Filtrar las soluciones con papel filtro Whatman 90 mm grado 1 (tamaño de poro 11 um) con la ayuda de un embudo.
11. Apartar los primeros 30 ml del filtrado y recoger el resto en un vaso de precipitación.
12. Coger 50 ml del filtrado y poner en un balón de aforo para titular.
13. Las buretas se deben llenar con tiosulfato de sodio 0.1 N.
14. La titulación se debe llevar a cabo hasta que el color amarillo rojizo intenso desaparezca.

2.9.10. Porcentaje de Rendimiento durante la Activación

Para determinar el rendimiento alcanzado durante el proceso de activación se va aplicar la siguiente ecuación:

$$\%R = \frac{\text{Rendimiento Real}}{\text{Rendimiento Teórico}} \times 100$$

Ecuación 7-2: Porcentaje de rendimiento de activación

2.9.11. Porcentaje de remoción del plomo

Es definido como la proporción de diferencia entre la concentración del metal antes y después de la adsorción

$$\%R = \frac{C_i - C_e}{C_i} \times 100$$

Ecuación 8-2: Porcentaje de remoción en función de la concentración.

Donde:

C_i: Concentración inicial del metal

C_e: Concentración final del metal

2.10. Determinación cuantitativa de plomo

2.10.1. Preparación de la solución madre de plomo

Se utilizó nitrato de plomo sólido mediante cálculo matemático se determinó que se necesita 0,0799 g de $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ para preparar una solución de 100 ppm y esta se aforo a 0,5 litros, se agregó 1 ml de ácido nítrico y se obtuvo un pH de 1.54.

2.10.2. Preparación de soluciones estándar

Se prepararon 6 soluciones de 100 ml de solución estándar de 40 ppm, de las cuales 3 soluciones pertenecen a las muestras de carbón activado químicamente y las otras tres pertenecen a las muestras de carbón activado físicamente. Se determinó que los ml necesarios de la solución madre que se requiere para cada botella son 40 ml y se aforo a 100 ml.



Figura 18-2: Preparación de soluciones para remover el plomo con carbón.

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

2.10.3. Experimentación en Batch

Se pesaron 3 gramos de carbón activado físicamente y químicamente y se introdujo en cada botella de vidrio a las cuales se les agregó los 40 ml de la solución madre (nitrato de plomo) se aforo a 100 ml todas las 6 botellas; se dejó en contacto por 18 horas removiendo cada 20 minutos, posteriormente se filtró, el filtrado obtenido se guardó en un recipiente para ser llevado a ser analizado en el equipo

de absorción atómica para determinar la cantidad de plomo removido, para este análisis se utilizó la llama de aire con acetileno C_2H_2 .(Mendoza Colina, 2012).



Figura 19-2: Botella con solución filtrada y botella con plomo y carbón.

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1. Análisis de *Crescentia cujete*, materia prima utilizada para la obtención del carbón activado.

Tabla 1-3: Determinación del porcentaje de humedad de la materia prima (*Crescentia cujete*)

Muestra	Capsula de porcelana vacía peso (g)	Muestra peso (g)	Capsula más muestra seca peso (g)	Muestra seca peso (g)	Humedad (%)
1	75.2425	1.0727	76.3152	0.0678	6.32
2	42.3648	1.0161	43.3809	0.0679	6.68
3	74.7928	1.0041	75.7969	0.0743	7.39
4	49.1578	1.0128	50.1706	0.0756	7.46
5	77.1086	1.0407	78.1493	0.0779	7.48
6	77.1723	1.0057	78.178	0.0737	7.32
Promedio					7.10

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

Tabla 2-3: Contenido de material volátil de la materia prima

Muestra	Crisol Peso (g)	Muestra peso (g)	Crisol más la muestra Peso (g)	Crisol más contenido de material no volátil (g)	Material volátil (%)
1	19,742	1,095	20,837	19,781	96,43
2	20,559	1,018	21,577	20,583	97,64
3	20,131	1,045	21,176	20,161	97,12
4	19,856	1,022	20,877	19,874	98,23

5	20,074	1,158	21,231	20,103	97,40
6	17,372	1,093	18,466	17,409	96,61
Promedio					97,24

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

Tabla 3-3: Contenido de Ceniza de la materia prima

Muestra	Peso de crisol (g)	Peso de la muestra (g)	Peso del crisol más la muestra (g)	Peso de crisol más contenido de material no volátil (g)	Contenido de Ceniza (%)
1	20.5520	1.0767	21.6287	20.5669	1.38
2	17.3621	1.0529	18.415	17.3761	1.32
3	24.8900	1.0158	25.9058	24.9139	2.35
4	20.1212	1.0387	21.1599	20.1355	1.37
5	19.8507	1.0521	20.9028	19.8624	1.11
6	19.7238	1.0461	20.7699	19.7389	1.44
Promedio					1.50

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

Resultados del proceso de obtención de carbón activado

En el proceso de carbonización se mantuvo la temperatura constante: para el carbón que se activó químicamente la temperatura fue de 500 °C, mientras que para el carbón activado físicamente se llevó a cabo a una temperatura de 300 °C.

Rendimiento

Tabla 4-3: Rendimiento del carbón activado física y químicamente

	Tiempo de carbonizado (min)	Muestra seca peso (g)	Muestra después del proceso peso (g)	Rendimiento del proceso (%)
C.A.F.	20	2,065	772,06	37.38%

C.A.Q	45	2,263	1,083	47.85%
--------------	----	-------	-------	---------------

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

Durante el proceso sólo se logró obtener un rendimiento de carbonización del mate activado físicamente del 37.38 % a una temperatura de 300 °C por 20 minutos, es decir, se dio una pérdida del 62.62 % de la materia inicial. Al igual que el carbón activado químicamente tuvo un rendimiento del 47.85 % a una temperatura de 500 °C por 45 minutos, dándose una pérdida del 52.14 % de la materia inicial, por lo que se consideran carbones de bajo rendimiento. De acuerdo a un estudio realizado por Ster Polit y Sevilla (Ster Polit y Sevilla, 2015). En el Manual del Carbón Activo (2015), se menciona que si en el proceso de carbonización se produce una pérdida del 50-75 % el carbón obtenido posee una estructura macro y microporosa.

1.2. Granulometría

Carbón activado químicamente

Tabla 5-3: Tabla de granulometría del carbón activado químicamente.

Malla N°	Tamaño del tamiz (mm)	Peso retenido	% Retenido	Pasante acumulado	% Pasa
50	0,3	8,5171	16,70 %	17 %	83 %
60	0,2	13,4311	26,34 %	43 %	57 %
100	0,15	12,4102	24,33 %	67 %	33 %
140	0,106	11,2287	22,02 %	89 %	11 %
270	0,053	4,9690	9,74 %	99 %	1 %
400	0,038	0,4309	0,84 %	100 %	0 %
Fondo		0,013	0,03 %	100 %	
Total		51,0000	100,00 %		

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

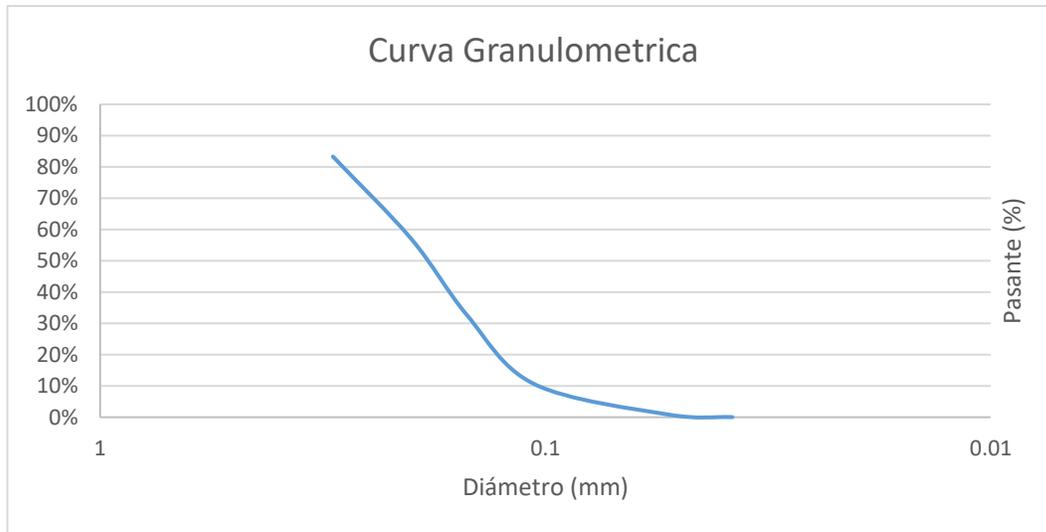


Gráfico 1-3: Curva granulométrica de C.A.Q.

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

Cu 3,67
Cc 0,55

El C.A.Q. tiene el 89,39 % de sus partículas asemejándose al tamaño de la arena fina (0,074-4,75mm) y el 10 % de estas partículas tienen el tamaño de los limos $\leq 0,05$, de acuerdo al coeficiente de uniformidad se puede decir que este carbón tiene partículas con tamaño uniformes ya que su coeficiente de uniformidad (Cu) es menor que el 5.

De carbón activado físicamente

Tabla 6-3: Granulometría del carbón activado físicamente

Malla N°	Diámetro de tamiz (mm)	Peso retenido	% Retenido	Pasante acumulado	% Pasa
50	0,3	6,2098	12,18 %	12 %	88 %
60	0,2	13,1218	25,73 %	38 %	62 %
100	0,15	12,8102	25,12 %	63 %	37 %
140	0,106	10,0110	19,63 %	83 %	17 %
270	0,053	6,8472	13,43 %	96 %	4 %
400	0,038	1,1704	2,29 %	98 %	1,63 %
Fondo		0,8296	1,63 %	100 %	
Total		51,0000	100,00 %		

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

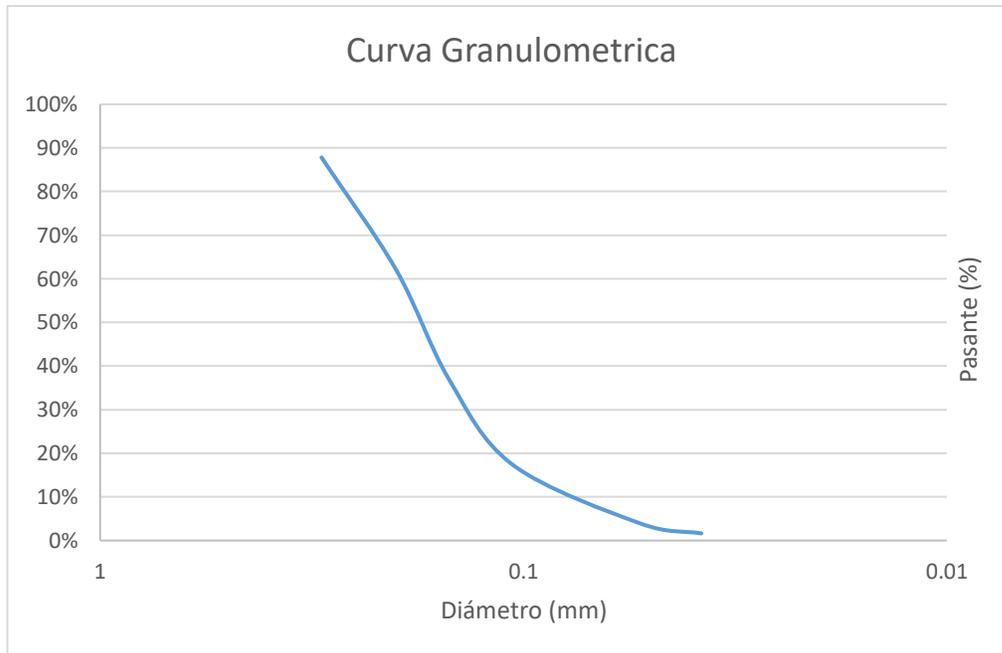


Gráfico 2-3: Curva granulométrica del C.A.F.

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

Cu	2,64
Cc	1,24

El C.A.F. tiene el 82,65 % de sus partículas asemejándose al tamaño de la arena fina y el 17,35 % de estas partículas tienen el tamaño de los limos, de acuerdo al coeficiente de uniformidad se puede decir que este carbón tiene partículas con tamaño uniformes.

Según la norma ASTM-D2487 nuestros carbones contiene en su mayoría grano fino con partículas del tamaño del limo ($\leq 0,05$), presentando un mayor porcentaje el C.A.F con un 17,35 % en limo y en partículas con tamaño de arena fina (0,074-4,75mm) el C.A.Q. es el que tiene un porcentaje mayor del 89,39 %; de acuerdo al coeficiente de uniformidad se puede decir que estos dos carbones presentan partículas de tamaño uniforme ya que su coeficiente de uniformidad (Cu) es menor que 5. Ver Anexo. J.

3.3. Resultados obtenidos de la Humedad

Tabla 7-3: Humedad de los 2 carbones activados

Caracterización del carbón activado físicamente	
Humedad (%)	6.72
Caracterización del carbón activado químicamente	
Humedad (%)	4

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

El contenido promedio de humedad de la materia prima utilizada de *Crescentia cujete* fue de 7.10 % el cual se obtuvo luego de repetir seis veces.

La humedad en el carbón activado físicamente es mucho más alta que la humedad del carbón activado químicamente con un valor de 6.72 mientras que el segundo mencionado presenta un valor de 4 siendo esto por la variación de temperatura a las que se llevó a cabo la activación. Mientras que el contenido promedio de humedad de la materia prima es mucho más alto a las 2 anteriores debido a que esta no sufrió carbonización antes.

Según la Norma ASTM-D 2867 el parámetro de humedad debe estar entre el 2-15 %. Por lo que, el porcentaje de humedad obtenido es aceptable de acuerdo a la norma.

3.4. Contenido de Material Volátil

Tabla 8-3: Contenido de material volátil de los carbones activados físicamente y químicamente.

Caracterización del carbón activado físicamente	
Material Volátil (%)	33,91
Caracterización del carbón activado químicamente	
Material Volátil (%)	38,10

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

El contenido de material volátil se va a comparar con el establecido por la norma ASTM D-2865 es de 21.25 a 28.84 %. El carbón activado físicamente presentó un valor del 33,91 %, para el carbón activado químicamente fue de 38,10 %, ninguno de los dos carbonos se encuentra dentro del rango establecido por la norma teniendo en cuenta que el carbón activado químicamente tiene más contenido de material volátil que el carbón físico. Sabiendo que mientras mayor es el contenido de materia volátil más fácilmente el material se enciende y produce humo al quemar. El carbón con mucha

substancia volátil es menos quebradizo que el carbón común de fuerte combustión con poco volátil por lo que produce menos trozos pequeños de carbón durante el transporte y manipulación.

El contenido de material volátil de la materia prima fue del 97,24 % siendo esta mucho mayor que la obtenida en los dos carbones anteriormente mencionadas, por lo que se quemó mucho más fácilmente. (Navarrete, Quijano y Vélez, 2015)

3.5. Contenido de Ceniza de los carbones obtenidos

Tabla 9-3: Contenido de cenizas de los carbones activados tanto física como química

Caracterización del carbón activado físicamente	
% Ceniza	3.58
Caracterización del carbón activado químicamente	
% Ceniza	13.87

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

Para el análisis realizado de cenizas a los 2 carbones activos obtenidos se obtuvo un resultado de 3.58 % de contenido de cenizas para el C.A.F. Mientras que para el C.A.Q. el contenido de cenizas fue de 13.87 %, presenciando un contenido de cenizas mucho mayor para el caso del C.A.Q. según la Norma ASTM-D 2866, el valor de contenido de cenizas es de 7.74 %, por lo que el porcentaje de cenizas para los 2 carbones activados obtenidos de forma tradicional es considerado aceptable para el C.A.F. mientras que para el C.A.Q. esta fuera de rango de acuerdo a esta norma.

El contenido de cenizas es un parámetro muy importante de calidad puesto que mientras menor sea el contenido de cenizas mayor calidad tendrá, es decir mayor índice de yodo, área superficial y a la vez capacidad de adsorción tendrá.

La materia prima comparada con los dos carbones obtenidos presentó un porcentaje promedio de ceniza del 1.50 % teniendo que el contenido de ceniza es mucho más bajo.

3.6. Contenido de Densidad Aparente

Contenido de Densidad Aparente carbón físico

Tabla 10-3: Densidad aparente del carbón activado físicamente

Muestra	Peso de la probeta con carbón (g)	Peso de la probeta vacía (g)	Densidad Aparente (g/ml)
1	87.71	40.61	0.4710
2	87.79	40.61	0.4718
3	87.81	40.61	0.4720
4	87.75	40.61	0.4714
5	87.78	40.61	0.4717
6	87.76	40.61	0.4715
Promedio			0.4715

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

Contenido de Densidad Aparente carbón Químico

Tabla 11-3: Densidad aparente del carbón activado químicamente

Muestra	Peso de la probeta con carbón (g)	Peso de la probeta vacía (g)	Densidad Aparente (g/ml)
1	185.96	138.15	0.4781
2	185.90	138.15	0.4775
3	185.95	138.15	0.4780
4	185.99	138.15	0.4785
5	185.94	138.15	0.4779
6	185.93	138.15	0.4778
Promedio			0.4779

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

Los resultados de la obtención de la densidad aparente obtenida para el C.A.F. fue de 0.4715 g/cm³ y para el C.A.Q. fue de 0.4779 g/cm³, según se establece en la norma ASTM D -2854 los resultados deberían estar entre 0.26-0.65 g/cm³, por lo que se puede decir que los resultados obtenidos se encuentran dentro del rango establecido.

3.7. Índice de yodo

Tabla 12-3: Índice de yodo de los carbones obtenidos

	Carbón activado Físicamente	Carbón activado Químicamente
Índice de Yodo	197.6 mg/g	364.08 mg/g

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020.

El índice de yodo obtenido de los carbones se realizó usando la metodología descrita en la Norma NTE INEN 1988:2013 donde para el carbón activado físicamente se obtuvo un valor de 197.6 mg/g y el químico tuvo 364.08 mg/g, estos resultados se compararon con las especificaciones establecidas por la norma ASTM D-4607 donde el índice de yodo oscila entre 500-1200 mg/g de carbón activado.

El índice de yodo es un parámetro importante para indicar la calidad del carbón activado obtenido ya que mientras más alto es este valor mayor capacidad de adsorción tendrá.

El índice de yodo es directamente proporcional al área superficial ya que el yodo se aloja en los poros más pequeños en los que se lleva a cabo la adsorción, en nuestro caso siendo el carbón activado químicamente el que tuvo mayor capacidad de adsorción por tener una mayor cantidad de área superficial y tener mayor cantidad de microporos, aun cuando los dos carbones obtenidos están por debajo del rango establecido por la norma.

3.8. Espectroscopía infrarroja

Espectro del carbón activado químicamente

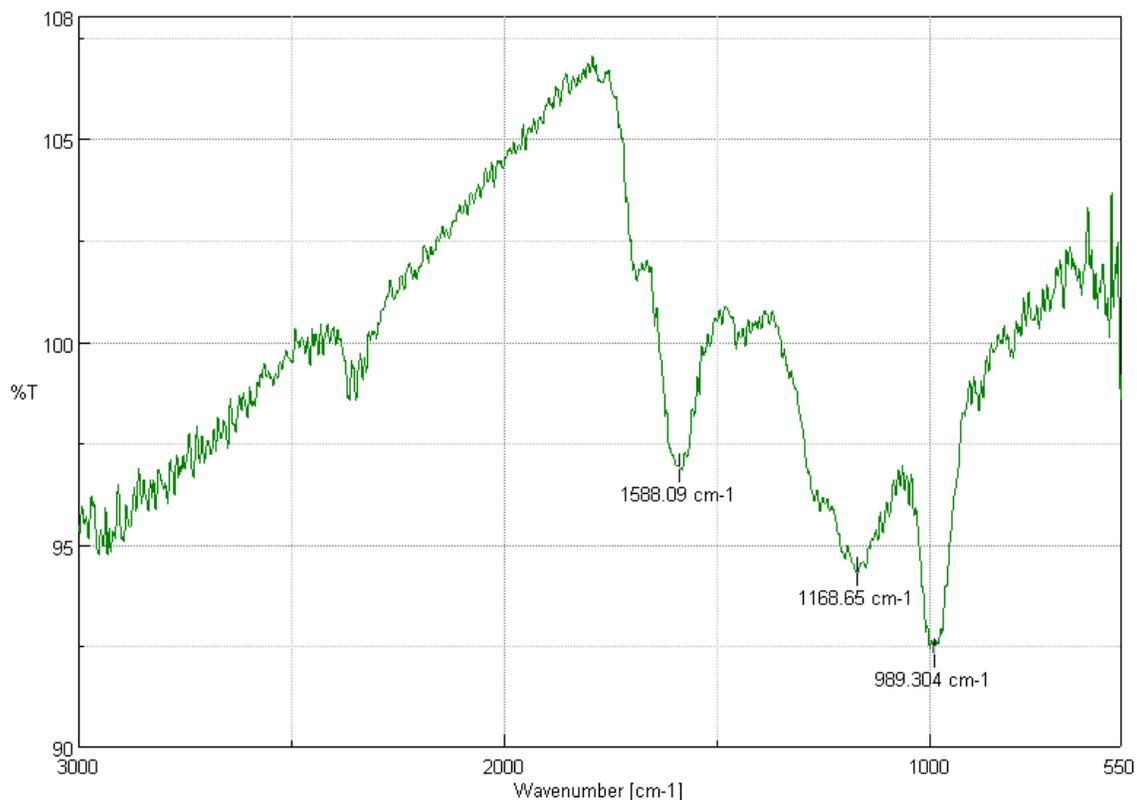


Figura 1-3. Espectro del carbón activado químicamente

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

Este espectro se comparó con el espectro característico del ácido fosfórico de los cuales se pudo observar los 3 picos característicos del ácido fosfórico ver Anexo (I).

Tenemos 3 picos sobresalientes en la huella digital de este espectro en los que se puede ver una banda a los 1588 cm^{-1} se asigna a vibraciones aromáticas de estiramiento ($C = C$), el segundo pico se puede ver a los 1168 cm^{-1} de este pico se puede decir que nos indica la presencia de fósforo puede ser asignado al modo de estiramiento de enlaces de $P=O$, este pico posee hombros característicos de compuestos de fósforo principalmente asignado a los fosfatos, el tercer pico que se encuentra entre las bandas generadas desde los 960 hasta los 1200 cm^{-1} podría deberse a las especies de fósforo generadas por activación del ácido fosfórico.

Espectro del carbón activado físicamente

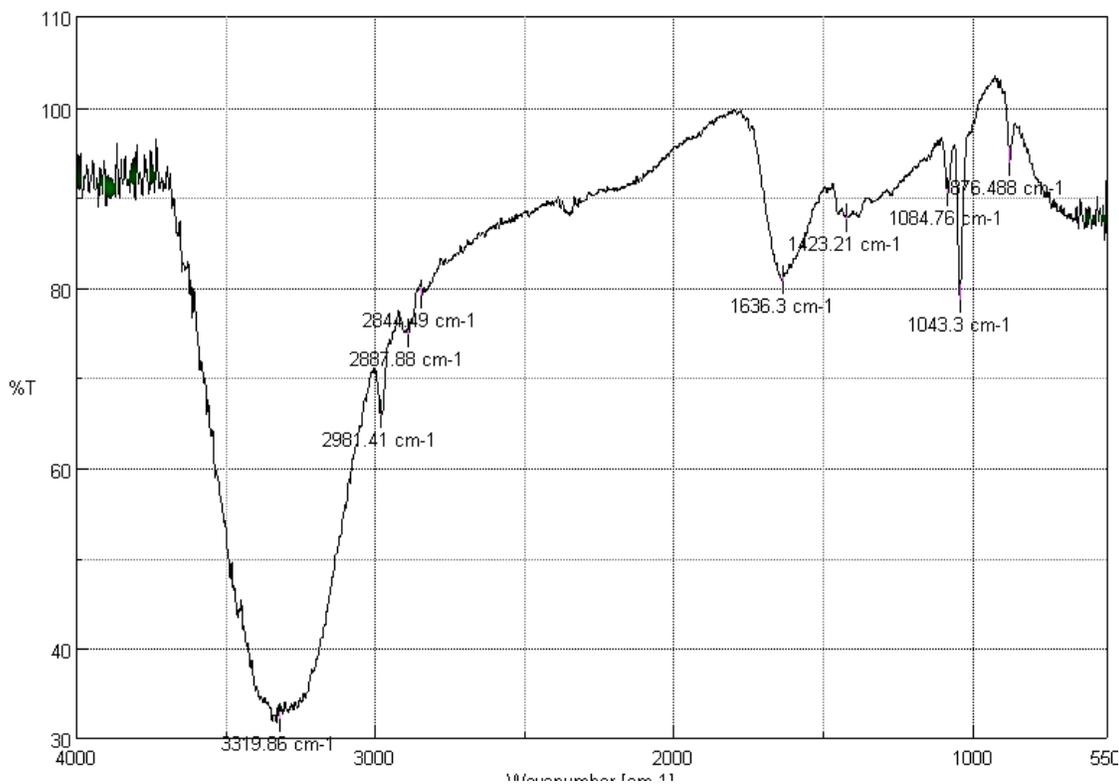


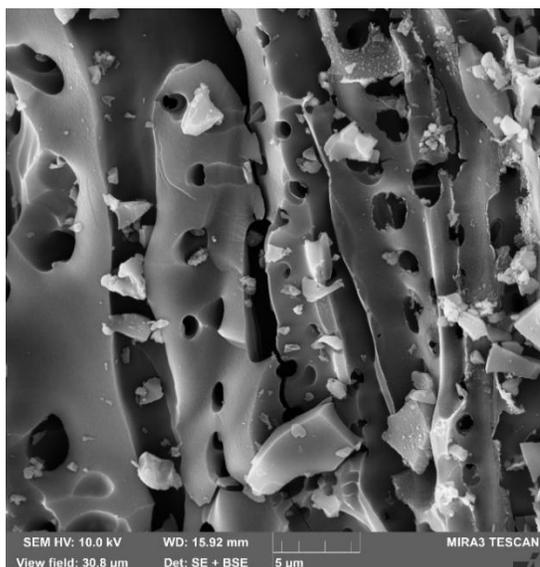
Figura 2-3. Espectro del carbón activado físicamente

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

El pico que se encuentra más intenso es de OH a los 3319 cm^{-1} es decir que hay humedad en la muestra y esto se confirma con los picos alrededor de 1600 y bajo 1000 cm^{-1} , los picos que se encuentran bajo los 3000 son atribuidas a enlaces -CH del -CH₃, esta banda se confirma en la región de huella digital en $1475\text{-}1375\text{ cm}^{-1}$ cuya intensidad es media y está asociada a grupos carbonilos, por debajo de los 1500 cm^{-1} se encuentran CH alifático.

Los resultados obtenidos nos muestran la presencia de grupos oxigenados en el carbón activado obtenido indicándonos la oxidación de la superficie por el proceso térmico que el carbón sufrió por el proceso de activación al cual fue sometido; Este tipo de distribución corresponde a un material poroso obtenido desde un proceso de activación física.

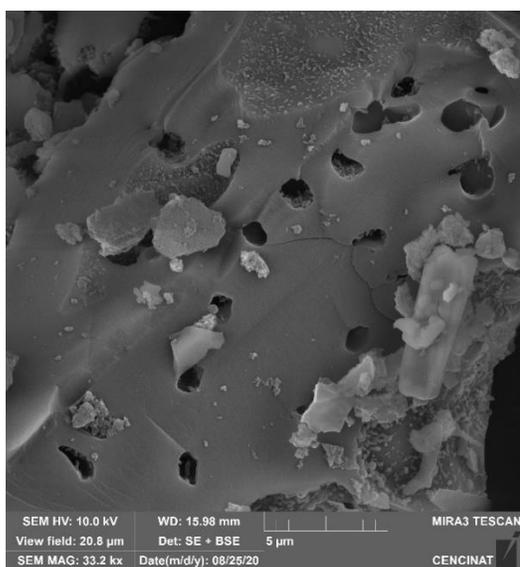
3.9. Microscopía electrónica de barrido (SEM)



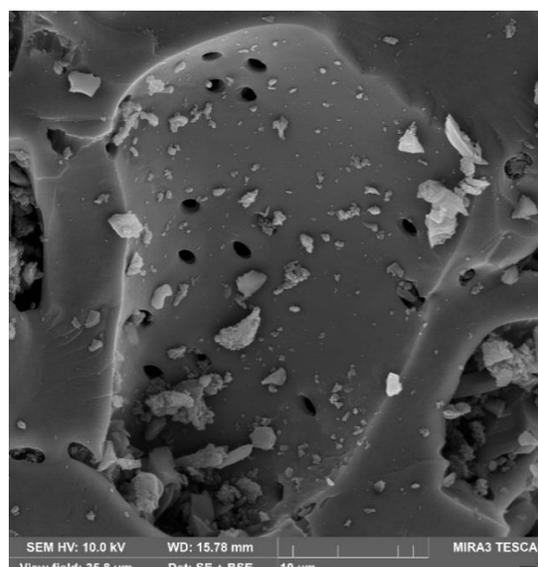
a) 5 μm



b) 10 μm



c) 5 μm



d) 10 μm

Figura 3-3. a-b) Carbón Químico (5-10 μm). c-d) Carbón Físico (5-10 μm)

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020.

La morfología de los 2 carbones que, se estudió mediante microscopía electrónica de barrido. Se muestran las micrografías de los carbones activados Fig. 3-3 obtenidos mediante activación física y

mediante activación química respectivamente. La estructura del mate después de ser sometida a la carbonización se volvió sumamente frágil a diferencia de la materia prima que presenta una gran resistencia. Como se puede ver de las micrografías, el carbón activado obtenido con activación química (Fig. a y b), es un material, en el que la porosidad es perceptible. Por otro lado, el material obtenido por la activación física (Fig. c y d), presenta una estructura heterogénea, haciéndose evidente la poca porosidad del mismo.

Se observa la formación de huecos vacíos, estos huecos que se forman es debido a la lignina ya que son el componente principal de las paredes celulares, este polímero es difícil de degradar por lo que se queda a formar parte del carbón activado, mientras que, la celulosa y hemicelulosa que están juntas son las que se volatilizan y dejan los huecos que se observan en las micrografías. (Ospina-Guarín, Buitrago-Sierra y López-López, 2014)

3.10. Adsorción

Tabla 13-3: Parámetros seguidos para llevar a cabo el proceso de adsorción

	Concentración de plomo (ppm)	Volumen necesario de la solución madre (ml)	Volumen final (ml)	Gramos de carbón (g)
Carbón activado Químicamente	40	40	100	3
		40	100	3
		40	100	3
Carbón activado Físicamente	40	40	100	3
		40	100	3
		40	100	3

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

Análisis de la remoción de plomo sobre los 2 carbones activados obtenidos

Para el estudio de la remoción de plomo y verificar el efecto en la efectividad de remoción, en el sistema se realizó un análisis de prueba con las 2 muestras de carbón obtenidas con anterioridad, realizando 3 repeticiones de cada muestra, siendo en total 6 muestras con 3 g de carbón activado en cada solución preparada de 40 ppm, que posteriormente fue llevado a cuantificar el plomo en espectroscopia de absorción atómica.

3.11. El porcentaje de remoción

Tabla 14-3: Porcentaje de remoción del plomo sobre los carbones estudiados

Carbón activado químicamente (%)	Carbón activado físicamente (%)
47.71	10,28

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

El porcentaje de remoción del Plomo con respecto a la concentración inicial de solución fue mucho más visible en el C.A.Q. que en el C.A.F. siendo para el primer caso un porcentaje del 47.71 % mientras que el segundo fue apenas del 10,28 % siendo más eficiente en la remoción del plomo el C.A.Q. a un pH de 1.54. Este comportamiento puede ser debido a que el C.A.F. presenta una menor área superficial. La experimentación por lotes nos permitió determinar la capacidad de adsorción que tienen nuestros carbones activados obtenidos, es decir la afinidad que existe entre nuestro carbón con los iones plomo.

3.12. Comparación de carbón activado obtenido con el comercial de la empresa ERAFI

Se llevo a cabo la comparación entre el carbón activado de la empresa Erafi con los obtenidos teniendo a continuación los resultados en la **tabla 15-3**.

Tabla 15-3: Comparación del carbón comercial (ERAFI) con los obtenidos artesanalmente.

Comparación de parámetros entre carbones obtenidos vs comercial			
	C.A. Físico (Polvo)	C.A. Químico (Polvo)	Comercial (Polvo)
Humedad (%)	6.71	4	Máx. 6 %
Ceniza (%)	3.56	13.86	Máx. 12 %
Densidad aparente (g/ml)	0.4715	0.4779	450-500 kg/m ³ (0.4-0.5) g/ml
Índice de yodo (mg/g)	197,6	364,08	700

Realizado por: Tubón, Katherine, 2020

Se compararon los parámetros del carbón activado de la empresa Erafi con los 2 carbones obtenidos y activado de forma artesanal, teniendo que los carbones activados obtenidos poseen parámetros

dentro del rango establecido por esta empresa como son la densidad aparente para los 2 carbones tanto físico como químico, el % de humedad en el que el C.A.Q y el % de ceniza en el C.A.F.; sin embargo el índice de yodo en nuestro caso es mucho más bajo en los dos casos que el establecido de 700 mg/g, teniendo que el C.A.Q. es el que presenta un índice de yodo más cercano a este valor establecido.

Esta comparación nos muestra claramente que el carbón activado químicamente podría presentar una cierta competitividad para la industria Ecuatoriana teniendo en cuenta los bajos costos de producción y activación debido a que el costo de la adquisición de la materia prima es casi nula y su proceso de activación fue de forma tradicional, mientras que en la industria Erafi ocupan como materia prima fruta, tallo y hojas de la palma africana lo que aumenta su costo de adquisición, producción y transporte.

CONCLUSIONES

Se estudió la remoción del plomo mediante el método de adsorción utilizando los residuos de *Crescentia cujete* como carbón activado de forma física y química a temperaturas de 300 a 500 °C respectivamente, el carbón obtenido se analizó mediante pruebas físicas y químicas; posteriormente se llevó a cabo la remoción del plomo por lotes.

Se obtuvo la materia prima de *Crescentia cujete* provenientes del Recinto Gramalote, estos residuos fueron carbonizados de forma artesanal utilizando un horno de barro criollo para la posterior obtención de los carbones activados.

Se realizó la activación de forma artesanal utilizando un horno de barro en el que el C.A.F. se activó a una temperatura de 300 °C, obteniendo así un rendimiento de carbonización del 37,38 %, mientras que para la obtención del C.A.Q. la activación se dio en un solo proceso dentro del horno a una temperatura de 500 °C, obteniéndose un rendimiento de carbonización del 47,85 % siendo este carbón el que presenta una menor pérdida de la materia inicial.

Se determinó que la remoción del plomo presente en soluciones estándar preparadas tuvo que el C.A.F. presentó una adsorción del 10,28 % mientras que el C.A.Q. presentó una remoción de plomo del 47,71 % siendo este segundo mucho más eficiente. Estos valores comparados con los rangos establecidos por la norma ASTM y los rangos establecidos por la empresa ecuatoriana Erafi fueron menores, por lo que se puede decir que estos carbones activados no son tan eficientes en la remoción del plomo comparados con estos.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda hacer un análisis más profundo en la remoción del plomo en el que se establezca las condiciones óptimas de adsorción del plomo teniendo en cuenta parámetros específicos como el tiempo de contacto, pH, dosis de carbón, concentración del plomo, etc.
- Determinar los mecanismos de adsorción mediante la aplicación de modelos cinéticos e isothermas de adsorción.
- Estudiar las condiciones en qué es posible regenerar el carbón activado, así también, métodos de disposición final para carbones ya saturados.
- Se propone la realización de estudios de adsorción para aguas naturales contaminadas con plomo.

GLOSARIO

Adsorbato: sustancia que se pega (adsorbe) en la superficie. (Viades, 2013)

Adsorbente: superficie sobre la cual sucede la adsorción. (Viades, 2013)

Anfótera: son los compuestos o iones que tienen la particularidad de poder comportarse como ácido o como base, de acuerdo con la teoría de Bronsted y Lowry. Su nombre proviene de la palabra griega amphoterói, la cual significa “ambos”. (Rosero, sf)

Biomagnificación: Tendencia de algunos productos químicos a acumularse a lo largo de la cadena trófica, exhibiendo concentraciones sucesivamente mayores al ascender el nivel trófico. (Rodríguez, 2019)

Covalente: enlace que se genera entre átomos que tienen pares de electrones compartidos. (Zita, 2018)

Lixiviados: son los líquidos que circulan entre los residuos que se encuentran en los vertederos. (Rodríguez, 2019)

Residuo: materia inservible que resulta de la descomposición o destrucción de una cosa. (Que es un tóxico, 2011)

Relaves: es un sólido finamente molido, que se descarta en operaciones mineras. (Nacional y Macroeconómica, 2017)

Tóxico: sustancia que es venenoso o que puede causar trastornos o la muerte a consecuencia de las lesiones debidas a un efecto químico. (Que es un tóxico, 2011)

BIBLIOGRAFÍA

ANDRADE, C.; & **FERNANDO, L.** Bioadsorción de iones de plomo y cromo procedentes de aguas residuales utilizando la cáscara del tomate de árbol (*Solanum betaceum*)(Trabajo de Titulación)(Ingeniería). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca-Ecuador. 2017

CARRIAZO, J; et al. "Propiedades adsorptivas de un carbón activado y determinación de la ecuación de Langmuir empleando materiales de bajo costo". *Como se experimenta*, vol. 21, no. 3 (2010), pp. 224-229.

CORREA-GUIMARAES, A. Aprovechamiento de residuos lignocelulosicos para produccion de biocombustibles y bioproductos (Trabajo de titulación)(Doctorado). Universidad de Valladolid, Septiembre 2016.

ESPITIA-BAENA, J; & **DURAN-SANDOVAL, H.** "Química y biología del extracto etanólico del epicarpio de *Crescentia cujete* L" . *Plantas Medicinales*, vol. 16, no. 4 (2011), pp. 337-346.

FLÓREZ, E.J. "Ensilada en dos estados de maduración como alternativa en alimentación bovina. Evaluation of pulp of totumo (*Crescentia cujete* L) ensilada in two states of maturation like alternative in nutrition bovina". *Temas Agrarios*, vol. 17 (2012,) pp. 44-51.

GAMARRA, J. Equilibrio de adsorción de mezclas gaseosas en tamices moleculares(Trabajo de titulación) (Doctorado). Universidad Complutense de Madrid, Madrid-España, 1994.

GARCÍA, G.; & **PAÑI, L.** Optimización de la eficiencia energética de la leña (*Eucalyptus Globulus*) como combustible en un modelo de horno de ladrillo artesanal, a través del análisis y modificación de las características del combustible (Trabajo de titulación)(Ingeniería).Universidad Politecnica Salesiana, Cuenca-Ecuador, 2013, pp. 195.

GONZALES, H.; & **BACH, N.** Estudio De Proceso De Carbón Activado : Obtención Por Método Químico (Trabajo de titulación)(Ingeniería).Universidad Nacional Agraria La Molina, 2005.

GUERRERO CAMPOS, D.I. Diagnóstico Ambiental de las Descargas Mineras Líquidas y Sólidas, en los Recursos Hídricos Superficiales y Subterráneos del Cantón Portovelo [en línea] (Trabajo de titulación)(Ingeniería). Escuela Politecnica Nacional, Quito-Ecuador, pp. 149. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/5910>.

HAO, J.; et al. "SERS detection of arsenic in water: A review". *Environmental sciences* [en línea],

2015, pp. 1-11. ISSN 1001-0742. DOI 10.1016/j.jes.2015.05.013. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jes.2015.05.013>.

KENNEDY, L.; et al. "Effect of Two-Stage Process on the Preparation and Characterization of Porous Carbon Composite from Rice Husk by Phosphoric Acid Activation". *Industrial and Engineering Chemistry Research*, vol. 43, no. 8 (2004), pp. 1832-1838. ISSN 08885885. DOI 10.1021/ie034093f.

KLOSE, W.; et al. Carbón activado de cuesco de palma. Estudio de termogravimetría y estructura (Trabajo de titulación), Universidad Nacional de Colombia, Colombia, 2010.

LARA, J.; et al. "Adsorción de plomo y cadmio en sistema continuo de lecho fijo sobre residuos de cacao Adsorption of lead and cadmium in continuous of fixed bed on cocoa waste Adsorção de chumbo e cádmio no sistema de leito fixo contínua relativa aos resíduos de cacau". *Ion*, vol. 29, no. 2 (2016), pp. 113-124.

LUIS, I.Q.J.; & RAMÍREZ, P. Remoción de arsénico del agua para uso y consumo humano mediante diferentes materiales de adsorción (Trabajo de titulación)(Maestría). Universidad Autónoma de México, México, 2012.

MAESTRE, A.; & LAYANA, V. Determinación de la capacidad de absorción de metales pesados de la Azolla caroliniana en Guayas (Trabajo de titulación)(Ingeniería). Universidad de Guayaquil, Guayaquil-Ecuador, 2018.

MANAHAN, S. *Introducción a la Química Ambiental*, México: Reverté.2007.

MENDOZA COLINA, E.J. Remoción de PB (II) de soluciones mediante carbón activado: experimentos en lotes [en línea] (Trabajo de titulación)(Maestría).Universidad Nacional de Colombia- Universidad Nacional de Magdalena, Colombia,2012. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/6238/>.

MOLINA, P. *Como Hacer Hornos de Barro*. 2005. S.l.: s.n. ISBN 987-520-192-8.

NAVARRETE, D.; et al. *Elaboración de carbón activado a partir de materiales no convencionales para ser usado como medio filtrante*. S.l.: s.n.

OSPINA-GUARÍN, V.M.; et al. "Preparación y caracterización de carbón activado a partir de torta de higuera". *TecnoLógicas*, vol. 17, no. 32 (2014), pp. 75. ISSN 0123-7799. DOI 10.22430/22565337.207.

OVIEDO-ANCHUNDIA, R; et al. "Contaminación por metales pesados en el sur del Ecuador asociada a la actividad minera . Contamination by heavy metals in the south of Ecuador associated to the mining activity" . *BIONATURA*, vol. 2 (2017), pp. 438-441. DOI 10.21931/RB/2017.02.04.5.

PÉREZ, S.; & HERNANDEZ, I. Propuesta de diseño de un sistema de remoción de plomo en aguas a nivel laboratorio utilizando estopa de coco (Trabajo de titulación)(Ingeniería).Universidad de El Salvador, El Salvador, 2019.

PERNÍA, B.;et al. Determinación de cadmio y plomo en agua , sedimento y organismos bioindicadores en el Estero Salado , Ecuador (Determination of cadmium and lead in water , sediment and bioindicator organisms in Estero Salado , Ecuador)(Trabajo de titulación)(Ingeniería).Universidad de Uayquil, Uayquil-Ecuador, 2018, pp. 89-105.

SALAZAR, D.;& RODRIGUEZ, L. Desarrollo y evaluación de un material adsorbente a partir de residuos orgánicos para la adsorción de Cu^{2+} en soluciones sintéticas. [en línea](Trabajo de titulación)(Ingeniería), Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa- Perú,2017. pp. 1-148. Disponible en:
<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3442/Mtsacad.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0Ahttp://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3214/IMzufedm.pdf?sequence=1%0Ahttp://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/1784/AGviquafr.pdf?sequ>.

VELASCO, E. Contaminantes generados en la exploración y explotación minera , métodos de análisis y sus efectos ambientales(Trabajo de titulación)(Ingeniería). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito- Ecuador, 2015.

ANEXOS

ANEXO A: EVIDENCIA DEL PROCESO DE SECADO TRADICIONAL DEL MATE.

Corte del mate por la mitad



Extracción de la pulpa del mate



Secado tradicional del mate



Reducción de tamaño



ANEXO B: ENCENDIDO DEL HORNO Y CARBONIZACIÓN

Leña preparada para ser encendida



Encendido del horno



Horno encendido



Toma de temperatura con termómetro infrarrojo.



Materia prima carbonizada



ANEXO C: ACTIVACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA

Tamalera con agua destilada



Activación Física del carbón a 300°C



Ácido fosfórico con materia prima



Carbón Químico a 500 °C

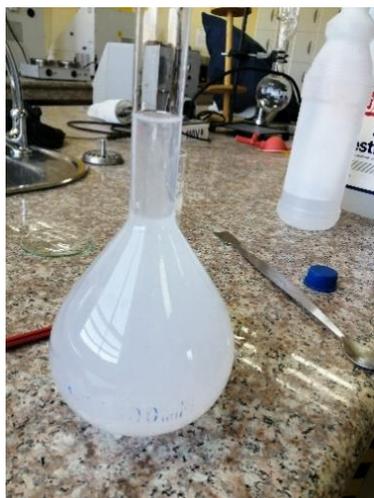


Activación química (Medición de pH)



ANEXO D: SOLUCIÓN MADRE DE NITRATO DE PLOMO

Solución madre con nitrato de plomo



pH del carbón químico y ácido nítrico



Solución estándar de plomo y 3 g de carbón



ANEXO E: PROCESO DE OBTENCIÓN DE LA MATERIA PARA ANÁLISIS

Mate seco y saco para recoger la muestra



Mate hecho polvo con pulidora



ANEXO F: INFORME DE ADSORCIÓN DE PLOMO.



INFORME DE RESULTADOS

INF.D/IV-FQ_49991f

DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	TUBON RENGEL KATHERINE ABIGAIL
Dirección:	MAYORISTA REDONDEL
Teléfono:	0987262501

DATOS DE LA MUESTRA

Muestra de:	MATERIA PRIMA		
Descripción:	CARBON ACTIVADO QUIMICAMENTE 3		
Lote	---	Contenido Declarado:	100mL
Fecha de Elaboración:	---	Fecha de Vencimiento:	---
Fecha de Recepción:	2020-08-13	Hora de Recepción	07:22:51
Fecha de Análisis:	2020-08-13	Fecha de Emisión:	2020-08-26
Material de Envase:	---		
Toma de Muestra realizada por:	El cliente.		
Observaciones:	Los resultados reportados en el presente Informe se refieren a los datos y las muestras entregadas por el cliente a nuestro laboratorio.		

CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA

Color:	Característico.	Olor:	Característico.
Estado:	Líquido.	Conservación:	Aj Ambiente
Temperatura de la muestra:	AMBIENTE		

RESULTADOS FISICOQUÍMICO

PARAMETROS	RESULTADO	UNIDAD	METODO DE ANALISIS INTERNO	METODO DE ANALISIS DE REFERENCIA
²¹⁰ PLOMO	20.82	mg/L	MFQ-102	EPA 3005A, EPA 6010B, SM Ed. 23,2017,3120B

Carbón activado físicamente

RESULTADOS FISICOQUÍMICO

PARAMETROS	RESULTADO	UNIDAD	METODO DE ANALISIS INTERNO	METODO DE ANALISIS DE REFERENCIA
²¹⁰ PLOMO	35.66	mg/L	MFQ-102	EPA 3005A, EPA 6010B, SM Ed. 23,2017,3120B

Se prohíbe la reproducción del presente informe de resultados, excepto en su totalidad previa autorización escrita de Multianalytica Cia. Ltda.

Cualquier información adicional correspondiente a los ensayos está a disposición del cliente cuando lo solicite.

Toda la información relacionada con datos del cliente e ítems de ensayo (muestras) y que pueda afectar a la validez de los resultados, ha sido proporcionada y son responsabilidad exclusiva del cliente. El laboratorio se responsabiliza únicamente de los resultados emitidos los cuales corresponden a la muestra analizada y descrita en el presente documento.

El laboratorio declina toda responsabilidad, acerca de desvíos encontrados en las muestras entregadas por el cliente y que pueden afectar a la validez de los resultados, particular que es comunicado al cliente en caso de ser detectado por el laboratorio.

Quim. Mercedes Parra
Jefe División Instrumental

ANEXO G: ÍNDICE DE YODO DEL CARBÓN ACTIVADO FÍSICAMENTE



INFORME DE RESULTADOS

INF.DIV-FQ.45990a

DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	TUBON RENGEL KATHERINE ABIGAIL
Dirección:	MAYORISTA REDONDEL
Teléfono:	0587262501

DATOS DE LA MUESTRA

Muestra de:	MATERIA PRIMA		
Descripción:	CARBÓN ACTIVADO FÍSICAMENTE		
Lote:	---	Contenido Declarado:	40g
Fecha de Elaboración:	---	Fecha de Vencimiento:	---
Fecha de Recepción:	2020-08-13	Hora de Recepción:	07:20:33
Fecha de Análisis:	2020-08-14	Fecha de Emisión:	2020-08-19
Material de Envase:	---		
Toma de Muestra realizada por:	El Cliente		
Observaciones:	Los resultados reportados en el presente informe se refieren a los datos y las muestras entregadas por el cliente a nuestro laboratorio.		

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

Color:	Característico	Olor:	Característico
Estado:	Sólido.	Conservación:	Al Ambiente
Temperatura de la muestra:	AMBIENTE		

RESULTADOS FÍSICOQUÍMICO

PARAMETROS	RESULTADO	UNIDAD	METODO DE ANALISIS INTERNO	METODO DE ANALISIS DE REFERENCIA
INDICE DE YODO	197.6	mg/g	MFQ-45	NTE INEN 1988:2013

Se prohíbe la reproducción del presente informe de resultados, excepto en su totalidad previa autorización escrita de Multianalityca Cia. Ltda.
 Cualquier información adicional correspondiente a los ensayos está a disposición del cliente cuando lo solicite.
 Toda la información relacionada con datos del cliente e ítems de ensayo (muestras) y que pueda afectar a la validez de los resultados, ha sido proporcionada y son responsabilidad exclusiva del cliente. El laboratorio se responsabiliza únicamente de los resultados emitidos los cuales corresponden a la muestra analizada y descrita en el presente documento.
 El laboratorio declina toda responsabilidad, acerca de desvíos encontrados en las muestras entregadas por el cliente y que pueden afectar a la validez de los resultados, particular que es comunicado al cliente en caso de ser detectado por el laboratorio.

Quim. Mercedes Parra
Jefe División Instrumental



EDMUNDO CHIRIBOGA N47-154 Y JORGE ANIBAL PAEZ
 La concepcion - QUITO - PICHINCHA - ECUADOR
 Telf: (02) 226 7895, 226 9743, 244 4670 / email: informes@multianalityca.com

ANEXO H: ÍNDICE DE YODO DEL CARBÓN ACTIVADO QUÍMICAMENTE



INFORME DE RESULTADOS

INF.DIV-FQ.45990b

DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	TUBON RENDEL KATHERINE ABIGAIL
Dirección:	MAYORISTA REDONDEL
Teléfono:	0987262501

DATOS DE LA MUESTRA

Muestra de:	MATERIA PRIMA		
Descripción:	CARBON ACTIVADO QUIMICAMENTE		
Lote:	---	Contenido Declarado:	40g
Fecha de Elaboración:	---	Fecha de Vencimiento:	---
Fecha de Recepción:	2020-08-13	Hora de Recepción:	07:20:33
Fecha de Análisis:	2020-08-14	Fecha de Emisión:	2020-08-19
Material de Envase:	---		
Toma de Muestra realizada por:	El Cliente		
Observaciones:	Los resultados reportados en el presente informe se refieren a los datos y las muestras entregadas por el cliente a nuestro laboratorio.		

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

Color:	Característico	Olor:	Característico
Estado:	Sólido.	Conservación:	Al Ambiente
Temperatura de la muestra:	AMBIENTE		

RESULTADOS FISICOQUÍMICO

PARAMETROS	RESULTADO	UNIDAD	METODO DE ANALISIS INTERNO	METODO DE ANALISIS DE REFERENCIA
INDICE DE YODO	364.08	mg/g	MFQ-45	NTE INEN 1988:2013

Se prohíbe la reproducción del presente informe de resultados, excepto en su totalidad previa autorización escrita de Multianalityca Cia. Ltda.

Cualquier información adicional correspondiente a los ensayos está a disposición del cliente cuando lo solicite. Toda la información relacionada con datos del cliente e ítems de ensayo (muestras) y que pueda afectar a la validez de los resultados, ha sido proporcionada y son responsabilidad exclusiva del cliente. El laboratorio se responsabiliza únicamente de los resultados emitidos los cuales corresponden a la muestra analizada y descrita en el presente documento.

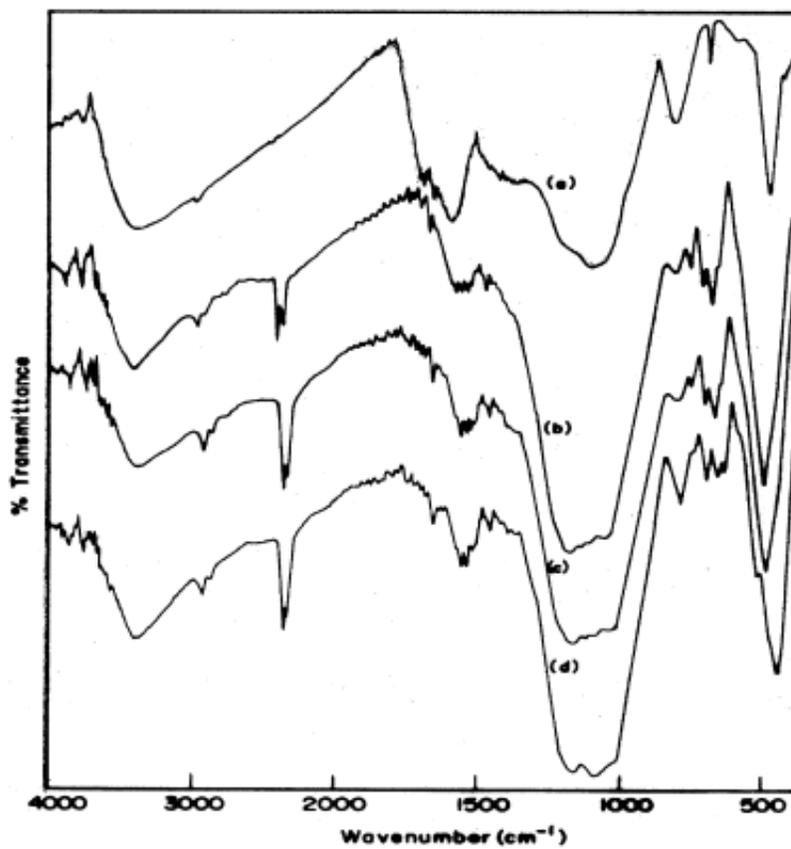
El laboratorio declina toda responsabilidad, acerca de desvíos encontrados en las muestras entregadas por el cliente y que pueden afectar a la validez de los resultados, particular que es comunicado al cliente en caso de ser detectado por el laboratorio.

Quim. Mercedes Parra
Jefe División Instrumental



EDMUNDO CHIRIBOGA N47-154 Y JORGE ANIBAL PAEZ
La concepcion - QUITO - PICHINCHA - ECUADOR
Telf: (02) 226 7895, 226 9743, 244 4670 / email: informes@multianalityca.com

ANEXO I: ESPECTRO DEL ÁCIDO FOSFÓRICO A DIFERENTES TEMPERATURAS EN CARBÓN PROVENIENTE DE CÁSCARA DE ARROZ ACTIVADAS CON ÁCIDO FOSFÓRICO.



Fuente: (Kennedy, Vijaya y Sekaran, 2004)

ANEXO J: (NORMA NTE INEN 1988, 2013). CARBÓN ACTIVADO. DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE YODO.

Norma Técnica Ecuatoriana Obligatoria	PRODUCTOS QUÍMICOS INDUSTRIALES. CARBÓN ACTIVADO PARA USO INDUSTRIAL. DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE YODO.	NTE INEN 1 988-94 1995-10
<p>1.OBJETO</p> <p>1.1 Esta norma establece el método para determinar la capacidad de adsorción: número de yodo, en el carbón activado para uso industrial.</p> <p>2. DEFINICIONES</p> <p>2.1 Número de yodo. Se define como los miligramos de yodo adsorbidos por un gramo de carbón, cuando la concentración del yodo del filtrado residual es 0,02 N.</p> <p>3. MÉTODO DE ENSAYO</p> <p>3.1 Resumen</p> <p>3.1.1 Se somete una cantidad de muestra a la acción del ácido clorhídrico, luego se libera el yodo en exceso con yoduro de potasio y se titula con tiosulfato de sodio.</p> <p>3.2 Equipo</p> <p>3.2.1 Balanza analítica, sensibilidad 0,001 g.</p> <p>3.2.2 Estufa de temperatura regulable $150 \pm 5^{\circ}\text{C}$.</p> <p>3.2.3 Desecador, cloruro de calcio anhidro u otro desecante apropiado.</p> <p>3.2.4 Frascos volumétricos, 500, 1000 cm^3</p> <p>3.2.5 Frascos Erlenmeyers, 250, 500 cm^3</p> <p>3.2.6 Papel filtro Watman No. 2 v, o su equivalente</p> <p>3.2.7 Pipetas volumétricas de 10, 25, 50, 100 cm^3</p> <p>3.2.8 Bureta volumétrica de precisión</p> <p>3.2.9 Plancha de calentamiento</p> <p>3.2.10 Material usual de laboratorio</p> <p>3.2.11 Equipo de protección personal adecuado para laboratorio.</p> <p style="text-align: right;"><i>(Continúa)</i></p>		

DESCRIPTORES: Productos químicos. Carbón activado. Determinación del índice de yodo.

<p>3.3 Reactivos</p> <p>3.3.1 Ácido clorhídrico al 5% (m/v). A 550 cm^3 de agua destilada, añadir 70 cm^3 de ácido clorhídrico concentrado, ($d = 1,19$).</p> <p>3.3.2 Solución estándar de Tiosulfato de sodio estándar 0,1 N. Disolver 25 g de tiosulfato de sodio, para análisis, $[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}]$, 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.</p> <p>3.3.3 Solución estándar de yodo 0,1 N. Disolver 12,7 g de yodo, (I_2), para análisis y 19,7 g de yoduro de potasio en aproximadamente 25 cm^3 de agua destilada. Diluir a 1 litro en un frasco volumétrico con agua destilada. Colocar en una botella de vidrio de color oscuro con tapa; almacenar en un lugar oscuro. Ver Anexo B.</p> <p>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.</p> <p>3.4 Procedimiento</p> <p>3.4.1 Efectuar la determinación por duplicado.</p> <p>3.4.2 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.</p> <p>3.4.3 Secar una porción de muestra del carbón pulverizado, a 140°C por 2 h o 110°C por 3 h.</p> <p>3.4.4 Dependiendo del carbón usado, pesar de 1,000 a 1,600 g de carbón pulverizado seco y colocar en un frasco Erlenmeyer de 250 cm^3.</p> <p>3.4.5 Añadir, 10 cm^3 de HCl al 5% (m/m) y dar vueltas el frasco Erlenmeyer, hasta que todo el carbón se haya humedecido.</p> <p>3.4.6 Colocar el frasco Erlenmeyer sobre una plancha de calentamiento, llevar el contenido a ebullición y mantener así durante 30 s exactamente.</p> <p>3.4.7 Dejar enfriar el Erlenmeyer y su contenido a temperatura ambiente y añadir mediante pipeta volumétrica, 100 cm^3 de solución estándar de yodo 0,1 N.</p> <p>3.4.8 Tapar inmediatamente el frasco Erlenmeyer y agitar vigorosamente el contenido durante 30 s, filtrar a través del papel filtro Watman No. 2 v ó su equivalente.</p> <p>3.4.9 Descartar los primeros 20 ó 30 cm^3 de filtrado, y recoger el filtrado en un frasco Erlenmeyer limpio.</p> <p>3.4.10 Mezclar el filtrado en el frasco Erlenmeyer con una varilla de vidrio y pipetear 50 cm^3 del filtrado en un Erlenmeyer de 250 cm^3.</p> <p>3.4.11 Titular los 50 cm^3 de muestra, con una solución estándar de tiosulfato de sodio 0,1 N, hasta que el color amarillo haya desaparecido. Añadir aproximadamente 1 cm^3 de solución de almidón y continuar la titulación hasta que el color azul del indicador desaparezca.</p> <p style="text-align: right;"><i>(Continúa)</i></p>
--

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:

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

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	0,9606	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	0,9519	0,9513	0,9513	0,9506	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	0,9363	0,9350	0,9350	0,9346

ANEXO K: DENOMINACIÓN DE SUELOS SEGÚN SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN.

SISTEMAS	BRITÁNICO ¹	AASHTO ²	ASTM ³	SUCS ⁴
	ϕ (mm)	ϕ (mm)	ϕ (mm)	ϕ (mm)
Grava	60 – 2	75 – 2	> 2	75 – 4,75
Arena	2 – 0,06	2 – 0,05	2 – 0,075	4,75 – 0,075
Limo	0,06 – 0,002	0,05 – 0,002	0,075 – 0,005	< 0,075 FINOS
Arcilla	< 0,002	< 0,002	< 0,005	

Tabla 3.3. Denominación de suelos, según sistemas de Clasificación.

Fuente: (Suárez Burgoa, 2014). Estructura y granulometría.

Normas ASTM

	Tamaño mínimo (mm)	Tamaño máximo (mm)
Grava	4.76	75
Arena Gruesa	2.00	4.76
Arena Media	0.42	2.00
Arena Fina	0.075	0.42
Limo	0.005	0.075
Arcilla	0.001	0.005
Coloides	-	0.001

Fuente: (Garza M., 1988). Mecánica de suelos.