



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA INGENIERIA QUÍMICA**

**“OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVO A PARTIR DE LA CASCARA  
DE NARANJA (*Citrus Sinensis Linn Osbeck*) PARA LA REMOCIÓN DE  
CADMIO A NIVEL DE LABORATORIO.”**

**Trabajo de Titulación**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTOR: ERICK DANIEL MOYA ARIAS**

**DIRECTORA: Ing. LINDA MARIUXI FLORES FIALLOS, MsC**

Riobamba – Ecuador

2021

**©2021, Erick Daniel Moya Arias**

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 ERICK DANIEL MOYA ARIAS, Declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

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

Riobamba, 20 marzo de 2021




---

**Erick Daniel Moya Arias**

**1600613275**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto de Investigación “**OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVO A PARTIR DE LA CASCARA DE NARANJA (*Citrus Sinensis Linn Osbeck*) PARA LA REMOCIÓN DE CADMIO A NIVEL DE LABORATORIO**”, realizado por el señor: **ERICK DANIEL MOYA ARIAS**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Dr. Fabian Ernesto Arias Arias, PhD. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	 Firmado electrónicamente por: <b>FABIAN ERNESTO</b>	2021-11-29
Ing. Linda Mariuxi Flores Fiallos, MsC. <b>DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	LINDA MARIUXI FLORES FIALLOS  Firmado digitalmente por:LINDA MARIUXI FLORES FIALLOS DN: cn=LINDA MARIUXI FLORES FIALLOS o=EC o=SECURITY DATA S.A. 1 o=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE INFORMACION Motivo:Soy el autor de este documento Ubicación: Fecha:2021-12-09 12:43:06.00	2021-11-29
Ing. Adrián Alejandro Rodríguez Pinos, Mgs. <b>MIEMBRO DE TRIBUNAL</b>	 Firmado electrónicamente por: <b>ADRIAN ALEJANDRO RODRIGUEZ PINOS</b>	2021-11-29

## **DEDICATORIA**

A Dios quien me dio la fe, la fortaleza, la salud y la esperanza para poder culminar este trabajo. A mis padres quienes me dieron vida, educación, apoyo y consejos. A mis compañeros de estudio, a mis maestros y amigos, quienes sin su ayuda nunca hubiera podido hacer esta tesis. A todos ellos se los agradezco desde el fondo de mi alma. Para todos ellos hago esta dedicatoria.

*Erick*

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por darme salud y vida para cumplir mis meta, paciencia y fuerza para sobrellevar y afrontar las adversidades en la elaboración de la tesis. A mis padres por ser la fuente de inspiración y motivación para superarme cada día más y lograr que este sueño se haga realidad, gracias, mamá y papá por darme una carrera para mi futuro, todo esto se los debo a ustedes.

A mi hermana y familiares por ser parte de mi vida, por estar conmigo, por apoyarme siempre y representar la unión familiar. A mis familiares que participaron de manera directa o indirecta en la realización de este trabajo de titulación. A mis compañeros y amigos presentes y pasados, quienes sin esperar nada a cambio compartieron sus conocimientos, alegrías y tristezas y a todas aquellas personas que durante mi formación académica estuvieron a mi lado apoyándome en esta etapa de mi vida.

A mi tutora Ing. Linda Mariuxi Flores Fiallos y miembro Ing. Adrián Alejandro Rodríguez Pinos, por compartir su experiencia y estar pendiente del desarrollo de cada etapa del proceso experimental y de redacción para la culminación del trabajo de titulación.

*Erick*

## TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xi
RESUMEN .....	xi
ABSTRACT .....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL .....	2
1.1. Antecedentes de la investigación .....	2
1.2. Marco teórico conceptual.....	3
1.2.1. <i>Producción de naranja en Ecuador</i> .....	3
1.2.2. <i>Características de la naranja</i> .....	3
1.2.3. <i>Carbón activo</i> .....	5
1.2.4. <i>El carbón activo en Ecuador</i> .....	16
1.2.5. <i>Estructura del carbón activo y proceso de adsorción</i> .....	16
1.2.6. <i>Parámetros de adsorción del carbón activo</i> .....	22
1.2.7. <i>Cadmio</i> .....	25

### CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO .....	29
2.1. Objetivos .....	29
2.1.1. <i>Objetivo general</i> .....	29
2.1.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	29
2.2. Hipótesis y especificación de variables.....	29
2.2.1. <i>Hipótesis general</i> .....	29
2.2.2. <i>Hipótesis específica</i> .....	29
2.2.3. <i>Identificación de variables</i> .....	30
2.2.4. <i>Operacionalización de variables</i> .....	31

2.2.5.	<i>Matriz de consistencia</i> .....	32
2.3.	<b>Tipo y diseño de investigación</b> .....	36
2.3.1.	<i>Tipo de investigación</i> .....	36
2.3.2.	<i>Diseño experiemetal de la investigación</i> .....	36
2.4.	<b>Unidad de análisis</b> .....	42
2.5.	<b>Población de estudio</b> .....	42
2.6.	<b>Tamaño de muestra</b> .....	42
2.7.	<b>Selección de la muestra</b> .....	42
2.8.	<b>Técnicas de recolección de datos</b> .....	43
2.8.1.	<i>Herramientas de procesamiento de información</i> .....	43
2.8.2.	<i>Materiales para la recolección de información</i> .....	43
2.8.3.	<i>Métodos experimentales</i> .....	44

### CAPÍTULO III

3.	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	50
3.1.	<b>Caracterización de cáscara de naranja (<i>Citrus Sinensis Linn Osbeck</i>)</b> .....	50
3.1.1.	<i>Humedad</i> .....	50
3.1.2.	<i>Ceniza</i> .....	51
3.1.3.	<i>Materia volátil</i> .....	52
3.1.4.	<i>Carbón fijo</i> .....	52
3.2.	<b>Obtención de carbón activo a partir de cáscara de naranja</b> .....	53
3.3.	<b>Efecto de las variables operacionales en la obtención de carbón activo)</b> .....	53
3.3.1.	<i>Análisis estadístico obtención carbón activo</i> .....	55
3.4.	<b>Caracterización del carbon activo</b> .....	57
3.4.1.	<i>Cenizas del carbón activo</i> .....	57
3.4.2.	<i>pH del carbón activo</i> .....	57
3.4.3.	<i>Densidad Aparente del carbón activo</i> .....	58
3.4.4.	<i>Índice de Yodo del carbón activo</i> .....	59
3.4.5.	<i>Prueba de espectrofotometría del carbón activo</i> .....	60
3.4.6.	<i>Evaluación de capacidad de adsrocción de Cadmio del carbón activado</i> .....	62



<b>CONCLUSIONES</b> .....	67
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	68
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b> Operacionalización de variables .....	38
<b>Tabla 2-2:</b> Matriz de consistencia .....	39
<b>Tabla 3-2:</b> Diseño experimental de la obtención de carbón activo.....	46
<b>Tabla 4-2:</b> Método de determinación de humedad .....	50
<b>Tabla 5-2:</b> Determinación de materia volátil .....	52
<b>Tabla 6-2:</b> Determinación de cenizas .....	54
<b>Tabla 7-2:</b> Determinación de carbono fijo.....	55
<b>Tabla 8-3:</b> Humedad cáscara de naranja.....	57
<b>Tabla 9-3:</b> Ceniza cáscara de naranja .....	58
<b>Tabla 10-3:</b> Materia volátil cáscara de naranja.....	58
<b>Tabla 11-3:</b> Resultados de obtención del carbón activo .....	61
<b>Tabla 12-3:</b> Análisis estadístico (varianza para peso).....	61
<b>Tabla 13-3:</b> Valor óptimo.....	62
<b>Tabla 14-3:</b> Cálculo de cenizas carbón activo. ....	63
<b>Tabla 15-3:</b> Datos obtención de cenizas del carbón activo .....	64
<b>Tabla 16-3:</b> pH carbón activo.....	64
<b>Tabla 17-3:</b> Datos densidad aparente del carbón activo .....	65
<b>Tabla 18-3:</b> Datos densidad aparente del carbón activo .....	66
<b>Tabla 19-3:</b> Datos adsorción de carbón activo con 1g.....	69
<b>Tabla 20-3:</b> Datos promediados de adsorción con 1g de carbón activo .....	70
<b>Tabla 21-3:</b> Datos adsorción de carbón activo con 1,5g.....	71
<b>Tabla 22-3:</b> Datos promediados de adsorción con 1,5g de carbón activo .....	72

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b> Categorías de poros .....	9
<b>Figura 2-1:</b> Estructura de la Celulosa .....	15
<b>Figura 3-1:</b> Estructura de la Hemicelulosa.....	16
<b>Figura 4-1:</b> Estructura de la Lignina .....	16
<b>Figura 5-1:</b> Categorías según el tamaño de partícula.....	18
<b>Figura 6-1:</b> Factores que afectan la adsorción. ....	22
<b>Figura 7-2:</b> Diseño experimental de la carbonización .....	47
<b>Figura 8-2:</b> Proceso de obtención del carbón activo.....	48
<b>Figura 9-2:</b> Proceso de absorción de cadmio del carbón activado.....	48
<b>Figura 10-3:</b> Superficie de respuesta estimada .....	63
<b>Figura 11-3:</b> Muestra IR infrarrojo carbón activo al 30% .....	68
<b>Figura 12-3:</b> Muestra IR infrarrojo carbón activo al 40% .....	68
<b>Figura 13-3:</b> Gráfica concentración contra tiempo utilizando 1g de carbón activo. ....	71
<b>Figura 14-3:</b> Gráfica concentración contra tiempo utilizando 1,5g de carbón activo. ....	73

## ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** HUMEDAD DE LA CÁSCARA DE NARANJA (*Citrus Sinensis Linn Osbeck*).
- ANEXO B:** CENIZA DE LA CÁSCARA DE NARANJA (*Citrus Sinensis Linn Osbeck*).
- ANEXO C:** DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE MATERIA VOLÁTIL EN LA CÁSCARA DE NARANJA.
- ANEXO D:** PROCESO DE CARBONIZACIÓN DE CÁSCARA DE NARANJA (*Citrus Sinensis Linn Osbeck*).
- ANEXO E:** PROCESO DE ACTIVACIÓN QUÍMICA DEL CARBÓN ACTIVO A BASE DE CÁSCARA DE NARANJA (*Citrus Sinensis Linn Osbeck*).
- ANEXO F:** DETERMINACIÓN DE CENIZAS DEL CARBÓN ACTIVO A BASE CÁSCARA DE NARANJA (*Citrus Sinensis Linn Osbeck*).
- ANEXO G:** DETERMINACIÓN DE DENSIDAD APARENTE DEL CARBÓN ACTIVO A BASE DE CÁSCARA DE NARANJA (*Citrus Sinensis Linn Osbeck*).
- ANEXO H:** DETERMINACIÓN DE PH DEL CARBÓN ACTIVO A PARTIR DE CÁSCARA DE NARANJA (*Citrus Sinensis Linn Osbeck*).
- ANEXO I:** ÍNDICE DE YODO DE CARBÓN ACTIVO A BASE DE CÁSCARA DE NARANJA (*Citrus Sinensis Linn Osbeck*).
- ANEXO J:** DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE CADMIO DEL CARBÓN ACTIVO A PARTIR DE CÁSCARA DE NARANJA (*Citrus Sinensis Linn Osbeck*).
- ANEXO K:** CURVA DE TITULACIÓN DEL EQUIPO DE ADSORCIÓN ATÓMICA EN LA ADSORCIÓN DE CADMIO.
- ANEXO L:** CERTIFICADO DE ESTANDAR DE CADMIO.
- ANEXO M:** (NORMA NTE INEN 1988, 2013), PRODUCTOS QUÍMICOS INDUSTRIALES. CARBÓN ACTIVADO PARA USO INDUSTRIAL.

## RESUMEN

El objetivo de la investigación fue la obtención de carbón activo a partir de la cáscara de naranja (*Citrus Sinensis Linn Osbeck*) para la remoción de cadmio a nivel de laboratorio; este es un residuo proveniente de la manufactura de jugos en las microempresas de la ciudad de Riobamba. El carbón activado se puede obtener mediante un proceso químico en el que se utiliza ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) para ser activado, controlando las variables como la concentración de ácido, el tiempo y la temperatura de carbonización. Se utilizó métodos estándar de ASTM y ANSI / AWWA para calcular parámetros físicos y químicos, tales como: índice de yodo, área de superficie, porosidad, capacidad de adsorción. A continuación, se realizaron las pruebas de adsorción para evaluar su desempeño en la filtración de cadmio. Con un diseño de experimento factorial 2k que contiene tres factores y dos niveles; las condiciones óptimas para el control de las variables operativas de la cáscara de naranja para la preparación de carbón activado son: 1 hora de carbonización a 450 grados Celsius con H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> a una concentración del 30%, con lo que se obtiene un carbón activado con un área superficial de 774,27 mg/g. Este carbón activo es capaz de absorber un 63% de Cadmio de una solución a 5ppm y se satura en un tiempo de 7 horas. Finalmente, la investigación puede servir como punto de referencia para el aprovechamiento económico y productivo de los residuos orgánicos en el proceso productivo de las pequeñas y medianas empresas y microempresas, al brindar valor agregado y brindar orientación a los procesadores ecuatorianos para incrementar el uso de todos los subproductos.

**Palabras Claves:** <REMOCIÓN CONTAMINANTES> <NARANJA (*Citrus Sinensis Linn Osbeck*)> <CARBÓN ACTIVO> <ADSORCIÓN> <CADMIO (Cd)>

LEONARDO  
FABIO  
MEDINA  
NUSTE

Firmado digitalmente por LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE  
Fecha: 2021.08.04 16:38:47 -05'00'



1503-DBRA-UTP-2021

## ABSTRACT

The research objective consisted of obtaining activated carbon from the orange peel (*Citrus Sinensis* Linn Osbeck) for the cadmium removal at the laboratory level; This is a residue from the manufacture of juices in the microenterprises of the city of Riobamba. The activated carbon can be obtained through a chemical process that uses acid phosphoric ( $H_3PO_4$ ) to be activated, controlling variables such as acid concentration, the carbonization time and temperature. ASTM and ANSI /AWWA standard methods were used to calculate physical and chemical parameters, such as: iodine index, surface area, porosity, adsorption capacity. In addition, the adsorption tests to evaluate its performance in cadmium filtration were conducted. With a 2k factorial experiment design containing three factors and two levels; the optimal conditions for the control of the operational variables of the orange peel for the preparation of activated carbon are: 1 hour of carbonization at 450 degrees Celsius with  $H_3PO_4$  at a concentration of 30%, through which an activated carbon with a surface area of 774.27 mg / g is obtained. This active carbon is capable of absorbing 63% Cadmium from a solution at 5ppm and saturates at the time of 7 hours. Finally, the research can serve as a reference point to be used as an economic and productive advantage of organic waste in the production process of small, and medium-sized enterprises and micro-enterprises, by providing added value as well as providing guidance to Ecuadorian processors to increase the use of all the by-products.

**Keywords:** <CONTAMINANT REMOVAL>, <ORANGE (*Citrus Sinensis* Linn Osbeck)>  
<ACTIVE CARBON> <ADSORPTION> <CADMIUM (Cd)>.



Firmado electrónicamente por:

**ANA GABRIELA  
REINOSO  
ESPINOSA**

## INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la adsorción está es vista como una de las mejores tecnologías de eliminación de contaminantes, para este proceso se buscan los materiales con enormes superficies internas, como es el carbón activado, el absorbente óptimo y comúnmente usado. La adsorción con carbón activado puede eliminar correctamente una variedad de compuestos nocivos y las propiedades químicas de los átomos de carbono que lo componen le dan la característica de atraer y atrapar preferentemente ciertas moléculas en el fluido que rodea al carbón.

Las naranjas tienen una corteza o cáscara gruesa y adherente, tienen una porción dividida por membranas radiales, en gajos o segmentos. Cada gajo está formado por vesículas que contienen el jugo, además de una cantidad variable de semillas (Puebla, 2020 pág. 10). En Ecuador, la naranja (*Citrus Sinensis Linn Osbeck*) es una de las frutas más utilizadas en el comercio y procesamiento de cítricos, gran parte de esta se utiliza en la industria alimentaria y microempresas en forma de jugos y mermeladas, los residuos orgánicos que se generan deben ser gestionados y revalorizados.

Según el Ministerio de Ambiente (MAE) se genera 2525.10 Tm/año de residuos inorgánicos (el 61% de los residuos sólidos totales), dado que la mayoría de las empresas y microempresas optan por disponer de los residuos orgánicos en vertederos controlados o utilizarlos como alimento para animales sin mayores beneficios económicos, existen muchas materias primas disponibles para la producción de carbón activado (Sánchez Guerra, 2020 pág. 56).

Los carbones activos se obtienen a partir de materia orgánica, generalmente desechos agrícolas, tras ser convenientemente tratada física y químicamente, antes de ser sometida a un proceso de pirólisis a temperaturas en torno a 500 °C. Ejemplos típicos de carbón activo son los carbones obtenidos a partir de cáscaras de coco, huesos de oliva y otros residuos. Entre las principales finalidades de su uso se encuentra su empleo como adsorbentes de gases, en procesos de purificación de aguas, en procesos de separación como soportes de nano partículas (NPs) metálicas (Barradas, 2017 pág. 77).

Ante la gran demanda de desecho de cáscara de naranja surge la idea de utilizar los mismos para la transformación en carbón activado el cual será utilizado para la remoción de Cadmio. Se conoce bibliográficamente que el cadmio está presente en la extracción y refinación de metales no ferrosos, la manufactura y aplicación de abonos de fosfato, la combustión de combustibles fósiles, y la disposición e incineración de basura.

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 1.1. Antecedentes de la investigación

En 2002 Medina B. & Villegas P., trabajaron el “Estudio sobre la factibilidad de preparar carbones activados a partir de recursos biomásicos tropicales”. Concluyeron que recomendaban la activación química de residuos de madera y agroindustriales, para semillas y cáscaras como la caoba africana, la variante más adecuada es la activación física.

También en el 2010, Primera O., Colpas F., Meza E & Fernández R., de la Universidad de Cartagena, Colombia, trabajaron en “Carbones activados a partir de bagazo de caña de azúcar y zuro de maíz para la absorción de cadmio y plomo”. Concluyeron que el carbón activado obtenido es más selectivo para la absorción de cadmio que el plomo, y es más fácil eliminar estos metales pesados cuando se encuentran solos que en combinación.

Así mismo en 2012, Peña K., Giraldo L. & Moreno J., trabajaron en la “Preparación de carbón activado a partir de cáscara de naranja por activación química. Caracterización física y química”, concluyeron que un aumento en la concentración de la solución de ácido fosfórico (activador) en la muestra conduce a una tendencia similar de mayor área superficial y volumen de microporos; también tiene un efecto sobre la química de la superficie de los materiales carbonosos.

En el mismo año, Garzón J. & González L. estudiaron "Utilizar carbón activado en piel de naranja para adsorber Cr (VI)", y determinaron que el pH más alto para la adsorción de Cr (VI) era 3 y la tasa de remoción alcanzaba el 86,05% en 60 minutos. Valor, hay competencia de iones  $Cr^{6+}$  y  $H^+$  entre sitios activos.

Un año después, Baltodano & Kuan de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-Managua). realizaron el trabajo “Evaluación de capacidad adsorptiva del Carbón activado Industrial” Darco” en agente surfactante dodesil benceno sulfonato de sodio lineal presente en los detergentes realizados en los laboratorios de química UNAN-Managua.” Concluyeron que el carbón activado “Darco” elimina los SDBS con alta capacidad de adsorción y una proporción considerable de microporos y mesoporos.

Además, en 2014 Jiménez J., estudiaron el “Aprovechamiento de residuos celulósicos de pino para la producción de carbón activado”. Encontró que, en el carbón activado obtenido de la cáscara de la



piña y la corona de la piña, cuando se realizó la prueba de absorción del azul de metileno, determinaron que en todos los casos se podía quitar el 90% del tinte.

## **1.2. Marco teórico conceptual**

### ***1.2.1. Producción de naranja en Ecuador***

El área de plantación de naranjos en Ecuador es de 55,953 hectáreas. La producción de naranja en Ecuador es uno de los 25 cultivos más importantes del país, ya que si se cuida y se cosecha correctamente se pueden producir hasta 15.000 naranjas al año. (Monteros, y otros, (s.f.)). La producción nacional en 2017 fue de 142.546 toneladas, que fue la producción más alta durante el período 2007-2017, y su destino es íntegramente para consumo nacional. (ganadería, 2017 pág. 7).

### ***1.2.2. Características de la naranja***

La naranja (*Citrus Sinensis Linn Osbeck*) pertenece al reino vegetal, subreino generales, familia rutácea, subfamilia aurancioidea, tribu citreae, subtribu citrinae y genero citrus (Saunt, 1992). El fruto es naranja ácido y tiene un pH entre 2,5 y 3, dependiendo de la madurez, tamaño y variedad de los componentes. Debido a su contenido de azúcar simple, la acidez no es tan prominente. La temporada de cosecha es el invierno (mayo, octubre) y se pueden producir de 500 a 1500 frutos en cada temporada (Morales. J, 2020 pág. 11).

El componente principal de las naranjas es la vitamina C, que forma parte de las necesidades diarias del organismo. También contiene sustancias no nutritivas, entre las que se encuentran la presencia de fitoquímicos, como flavonoides (tienen efectos antioxidantes, antiinflamatorios y antitumorales) y limonina (agente anticanceroso) (Morales. J, 2020 pág. 22).

#### ***1.2.2.1. Gestión y aprovechamiento de residuos***

En la industria alimentaria, las personas están interesadas y preocupadas por lograr el mejor uso de los productos y subproductos para lograr un mayor rendimiento económico o al menos minimizar los costos involucrados en la gestión de estos subproductos (Rosas, 2009 pág. 56).

En algunos casos, si los residuos sólidos generados durante la conversión de frutos cítricos se utilizan para el acabado de otros productos, pueden considerarse como un subproducto. Los residuos

excedentes que quedan después de ser utilizados en la mayor medida en la industria de procesamiento también pueden usarse para otros fines (Rosas, 2009 pág. 66).

Actualmente en la industria alimentaria, los principales destinos de los residuos sólidos orgánicos generados en el proceso son la alimentación animal y los fertilizantes orgánicos por el alto contenido de humedad de estos residuos. Debido a problemas de descomposición, dichos materiales deben ser manejados rápidamente, por otro lado, su transporte incrementará los costos (Rosas, 2009 pág. 67).

#### *1.2.2.2. Residuos de la naranja*

En el proceso de extracción de la cáscara de naranja, los residuos como la cáscara, la piel y las semillas se denominan cáscara de limón. Este producto es una materia prima muy utilizada en diversas formas de ganadería en otros países / regiones: fresco, ensilado, mezcla de piensos deshidratados o concentrados. Además, la industria de piensos concentrados lo ha utilizado para reemplazar materias primas tradicionales como el maíz (Garzón, 2012 pág. 22).

El continuo desarrollo de agroindustrias como los cítricos ha producido una gran cantidad de residuos agroindustriales. Estos datos de producción muestran la disposición futura de los residuos cítricos, considerando que el peso de los residuos cítricos en el proceso de extracción representa del 45% al 60% de su peso y se distribuye en: piel (50% a 55% de los residuos), piel (30% a 35%) y semillas (aproximadamente 10%), lo que genera una gran cantidad de desechos durante el procesamiento (Garzón, 2012 pág. 54).

En el Ecuador existen pequeñas y medianas empresas y microempresas que apuestan por utilizar materias primas naturales para producir productos de calidad y buenas prácticas de manufactura. La mayoría de las grandes empresas que fabrican productos con sabor a naranja utilizan materias primas sintéticas o concentrados importados en su producción.

Ecuador utiliza esta materia prima para fabricar carbón activado. Muchas empresas no se benefician de sus subproductos. Entre las pequeñas y medianas empresas, tenemos a Finca Santa Clara, NAINSA SA, Planta Lácatela Norteña, quienes usan naranjas para producir diferentes productos y gastan mucho dinero en obtener carbón activado.

### **1.2.3. Carbón activo**

#### *1.2.3.1. Antecedentes históricos*

El uso de materiales de carbono ha perdido historia, por lo que en realidad es imposible determinar exactamente cuándo los humanos comenzaron a usarlos. Inicialmente, se usaba carbón vegetal como adsorbente, o madera que solo se volatilizaba o quemaba parcialmente antes de usar carbón activado (Pilamonta, 2013 pág. 22).

El trabajo más temprano sobre la adsorción de carbón poroso se remonta a 1550 AC y se encontró en el antiguo papiro egipcio. Más tarde, Hipócrates y Plinio el Viejo describieron aplicaciones principalmente con fines médicos. En el siglo XVIII, la gente usaba sangre, madera y carbón animal para purificar líquidos. Todos estos materiales que pueden considerarse precursores del carbón activado solo pueden obtenerse en forma de polvo (Pilamonta, 2013 pág. 32).

El primer uso documentado de carbón activado en la fase gaseosa se remonta a 1793, el Dr. D.M Kyle usó carbón vegetal para eliminar el olor de las heridas de gangrena. El carbón activado se usó industrialmente por primera vez en el Reino Unido en 1794 y se usó para blanquear en la industria azucarera. Esta solicitud se mantuvo confidencial durante 18 años hasta que apareció la primera patente en 1812 (Pilamonta, 2013 pág. 32).

En 1854, el alcalde de Londres ordenó la instalación de filtros de carbón en el sistema de ventilación del alcantarillado, que fue la primera aplicación a gran escala de carbón activado en la fase gaseosa. En 1872, salió la primera máscara con filtro de carbón activado y se utilizó en la industria química para evitar la inhalación de vapor de mercurio (Pilamonta, 2013 pág. 33).

No fue hasta 1881 que Kayser utilizó el término adsorción para describir cómo el carbono captura el gas. Alrededor de este tiempo, R. Von Ostrejko es considerado el inventor del carbón activado y, además de simplemente quemar materiales orgánicos o carbón vegetal, también desarrolló varios métodos para producir carbón activado que son bien conocidos en la actualidad (Pilamonta, 2013 pág. 34). El hecho de que el carbón activado tenga la característica de adsorber metales preciosos en solución fue publicado por primera vez por Lazowski en 1847. Esta información despertó un interés considerable, como se desprende de 46 artículos técnicos publicados entre 1848 y 1890. La mezcla de oro y plata en la solución de cianuro de sodio pasa la solución transparente a través de varios lechos de carbono. Queme carbón para recuperar materiales valiosos y residuos fundidos (Pilamonta, 2013 pág. 34).

Por lo tanto, en 1901, solicitó dos métodos patentados para producir carbón activado. El primero es carbonizar materiales lignocelulósicos con cloruros metálicos. Ésta es la base de la activación química

en la actualidad. En el segundo artículo propuso un método de vaporización ligera de materiales previamente carbonizados con vapor o CO<sub>2</sub>, es decir, activación física o más precisamente activación térmica (Pilamonta, 2013 pág. 34).

La Primera Guerra Mundial y el uso de reactivos químicos en esta guerra, existe una necesidad urgente de desarrollar filtros de carbón activado para máscaras de gas. Sin duda, este incidente es el punto de partida para el desarrollo de la industria del carbón activado, y una gran cantidad de carbón activado no solo se utiliza para adsorber gases tóxicos, sino también para depurar agua. Desde entonces, ha comenzado el desarrollo de carbones activados múltiples para múltiples aplicaciones: purificación de gas y agua, aplicaciones médicas, portadores de catalizadores, etc. (Pilamonta, 2013 pág. 34).

Desde la década de 1930, se ha utilizado para eliminar el sabor y el olor del agua. Desde entonces hasta la actualidad, el carbón activado se ha utilizado ampliamente en muchas industrias para eliminar o recuperar compuestos orgánicos del agua, como tintes o disolventes, o para purificar el agua. Contaminantes Los lechos de carbón activado en las plantas de tratamiento de aire y agua se utilizan para purificar los suministros de agua urbanos (Pilamonta, 2013 pág. 36).

Actualmente, el carbón activado es un producto de alto valor en el mercado mundial debido a sus innumerables aplicaciones en la medicina, la industria biofarmacéutica y el medio ambiente. Su producción está controlada por países altamente desarrollados como Holanda, Gran Bretaña, Japón, Alemania y Estados Unidos (Pilamonta, 2013 pág. 36).

### *1.2.3.2. Generalidades del carbón activo*

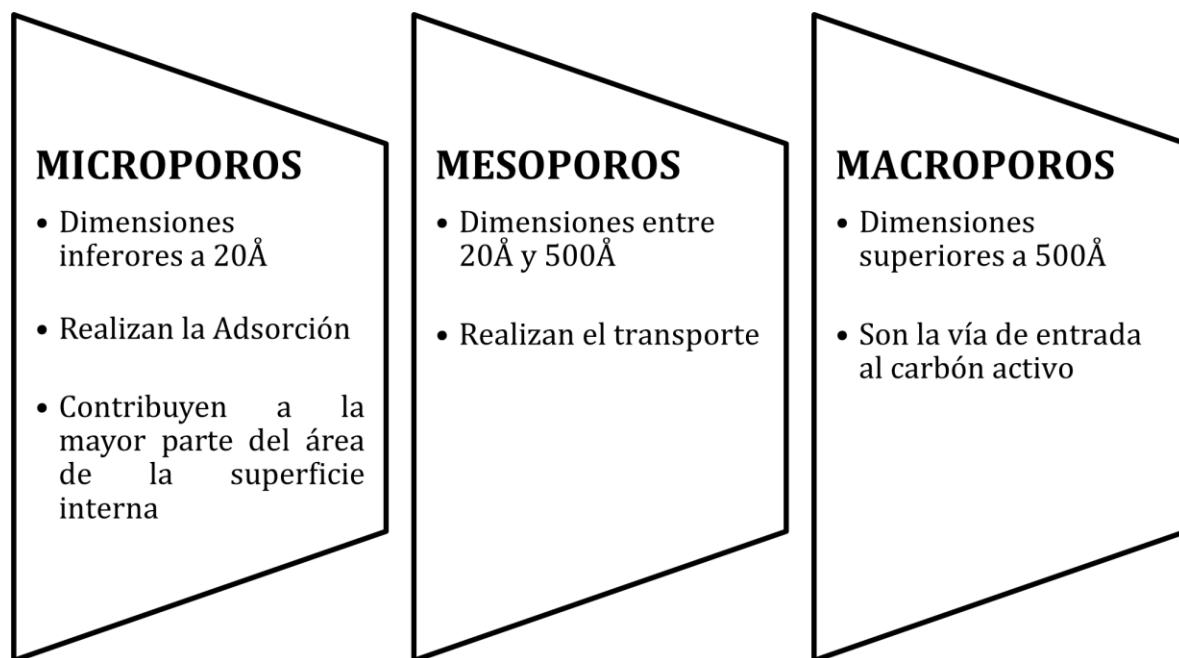
El carbón activado es un material poroso y amorfo que, después de un tratamiento químico, se puede convertir en un material con alta porosidad y superficie específica interna. Estas características y las propiedades químicas de los átomos de carbono constituyentes le dan a la fibra de carbono las características de atraer y capturar ciertas moléculas que rodean la fibra de carbono. Esta característica se llama "adsorción", el sólido adsorbido se llama adsorbente y la molécula atrapada es el adsorbato (Soto, 2007 pág. 27).

La actividad del carbón activado en el proceso de adsorción depende fundamentalmente de la naturaleza de la materia prima y del proceso de activación utilizado en su producción. Debido a su estructura química, estructura porosa e interacción con adsorbentes polares y apolares, su capacidad de adsorción se ve muy mejorada, además, la reacción química en su superficie también se ve afectada por centros activos, dislocaciones y discontinuidades. El carbono tiene electrones desapareados y valencias insaturadas que exhiben mayor energía potencial (Marquez, 2007 pág. 29).

La combinación entre carbono y adsorbato se logra a través del poder de Londres, que es una especie de poder de Van der Waals. Son relativamente débiles y, por tanto, reversibles. La superficie específica del carbón activado es de 600 a 2000 metros cuadrados por gramo. En el carbón granulado y en polvo, la superficie es casi completamente interna. Es el área de la estructura porosa producida en dos etapas, seguida de la descarga de los componentes volátiles de la materia prima carbonosa y la oxidación del residuo (Castro, y otros, 2009 pág. 24).

El carbón activado consta de capas en la estructura y deja el espacio correspondiente a los agujeros. Esta estructura de carbón activado consta de un conjunto irregular de capas de carbón, y los huecos son generados por los huecos que se crean al plegar estas capas, que son la causa de los poros (Castro, y otros, 2009 pág. 40).

Según la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), los poros se dividen en tres categorías:



**Figura 1-1:** Categorías de poros

**Fuente:** (Marquez, 2007).

**Realizado por:** Moya, E. 2021.

### 1.2.3.3. Propiedades

Las características básicas de la aplicación de carbón activado son: gran capacidad de eliminación y baja selectividad de retención. Su alta capacidad de remoción se debe a su alta superficie interna, pero

la porosidad y la distribución del tamaño de los poros juegan un papel importante. Generalmente, los microporos le dan una mayor área superficial y capacidad de retención, mientras que los mesoporos y macroporos son necesarios para retener macromoléculas (como colorantes o coloides) y promover la entrada molecular y la rápida difusión a las moléculas. Superficie interior sólida (Pilamonta, 2013 pág. 40).

El rendimiento de adsorción del carbón activado no solo depende de la superficie y la porosidad. En particular, las sustancias polares se retienen débilmente en la superficie (no polar) del carbono. En estos casos, la fijación de "heteroátomos" sobre el carbono (principalmente oxígeno e hidrógeno) para formar estructuras o grupos funcionales (como ácido carboxílico, lactosa, carbonilo, etc.) aumentará la afinidad de las sustancias polares a la superficie del adsorbente, y las características ácido-base del carbono se pueden imprimir (Pilamonta, 2013 pág. 40).

#### *1.2.3.4. Métodos de activación*

La obtención de carbón activado se basa en dos etapas básicas: carbonización de materias primas y activación de productos carbonizados. Generalmente, todos los materiales que contienen carbono se pueden convertir en carbón activado y las propiedades del producto final dependen de la naturaleza de la materia prima, el activador y el proceso de activación (Sevilla, (s.f) pág. 4).

La activación del material carbonizado consiste en formar la estructura porosa previamente producida mediante la adición de un agente oxidante. La activación se puede realizar de dos formas: física y química (Sevilla, (s.f) pág. 5).

En estos dos procesos, la superficie específica del carbón activado obtenido depende de la pérdida de peso del material en la etapa de activación, y suele alcanzar el valor máximo con una pérdida de peso del 30% al 70%. El grado de activación determina las propiedades estructurales finales del carbón activado producido. Esta estructura porosa es la característica básica que determina la calidad del carbón activado (Sevilla, (s.f) pág. 9).

#### *1.2.3.5. Activación física o térmica*

El método de activación térmica se realiza en dos etapas: en la primera etapa, denominada carbonización o pirólisis, la carbonización se obtiene por descomposición térmica de las materias primas. Esto constituye un producto con una estructura porosa poco desarrollada, que tiene propiedades de adsorción muy limitadas. En la segunda etapa llamada activación, el carbono se

somete a la acción de gases que aceleran el proceso, como vapor de agua, dióxido de carbono, oxígeno, etc (Pilamonta, 2013 pág. 40).

El método se realiza a una temperatura de 800 a 1000 ° C, y como resultado se obtiene un producto con una estructura porosa altamente desarrollada y con alto rendimiento de adsorción, que constituye la base de sus amplias y diversas aplicaciones industriales (Pilamonta, 2013 pág. 44).

Durante el proceso de carbonización, la descomposición térmica de las materias primas que contienen carbono conduce a dos partes:

- Parte volátil rica en hidrógeno, constituida por gas, vapor y alquitrán (líquido o sólido a temperatura ambiente).
- Y un residuo sólido, rico en carbono, denominado carbonizado (Pilamonta, 2013 pág. 40).

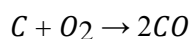
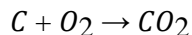
Debido a la ruptura de los enlaces menos estables (puentes de metileno entre anillos aromáticos, éteres, sulfuros, etc.), la estructura de la materia prima inicial (carbono en este caso) se divide, dando lugar a una gran cantidad de radicales muy radicales. grupo. El reactivo, parte del cual se estabiliza agregando hidrógeno, hace que el compuesto se volatilice. Otros radicales libres sufrirán reacciones de condensación y polimerización, lo que dará como resultado residuos sólidos de coquización. Comparado con la materia prima inicial, el residuo es rico en carbono y anillos aromáticos (Pilamonta, 2013 pág. 46).

Por otro lado, los productos gaseosos formados pueden sufrir reacciones secundarias en fase gas debido a la acción de la temperatura, las cuales no afectan prácticamente a la estructura del carbonizado obtenido. El carbonizado en esta etapa presenta unas formaciones cristalográficas relativamente organizadas denominadas cristales grafiticos elementales. Estos cristales se agrupan de forma irregular, de modo que siempre quedan huecos muy estrechos entre ellos, que además pueden estar bloqueados por la deposición del residuo generado por el craqueo de alquitranes en su salida de la partícula. Por tanto, el carbonizado obtenido tiene una pequeña capacidad de adsorción que necesita ser incrementada en una etapa posterior (Pilamonta, 2013 pág. 46).

En el proceso de carbonización, si el gas producto de pirólisis se elimina rápidamente del carburo mediante un flujo de gas inerte, la cantidad de carbonización obtenida se reducirá, pero la reactividad será mayor porque el alquitrán en la superficie de las partículas evita que los residuos formados en la reacción de craqueo se depositen sobre las partículas de carbono (Pilamonta, 2013 pág. 47).

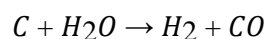
Después de la carbonización, el carbono tiene una estructura porosa más débil, pero no puede usarse como adsorbente sin un paso de activación posterior. Esta activación térmica o activación física implica procesar la materia prima en presencia de gas (dióxido de carbono). Carbono, vapor de agua, oxígeno). En este proceso, el carbono de la estructura carbonosa reacciona con el oxidante para formar óxidos de carbono (Pilamonta, 2013 pág. 47).

Debido a la vaporización parcial de los sólidos iniciales, se forma una gran estructura porosa dentro de las partículas. Entre los activadores, el oxígeno es el más activo y el dióxido de carbono el menos activo. Cuando se activa con oxígeno, el carbono genera simultáneamente dióxido y monóxido de carbono de acuerdo con la siguiente ecuación estequiométrica (Pilamonta, 2013 pág. 47).

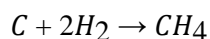
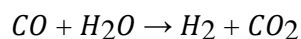


Sin embargo, el mecanismo de reacción no se ha dilucidado por completo. Parece que tanto el monóxido de carbono como el dióxido de carbono son los principales productos de reacción, y la relación CO / CO<sub>2</sub> aumenta al aumentar la temperatura. Este activador se usa raramente porque trae muchas dificultades. Debido a que la reacción es una reacción exotérmica, es difícil controlar la temperatura del proceso de reacción y, al aumentar localmente la temperatura, la reacción se controlará por difusión, no se formará la estructura interna, pero se quemará la superficie (Pilamonta, 2013 pág. 49).

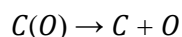
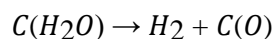
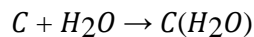
En la activación con vapor de agua la reacción básica del carbono con el vapor de agua es endotérmica:



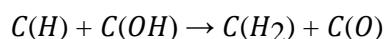
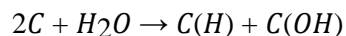
No solo desde la perspectiva del proceso de activación, sino también porque es la principal reacción para obtener gas del agua, la reacción ha sido ampliamente estudiada. Además, el producto de esta reacción se puede hacer reaccionar en fases homogéneas y heterogéneas de acuerdo con las siguientes reacciones (Pilamonta, 2013 pág. 47):



Muchos grupos de investigación han propuesto un mecanismo de reacción basado en un conjunto de pasos simples a través de un proceso de formación complejo, como se muestra a continuación:

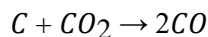


El hidrógeno es inhibido por la formación del complejo de superficie C (H<sub>2</sub>) en el centro activo de la estructura carbonosa. Por otro lado, Long y Sykes propusieron que el primer paso del mecanismo es la adsorción disociativa de moléculas de agua para formar dos complejos de superficie (Pilamonta, 2013 pág. 47):

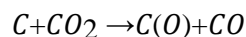




Por lo tanto, a pesar de la controversia, la presencia de hidrógeno inhibe la reacción y el efecto del monóxido de carbono es realmente insignificante. Cuando se activa con dióxido de carbono, la reacción heterogénea entre el carbono y el monóxido de carbono se expresa como (Pilamonta, 2013 pág. 48):



La reacción del dióxido de carbono en la superficie carbonosa de la gasificación del carbón se produce de acuerdo con el siguiente mecanismo:



Los estudios cinéticos de estas reacciones con diferentes tipos de materiales carbonosos no están muy seguros del efecto inhibitor de los productos de reacción sobre la formación de complejos superficiales en el centro activo (Pilamonta, 2013 pág. 48).

La reacción del carbono con el dióxido de carbono y el agua requiere la absorción de calor, por lo que las partículas de carbono deben estar en contacto óptimo con el activador, es decir, la temperatura del gas debe ser ligeramente superior a la temperatura de reacción (Pilamonta, 2013 pág. 48).

#### *1.2.3.6. Activación química*

El proceso se realiza en una sola etapa, calentando la mezcla de activador y material de partida en atmósfera inerte. Las sustancias más utilizadas son: ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), cloruro de zinc (ZnCl<sub>2</sub>), ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), aunque también se utilizan sulfuro y tiocianato de potasio, cloruro de calcio y magnesio, e hidróxidos de metales alcalinos. Depende siempre de las materias primas originales a utilizar y del mayor o menor volumen de uno o más tipos de agujeros a obtener.

Los parámetros básicos que controlan el proceso de activación química y el producto a obtener son: velocidad de impregnación, temperatura de activación y tiempo de residencia (Pilamonta, 2013 pág. 55).

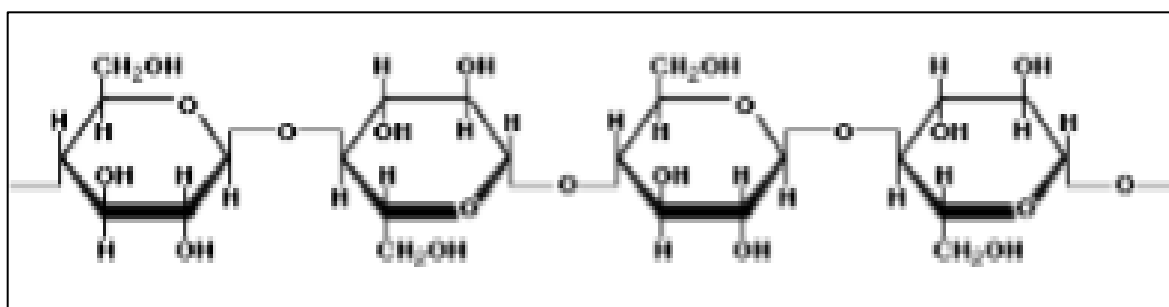
#### **La activación química con ZnCl<sub>2</sub>:**

Fue el método más utilizado hasta 1970, especialmente para la activación de residuos de madera. Sin embargo, debido a problemas ambientales relacionados con el uso de ZnCl<sub>2</sub>, su uso está actualmente muy restringido. Sin embargo, algunos países como China todavía utilizan este método para producir carbón activado (Pilamonta, 2013 pág. 56).

## La activación química con H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>:

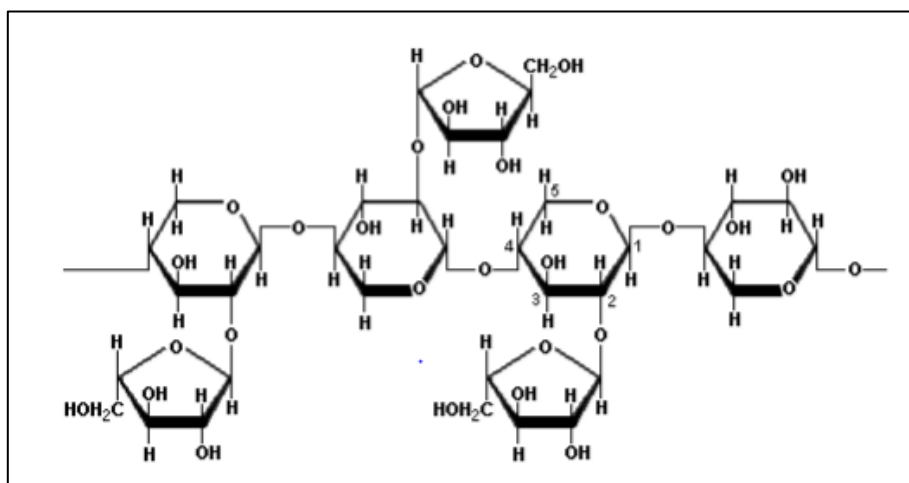
En la activación química con ácido fosfórico, el mecanismo no es perfecto, pero se han realizado investigaciones. Se analiza la química superficial del carbón activado mediante espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), y se compara la activación química del carbón activado en el espectro generado por diferentes radicales libres antes y después (Pilamonta, 2013 pág. 56).

Se debe considerar el grupo funcional en el biopolímero para determinar la formación del grupo funcional durante el proceso de activación química, porque algunas estructuras no se transformarán, mientras que otras estructuras se oxidarán, por lo que la estructura del biopolímero es inicialmente (Pilamonta, 2013 pág. 56):



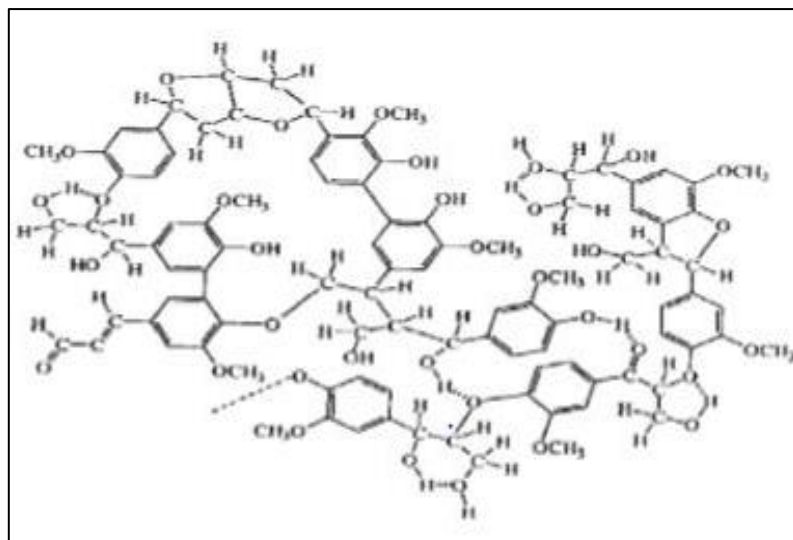
**Figura 2-1:** Estructura de la Celulosa

Fuente: (Calderón, s.f).



**Figura 3-1:** Estructura de la Hemicelulosa

Fuente: (Calderón, s.f).



**Figura 4-1:** Estructura de la Lignina

Fuente: (Calderón, s.f).

Según la investigación, el ácido fosfórico tiene un efecto de deshidratación mejorado al aumentar la concentración. Por tanto, cuando el  $H_3PO_4$  entra en contacto con el precursor, hidroliza los enlaces glucosídicos de los biopolímeros (celulosa, hemicelulosa y lignina), acelerando así la deshidratación y degradación del material impregnado y favoreciendo la interacción entre moléculas adyacentes. Reacciones de condensación aromática y, por tanto, evolución de productos volátiles gaseosos (Pilamonta, 2013 pág. 56).

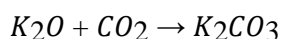
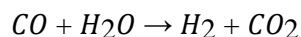
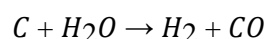
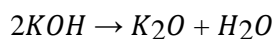
El carbón con bajo contenido de cenizas se prepara comercialmente mediante decapado o mediante la selección adecuada de materias primas, incluyendo los materiales lignocelulósicos y los lavados del carbón se realizan con ácido clorhídrico y ácido fosfórico, a la espera de que se disuelvan los componentes inorgánicos contenidos en el material, pudiendo eliminarse los compuestos de Na, K, Ca, Mg y Fe (Pilamonta, 2013 pág. 57).

### **La activación química con KOH:**

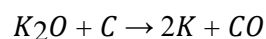
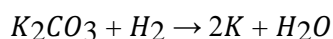
Fue desarrollado en la década de 1970 para la producción del llamado "carbón súper activado" con una superficie específica de aproximadamente 3000 metros cuadrados / g. A diferencia de los otros dos activadores, los precursores preferidos activados con KOH son aquellos con bajo contenido volátil y alto contenido de carbono, tales como carbón mineral de alta calidad, carbón vegetal, coque de petróleo y similares (Pilamonta, 2013 pág. 57). En esta activación, el KOH y el precursor se mezclan en una suspensión acuosa o mediante una simple mezcla física en una proporción de 2: 1 a 4: 1.

Cuando la inmersión se realiza en medio acuoso, la activación se realiza en dos tratamientos térmicos consecutivos en atmósfera inerte (Pilamonta, 2013 pág. 57). La primera vez fue a baja temperatura, pero superior a 200 °C (solo para evaporar agua y dispersar KOH), la segunda vez entre 700 a 900 °C (Pilamonta, 2013 pág. 58).

Las reacciones que gobiernan el mecanismo son:

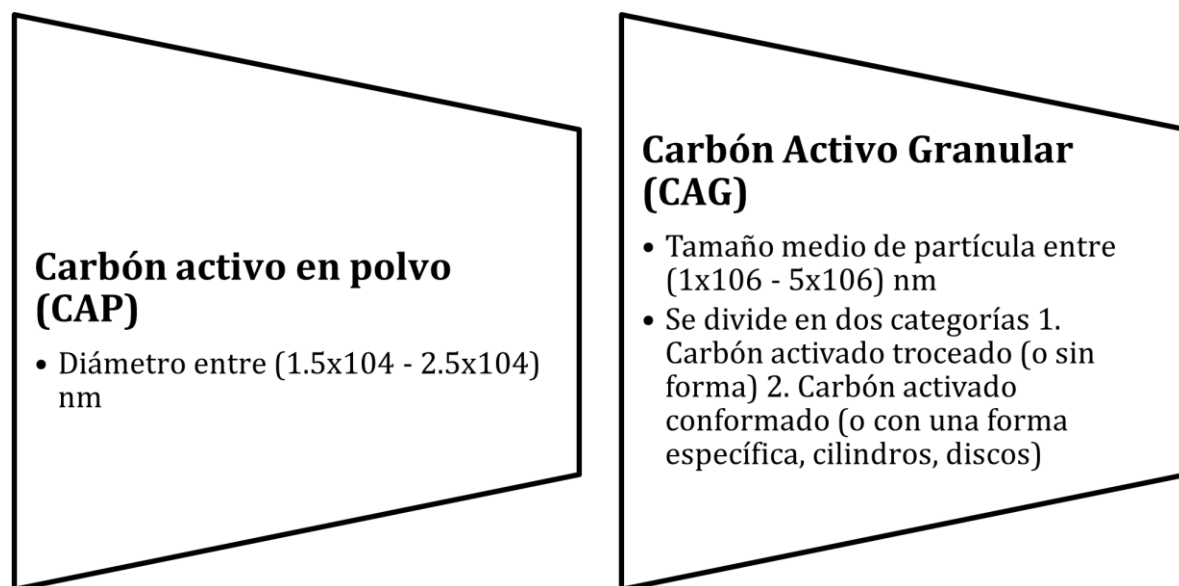


En el segundo tratamiento, cuando es superior a 700°C, se agrega la siguiente reacción a la reacción anterior para formar el K metálico.



#### 1.2.3.7. Tipos de carbones activos

El carbón activado se puede dividir en dos categorías según el tamaño de partícula: CAP y CAG



**Figura 5-1:** Categorías según el tamaño de partícula

**Fuente:** (Pilamonta, 2013).

**Realizado por:** Moya, E. 2020.

#### *1.2.3.8. Aplicaciones del carbón activo*

- Eliminación de impurezas en agua potable y tratamiento de agua. Proceso industrial: El carbón activado impregnado con una pequeña cantidad de plata tiene un efecto de esterilización y se puede utilizar para la purificación del agua potable. En el caso de eliminar los olores de las plantas de tratamiento de aguas residuales, el carbón activado suele estar impregnado con hidróxido de sodio o hidróxido de potasio. En el caso del tratamiento de agua en un proceso industrial, el carbón activado preferido es el carbón activado granular (Desotec, sf pág. 7).
- Uso médico: El carbón activado se usa para tratar intoxicaciones y sobredosis por vía oral. Evita que el veneno se absorba en el estómago. También se utiliza para eliminar impurezas incoloras en productos químicos de la industria farmacéutica (Desotec, sf pág. 7).
- Recuperación de solvente: cuando el solvente está contaminado con impurezas que pueden eliminarse por adsorción, se utilizará carbón activado, que puede proporcionar un método de tratamiento de bajo costo (Desotec, sf pág. 8).
- Purificación de aire y gas: recircule el aire pasando aire continuamente a través de una columna de carbón activado granular. Los filtros de carbón activado granulares se utilizan comúnmente para la purificación de aire y gas para eliminar el vapor de aceite, los olores y otros hidrocarburos del aire y el gas comprimido. Los diseños más comunes utilizan principios de filtración de una o dos etapas, en los que se introduce carbón activado como medio filtrante (Desotec, sf pág. 8).
- Evite la maduración prematura de frutas y verduras: el carbón activado se puede utilizar como adsorbente de etileno para evitar la maduración prematura de frutas y verduras (Desotec, sf pág. 8).
- Recuperación de oro y plata: el carbón activado se utiliza en varios procesos de la minería para recuperar oro y plata de la solución de cianuro. Debido al tamaño relativo y la densidad de carga de estos átomos, la selectividad del carbón activado por el oro es mayor que la selectividad por la plata (Desotec, sf pág. 9).
- Catálisis: El carbón activado se utiliza como catalizador en varias reacciones y como portador de otros catalizadores y como promotor de reacciones específicas en las otras dos reacciones (Desotec, sf pág. 9).
- Decoloración del azúcar, la miel y los dulces: las refinerías de azúcar de remolacha utilizan carbón activado como adsorbente para las impurezas coloreadas; el carbón activado proporciona productos de mayor calidad y también tiene flexibilidad de fabricación (Desotec, sf pág. 9).

- Decoloración de bebidas alcohólicas: El whisky, la cerveza, el vodka y otras bebidas alcohólicas se mejoran mediante el tratamiento con carbón activado, especialmente para eliminar el sabor obtenido tras la destilación de estas bebidas (Desotec, sf pág. 9).
- Industria del petróleo y manteca comestible: La industria del refino de petróleo y manteca comestible es uno de los principales consumidores de carbón activado utilizado en los procesos de purificación de contaminantes y mejora del color (Desotec, sf pág. 9).
- Otras aplicaciones: Utilizado en filtros de cigarrillos, recuperación de yodo del petróleo, recuperación de sustancias bioquímicas absorbibles de difícil depuración, etc (Desotec, sf pág. 9).

#### ***1.2.4. El carbón activo en Ecuador***

En Ecuador, el mercado de carbón activado ha mostrado un crecimiento significativo debido a sus múltiples aplicaciones y beneficios en diferentes campos. Actualmente, este producto no se ha producido en Ecuador, pero la investigación global en este campo se ha incrementado en los últimos años.

De acuerdo con los datos de carbón activado importado y otros materiales minerales naturales, para Ecuador, el principal proveedor es Estados Unidos, y sus importaciones han aumentado en los últimos años. Por ello, es muy importante desarrollar microempresas basadas en materiales de biomasa y producir carbón activado con materias primas de bajo costo, lo que traerá mayores ganancias y agregará valor a los residuos agrícolas industriales como la piel de naranja, que es amigable con el medio ambiente.

#### ***1.2.5. Estructura del carbón activo y proceso de adsorción***

El rendimiento de adsorción del carbón activado depende de su estructura porosa y propiedades químicas, porque su estructura contiene una pequeña cantidad de heteroátomos, como oxígeno, hidrógeno o nitrógeno, y estos heteroátomos hacen que las sustancias polares se retengan débilmente en la superficie del carbón. Carbón activado (Gómez, y otros, 2010 pág. 33).

Dado que los átomos de carbono ubicados en el borde del plano tienen una alta actividad utilizable, debido a que no están saturados con átomos de carbono y tienen electrones libres, estos sitios generalmente están conectados con heteroátomos para producir grupos funcionales de superficie que pueden modificarse por sus propiedades de adsorción (Gómez, y otros, 2010 pág. 33).

De acuerdo con los principios físicos y químicos que controlan el proceso de adsorción en cada agujero, los agujeros se clasifican según el tamaño del agujero. El proceso de adsorción tiene lugar en los microporos y mesoporos, y los macroporos se utilizan como medio de transporte de las sustancias adsorbidas en el interior de las partículas. El proceso de adsorción se lleva a cabo llenando los mesoporos, donde los mesoporos también se utilizan como medio de transporte de macroporos a microporos, y la adsorción se produce por condensación capilar (Gómez, y otros, 2010 pág. 34).

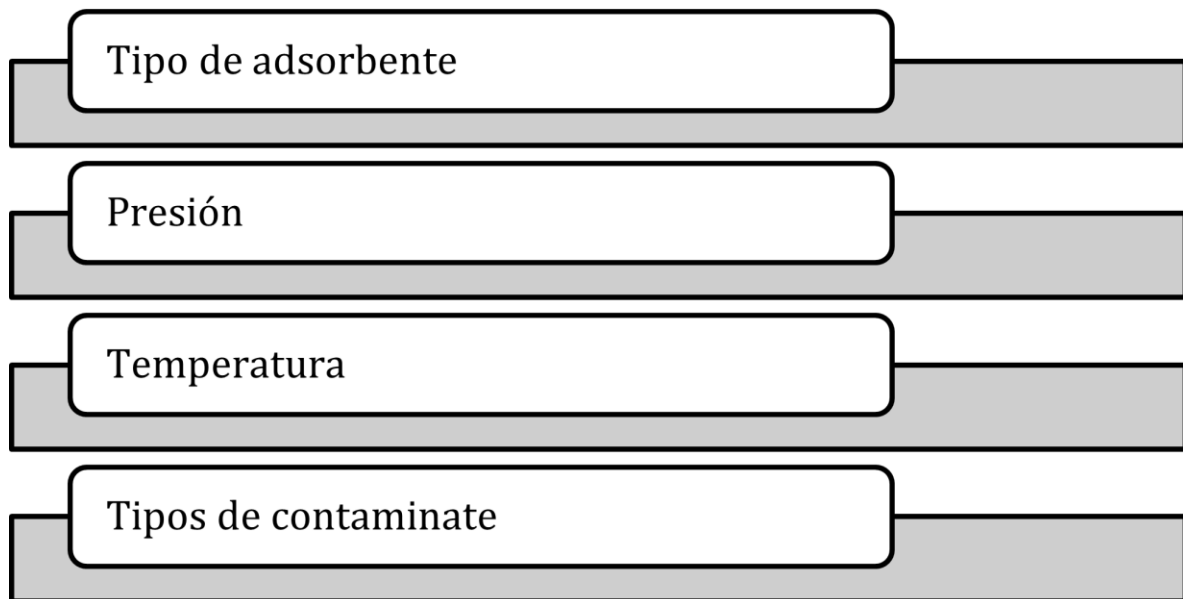
Otra característica adicional del carbón activado es la distribución de macroporos y mesoporos, ya que permiten que los microporos de la fase se transfieran a Se adsorbe. También puede promover la adsorción de partículas más grandes, lo cual es común en los procesos de adsorción en fase líquida (Gómez, y otros, 2010 pág. 34).

#### *1.2.5.1. Proceso de adsorción*

En la actualidad, la adsorción se considera una de las mejores tecnologías de eliminación de contaminantes. Entre los adsorbentes, el carbón activado (CA) se usa ampliamente debido a sus propiedades físicas y químicas y su gran capacidad para adsorber múltiples compuestos. Este proceso implica la inmovilización de moléculas en una superficie sólida debido a la presencia de fuerzas de atracción intermoleculares en ubicaciones específicas de las moléculas llamadas centros activos. El proceso opuesto se llama desorción (Gómez, y otros, 2010 pág. 34).

En términos generales, el proceso de adsorción consiste en atrapar sustancias solubles presentes en la interfaz de la solución, que pueden formarse entre un líquido y un gas, un sólido o dos líquidos diferentes. El sólido que adsorbe las moléculas se llama adsorbente, el material adsorbido se llama adsorbato y el material adsorbido se llama adsorbato. A medida que se reduce la energía cinética de las moléculas adsorbidas, la adsorción es un proceso exotérmico (Gómez, y otros, 2010 pág. 53).

La superficie del adsorbente puede ser homogénea o heterogénea. Superficies homogéneas presentan sitios activos con la misma interacción de fuerzas en toda el área disponible para la adsorción. En la práctica, sin embargo, se encuentran superficies heterogéneas con sitios activos con diferentes niveles de energía (Gómez, y otros, 2010 pág. 44).



**Figura 6-1:** Factores que afectan la adsorción.

**Fuente:** (Rosas, 2009).

**Realizado por:** Moya, E. 2020.

Hay dos teorías principales que describen el proceso de adsorción:

1. Teoría de la cobertura superficial (con una amplia gama de aplicaciones): Inicialmente, una capa de moléculas se adsorbe en la superficie (adsorción monocapa), cuando la primera capa está completamente formada, más moléculas comienzan a adsorberse (adsorción multicapa). A medida que se forman más capas, la fuerza de unión entre las moléculas y el sólido disminuye hasta que solo se produce condensación en las capas posteriores.
2. Teoría del llenado de poros (aplicable a sólidos microporosos): Se propone que el llenado de huecos sea similar a la forma de llenado de contenedores. En los microporos, el proceso de adsorción es mucho más fuerte que en las superficies planas, porque la fuerza de adsorción sobre las moléculas está superpuesta por la vecindad de la pared del poro (Gómez, y otros, 2010 pág. 45).

La adsorción puede ser:

1. Adsorción física: las moléculas están unidas al sólido por las fuerzas de Van der Waals, y la estructura de las moléculas no se ve afectada durante este proceso. A bajas temperaturas, el equilibrio de la adsorción física se produce en muy poco tiempo.
2. Adsorción química: un proceso mucho más lento que la adsorción física. El tiempo necesario para alcanzar un estado estable depende de la presión y la temperatura del proceso. En algunos sistemas, puede llevar días o incluso meses alcanzar un estado estable (Gómez, y otros, 2010 pág. 45).



### 1.2.5.2. Tipos de isothermas de adsorción

Según los seis tipos reconocidos por la IUPAC, las características de los materiales porosos se pueden inferir de la forma de la isoterma.

1. La isoterma de tipo I está rebajada en el eje de abscisas y la presión relativa se indica en el eje de abscisas y, a medida que aumenta la presión relativa, la cantidad de adsorción se acerca a un valor constante. Este tipo de isoterma corresponde a sólidos microporosos. El límite de adsorción depende en gran medida de la relación entre el volumen disponible y el tamaño de los poros (Martín, 1990 pág. 31).
2. Las isothermas de tipo II son la forma normal de isothermas obtenidas a través de sólidos no porosos o macroporosos. Representa adsorción de una sola capa y de varias capas sin restricciones. A menudo se acepta que el punto B que se muestra en la figura representa el valor de presión relativa al que se ha completado el revestimiento de una sola capa, lo que indica el principio de adsorción de múltiples capas (Martín, 1990 pág. 27).
3. Para todo el rango de presión relativa, la isoterma de tipo III sobresale hacia la abscisa. Cuando la afinidad entre el adsorbato y el adsorbente es muy pequeña, esta isoterma se producirá en materiales macroporosos o no porosos. Por tanto, dado que la interacción entre el adsorbato y el adsorbente es pequeña, la influencia del campo de fuerza no se observa a baja presión relativa (Martín, 1990 pág. 27).
4. La isoterma de tipo IV tiene un ciclo de histéresis, que está relacionado con la condensación capilar típica de adsorción / desorción en los mesoporos, y es el valor límite de la capacidad de adsorción dentro del rango superior de la presión relativa. La parte inicial de la isoterma se atribuye a la adsorción de una sola capa porque coincide con la primera región de la isoterma de tipo II. Esta isoterma se produce en el material adsorbente mesoporoso (Martín, 1990 pág. 31).
5. Para los materiales mesoporosos, debido a que la afinidad entre el adsorbato y el adsorbente es pequeña, presenta un ciclo de histéresis, por lo que se obtiene una isoterma tipo V. Esto es muy raro (Martín, 1990 pág. 31).
6. La isoterma de tipo VI representa la adsorción escalonada multicapa realizada sobre una superficie uniforme no porosa. Cada paso que presenta corresponde a una capa de adsorción. Suele ocurrir, por ejemplo, cuando el argón se adsorbe sobre negro de humo grafitizado bajo nitrógeno líquido (77 K) (Martín, 1990 pág. 40).

### 1.2.5.3. Ecuación de Freundlich

La isoterma de adsorción de Freundlich o ecuación de Freundlich es una isoterma de adsorción que relaciona la concentración de soluto en la superficie del adsorbente con la concentración de soluto en el líquido en contacto con él. Fue desarrollado por el matemático, físico y astrónomo alemán Erwin Finlay Freundlich.

El modelo isotérmico de Freundlich se basa en los siguientes principios básicos (Toribio, 2015 pág. 36):

- Temperatura constante.
- Adsorción localizada (sólo en las posiciones definidas de la superficie).
- Superficie heterogénea y rugosa (microporosa).
- No considera la formación de monocapa, sino varias capas en la que tiene lugar la adsorción.
- Distribución exponencial de la energía de las posiciones de adsorción.

La isoterma de adsorción de Freundlich se expresa matemáticamente como:

$$\frac{x}{m} = kp^{\frac{1}{n}} \quad \text{o} \quad \frac{x}{m} = kc^{\frac{1}{n}}$$

La ecuación de la isoterma de Freundlich se puede escribir linealmente de la siguiente manera:

$$\ln qe = \ln(k) + \frac{1}{n} \ln(Ce)$$

Donde:

- $x$  = masa de adsorbato
- $m$  = masa de adsorbente
- $p$  = presión de equilibrio del adsorbato.
- $c$  = concentración de equilibrio del adsorbato en disolución.
- $qe$  = cantidad retenida sobre el sólido en el equilibrio (mmol/g o mg/g)
- $Ce$  = concentración del líquido en el equilibrio (ppm)
- $K$  y  $1/n$  son constantes para un adsorbato y adsorbentes dados

### 1.2.5.4. Ecuación de Langmuir

El modelo de Langmuir se utilizó originalmente para expresar la adsorción de sistemas gas-sólido con carbón activado, pero se ha utilizado ampliamente para estudiar la adsorción de solutos en la fase líquida. En este modelo, la fuerza de atracción entre la molécula y la superficie del adsorbente se basa básicamente en la fuerza física. En su aplicación, se asume que la adsorción ocurre en el mismo sitio

activo en la superficie del adsorbente y la energía es uniforme. Por otro lado, una vez que el soluto ocupa una posición, no se produce ninguna otra adsorción en esa posición.

El modelo de la Isoterma de Langmuir se basa en los siguientes fundamentos (Toribio, 2015 pág. 22):

- Temperatura constante.
- Adsorción localizada (sólo en las posiciones definidas de la superficie), por lo que, si una molécula adsorbida ocupa un espacio, ninguna más puede tomar dicho lugar.
- Superficie homogénea.
- Formación de monocapa de las moléculas adsorbidas.
- Distribución homogénea de la energía de las posiciones de adsorción.

La isoterma de Langmuir, se puede representar de la siguiente manera (Toribio, 2015 pág. 54):

$$q = \frac{q_{max}bCe}{1 + bCe}$$

Donde:

- $q_e$ : cantidad retenida sobre el sólido en el equilibrio (mmol/g o mg/g).
- $q_{m\acute{a}x}$ : cantidad máxima retenida sobre el sólido (mmol/g o mg/g).
- $C_e$ : concentración del líquido en el equilibrio (ppm).
- $b$ : constante empírica de Langmuir en el equilibrio.

La isoterma de adsorción de Langmuir se deriva de los siguientes supuestos (Pilamonta, 2013 pág. 48):

1. Hay un número fijo de puntos accesibles en la superficie del adsorbente, todos los cuales tienen la misma energía. En otras palabras, toda la superficie del catalizador tiene la misma actividad de adsorción. Esto significa que es una superficie lisa. Sin embargo, se puede utilizar el concepto de superficie irregular con centros activos, asumiendo que todos los centros activos tienen la misma actividad de adsorción mientras que el resto de las superficies no, o se puede utilizar una actividad media.
2. No hay interacción entre las moléculas adsorbidas. Esto significa que la cantidad de adsorción no tiene ningún efecto sobre la tasa de adsorción de cada centro.
3. El grado de adsorción es menor que una monocapa completa en la superficie.
4. La adsorción es reversible.

### ***1.2.6. Parámetros de adsorción del carbón activo***

#### *1.2.6.1. Porosidad*

La correcta distribución de los tamaños de los poros es necesaria para facilitar el proceso de adsorción promoviendo los sitios de adsorción y los canales adecuados para transportar los adsorbatos. El método de caracterización estándar para determinar el volumen de macroporos y mesoporos es la intrusión de mercurio. Este método se basa en el hecho de que el mercurio líquido solo puede penetrar en la estructura porosa del carbón activado bajo presión (Ures, y otros, 2015 pág. 24).

La presión aplicada es una función del tamaño del poro en el que se introduce el mercurio y su relación viene dada por la ecuación de Washburn.

$$r = -\frac{2\gamma\cos\theta}{p}$$

#### *1.2.6.2. Radio medio de poro*

Es básicamente una función del tipo de materia prima y apenas se ve afectada por las condiciones de operación. Este método analítico es costoso y lento, por lo que no se evalúa con frecuencia, pero es una de las variables más importantes en la selección del carbón activado y generalmente se reporta en nm (García, y otros, 2017 pág. 43).

#### *1.2.6.3. Volumen total del poro*

Esta variable se expresa en mg /g y es función de la materia prima y del grado de activación, es decir, su valor depende del tamaño medio de los poros y de la superficie de carbono. El método analítico para determinarlo es el mismo que el tamaño medio de poro, que es un parámetro índice de la capacidad de adsorción del carbón activado (Marquez, 2007 pág. 46).

#### *1.2.6.4. Área superficial*

El área de superficie específica constituye el área total por unidad de masa del sólido. Para sólidos porosos, incluye el área de la superficie formada por la estructura porosa del material. Su determinación se obtiene mediante la medición experimental de las isotermas de adsorción y el cálculo de la capacidad máxima de adsorción en la monocapa.

La superficie específica del carbón activado puede estar en el rango de 500 m<sup>2</sup> /g a 2000 m<sup>2</sup> / g, e incluso puede alcanzar los 3000 m<sup>2</sup> / g. El alto valor de la superficie específica se debe a la porosidad del material carbonoso. En principio, se cree que cuanto mayor sea la superficie específica, mejores serán las características del adsorbente como carbón activado, porque más centros adsorberán el adsorbato. Sin embargo, esto no siempre es correcto, ya que dependiendo del tamaño de las moléculas de adsorbato (puede suceder que estos adsorbatos sean más grandes que algunos poros), se puede acercar la superficie (Marquez, 2007 pág. 37).

La mayoría de estos adsorbtivos comparten las siguientes características:

- Son inertes químicamente.
- Tienen una presión de saturación elevada.
- La temperatura de adsorción se puede lograr de manera simple con sistema criogénico (Nitrógeno, Dióxido de carbono sólido, hielo).
- Tienen una forma molecular bastante cercana a una esfera.

#### *1.2.6.5. Temperatura*

Dado que la tasa de adsorción es exotérmica, el grado de adsorción puede aumentar a medida que disminuye la temperatura. Sin embargo, el aumento de la temperatura también aumenta la difusión del soluto en la fase líquida hacia el centro de adsorción, lo que finalmente conduce a una mayor adsorción (Ures, y otros, 2015 pág. 37).

Una diferencia importante en la adsorción de los solutos con respecto a los gases se encuentra en el rol de la temperatura. Un aumento de la temperatura incrementa la tendencia de un gas a escapar de la interfaz, lo que provoca una reducción de la adsorción. Sin embargo, en adsorción desde líquidos, la influencia de la temperatura en la afinidad de los disolventes es dominante (Ures, y otros, 2015 pág. 13).

#### *1.2.6.6. Características fisicoquímicas del adsorbato*

Generalmente, la capacidad de adsorción del compuesto aumenta aumentando su peso molecular y aumentando el número de grupos funcionales tales como dobles enlaces y halógenos. Las moléculas grandes se adsorben a CA mejor que las moléculas pequeñas. La solubilidad de los solutos también está directamente relacionada con la adsorción (Ures, y otros, 2015 pág. 14).

Existe una relación inversa entre la capacidad de adsorción de un soluto particular y su solubilidad en el disolvente desde el cual se produce la adsorción. Una alta solubilidad implica que los enlaces

soluto-disolvente son más fuertes que las fuerzas de atracción entre el soluto y el adsorbente (Ures, y otros, 2015 pág. 14).

#### *1.2.6.7. pH*

Las moléculas orgánicas forman iones negativos a pH alto, iones positivos a pH bajo y moléculas neutras a pH medio. En condiciones neutrales, la adsorción de la mayoría de los materiales orgánicos es alta. Generalmente, la adsorción de CA en la fase líquida de contaminantes orgánicos aumenta con la disminución del pH. Este efecto se produce al neutralizar la carga negativa en la superficie del CA a pH bajo (Ures, y otros, 2015 pág. 16).

La neutralización de la carga negativa reduce la barrera a la difusión y conduce a un gran número de centros de adsorción activos. El alcance de este efecto varía con la tecnología de activación del carbón. Debido a los grupos funcionales ácidos o básicos en CA, la diferencia de pH aumentará a su vez. Estos grupos se pueden liberar simplemente contactando agua destilada, que es más eficaz que los grupos funcionales adheridos a la superficie. Se encuentra una relación inversa entre la capacidad de adsorción y la acidez superficial (Ures, y otros, 2015 pág. 17).

#### *1.2.6.8. Tiempo de contacto*

Se requiere suficiente tiempo de contacto para que las moléculas de la sustancia adsorbida puedan interactuar con el sólido adsorbido y alcanzar el equilibrio, maximizando así la eficiencia de adsorción.

#### *1.2.6.9. Densidad aparente*

Es el peso del carbón completamente seco en el aire en g / cm<sup>3</sup>, que incluye el volumen de poros y el volumen de espacios entre partículas. Esta variable es la base para establecer el volumen del lecho requerido para una gran cantidad de carbón activado granular. Dado que una densidad más alta puede proporcionar una mejor actividad, también se puede utilizar como referencia para identificar el carbón activado de alta calidad (Soto, 2007 pág. 41).

#### *1.2.6.10. Tamaño de partículas*

El tamaño más pequeño proporciona un radio de adsorción más rápido, lo que reduce el tiempo de contacto requerido. Cuanto más fina sea la partícula de un determinado carbón activado, mayor será el área de superficie y más rápida será la tasa cinética de absorción. En un sistema de fase gaseosa, debe considerarse junto con la caída de presión, lo que afectará los costos de energía. La selección cuidadosa del tamaño de partícula puede proporcionar claras ventajas operativas (Soto, 2007 pág. 44).

#### *1.2.6.11. Dureza*

Mide la resistencia al agotamiento del carbón activado, que es un índice importante para mantener su integridad física y mantener la fricción generada por el impacto. Hay varias formas de evaluarlo, aunque desafortunadamente, ninguna puede simular las condiciones reales que causan la corrosión y descomposición del carbón en las diferentes etapas del uso del carbón (Soto, 2007 pág. 44).

#### *1.2.6.12. Contenido de ceniza*

Son residuos que quedan tras la calcinación del carbón a 650 ° C hasta alcanzar un peso constante. Es un indicador de la calidad del carbón consumido. Reduce la actividad y la eficiencia de reactivación de todo el carbón activado, y su cantidad y composición afectará la adsorción y ciertas propiedades del carbón activado (García, 2013 pág. 43).

#### *1.2.6.13. Materias solubles en agua*

Son cenizas (y / o sustancias inorgánicas) que son solubles en agua. En algunas aplicaciones, el producto procesado se verá afectado por la cantidad y el tipo de estas sustancias. En el caso del tratamiento del agua, este atributo puede volverse importante al afectar el pH, que es una estimación de la pureza del carbón activado en relación con las sustancias extraíbles en estos medios (Hernández, y otros, 2017 pág. 43).

### **1.2.7. Cadmio**

Elemento químico relativamente raro, símbolo Cd, número atómico 48; está estrechamente relacionado con el zinc, y el zinc también está relacionado con él en la naturaleza. Es un metal

maleable, blanco argentino, ligeramente azulado. Es más suave y resistente que el zinc, pero un poco más duro que el estaño. A 20°C (68°F), el peso atómico es 112,40 y la densidad relativa es 8,65 (Lenntech, 2020 pág. 3).

Su punto de fusión es de 320,9°C (610°F) y su punto de ebullición es de 765°C (1410°F), que es más bajo que el zinc. Hay 8 isótopos estables en la naturaleza y se han descrito 11 tipos artificiales de radioisótopos inestables. El cadmio es un miembro del grupo II (zinc, cadmio y mercurio) de la tabla periódica de elementos, y las propiedades químicas que se muestran en las soluciones de sulfato ácido se encuentran entre las del zinc metálico. El cadmio es divalente en todos los compuestos estables y su ion es incoloro (Lenntech, 2020 pág. 3).

No se encuentra cadmio libre en la naturaleza, y el único plomo verde mineral de cadmio (sulfuro de cadmio) no es una fuente comercial del metal. Casi todos los productos producidos se obtienen como subproductos de la fundición y refinación del mineral de zinc, y el contenido de mineral de zinc suele ser del 0,2% al 0,4%. Estados Unidos, Canadá, México, Australia, Bélgica, Luxemburgo y la República de Corea son fuentes importantes, aunque no todos son productores (Lenntech, 2020 pág. 4).

En el pasado, un uso comercial importante del cadmio era como recubrimiento electrodepositado sobre hierro o acero para prevenir la corrosión. La segunda aplicación es en baterías de níquel-cadmio y la tercera aplicación son reactivos químicos y pigmentos (Lenntech, 2020 pág. 4).

Las aleaciones con puntos de fusión bastante bajos son similares a los metales de Wood y se utilizan en rociadores y, en menor medida, aleaciones de latón (latón), soldaduras y cojinetes. Los compuestos de cadmio se utilizan como estabilizadores en la producción de plásticos y fósforo-cadmio. Debido a su poderosa capacidad para absorber neutrones, especialmente el isótopo 113, puede usarse para recubrir barras de control y reactores nucleares (Lenntech, 2020 pág. 5).

#### *1.2.7.1. Efecto del Cadmio sobre la salud*

El cadmio existe principalmente en la corteza terrestre. Esto siempre ocurre en combinación con zinc. Como subproducto inevitable de los extractos de zinc, plomo y cobre, el cadmio también pertenece a la industria. Después de la aplicación, ingresa al medio ambiente principalmente a través del suelo porque está presente en fertilizantes y pesticidas (Lenntech, 2020 pág. 6).

La absorción humana de cadmio se logra principalmente a través de los alimentos. Los alimentos ricos en cadmio pueden aumentar considerablemente la concentración de cadmio en el cuerpo humano. Algunos ejemplos son pasteles, setas, mariscos, mejillones, cacao y algas secas (Lenntech, 2020 pág. 6).



Cuando las personas fuman, están expuestas a niveles muy altos. El humo del tabaco trae cadmio a los pulmones. La sangre transporta el cadmio a otras partes del cuerpo, mejorando el efecto al aumentar el cadmio que ya está presente en los alimentos ricos en cadmio (Lenntech, 2020 pág. 7).

Las personas que viven cerca de vertederos de desechos peligrosos o fábricas que liberan cadmio al aire y las personas que trabajan en la industria de refinación de metales pueden experimentar otra exposición alta. Cuando las personas respiran cadmio, puede dañar gravemente los pulmones. Esto incluso puede provocar la muerte (Lenntech, 2020 pág. 8).

El cadmio se transporta primero a través de la sangre hasta el hígado. Allí se combina con proteínas para formar complejos, que son transportados a los riñones. El cadmio se acumula en los riñones y puede dañar el mecanismo de filtración. Esto hace que el cuerpo excrete proteínas y azúcares esenciales, que pueden dañar los riñones. Se necesita mucho tiempo para que el cadmio acumulado en el riñón sea excretado del cuerpo humano (Lenntech, 2020 pág. 8).

Otros efectos sobre la salud que pueden ser causados por el Cadmio son (Lenntech, 2020 pág. 8):

- Diarreas, dolor de estómago y vómitos severos
- Fractura de huesos
- Fallos en la reproducción y posibilidad incluso de infertilidad
- Daño al sistema nervioso central
- Daño al sistema inmune
- Desordenes psicológicos
- Posible daño en el ADN o desarrollo de cáncer.

#### *1.2.7.2. Efectos ambientales del Cadmio*

Naturalmente, se liberan grandes cantidades de cadmio al medio ambiente, alrededor de 25.000 toneladas por año. La mitad del cadmio se libera en los ríos a través de la descomposición de las rocas y algo de cadmio se libera al aire a través de los incendios forestales y los volcanes. El resto del cadmio se libera a través de actividades humanas (como la fabricación) (Lenntech, 2020 pág. 9).

La mayor parte de las aguas residuales de la industria que contienen cadmio terminan en el suelo. La causa de estos flujos de residuos es, por ejemplo, la producción de zinc, minerales de fosfato y fertilizantes en la industria biológica. El cadmio en el flujo de desechos también puede ingresar al aire al quemar desechos municipales y combustibles fósiles. De acuerdo con las regulaciones, solo una pequeña cantidad de cadmio ingresa al agua a través de las aguas residuales descargadas de casas o industrias (Lenntech, 2020 pág. 11).

Otra fuente importante de emisiones de cadmio es la producción de fertilizantes fosfatados artificiales. Después de aplicar fertilizantes químicos en la granja, parte del cadmio eventualmente ingresará al suelo, y cuando el fabricante arroje los residuos de fertilizantes, el cadmio restante eventualmente ingresará al agua superficial (Lenntech, 2020 pág. 11).

El cadmio se puede transportar a largas distancias después de ser absorbido por los lodos. Este lodo rico en cadmio contamina las aguas superficiales y el suelo. El cadmio es fuertemente absorbido por la materia orgánica del suelo. Cuando el cadmio está presente en el suelo, será extremadamente peligroso y aumentará la ingesta de alimentos. El suelo ácido aumentará la absorción de cadmio por las plantas. Esto puede causar daño a los animales que dependen de las plantas para sobrevivir. El cadmio puede acumularse en el cuerpo, especialmente cuando comen muchas plantas diferentes. Por lo tanto, el riñón de la vaca puede contener una gran cantidad de cadmio (Lenntech, 2020 pág. 14).

Y otros animales importantes del suelo son extremadamente sensibles al envenenamiento por cadmio. Pueden morir en concentraciones muy bajas, lo que repercute en la estructura del suelo. Cuando la concentración de cadmio en el suelo es alta, esto puede afectar los procesos microbianos en el suelo y amenazar todo el ecosistema del suelo (Lenntech, 2020 pág. 14).

En los ecosistemas acuáticos, el cadmio se puede bioacumular en mejillones, ostras, camarones, langostas y peces. La sensibilidad del cadmio a los organismos acuáticos varía enormemente. Como todos sabemos, los organismos de agua salada son más resistentes al envenenamiento por cadmio que los organismos de agua dulce. Los animales que comen o beben cadmio a veces experimentan presión arterial alta, daño hepático y daño cerebral y nervioso (Lenntech, 2020 pág. 14).

El cadmio es un elemento natural que se encuentra en la corteza terrestre. Todo el suelo y las rocas, incluidos el carbón y los fertilizantes minerales, contienen algo de cadmio. El cadmio no se corroe fácilmente y se ha utilizado para fabricar baterías, pigmentos, revestimientos metálicos y plásticos. Se encuentran de forma natural o artificial en los alimentos. Es difícil evitar la ingestión. Por un lado, algunos alimentos ya son ricos en cadmio, como la salsa de carne, las setas, los mariscos, los mejillones, el cacao y algunas setas (Moreno, 2014 pág. 45).

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1.1 *Objetivos*

##### 2.1.1.1. *Objetivo general*

- Obtener carbón activo a partir de cáscaras de naranja (*Citrus Sinensis Linn Osbeck*) mediante tratamiento químico para la remoción de Cadmio a nivel de laboratorio.

##### 2.1.1.2. *Objetivos específicos*

- Caracterizar la cáscara de naranja (*Citrus Sinensis Linn Osbeck*) utilizando la metodología certificada (AOAC y ASTM).
- Obtener y caracterizar carbón activo a partir de cáscaras de naranja (*Citrus Sinensis Linn Osbeck*) mediante activación química usando ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>).
- Evaluar la capacidad adsorbtiva de cadmio utilizando el carbón activado obtenido mediante un medio acuoso simulando su contaminación con Cadmio.

#### **Hipótesis y especificación de variables**

##### 2.1.2. *Hipótesis general*

- La cascara de naranja (*Citrus Sinensis Linn Osbeck*) es una materia prima adecuada para la elaboración de carbón activo para la absorción de Cadmio.

##### 2.1.3. *Hipótesis específica*

- La temperatura de carbonización en el reactor de pirólisis afecta en el rendimiento de carbonización de la cáscara de naranja (*Citrus Sinensis Linn Osbeck*).
- La variación de ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) tiene efecto sobre la capacidad de absorción del carbón activado a partir de naranja (*Citrus Sinensis Linn Osbeck*).

- El carbón activo a partir de cáscara de naranja (*Citrus Sinensis Linn Osbeck*) posee propiedades que lo hacen adecuado para el proceso de adsorción de Cadmio a nivel de laboratorio.

#### ***2.1.4. Identificación de variables***

##### *2.1.4.1. Variables independientes*

- Concentración de ácido fosfórico
- Temperatura de carbonización
- Tiempo de carbonización

##### *2.1.4.2. Variables dependientes*

- Obtención del carbón activo

2.1.5. Operacionalización de variables

Tabla 1-2: Operacionalización de variables

Tipo de variable	Variable	Subvariable	Definición operacional	Indicadores	Instrumento de medición
INDEPENDIENTE	Concentración de ácido fosfórico	Área superficial	El área superficial de un objeto sólido es una medida del área total que ocupa la superficie del objeto. Se define como la capacidad de absorción de un cuerpo.	Área mg Cd adsorbido/g carbón	Isotermas de adsorción
		Capacidad adsortiva	Se define como la capacidad de absorción de un cuerpo.	mg Cd adsorbido/g carbón	Isotermas de adsorción
		Independiente Cuantitativa	Concentración de ácido fosfórico utilizada en la activación química del carbón activo.	% H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Cálculos de concentración

	Temperatura de carbonización	Independiente Cuantitativa	Temperatura a la que es carbonizada la cascara de naranja para la formación de carbón.	Temperatura	Reactor de pirolisis
	Tiempo de carbonización	Independiente Cuantitativa	Tiempo en el que es carbonizada la cascara de naranja para la formación de carbón.	Tiempo	Reactor de pirolisis
<b>DEPENDIENTE</b>	Obtención del carbón activo	Rendimiento	El rendimiento del proceso mide la cantidad de producto terminado que se obtiene a partir de una materia prima específica.	Biomasa alimentada / Carbón activo obtenido	Porcentaje obtenido

Realizado por: Moya, E. 2021.

### 2.1.6. Matriz de consistencia

**Tabla 2-2:** Matriz de consistencia

<b>Aspectos Generales</b>	Problema general	Según el Ministerio de Ambiente (MAE) se genera 2525.10 Tm/año de residuos inorgánicos (el 61% de los residuos sólidos totales), dado que la mayoría de las empresas y microempresas optan por disponer de los residuos orgánicos en vertederos controlados o utilizarlos como alimento para animales sin mayores beneficios económicos, existen muchas materias
---------------------------	------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

		<p>primas disponibles para la producción de carbón activado. Ante la gran demanda de desecho de cáscara de naranja surge la idea de utilizar los mismos para la transformación en carbón activado el cual será utilizado para la remoción de Cadmio.</p>
	Objetivo general	<p>Elaborar carbón activo a partir de cáscaras de naranja (<i>Citrus Sinensis</i> Linn Osbeck) mediante tratamiento químico para la remoción de Cadmio a nivel de laboratorio.</p>
	Hipótesis general	<p>La cascara de naranja (<i>Citrus Sinensis</i> Linn Osbeck) es una materia prima adecuada para la elaboración de carbón activo para la absorción de Cadmio.</p>
	Problemas específicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>•En Ecuador al existir mucha cascara de naranja como desecho se presenta como un contaminante por su abundancia, ya que son desechadas por las empresas y micro empresas que realizan el zumo de dicha fruta lo que nos lleva a realizar la caracterización de este residuo para ver si es una materia prima factible para la realización de carbón activo.</li> <li>•Por la gran cantidad de cascara de naranja desechada se busca obtener carbón activo a partir de dicho residuo mediante una activación química con ácido fosfórico (<math>H_3PO_4</math>) obteniendo un producto final con una calidad óptima y así reducir la contaminación de cáscara de naranja.</li> <li>•Comprobar la capacidad adsortiva del carbón activo a base de cascara de naranja en la filtración de Cadmio en un medio acuoso simulado, verificando la calidad del carbón activo obtenido.</li> </ul>

	Objetivos específicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Caracterizar la cáscara de naranja (<i>Citrus Sinensis</i> Linn Osbeck) utilizando la metodología certificada (AOAC y ASTM).</li> <li>•Obtener carbón activo a partir de cáscaras de naranja (<i>Citrus Sinensis</i> Linn Osbeck) mediante activación química usando ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>).</li> <li>•Evaluar la capacidad adsorptiva de cadmio utilizando el carbón activado obtenido mediante un medio acuoso simulando su contaminación con Cadmio.</li> </ul>
	Hipótesis específicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La temperatura de carbonización en el reactor de pirolisis afecta en el rendimiento de carbonización de la cáscara de naranja (<i>Citrus Sinensis</i> Linn Osbeck).</li> <li>• La variación de ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) tiene efecto sobre la capacidad de absorción del carbón activado a partir de naranja (<i>Citrus Sinensis</i> Linn Osbeck).</li> <li>• El carbón activo a partir de cáscara de naranja (<i>Citrus Sinensis</i> Linn Osbeck) posee propiedades que lo hacen adecuado para el proceso de adsorción de Cadmio a nivel de laboratorio.</li> </ul>
	Variables de las hipótesis específicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Composición del carbón activo</li> <li>• Concentración de ácido fosfórico</li> <li>• Temperatura de carbonización</li> <li>• Tiempo de carbonización</li> <li>• Obtención del carbón activo</li> </ul> <p>Propiedades fisicoquímicas del carbón activo</p>



	Técnicas de recolección de datos	<ul style="list-style-type: none"><li>• Revisión bibliográfica.</li><li>• Pruebas a diferentes temperaturas en el reactor de pirolisis</li><li>• Pruebas a diferentes tiempos en el reactor de pirolisis</li><li>• Análisis de la encuesta sobre el uso del carbón activo a nivel industrial</li></ul>
--	----------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Realizado por:** Moya, E. 2021.

## **2.2. Tipo y diseño de investigación**

### **2.2.1. Tipo de investigación**

La presente investigación metodológica es de tipo experimental cuantitativo y cualitativo, la cual tiene como propósito relacionar variables mediante un método experimental; teniendo control sobre las condiciones operacionales en la obtención de carbón activo de cáscaras de naranjas, se realizaron pruebas experimentales para calcular los parámetros fisicoquímicos del producto mediante métodos normalizados como es ASTM y AOAC. Finalmente, la evaluación del producto obtenido optimizado en la absorción de Cadmio en un medio acuoso.

### **Método hipotético deductivo**

De esta forma, se puede procesar parte de la hipótesis o explicación inicial para luego extraer una conclusión específica de ella, que luego será probada experimentalmente. En otras palabras, incluye el paso inicial de inferencia empírica, que puede inferir la hipótesis inicial del experimento.

### **Método lógico inductivo**

De esta manera, se propone el camino opuesto: partiendo de una premisa específica, inferir una conclusión general o general a través de la inducción completa (considerando todos los elementos que constituyen el objeto de investigación) o incompleta (considerando solo ciertos elementos). La investigación se basa en proyectos realizados en el país y en el extranjero para establecer pautas para la correcta regeneración de catalizadores y su uso en pirólisis catalítica.

### **2.2.2. Diseño experimental de la investigación**

#### **2.2.2.1. Descripción de los equipos, materiales, reactivos y materia prima**

El presente trabajo de investigación usa los equipos y materiales disponibles en los laboratorios de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, y los reactivos fueron proporcionados por la misma facultad, la materia prima proviene de los puestos de jugos de la ciudad de Riobamba. En breve, se detalla cada uno de ellos:

## **Equipos**

- Estufa, marca ESCO, modelo Isotherm OFA-54-8, Máx. Temp. 300 °C / 572 °F, volumen 115 L, serial 2015-T01866.
- Balanza analítica digital, marca OHAUS EXPLORER, modelo EX623. Serie: B704630506, Max 220 g, min 0,0001 mg.
- Mufla, marca THERMO SCIENTIFIC, modelo FB1415M, Máx. Temp. 1200 °C (2192 °F), Serie: 0146448301170117.
- Agitador magnético con placa calefactora, marca THERMO FISHER SCIENTIFIC, rango de velocidad 60-1110 1/min, Máx. Temp. 450 °C, serial C1928150309077.
- Molino, marca Arthur Thomas CO, Serial FC-L.PN-15 INV4968.
- Reactor de pirólisis, Laboratorio de Operaciones Unitarias, Facultad de Ciencias, diseño propio, volumen máximo 1,5 L.
- Sorbona, marca Biobase, modelo FH 1200, Serial V.C.B 109527.
- Reverbero, marca Haceb, serial 47106, Laboratorio de bromatología.
- Desecador, marca Kavalier, modelo simax, serial 632416262281.
- espectrofotómetro Infrarrojo
- Peachímetro, marca OAKTON, modelo pH 700, Serial 1524104.
- Adsorción atómica, marca Thermo Scientific, modelo iCE 3000 Series.
- Shaker, marca ESCO, modelo OrbiCult IBS, Serial FC-L.INV-006.

## **Materiales**

- Varilla de agitación
- Crisoles de porcelana
- Capsulas de porcelana
- Matraces Erlenmeyer de 250 mL
- Vasos de precipitación de vidrio de 100 mL, 250 mL, 500 mL
- Probetas de 50 mL, 100 mL
- Papel filtro
- Vidrio reloj
- Corchos de caucho

- Espátula.
- Fundas herméticas
- Bandejas de aluminio con tapa
- Balón de aforo 1000 mL
- Pipetas volumétricas 50 mL
- Pipetas 10 mL
- Pera de succión
- Embudos de 70 mm
- Buretas de 25 mL y 50 mL
- Soporte universal
- Pinzas para bureta
- Frascos ámbar
- Mallas de asbesto
- Pinzas para crisol
- Envases prueba de orina

### **Reactivos**

- Agua destilada
- Agua luz
- Ácido fosfórico
- Etanol 97 %
- Nitrógeno
- Ácido clorhídrico
- Tiosulfato de sodio
- Yodo metálico
- Yoduro de potasio
- Ácido salicílico
- Almidón de yuca
- Cloroformo

### 2.2.2.2. Pruebas experimentales

El diseño factorial  $2^k$  (también conocido como plan de experiencia) es muy utilizado en experimentos que necesitan encontrar el mejor valor de un conjunto de variables, estas variables están determinadas por una serie de valores, que se denominan niveles de variable (Medina, y otros, 2011). Este método nos permite estudiar la influencia de varios factores en la respuesta. Al diseñar un experimento, cambiar los niveles de todos los factores al mismo tiempo, en lugar de cambiar un factor a la vez, puede estudiar la interacción entre estos factores.

Si se calcula el diseño de experimento factorial completo  $2^k$

$$2^3 = 8$$

Donde:

2 = niveles.

3 = variables.

8 = el conjunto de posibles combinaciones.

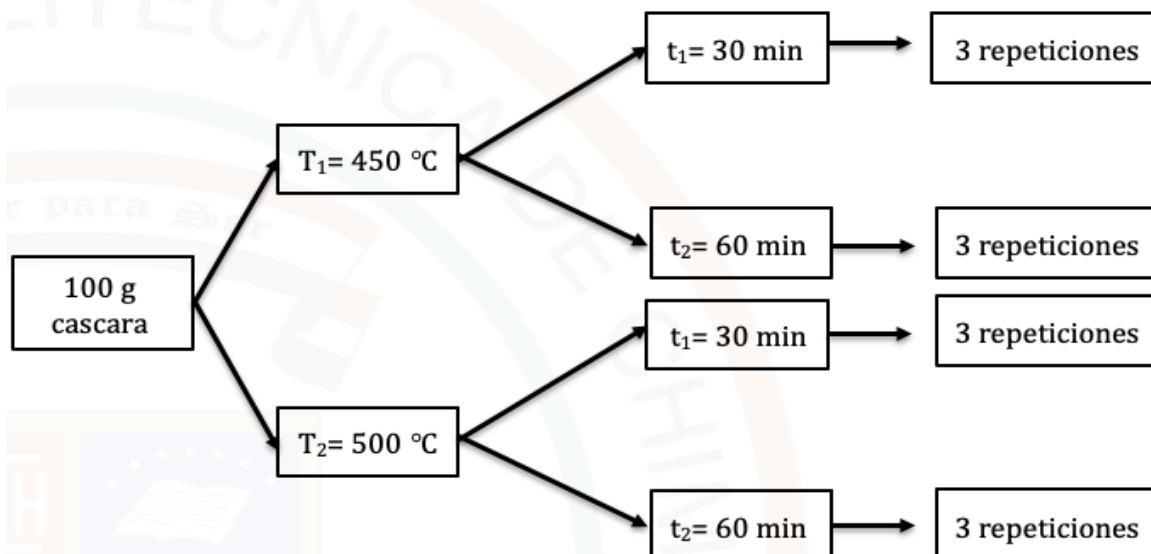
Se trabaja 8 diferentes combinaciones con las 3 a 2 niveles. Lo que permite evaluar las variables y sus interacciones al mismo tiempo. Los niveles son representados por los números 1 y 2 donde: 1 representa el nivel bajo y 2 el nivel alto de cada variable.

**Tabla 3-2:** Diseño experimental de la obtención de carbón activo

Variables operacionales		Unidad de medida	Niveles	
			Bajo (1)	Alto (2)
<b>A</b>	Concentración de ácido fosfórico	Porcentaje (%)	30	40
<b>B</b>	Temperatura de carbonización	Grados Celsius (°C)	450	500

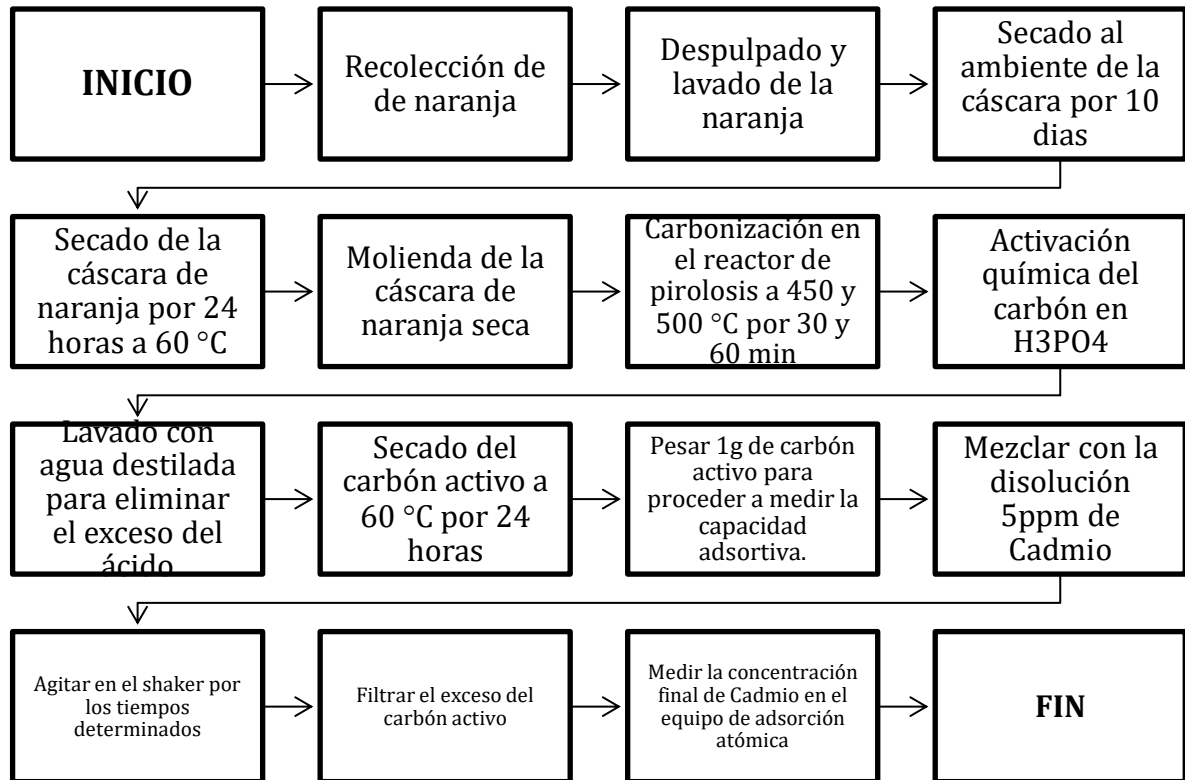
C	Tiempo de carbonización	Horas (H)	0.5	1
---	-------------------------	-----------	-----	---

Realizado por: Moya, E. 2021.



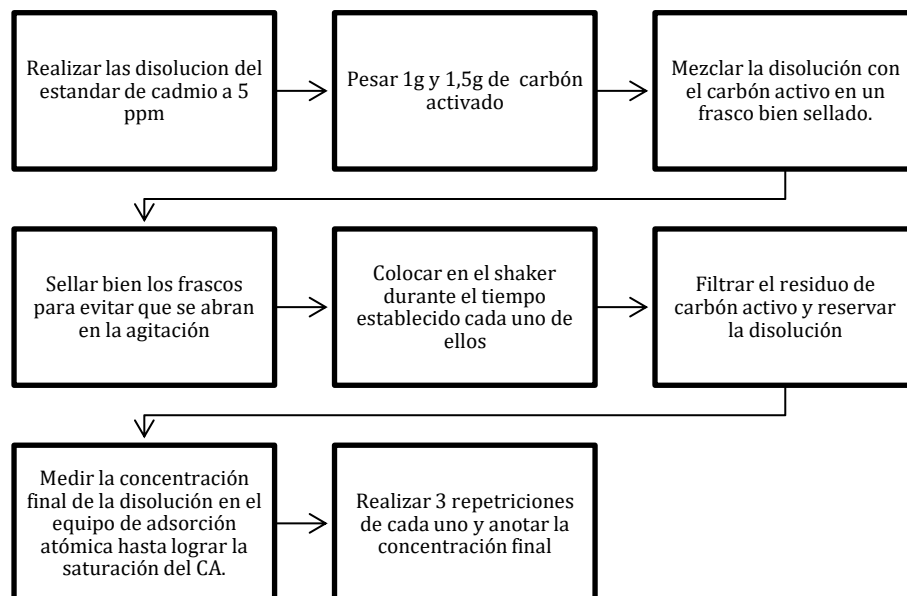
**Figura 7-2:** Diseño experimental de la carbonización

Realizado por: Moya, E. 2021.



**Figura 8-2:** Proceso de obtención del carbón activo

Realizado por: Moya, E. 2021.



**Figura 9-2:** Proceso de adsorción de cadmio del carbón activado.

Realizado por: Moya, E. 2021.

### **2.3. Unidad de análisis**

La unidad de análisis del presente estudio es el carbón activo, que será obtenido a partir de la cáscara de naranja (*Citrus Sinensis Linn Osbeck*). El cual será sometido a un proceso de adsorción de cadmio en un medio acuoso contaminado para comprobar su calidad adsortiva de metales pesados. Para esto se tiene que secar las cáscaras de naranja para luego molerlas para ingresarlas al reactor de pirolisis donde se carbonizarán.

Posteriormente se realizará la activación química del carbón con  $H_3PO_4$  para luego lavar el exceso de ácido con agua destilada y secar el carbón ya activado por 24 horas a  $60^\circ C$  para obtener el carbón activado listo para la prueba de capacidad adsortiva en un medio acuoso contaminado con Cadmio.

### **2.4. Población de estudio**

La población de estudio corresponderá a los puestos de ventas ambulantes de jugo de naranja en la ciudad de Riobamba, los cuales serán visitados para obtener una muestra representativa de la ciudad de Riobamba.

### **2.5. Tamaño de muestra**

Para la determinación del tamaño de muestra se tomará un valor experimental de 100g de cáscara de naranja seca molida. Debido a que se realizarán pruebas a 450, 500 °C por un tiempo de 30 y 60 minutos y que se realizará 3 repeticiones de cada proceso se necesitará una masa final de 1250g de cáscara de naranja seca molida, considerando pérdidas por errores aleatorios.

### **2.6. Selección de la muestra**

Realizar la visita insitu de los puestos ambulantes de venta de jugos de naranja en Riobamba y gestionar que se nos regalen las naranjas exprimidas, después verificar y separar las naranjas exprimidas de otros desechos para su almacenamiento en fundas herméticas.



## **2.7. Técnicas de recolección de datos**

### **2.7.1. Herramientas de procesamiento de información**

En la presente investigación se utilizaron los siguientes programas de procesamiento de información:

- Microsoft Office Word 2013: Se utilizó para edición y elaboración del documento; y procesamiento de textos.
- Microsoft Office Excel 2013: En este software se realizaron cálculos y gráficos de los resultados obtenidos.
- Statgraphics Centurion 18: En este software se realizaron los cálculos estadísticos de los diferentes tratamientos obtenidos.
- Microsoft Office Visio 2013: Se realizaron diagramas de flujo y de proceso.

### **2.7.2. Materiales para la recolección de información**

- Revisión bibliográfica
- Google Chrome
- Safari
- Observación
- Entrevistas

El estudio utilizó datos estadísticos y explicaciones teóricas de la industrialización agrícola, lo que confirma la importancia de agregar valor a los subproductos del procesamiento de alimentos. Otro aspecto importante considerado fueron las visitas y entrevistas con los propietarios de pequeñas y medianas empresas que procesan los diferentes productos de la naranja, así como las estadísticas que registran las instituciones y asociaciones que apoyan la importación de este producto y su uso diario en la industria ecuatoriana.

Se realizaron revisiones bibliográficas de disertaciones, monografías, libros de texto, artículos científicos, revistas científicas y páginas de empresas comerciales, todas ellas enfocadas a la producción de carbón activado.

### 2.7.3. Métodos experimentales

#### 2.7.3.1. Método de determinación de humedad de la cáscara de naranja. (925.09 AOAC)

Se determinó la humedad de la cáscara de naranja valencia por el método 925.09 A.O.A.C (Asociación de químicos analíticos oficiales) se basa en la pérdida de peso de la muestra por evaporación del agua. Para esto se requiere que la muestra sea térmicamente estable y que no contenga una cantidad significativa de compuestos volátiles. El principio operacional del método de determinación de humedad utilizando estufa y balanza analítica, incluye la preparación de la muestra, pesado, secado, enfriado y pesado nuevamente de la muestra (Calderón, s.f pág. 51).

**Tabla 4-2:** Método de determinación de humedad

<b>MÉTODO DE DETERMINACIÓN DE HUMEDAD DE LA CÁSCARA DE NARANJA (925.09 AOAC)</b>	
<b>Materiales</b>	<b>Reactivos</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Estufa</li><li>➤ Balanza analítica</li><li>➤ Desecador</li><li>➤ Crisol</li><li>➤ Pinzas de crisol</li><li>➤ Malla 10 (2 mm)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Muestra de cáscara de naranja</li></ul>
<b>Procedimiento</b>	

- Se pesa el crisol en una balanza analítica y se registra el dato CV
- Triturar la cáscara de naranja hasta alcanzar un tamaño de malla N°10 (2000 μm)
- Adicionar 2g de muestra al crisol y pesar en la balanza analítica, registrar el dato CM1
- Regular la temperatura de la estufa a 105°C.
- Utilizando unas pinzas colocar el crisol en el horno durante un periodo de 3 horas
- Utilizando unas pinzas transferir el crisol a un desecador (con desecante en el fondo) hasta que alcancen la temperatura ambiente
- Pesarse el crisol en una balanza analítica y registrar el dato CM2

**Cálculos:**

$$\%Humedad = \frac{CM2 - CV}{CM1 - CV} * 100\%$$

**Donde:**

CM1= Cápsula con muestra 1

CM2= Cápsula con muestra 2

CV= Cápsula vacía

Realizado por: Moya, E. 2021.

*2.7.3.2. Determinación del contenido de materia volátil en la cáscara de naranja*

Para la determinación de materia volátil se emplea la metodología propuesta por Council for Mineral Technology, 1987 (Jerez, 2014 pág. 35). Consiste en obtener el contenido de volátiles relacionando el peso de la muestra, el peso del crisol y el peso de la muestra tratada según el procedimiento.

**Tabla 5-2:** Determinación de materia volátil

<b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE MATERIA VOLÁTIL EN LA CÁSCARA DE NARANJA</b>	
<b>Materiales</b>	<b>Reactivos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Mufla</li> <li>➤ Balanza analítica</li> <li>➤ Desecador</li> <li>➤ Crisol</li> <li>➤ Pinzas de crisol</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Muestra de cáscara de naranja</li> </ul>
<b>Procedimiento</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Calentar un crisol por 30 minutos en una mufla a 950°C, transcurrido este tiempo apagarla y esperar a que baje la temperatura a 150 °C.</li> <li>➤ Abrir la mufla y con ayuda de las pinzas retirar los crisoles y colocarlos en el desecador hasta temperatura ambiente.</li> <li>➤ Se pesa el crisol con su tapa en la balanza analítica y se anota el peso registrado CV.</li> <li>➤ Se procede a pesar de 1 gramo de muestra CM1.</li> <li>➤ Se introduce el crisol con su tapa en la mufla a 950°C por 7 minutos, transcurrido este tiempo apagarla y esperar a que baje la temperatura a 150 °C.</li> <li>➤ Sacar el crisol de la mufla con ayuda de las pinzas. Enfriar en el desecador hasta la temperatura ambiente y pesar en un tiempo no mayor de 2 minutos.</li> <li>➤ Pesarse el crisol con la muestra y su tapa para obtener la cantidad de volátiles CM2.</li> </ul>	
<b>Cálculos:</b>	
$\%Materia\ volatil = \frac{C3 - C1}{C2 - C1} * 100\%$	
<b>Donde:</b>	
C1= Masa del crisol vacío con su tapa en gramos	
C2= Masa del crisol con su tapa y la muestra en gramos	
C3= Masa del crisol con su tapa y la muestra seca en gramos	

Realizado por: Moya, E. 2021.

### 2.7.3.3. Método para la determinación de cenizas en la cáscara de naranja (923.03 A.O.A.C)

La determinación de las cenizas se realizó mediante el método 923.03 de la A.O.A.C (Asociación de Químicos Analíticos Oficiales) donde se mide el contenido de cenizas de la cáscara de naranja Valencia calcinando una muestra de cáscara de naranja usando una mufla hasta que las cenizas se tornarán blancas o grisáceas.

**Tabla 6-2:** Determinación de cenizas

<b>DETERMINACIÓN DE CENIZAS EN LA CÁSCARA DE NARANJA (MÉTODO 923.03 A.O.A.C)</b>	
<b>Materiales</b>	<b>Reactivos</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Mufla</li><li>➤ Balanza analítica</li><li>➤ Desecador</li><li>➤ Crisol</li><li>➤ Pinzas</li><li>➤ Reverbero</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Muestra de cáscara naranja.</li></ul>
<b>Procedimiento</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Colocar el crisol limpio y seco por una hora en una mufla a 550 °C.</li><li>➤ Sacar de la mufla utilizando unas pinzas y llevar a enfriar en un desecador por una hora o hasta que se encuentre a temperatura ambiente.</li><li>➤ Pesar el crisol en una balanza analítica y registrar los datos (C<sub>1</sub>).</li><li>➤ Pesar 2g de muestra previamente homogenizada, registrar como (C<sub>2</sub>).</li><li>➤ Precalcinar la muestra en un reverbero evitando que se inflame, luego colocar en la mufla a 550° C por 24 horas hasta que las cenizas se tornen blancas o grisáceas.</li><li>➤ Utilizando unas pinzas transferir el crisol a un desecador hasta que alcance la temperatura ambiente</li><li>➤ Pesar el crisol en una balanza analítica y registrar el dato como (C<sub>3</sub>)</li></ul>	

**Cálculos:**

$$\%cenizas = \frac{c_3 - c_1}{c_2 - c_1} * 100$$

**Donde:**

C1= Masa del crisol vacío en gramos

C2= Masa del crisol con la muestra en gramos

C3= Masa del crisol con las cenizas en gramos.

Realizado por: Moya, E. 2021.

#### 2.7.3.4. Método para la determinación de carbón fijo en cáscara de naranja (ASTM D-3172)

El contenido de carbón fijo en cáscara de naranja valencia, se determinó por diferencia una vez conocidas la humedad, las cenizas y las materias volátiles.

**Tabla 7-2:** Determinación de carbono fijo

<b>DETERMINACIÓN DE CARBÓN FIJO EN CÁSCARA DE NARANJA (ASTM D- 3172)</b>
<p><b>Procedimiento</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Se encuentra en el residuo de coque que queda en el crisol luego de determinadas las materias volátiles.</li> <li>➤ Si a este residuo se le restan las cenizas se obtiene el carbono fijo, por lo que generalmente el porcentaje de carbono fijo no se obtiene pesando el residuo, sino por diferencia una vez conocidas la humedad, las cenizas y las materias volátiles.</li> </ul>
<p><b>Cálculos</b></p> $CF = 100\% - (\%MV + \%CC)$ <p><b>Donde:</b></p> <p>%CF= Porcentaje de carbono fijo</p> <p>%MV= Porcentaje de materia volátil</p> <p>%CC= Porcentaje de contenido de cenizas</p>

Realizado por: Moya, E. 2021.

*2.7.3.5. Método de prueba estándar para Contenido Total de ceniza de carbón activo (ASTM D2866-11)*

Una muestra exactamente pesada de carbón activado secado se colocó en un horno de mufla a temperatura controlada durante un periodo de tiempo. Cuando se alcanzó un peso constante, el crisol se enfría a temperatura ambiente en un desecador y se volvió a pesar. El peso del carbono incinerado se expresó como un porcentaje del peso de la muestra original de carbono.

*2.7.3.6. Determinación del número de Yodo del carbón activo (INEN 1 988: 94)*

Esta norma establece el método para determinar la capacidad de adsorción: número de yodo, en el carbón para uso industrial. El número de Yodo se define como los miligramos de yodo adsorbidos por un gramo de carbón activo cuando la concentración del yodo filtrado residual es de 0,02 N.

*2.7.3.7. Prueba en el espectrofotómetro infrarrojo del carbón activo*

En esta prueba se pone una pequeña muestra de carbón activo obtenidos a una concentración de ácido fosfórico de 30% y 40% para verificar que el proceso de activación química haya sido exitoso y se encuentren los radicales fosfatos en la cadena de nuestro carbón activado. Se debe comparar los resultados obtenidos con espectros de onda de los grupos fosfatos obtenidos mediante una revisión bibliográfica.

## CAPÍTULO III

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 3.1. Caracterización de cáscara de naranja (*Citrus Sinensis Linn Osbeck*)

##### 3.1.1. *Humedad*

**Tabla 8-3:** Humedad cáscara de naranja

Análisis proximal				
Húmedad cáscara de naranja				
°N	Temperatura (°C)	Peso muestras antes de incinerar	P.Despues de incinerar (gr) CM2	Cápsula Vacía (gr) CV
1	105	109,9427	108,6164	107,9438
2	105	109,9142	108,6099	107,9173
3	105	94,9098	93,5189	92,8025
Cálculo				
Fórmula				
$\% Humedad = \frac{CM_2 - C_v}{CM_1 - C_v} * 100$				
°N	Resultados % humedad			
1	33,6485			
2	34,6838			
3	33,9961			
%Humedad promedio	34,1095			

**Realizado por:** Moya, E. 2021.

En la tabla 8-3 se muestra los resultados de humedad obtenidos de la cáscara de naranja (*Citrus Sinensis Linn Osbeck*), según (García, y otros, 2017 pág. 63) quienes reportaron un valor de 25,64% para humedad, observando este resultado se tiene que el valor promedio de humedad de la presente investigación es de 34,10%, el cual posee una diferencia significativa esto debido a la ubicación de nuestro país en una zona tropical-húmeda y por ser un tipo de naranja distinta. Lo que significa que, para utilizar cáscara de naranja como precursor del carbón activado, se debe utilizar mucha energía para eliminar el agua, lo que significa mayores costos de energía.



### 3.1.2. Ceniza

**Tabla 9-3:** Ceniza cáscara de naranja

Análisis proximal				
Cenizas cáscara de naranja				
°N	Temperatura (°C)	Masa del crisol vacío (gr) C1	Masa del crisol con muestra (gr) C2	masa del crisol con cenizas (gr) C3
1	550	36,7250	38,7398	36,7625
2	550	45,2784	47,2932	45,3186
3	550	38,8123	40,8321	38,8553
Cálculo				
Fórmula				
$\% \text{ Cenizas} = \frac{C_3 - C_1}{C_2 - C_1} * 100$				
°N	Resultados obtenidos % de cenizas			
1	1,8612			
2	1,9952			
3	2,1289			
%Cenizas promedio	1,9951			

Realizado por: Moya, E. 2021.

En la tabla 9-3 se muestra los resultados de cenizas obtenidos de la cáscara de naranja (*Citrus Sinensis Linn Osbeck*), según (García, y otros, 2017 pág. 61) quienes reportaron un valor de 5,44% para cenizas, observando este resultado se tiene que el valor promedio de cenizas de la presente investigación es de 1,99%, comparando las dos investigaciones no existe una diferencia significativa. Esto significa que una pequeña cantidad de materia inorgánica no puede convertirse en carbón activado, lo que tiene un pequeño impacto en la capacidad de adsorción del carbón activado teniendo así un buen rendimiento como materia prima.

### 3.1.3. *Materia volátil*

**Tabla 10-3:** Materia volátil cáscara de naranja

Análisis proximal				
Materia volátil cáscara de naranja				
°N	Temperatura (°C)	Masa del crisol vacío con tapa (g)	Masa crisol con tapa y muestra (g)	con tapa y muestra seca (g)
1	950	53,8953	54,9798	54,0134
2	950	61,4582	62,5427	61,5693
3	950	58,0726	59,1571	58,1783
Cálculo				
Fórmula				
$\% \text{ Materia volátil} = \frac{C3 - C1}{C2 - C1} * 100$				
°N	Resultados obtenidos % materia volátil			
1	10,8898			
2	10,2444			
3	9,7464			
%Materia volátil promedio	10,2935			

**Realizado por:** Moya, E. 2021.

Según (García, y otros, 2017 pág. 62) la materia volátil obtenida en su investigación fue de 9,88% y comparando con los valores obtenidos en la tabla 10-3 donde se obtuvo una materia volátil del 10,29%, los valores no representan una diferencia significativa en el porcentaje de materia volátil. Esta representa la cantidad de materia prima en base seca (Vásquez y Herrera, 2006, pág 41). Estas materias primas se eliminan durante el proceso de carbonización, lo que incidirá en la menor producción de carbono.

### 3.1.4. *Carbón fijo*

$$\% \text{ Carbono fijo} = 100\% - (\%MV + \%CC)$$

$$\% \text{ Carbono fijo} = 100\% - (10,2935 + 1,9951)$$

$$\% \text{ Carbono fijo} = 87,7114$$

De acuerdo con la ecuación obtenida en la metodología (ASTM D-3172) se observa que el carbón fijo representa un alto porcentaje (87.71%). Según (Garcia, y otros, 2017) obtuvieron un carbono fijo de 84,68%, comparando el porcentaje de carbono fijo obtenido en la presente investigación con el valor obtenido por (Garcia, y otros, 2017 pág. 62) no se encuentra una variación significativa en los mismos.

Según (Bastidas, Buelvas, Márquez y Rodríguez, 2010, pág 52) La producción de carbón activado debe utilizar materias primas con alto contenido de carbón, bajo contenido de cenizas y alta producción en masa durante el proceso de carbonización.

Por otro lado, comparando con (Pinzón y Bedoya 2008, pág 74) los resultados de ceniza y carbono fijo de la cáscara de naranja, los valores son 44,43% de carbono fijo y 4,90% en cenizas, y se obtuvo casi el doble de carbón fijo en la cáscara de naranja (*Citrus Sinensis Linn Osbeck*) (87,26 %), esta diferencia puede deberse al tipo de naranja utilizado y a las características del cultivo en Ecuador.

Comparando con (Garcia, y otros, 2017 pág. 86) los valores de carbono fijo y cenizas presentes en la cáscara de naranja son 84,68% y 5,44% respectivamente siendo estos muy similares a los obtenidos en la presente investigación a diferencia del porcentaje de humedad, ya que (Garcia, y otros, 2017 pág. 45) obtuvo un valor de 25,64% y el valor obtenido en la tabla 8-3 fue de 34,10%.

### **3.2. Obtención de carbón activo a partir de cáscara de naranja (*Citrus Sinensis Linn Osbeck*)**

Se obtuvieron aproximadamente 88 gramos de carbón activo por cada una de las muestras del carbón a partir de una muestra de 100 gramos de cáscara de naranja carbonizada, lo que implica un rendimiento del 88% en la obtención del carbón activo. Este rendimiento puede mejorar con un equipamiento adecuado para la producción del carbón activado.

### **3.3. Efecto de las variables operacionales en la obtención de carbón activo (*Citrus Sinensis Linn Osbeck*)**

Las variables estudiadas en el proceso de obtención de carbón activado a partir de cáscara de naranja son: tiempo de carbonización, temperatura de carbonización y porcentaje de ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>).

**Tabla 11-3:** Resultados de obtención del carbón activo

N°	Tratamientos	Variab les	Repeticio nes	cáscara de naranja aliment ada (g)	Carbón obteni do (g)	promedio carbón obteni do (g)	rendimie nto en base seca (%)	Peso del carbón activa do	Rendimie nto obtención CA (%)
1	T1	450 °C 30 MIN	R1	100	28,17	27,66	27,66	87,34	87,43
2			R2		28,36				
3			R3		26,17				
4			R4		27,95				
5	T2	450 °C 60 MIN	R1		28,80	28,10	28,10	88,87	88,87
6			R2		27,79				
7			R3		27,30				
8			R4		28,50				
9	T3	500 °C 30 MIN	R1		27,27	26,46	26,46	87,53	87,53
10			R2		27,02				
11			R3		25,43				
12			R4		26,12				
13	T4	500 °C 60 MIN	R1		24,40	25,34	25,34	87,19	87,19
14			R2		25,58				
15			R3		26,02				
16			R4		25,34				

Realizado por: Moya, E. 2021.

### 3.3.1. Análisis estadístico obtención carbón activo

**Tabla 12-3:** Análisis estadístico (varianza para peso)

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	15,7212	1	15,7212	25,4002	0,0007
B: Tiempo	0,4716	1	0,4716	0,7767	0,4033
AB	2,4336	1	2,4336	3,9321	0,0787
Bloques	2,4186	3	0,8062	1,3012	0,3324
Error total	5,5714	9	0,6190		
Total	26,6213	15			

Realizado por: Moya, E. 2021.

La tabla 13-3 indica que factores son los más importantes y que efecto tendrán sobre nuestra variable peso el factor A temperatura de carbonización tiene un efecto significativo sobre la variable peso debido a que el valor de valor p es menor a 0.05 a diferencia del factor b el cual tiene un valor mayor a 0.05 por lo que no presenta un efecto significativo en la variable peso.

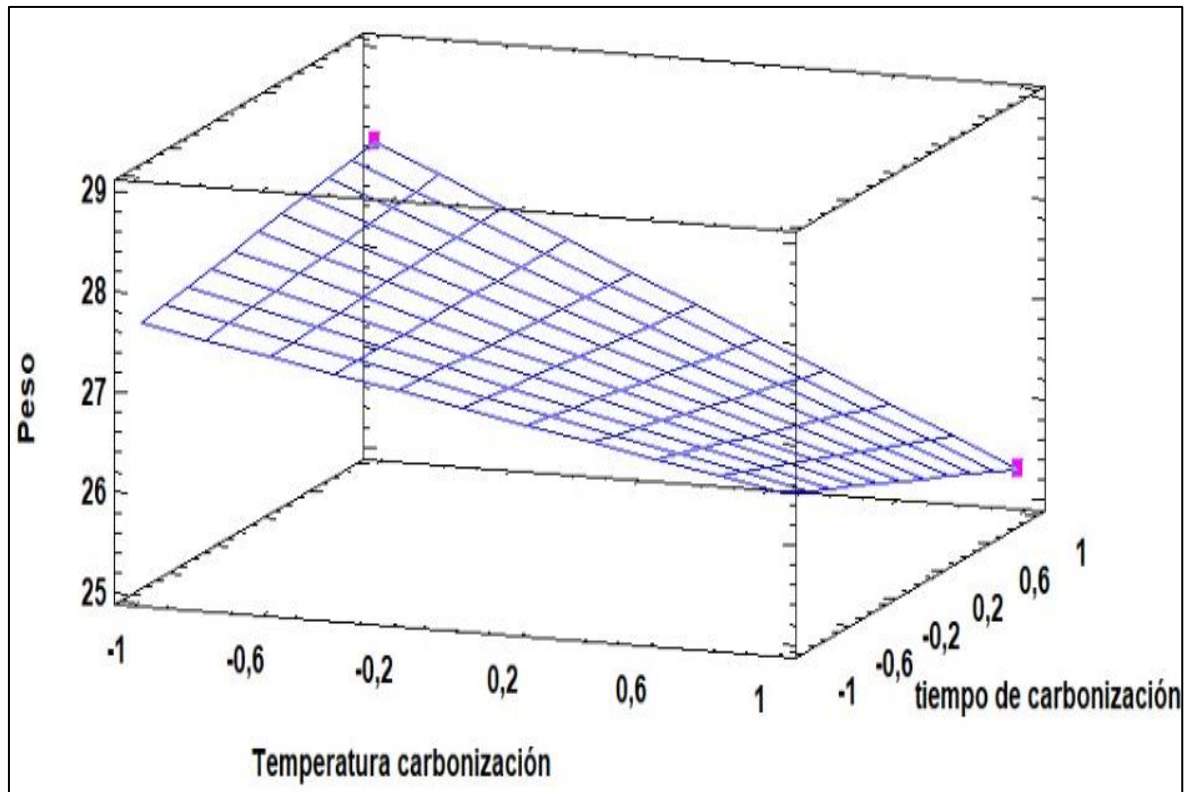
El factor AB representa la interacción entre temperatura de carbonización y tiempo de carbonización al ser un valor mayor a 0,05 de Valor-P quiere decir que no existe una relación a considerar entre la temperatura y tiempo de carbonización, es decir A y B.

**Tabla 13-3:** Valor óptimo

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura de carbonización	-1,0	1,0	-1,0
Tiempo de carbonización	-1,0	1,0	1,0

Realizado por: Moya, E. 2021.

Como se observa en la tabla 14-3 el valor óptimo de las variables operacionales para la obtención de carbón activo son la temperatura de carbonización baja, lo que representa una temperatura de 450 °C, y un tiempo de carbonización alto, lo que representa un tiempo de 60 minutos, con estos resultados el tratamiento óptimo para maximizar el rendimiento de obtención del producto (carbón activo) se da a las condiciones de: 450 °C de temperatura de carbonización y 60 minutos de tiempo de carbonización en el reactor de pirólisis.



**Figura 10-3:** Superficie de respuesta estimada

Realizado por: Moya, E. 2021.

En la figura 9-3 se observa gráficamente el tratamiento óptimo y no óptimo donde el punto más alto nos indica que el punto óptimo es de 450 c y 60 min (- 1.0 - 1.0) y no óptimo el de 500 y 60 min (1.0 - 1.0), este resultado se lo puede comparar con la tabla 14-3 la cual nos indica que el peso que se obtuvo en el tratamiento óptimo (450-60) es de 28.8 y en el tratamiento no óptimo (500-60) es de 24.4 verificando así el resultado obtenido.

### 3.4. Caracterización del carbón activo

#### 3.4.1. Cenizas del carbón activo

**Tabla 14-3:** Cálculo de cenizas carbón activo

Fórmula	Cálculo
$\%Cenizas = \frac{Masa\ final - Crisol\ vacio}{Masa\ muestra} * 100$	$\frac{18,82 - 18,7}{1,01} * 100 = 11,75\%$

Realizado por: Moya, E. 2021.

**Tabla 15-3:** Datos obtención de cenizas del carbón activo

Tratamiento	Cenizas
1	11,75
2	12,12
3	11,56
Promedio % cenizas	11,84

Realizado por: Moya, E. 2021.

La ceniza es un material inorgánico que no se quema durante la activación química. Su cuantificación es necesaria porque afectan el rendimiento del carbón activado como material de adsorción y reduce la eficiencia de activación de este según (Lavado, y otros, 2012 pág. 86).

Se puede ver que el número de tratamiento de la muestra de carbono optimizada es el tratamiento 2 que cumple con el estándar AWWA, que indica que el contenido de cenizas no debe ser más del 15%, el contenido de cenizas se puede reducir a menos del 1% lavando el carbón vegetal elaborado con ácido debe lavarse a fondo con agua. (Ubeda, 2012 pág. 46).

#### 3.4.2. pH del carbón activo

**Tabla 16-3:** pH carbón activo

Repetición	pH
1	1,15
2	1,22
3	1,73

Realizado por: Moya, E. 2021.

Se observó que el valor de pH obtenido tiende a ser ácido, oscilando entre 1,15 y 2,08. Esto puede explicarse por el activador utilizado que forma grupos ácidos en la superficie del carbón activado, que no pueden ser liberados completamente después de ser lavado el carbón activado (Martinez, 2012 pág. 32).

Además, debido a la alta acidez del carbón, la capacidad de adsorción del carbón activado se reduce porque existe una relación inversa entre la capacidad de adsorción y la acidez de la superficie. De manera similar, en condiciones neutrales, la adsorción de la mayoría de los materiales orgánicos también es mayor, porque a medida que se neutraliza la carga negativa, aumentará el número de centros de adsorción activos. (Ures, y otros, 2015 pág. 75).

### 3.4.3. Densidad Aparente del carbón activo

$$\rho = \frac{m(g)}{V(ml)} = \frac{8,1289g}{10ml} = 0,8129 \text{ g/ml}$$

**Tabla 17-3:** Datos densidad aparente del carbón activo

Tratamiento	Masa (g)	Volumen (ml)	Densidad aparente (g/ml)
1	8,1289	10	0,8129
2	4,8966	9	0,5441
3	7,4568	10	0,7457
4	4,8827	8,6	0,5678

Realizado por: Moya, E. 2021.

Se obtuvo como mejor densidad aparente la de tratamiento número 2, que fue de 0,5441 g/ml, ya que según la normativa ASTM D -2854 del carbón activo se debe presentar una densidad aparente que esté dentro del rango de 0.26-0.65 g/ml. Esto significa que en comparación con el carbón activado granular CGC, se debe usar un lecho de mayor volumen para acomodar una cierta calidad de carbón activado.

Estos valores nos permiten determinar que el carbón obtenido es de alta calidad; como una densidad más alta (en comparación con la densidad aparente del carbón activado granular CGC) puede proporcionar una mejor actividad (Soto, 2007 pág. 73).



### 3.4.4. Índice de Yodo del carbón activo

**Tabla 18-3:** Datos densidad aparente del carbón activo

Tipo de carbón	Titulante (Tiosulfato de sodio)	Promedio titulante
30%	30,7	30,6
30%	30,6	
30%	30,7	
40%	39,1	39
40%	38,9	
40%	39,0	

Realizado por: Moya, E. 2021.

#### 3.4.4.1. Cálculo del área superficial

$$\text{Número de Yodo} = \frac{x}{m}$$

$$\frac{x}{m} = \frac{A - (2,2B * cm^3 \text{ usados de solución estandar de tiosulfato de sodio})}{\text{peso de la muestra en g}}$$

$$A = N_1 * 12693,0$$

$N_1$  = normalidad de la solución estandar de yodo

$$B = N_2 * 126,93$$

$N_2$  = normalidad de la solución de tiosulfato de sodio

$$A = 0,1 * 12693,0 = 1269,3$$

$$B = 0,1 * 126,93 = 12,693$$

##### 3.4.4.1.1. Área superficial carbón activo al 30%

$$\frac{x}{m} = \frac{1269,3 - (12,693 * 30,6)}{1}$$

$$\frac{x}{m} = 880,89 \text{ mg/g}$$

##### 3.4.4.1.2. Área superficial carbón activo al 40%

$$\frac{x}{m} = \frac{1269,3 - (12,693 * 39)}{1}$$

$$\frac{x}{m} = 774,27 \text{ mg/g}$$

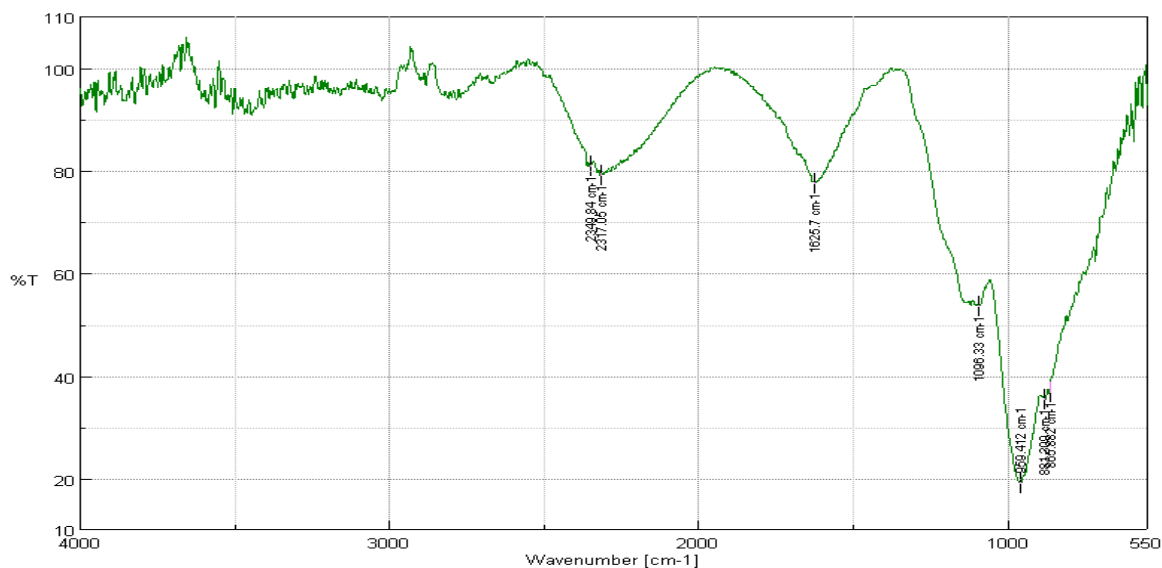
Siguiendo la normativa ASTM D-4607 de carbón activo este valor debe variar entre 500-1200  $m^2/g$  de carbón activado. El índice de yodo es proporcional al área de la superficie, porque el yodo está

contenido en el poro más pequeño donde se produce la adsorción debido a su tamaño, por lo que cuanto mayor es el índice de yodo, mayor es el área de la superficie de este.

Con los resultados obtenidos se puede observar que a mayor concentración de ácido fosfórico con la que es activado el carbón su área superficial es menor, es decir el área superficial es inversamente proporcional a la concentración del agente activante, en este caso el ácido fosfórico. Se obtuvo un área superficial de 880, 89  $mg/g$  con el carbón activado con 30% de ácido fosfórico y un valor de 774, 27  $mg/g$  con el carbón activado que posee un 40% de ácido fosfórico. Siendo el carbón activado al 30% (880,89  $mg/g$ ) el que presenta una area superficial mayor. Comparando con los datos obtenidos por (Peña, y otros, 2012 pág. 85) obtuvieron un valor de área superficial de 943  $mg/g$  es mayor al obtenido en la presente investigación. Esto se atribuye a que el carbón obtenido por (Peña, y otros, 2012 pág. 85) fueron activados en una atmosfera inerte, lo que favorece una mayor generación de centros activos en el carbón activo.

### 3.4.5. Prueba de espectrofotometría del carbón activo

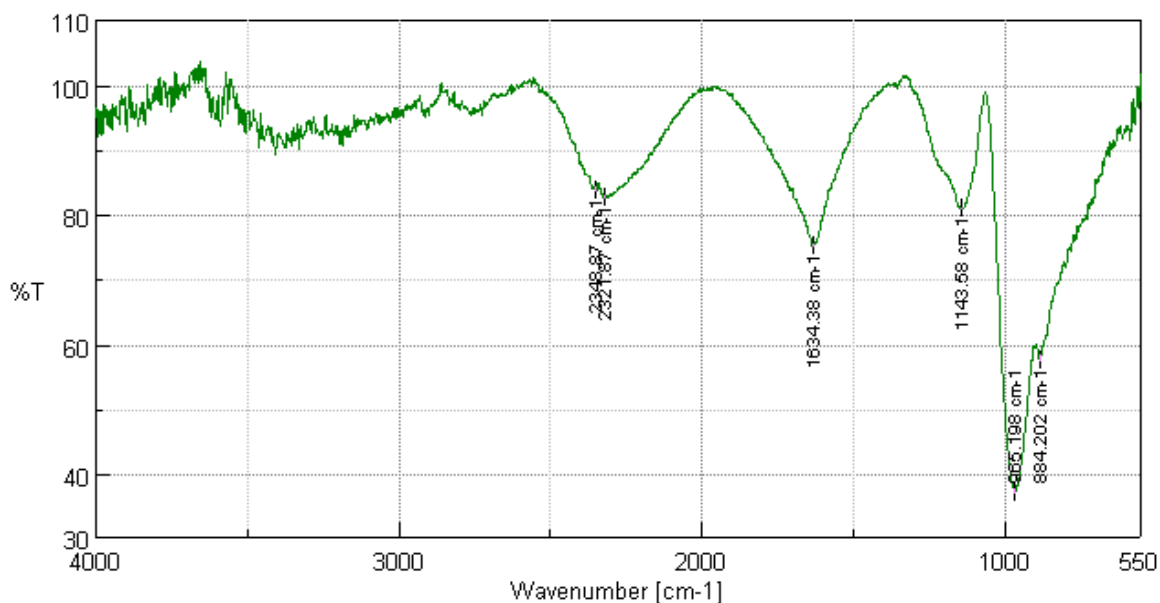
#### 3.4.5.1. Muestra de carbón al 30%



**Figura 11-3:** Muestra IR infrarrojo carbón activo al 30%

Realizado por: Moya, E. 2021.

### 3.4.5.2. Muestra de carbón al 40%



**Figura 12-3:** Muestra IR infrarrojo carbón activo al 40%

Realizado por: Moya, E. 2021.

Con la realización de esta prueba se pudo comprobar que el carbón fue activado correctamente con una disolución de ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) al 30% y 40% m/v. Según (Liyong, y otros, 2016 pág. 64) los radicales fosfatos  $(PO_4)^{3-}$  se encuentra en una longitud de onda cercana a  $1000\text{ cm}^{-1}$  y por lo que se logra apreciar en la Figura 9-3 y Figura 10-3 el carbón contiene una alta cantidad de radicales fosfatos ubicados en la longitud de onda correspondientes a los mismos por lo tanto la activación del carbón se realizó de manera exitosa.

Se localizaron bandas atribuidas a las vibraciones de tensión a  $1634,38$  y  $1625,70\text{ cm}^{-1}$  (Lavado, y otros, 2010 pág. 85) propias de  $C=C$  La señal a  $1051,26\text{ cm}^{-1}$  le corresponde con  $C-O$  en fenoles ( $C-OH$ , primarios), la señal a  $1143,58\text{ cm}^{-1}$  es debida a  $C-O-C$ , estos grupos funcionales identificados en la materia prima son susceptibles a reacción con ácidos y bases (Lavado, y otros, 2010 pág. 86). Alrededor de  $2300\text{ cm}^{-1}$  aparece un pico significativo en las muestras y con una intensidad similar en ambas que corresponde a la presencia de  $CO_2$  en las muestras (Bohórquez, y otros, 2008 pág. 56).

### 3.4.6. Evaluación de capacidad de adsorción de Cadmio del carbón activado

#### 3.4.6.1. Pruebas con 1g de carbón activo en 100ml de disolución de cadmio 5ppm

**Tabla 19-3:** Datos adsorción de carbón activo con 1g

<b>N.º</b>	<b>Masa del carbón activo (g)</b>	<b>tiempo de agitación (min)</b>	<b>Concentración solución de Cd (ppm)</b>
1	1,00	30	3,1464
2	1	30	3,1385
3	1	30	3,1489
4	1	60	2,8702
5	1	60	2,8756
6	1	60	2,8802
7	1	120	2,6935
8	1	120	2,6893
9	1	120	2,6968
10	1	180	2,5105
11	1	180	2,5101
12	1	180	2,4985
13	1	240	2,4256
14	1	240	2,4198
15	1	240	2,4202
16	1	300	2,4198
17	1	300	2,4191
18	1	300	2,4196

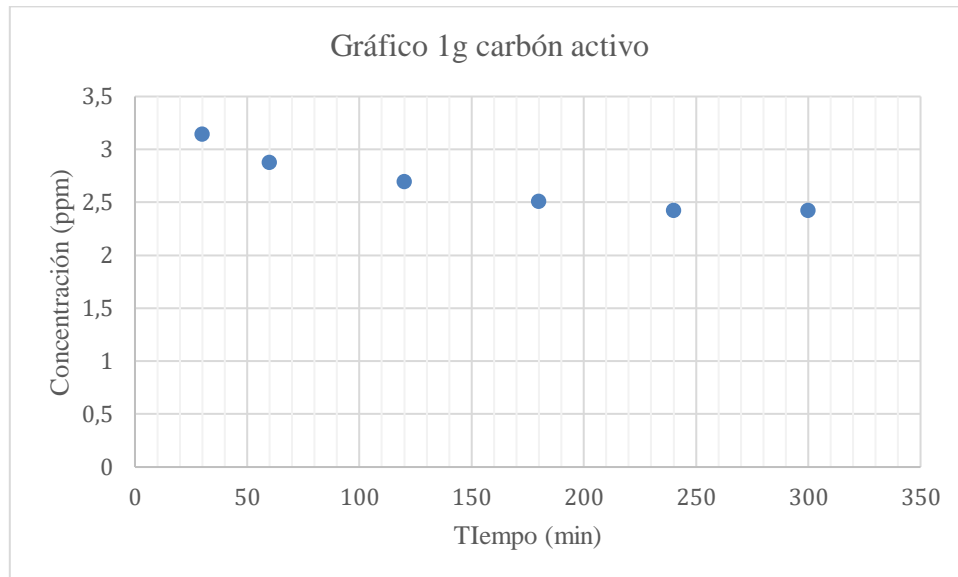
Realizado por: Moya, E. 2021.

**Tabla 20-3:** Datos promediados de adsorción con 1g de carbón activo

<b>tiempo de agitación (min)</b>	<b>Concentración promedio de solución de Cd (ppm)</b>	<b>Desviación estándar</b>
30	3,1446	0,0054
60	2,8753	0,0050

120	2,6932	0,0038
180	2,5063	0,0068
240	2,4218	0,0032
300	2,4195	0,0013

Realizado por: Moya, E. 2021.



**Figura 13-3:** Grafica concentración contra tiempo utilizando 1g de carbón activo

Realizado por: Moya, E. 2021.

$$q = \left( \frac{c_o - c_e}{m} \right) \times V$$

$$q = \left( \frac{5ppm - 2.41ppm}{1g} \right) \times 100ml$$

$$q = 259 \text{ mgCd}/1gCA$$

Como resultado de la adsorción de Cadmio utilizando 1g de carbón activo se obtuvo como concentración mínima un valor de 2,4195 ppm de los 5 ppm originales de la disolución. Lo que equivale a un rendimiento del 51,61% y teniendo un tiempo de saturación del carbón activado de 5 horas aproximadamente se obtuvo una cantidad de adsorbato adsorbido de 259  $mgCd/1gCA$ . Al comparar los resultados obtenidos con (Tovar, 2016 pág. 87) quien obtuvo un porcentaje de adsorción de Cadmio del 60,7% al usar un promedio de 1g de carbón recubierto con polisulfuro que le da mayor porosidad y capacidad de adsorción.

3.4.6.2. Prueba con 1,5g de carbón activo en 100 ml de disolución de cadmio 5 ppm

**Tabla 21-3:** Datos adsorción de carbón activo con 1,5g

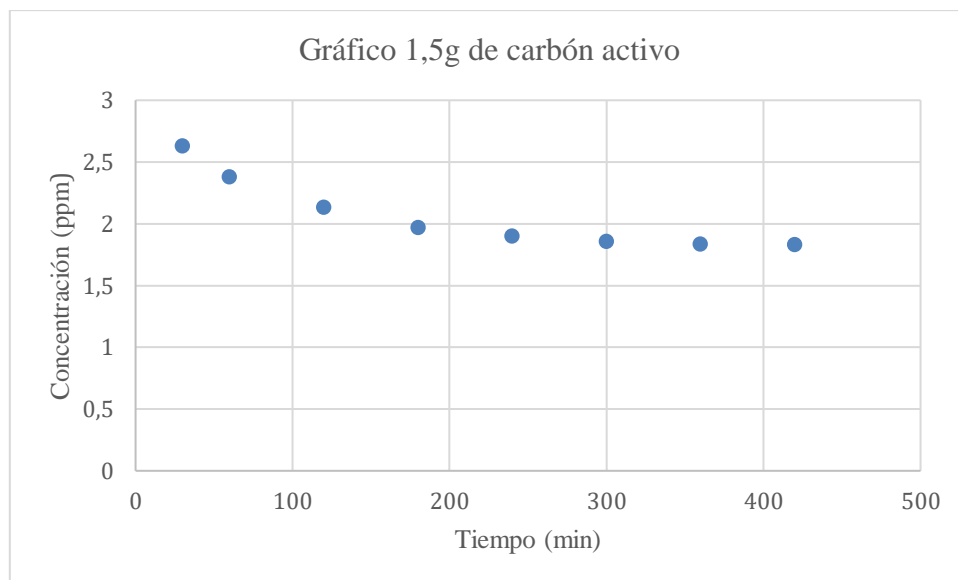
N.º	Masa del carbón activo (g)	tiempo de agitación (min)	Concentración solución de Cd (ppm)
1	1,5	30	2,6257
2	1,5	30	2,6298
3	1,5	30	2,6309
4	1,5	60	2,3872
5	1,5	60	2,3709
6	1,5	60	2,3812
7	1,5	120	2,1243
8	1,5	120	2,1349
9	1,5	120	2,1353
10	1,5	180	1,9698
11	1,5	180	1,9742
12	1,5	180	1,9584
13	1,5	240	1,9023
14	1,5	240	1,9011
15	1,5	240	1,8998
16	1,5	300	1,8648
17	1,5	300	1,8592
18	1,5	300	1,8501
19	1,5	360	1,8342
20	1,5	360	1,8334
21	1,5	360	1,8325
22	1,5	420	1,8299
23	1,5	420	1,8287
24	1,5	420	1,8283

Realizado por: Moya, E. 2021.

**Tabla 22-3:** Datos promediados de adsorción con 1,5g de carbón activo

tiempo de agitación (min)	Concentración promedio de solución de Cd (ppm)	Desviación Estándar
30	2,6288	0,0388
60	2,3798	0,0082
120	2,1315	0,0062
180	1,9675	0,0081
240	1,9011	0,0012
300	1,8580	0,0074
360	1,8333	0,0018
420	1,8289	0,0021

Realizado por: Moya, E. 2021.



**Figura 14-3:** Grafica concentración contra tiempo utilizando 1,5g de carbón activo

Realizado por: Moya, E. 2021.

$$q = \left( \frac{c_o - c_e}{m} \right) \times V$$

$$q = \left( \frac{5ppm - 1.85ppm}{1,5g} \right) \times 100ml$$

$$q = 210 \text{ mgCd}/1,5gCA$$

Como resultado de la adsorción de Cadmio utilizando 1,5g de carbón activo se obtuvo como concentración mínima un valor de 1,8289 ppm de los 5 ppm originales de la disolución. Lo que equivale a un rendimiento del 63,42%. Se tiene un tiempo de saturación del carbón activado de 5 horas (300 min) podemos ver que tanto la prueba realizada con 1g y 1,5g de carbón activado su saturación se da en este tiempo teniendo una cantidad de adsorbato adsorbido de  $210 \text{ mgCd}/1,5\text{gCA}$ . Comparando con (Tovar, 2016 pág. 88) quien obtuvo un porcentaje de adsorción de cadmio del 80%, la diferencia se debe a que se utilizó un carbón activo recubierto en caucho de polisulfuro el cual le ayuda a tener mayor porosidad.

La máxima capacidad de adsorción fue alcanzada con 1,5 g de carbón al 30% (ya que como se pudo ver en la prueba de índice de yodo la muestra al 30% tiene una mayor área superficial que la muestra al 40% por lo tanto tiene una mayor capacidad de adsorción) teniendo como resultado un rendimiento de  $315 \text{ mgCd}/1,5\text{gCA}$  en la adsorción de Cadmio y logrando un tiempo de saturación del carbón de un aproximado de 5 horas. Con esta prueba también se pudo comprobar que el carbón activo al 30% (1,8289 ppm lo que equivale al 63,42%) tiene una mayor capacidad de adsorción que el carbón activo al 40% (2,1028 ppm lo que equivale al 57,94%) como indica la prueba del índice de yodo.



## CONCLUSIONES

- La cáscara de naranja (*Citrus Sinensis Linn Osbeck*) es una materia prima potencial para la obtención de carbón activo ya que presenta un alto porcentaje de carbono fijo presente en su estructura (87.26%), comparándolo con los resultados obtenidos por (Garcia, y otros, 2017 pág. 98) que obtuvieron un porcentaje de carbón fijo muy similar (84,68%). El contenido de cenizas obtenido (1.86%) comparándolo con (Garcia, y otros, 2017 pág. 88) que obtuvieron un porcentaje de 5,44% se tiene un valor más bajo lo que hace posible obtener un carbono activo con buenas propiedades de adsorción. Al hablar de humedad de la cáscara de naranja (*Citrus Sinensis Linn Osbeck*) se obtuvo un porcentaje de 38,65% lo que hace que se tenga que eliminar una cantidad de agua considerable en comparación al 25,64% de (Garcia, y otros, 2017 pág. 96). El rendimiento de obtención de carbón activo a partir de cáscara de naranja (*Citrus Sinensis Linn Osbeck*) fue de 88,87% superior al obtenido por (Garcia, y otros, 2017 pág. 86).
- Las condiciones operacionales óptimas para la obtención de carbón activo a partir de la cáscara de naranja (*Citrus Sinensis Linn Osbeck*) son las siguientes: la temperatura de carbonización a la que se obtienen las mejores características y rendimiento del carbón activo es de 450°C, el tiempo de carbonización al cual el carbón activo presenta las mejores propiedades es de 60 minutos y el 30% de disolución de ácido fosfórico m/v es donde el carbón activo presenta mejores propiedades en la adsorción de Cadmio al tener una mayor área superficial, con lo que se obtiene un carbón activado con una capacidad de adsorción de 880,89 mg/g.
- Se realizó pruebas de adsorción del carbón activo obtenido a partir de cáscara de naranja (*Citrus Sinensis Linn Osbeck*) en un medio contaminado con Cadmio en el cual se pudo precisar la capacidad de adsorber Cadmio, siendo así el mejor resultado un rendimiento del 63,42% (lo que equivale a una concentración final de Cadmio de 1,8289 ppm de los 5 ppm iniciales) lo que corresponde a 210 mgCd/1,5gCA de adsorbato adsorbido. El carbón activo al tener una estructura mesoporosa captura las moléculas de Cadmio de forma eficaz teniendo un rendimiento de adsorción similar (71%) al obtenido por (Garcia, y otros, 2017 pág. 96).

## RECOMENDACIONES

- Por el alto porcentaje de humedad que posee la cáscara de naranja (*Citrus Sinensis Linn Osbeck*) es recomendable hacer un pre secado de las cáscaras al sol por un aproximado de 10 días para reducir el costo energético de secarlas en los secadores de bandejas.
- Guardar el carbón activado obtenido en un recipiente hermético y un lugar fresco y ventilado para evitar que el mismo absorba la humedad del ambiente debido a su gran porosidad y capacidad de absorber.
- Una vez usado el carbón activo usar un método de reactivación de este para evitar reciclar el carbón activado antiguo para reducir los desperdicios generados y aumentar los réditos económicos obtenidos.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- BARRADAS, J.** *Grafeno y materiales derivados como catalizadores pseudohomogéneos en reacciones orgánicas.* Valencia, España : Universidad Politécnica De Valencia, 2017. pp. 95-102
- BOHÓRQUEZ, N; & MORENO, J.** *Entalpías de Inmersión de Carbones Activados en Soluciones Séricas de Carbamazepina.* Bogotá, Colombia : Universidad de los Andes, 2008. pp. 41-47
- CASTRO, L; & MARTÍNEZ, A.** *Elaboración de carbón activado a partir de cáscara de naranja.* México : UNAM, 2009. pp. 62-65
- DESOTEC.** *Tipos de carbón activo Desotec.* [Blog]. [Consulta: 12 diciembre 2020]. Disponible en: <http://www.desotec.com/es/carbon-activo/tipos-de-carbon-activo/propiedades.com>.
- DUNICZ, B.** "Surface area of activated charcoal by langmuir adsorption isotherm method" [En línea], 1961, (Estados Unidos), pp. 4-5. [Consulta: 22 diciembre 2020]. Disponible en: <https://dokumen.tips/documents/surface-area-of-activated-charcoal-by-langmuiradsorption-isotherm.html>
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA.** *Boletín situacional naranja.* [En línea] 2017. [Consulta: 01 abril 2021]. Disponible en: [http://sipa.agricultura.gob.ec/boletines/situacionales/boletin\\_situacional\\_naranja\\_2017.pdf](http://sipa.agricultura.gob.ec/boletines/situacionales/boletin_situacional_naranja_2017.pdf).
- GARCÍA, F.** *Planta de producción de carbón activo*(Tesis de grado)(Maestría).Universidad Zaragoza - España. 2013.
- GARCIA, R; & GRANILLO, Y.** Evaluación de las condiciones operacionales en el proceso de preparación de carbón activo de cáscara de naranja valencia (*citrus sinensis linn osbeck*) (Tesis de grado)(Maestría). Universidad nacional autónoma de Nicaragua- Nicaragua, 2017.

**GARZÓN, J; & GONZÁLEZ, L.** *Repositorio universidad de Cartagena*. Universidad de Cartagena, 2012. [En línea] [Consulta: 19 diciembre 2020]. Disponible en: <http://repositorio.unicartagena.edu.co>.

**GÓMEZ, A; et al.** *Carbón activado de cuesco de palma estudio de termogravimetría y estructura*. Kassel, Alemania: Universidad de Kassel, 2010, pp. 25-29.

**HERNÁNDEZ, M; et al.** "Características fisicoquímicas del carbón activado de concha de coco modificado con HNO<sub>3</sub>". *Revista Cubana de Química* [En línea], 2017. (Cuba) 29(1). [Consulta: 23 diciembre 2020]. ISSN 2224-5421. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-54212017000100003](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212017000100003)

**JEREZ, C.** *Diseño de una planta para la obtención de carbón activado a partir de cuesco de palmiste mediante activación química con cloruro de zinc (Tesis de grado)(Ingeniería)*. Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador .2014. pp.14-22.

**LAVADO, C; et al** " Remoción de cromo (VI) empleando carbones preparados por activación química a partir de las astillas de eucalipto". *Revista de la Sociedad Química del Perú*. [En línea] 2012, (Peru) 78(1). [Consulta: 05 enero 2021]. ISSN 1810-634X. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2012000100003](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2012000100003).

**LAVADO, C; et al.** "Adsorción de plomo de efluentes industriales usando carbones activados con H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>". *Revista de la Sociedad Química del Perú*. [En línea] 2010, (Peru) 76(2). [Consulta: 14 enero 2021]. ISSN 1810-634X. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2010000200007](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2010000200007)

**LENNTech.** *Cadmio (Cd) Propiedades químicas y efectos sobre la salud y el medio ambiente*. Lenntech [blog] [Consultado: 13 Enero 2021]. Disponible en: <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/cd.htm>.

**LIYONG, H; et al.** "Effects of strontium substitution on the phase transformation and crystal structure of calcium phosphate derived by chemical precipitation". *Ceramics International* [En línea], 2016, (China) 42(1), pp. 5-6. [Consultado: 23 Enero 2021]. Disponible en: <https://ir.nsf.gov.cn/paperDownload/1000019371024.pdf>.

- MARQUEZ, F.** *El carbón activado obtención y caracterización*. [blog]. [Consultado: 03 Febrero 2021]. Disponible en: <https://www.monografias.com/trabajos45/carbon-activado/carbon-activado2>
- MARTÍN, J.** *Adsorción física de gases y vapores por carbones*. Alicante-España: Univesidad de alicante, 1990. pp. 74-85.
- MARTINEZ, A.** Desarrollo de carbones activados a partir de residuos lignocelulósicos para la adsorción y recuperación de tolueno y n-hexano [En línea] (Tesis Doctoral). Universidad San Jorge, Zaragoza, España. 2012. [Consultado: 14 Febrero 2021] Disponible en: [http://www.tesismartinezde\\_yuso/repositorio/200.pdf](http://www.tesismartinezde_yuso/repositorio/200.pdf). 2012.
- MEDINA, V; et al.** "Análisis crítico del diseño factorial 2k sobre casos aplicados". *Scientia Et Technica* [En línea], 2011, (Colombia) 47(1), pp. 3-4. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/849/84921327018.pdf>.
- MONTEROS, G; et al.** *Productividad agrícola en el ecuador* [blog] [Consultado: 15 Febrero 2021]. Disponible en: <https://www.agricultura.gob.ec/sipa>.
- MORALES. J; & NORIEGA. L.** *Impacto de la Biotecnología en los Sectores Industrial y Energético* [En línea]. Genoma-España: Ciemat, 2006. Disponible en: <http://biotecnologiwork.weebly.com>.
- MORENO, A.** *Seguridad alimentaria y control de cadmio en alimentos*. [Blog]. [Consultado: 28 febrero 2021.]. Disponible en: <https://www.ainia.es/insights/seguridad-alimentaria-y-control-de-cadmio-en-alimentos-7-puntos-que-explican-lo-que-esta-pasando/>.
- PEÑA, K; et al.** "Preparación de carbón activado a partir de cáscara de naranja por activación química. caracterización física y química". *Revista Colombiana de Química* [En línea], 2012, (Colombia) 41(2), pp. 8-12. [Consultado: 22 febrero 2021]. ISSN 0120-2804. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-28042012000200010&script=sci\\_abstract&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-28042012000200010&script=sci_abstract&tlng=es).

**PILAMONTA, J.** Mejoramiento del carbón activado contaminado en el tratamiento de agua potable [En línea] (Tesis de grado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador. 2013. pp. 34-42. [Consultado: 02 febrero 2021]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2286>.

**ROSAS, J; & MARÍA, J.** Preparacion y caracterizacion de materiales carbonosos para la eliminación de contaminantes gaseosos [En línea] (Tesis doctoral). Universidad de Malaga, Malaga, España. 2009. pp. 35-42. [Consultado: 10 febrero 2021]. Disponible en: <https://riuma.uma.es/xmlui/handle/10630/2629>

**SÁNCHEZ, A.** *Gobierno por resultados del Ministerio del Ambiente.* [Blog] [Consultado: 22 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/01/PNGIDS-ENERO-2020.pdf>.

**SAUNT, J.** *Varietades de cítricos del mundo.* Valencia-España: Sinclair, 1992. p. 25-27.

**SOTO, F.** Evaluación técnico económica de una planta de carbón activado [En línea]. (Tesis de grado) Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile. 2007. pp. 44-47. [Consultado: 19 febrero 2021]. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104603>.

**TORIBIO, E.** Estudio de la capacidad de los hidroxipatitos como reactivos para la eliminación de metales [En línea] (Tesis de grado). Universidad Politécnica de Cataluña, Cataluña, España. 2015. pp. 34-41. [Consultado: 01 febrero 2021]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/26366>.

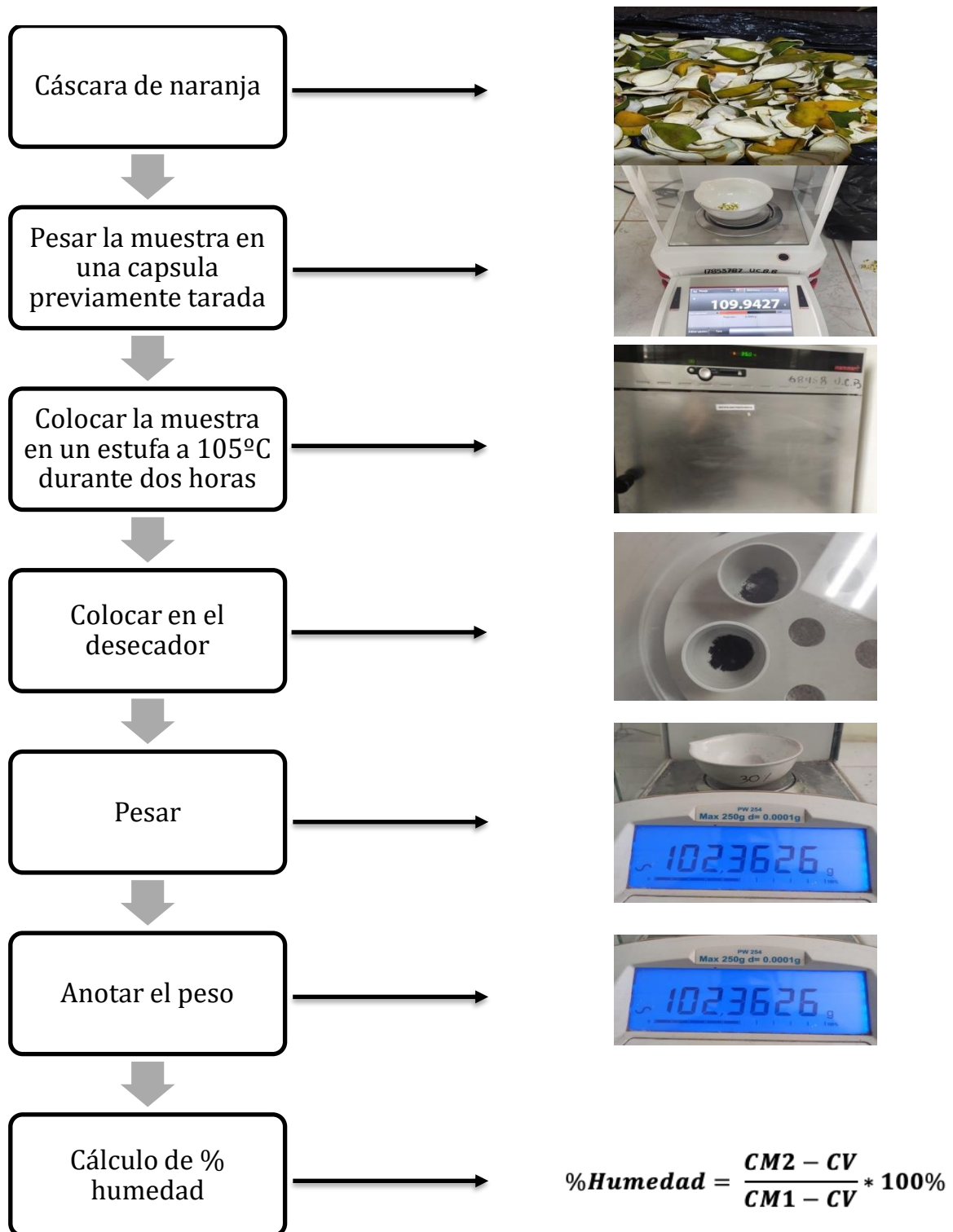
**TOVAR, J** Remoción de Cadmio y Plomo en agua con carbón activado cubierto es caucho de polisulfuro [En línea] (Tesis de grado). Universidad de ciencias aplicadas y ambientales, Bogotá, Colombia. 2016. pp. 49-54. [Consultado: 27 enero 2021]. Disponible en: <https://repository.udca.edu.co/bitstream/handle/11158/560/REMOCI%D3N%20DE%20CADMIO%20Y%20PLOMO%20EN%20AGUA%20CON%20CARB%D3N%20ACTIVADO%20RECUB.pdf;jsessionid=B30F6412FE1C6BB2F981A4D26B7B40F8?sequence=1>.

**UBEDA, J.** Adsorbentes a partir de residuo. Estudio de lixiviación de metales [En línea] (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica de Valencia, España. 2012. pp. 39-48. [Consultado: 15 enero 2021]. Disponible en: <https://docplayer.es/10211762-Adsorbentes-a-partir-de-residuos-estudio-de-lixiviacion-de-metales.html>

**URES, P; et al.** *Adsorción en carbón activo (FT- TER-002)* [En línea]. Caruña-España: Universidad da Caruña, 2015. [Consultado: 24 enero 2021]. Disponible en: <https://www.wateractionplan.com/documents/177327/558161/Adsorci%C3%B3n+en+carb%C3%B3n+activo.pdf/29bfa658-fbd1-c98b-1606-8eb1252fc1b9>

## ANEXOS

### ANEXO A. HUMEDAD DE LA CÁSCARA DE NARANJA (*Citrus Sinensis* Linn Osbeck)

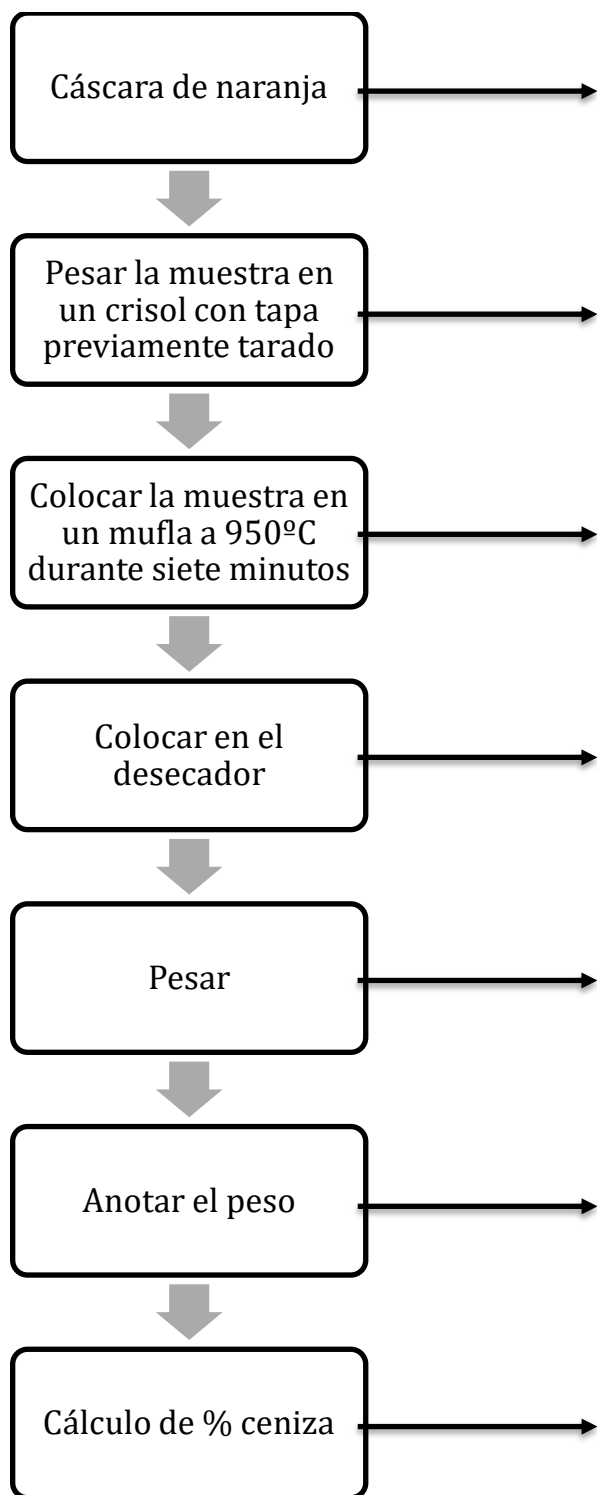




ANEXO B. CENIZA DE LA CÁSCARA DE NARANJA (*Citrus Sinensis* Linn Osbeck)

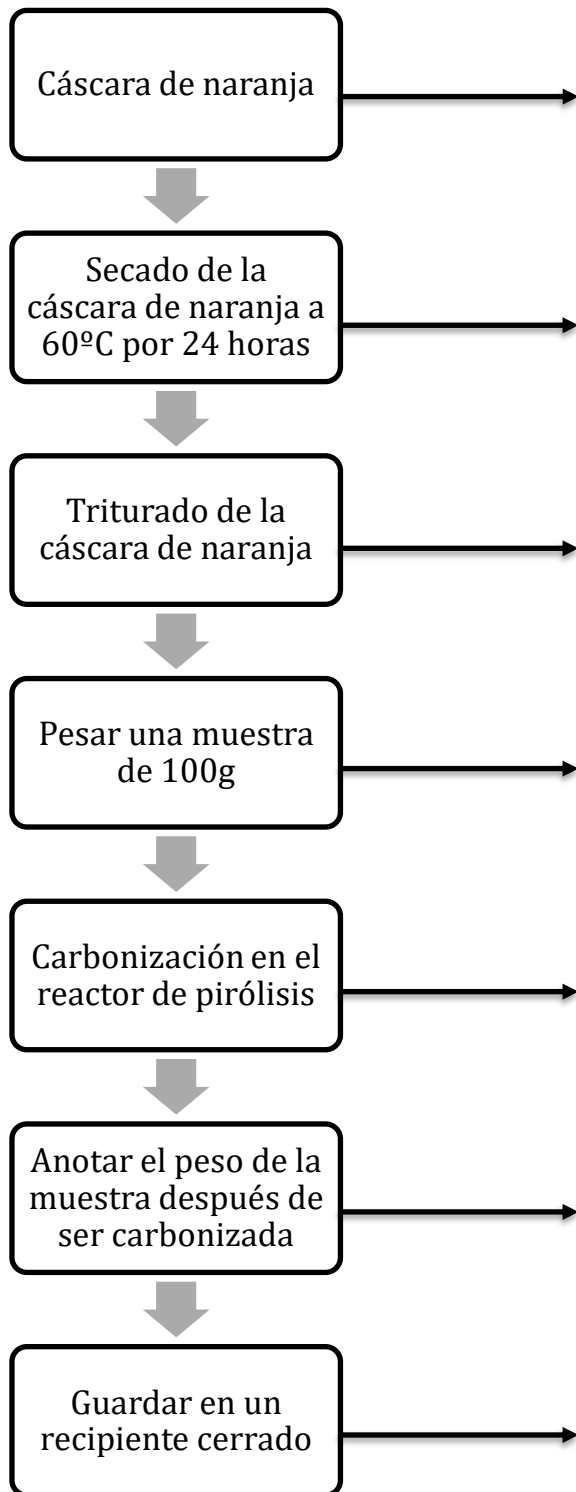


ANEXO C. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE MATERIA VOLÁTIL EN LA CÁSCARA DE NARANJA.

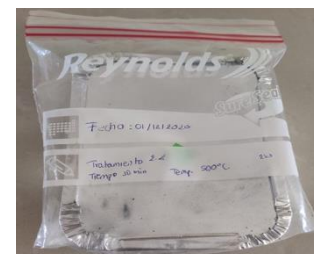
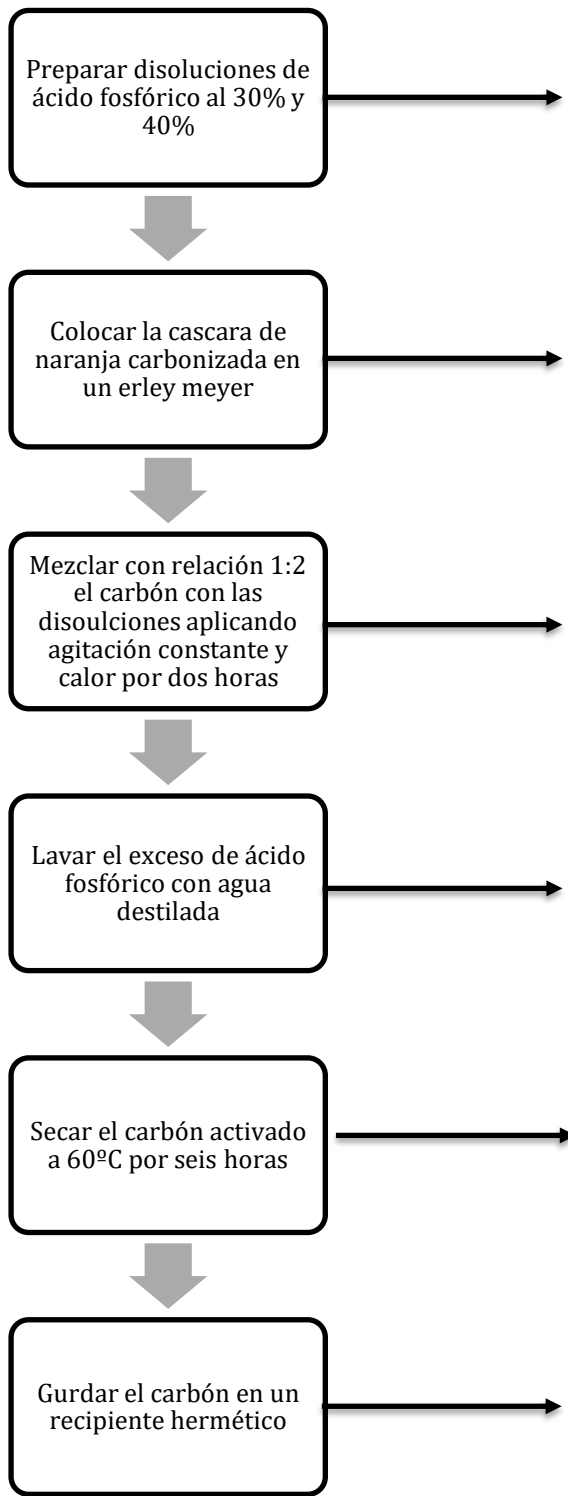


$$\%Materia\ volatil = \frac{C3 - C1}{C2 - C1} * 100\%$$

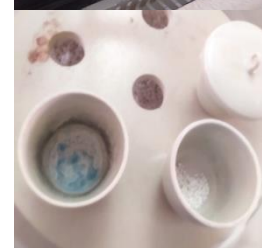
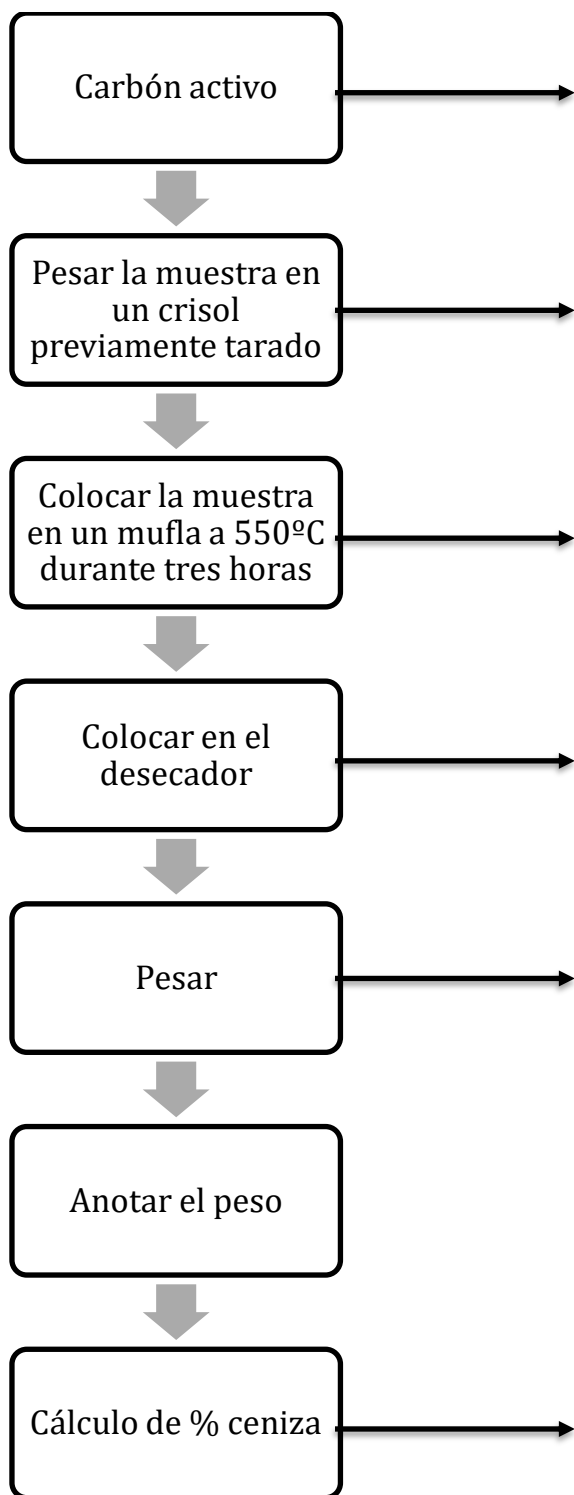
**ANEXO D. PROCESO DE CARBONIZACIÓN DE CÁSCARA DE NARANJA (*Citrus Sinensis* Linn Osbeck).**



**ANEXO E. PROCESO DE ACTIVACIÓN QUÍMICA DEL CARBÓN ACTIVO A BASE DE CÁSCARA DE NARANJA (*Citrus Sinensis* Linn Osbeck).**

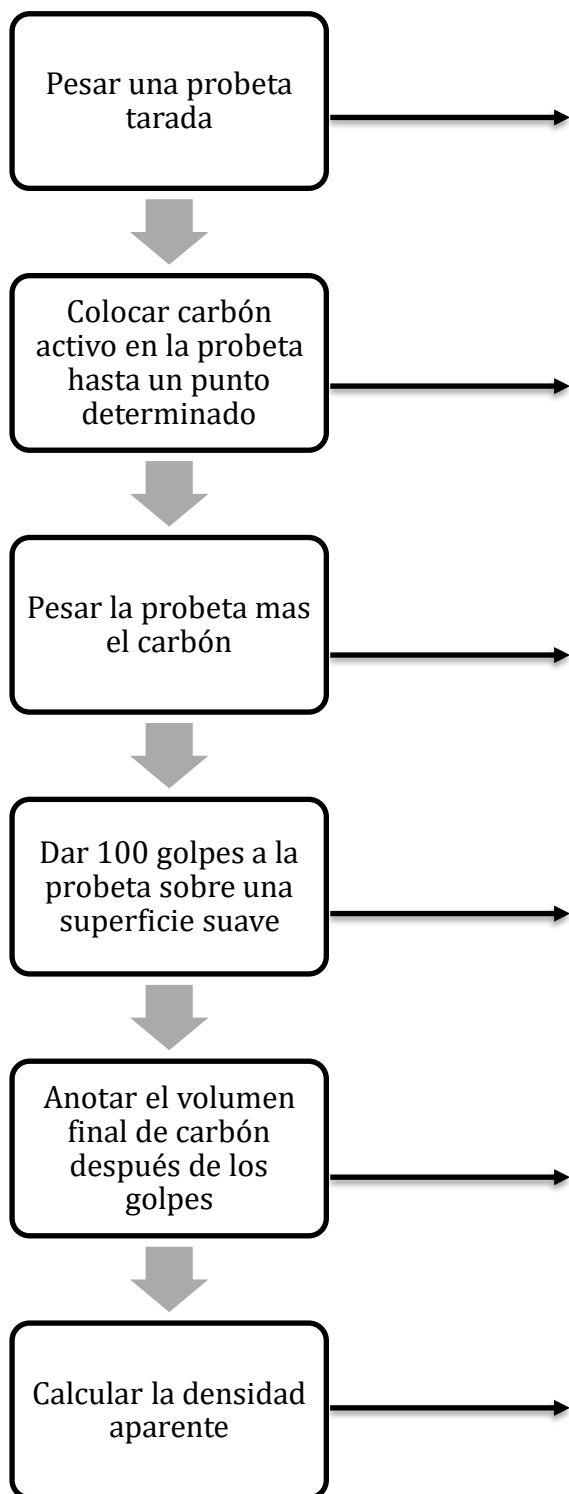


**ANEXO F. DETERMINACIÓN DE CENIZAS DEL CARBÓN ACTIVO A BASE CÁSCARA DE NARANJA (*Citrus Sinensis Linn Osbeck*).**



$$\%cenizas = \frac{c_3 - c_1}{c_2 - c_1} * 100$$

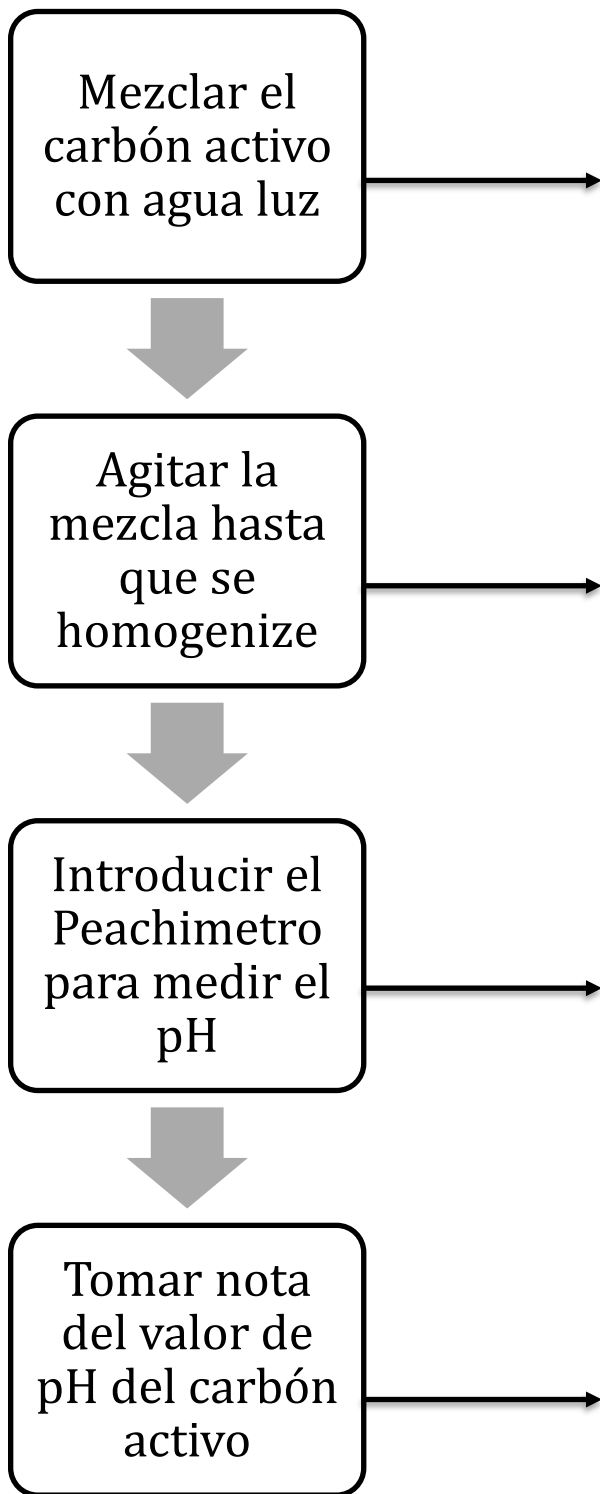
**ANEXO G. DETERMINACIÓN DE DENSIDAD APARENTE DEL CARBÓN ACTIVO A BASE DE CÁSCARA DE NARANJA (*Citrus Sinensis Linn Osbeck*).**



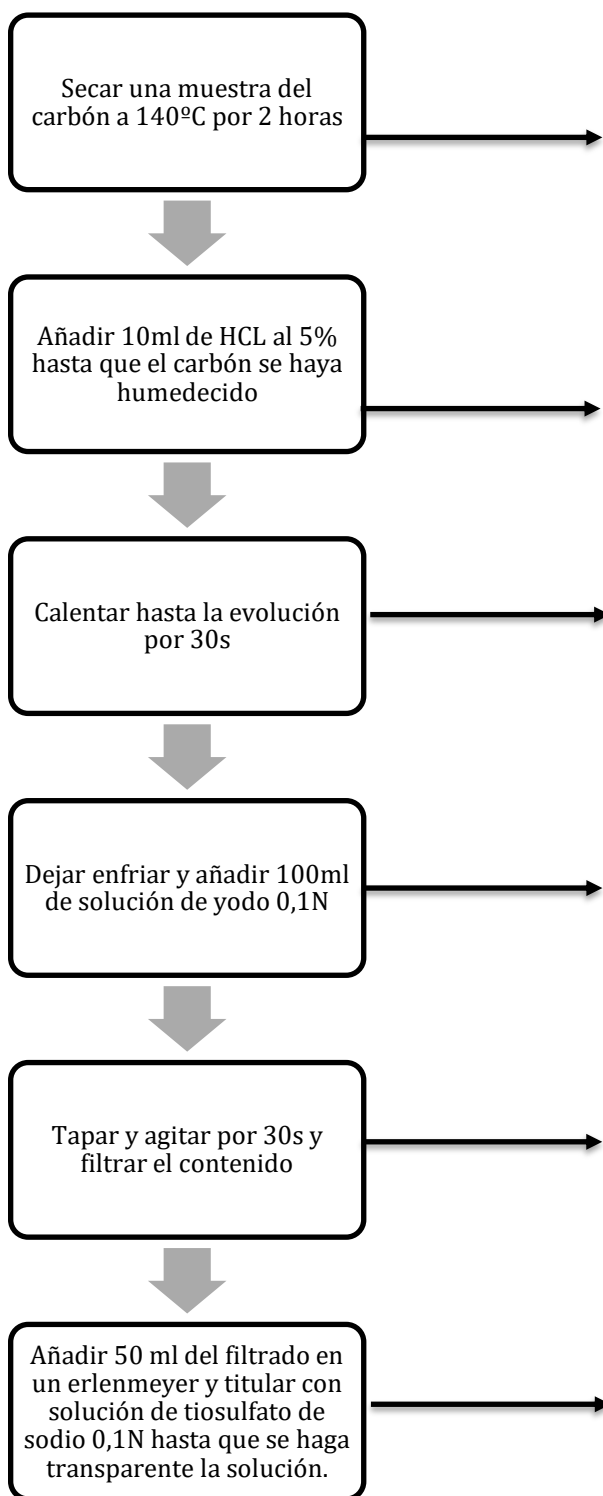
$$\rho = \frac{m(g)}{V(ml)}$$



**ANEXO H. DETERMINACIÓN DE PH DEL CARBÓN ACTIVO A PARTIR DE CÁSCARA DE NARANJA (*Citrus Sinensis Linn Osbeck*).**

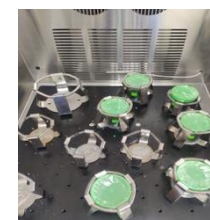
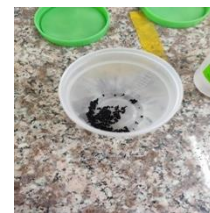
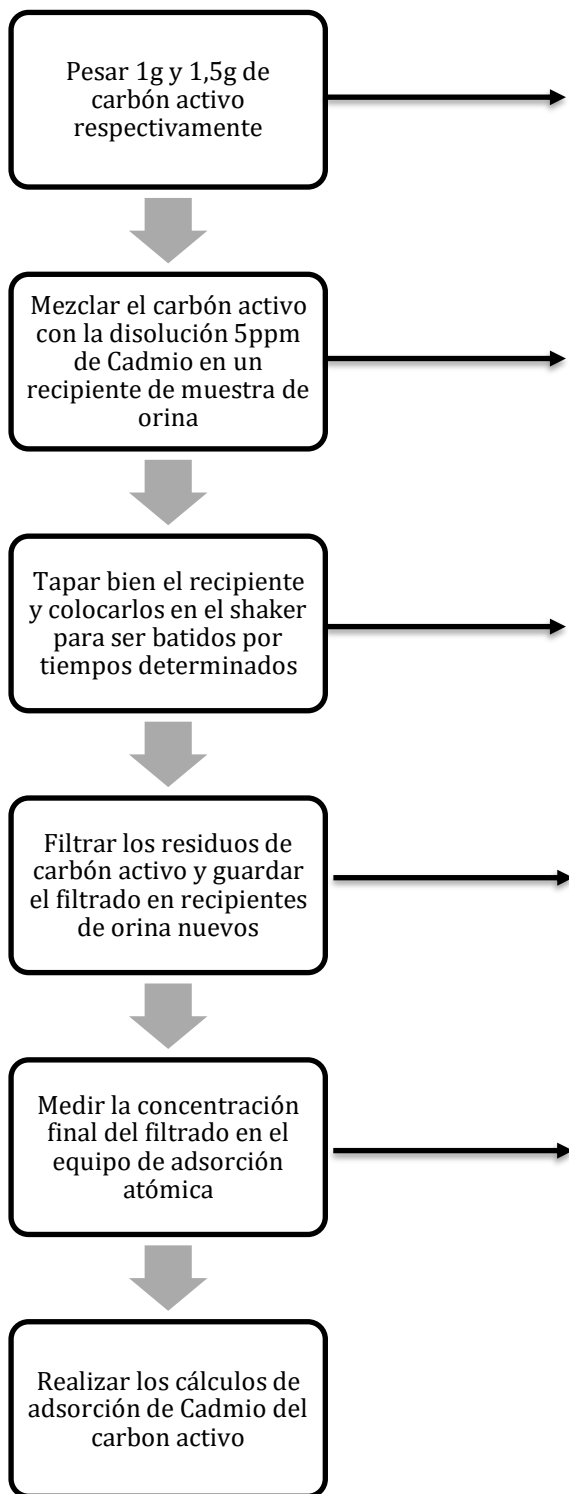


**ANEXO I. ÍNDICE DE YODO DE CARBÓN ACTIVO A BASE DE CÁSCARA DE NARANJA**  
(*Citrus Sinensis Linn Osbeck*).



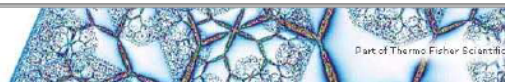


**ANEXO J. DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE CADMIO DEL CARBÓN ACTIVO A PARTIR DE CÁSCARA DE NARANJA (*Citrus Sinensis Linn Osbeck*).**



# ANEXO K. CURVA DE TITULACIÓN DEL EQUIPO DE ADSORCIÓN ATÓMICA EN LA ADSORCIÓN DE CADMIO.

**Thermo**  
SCIENTIFIC

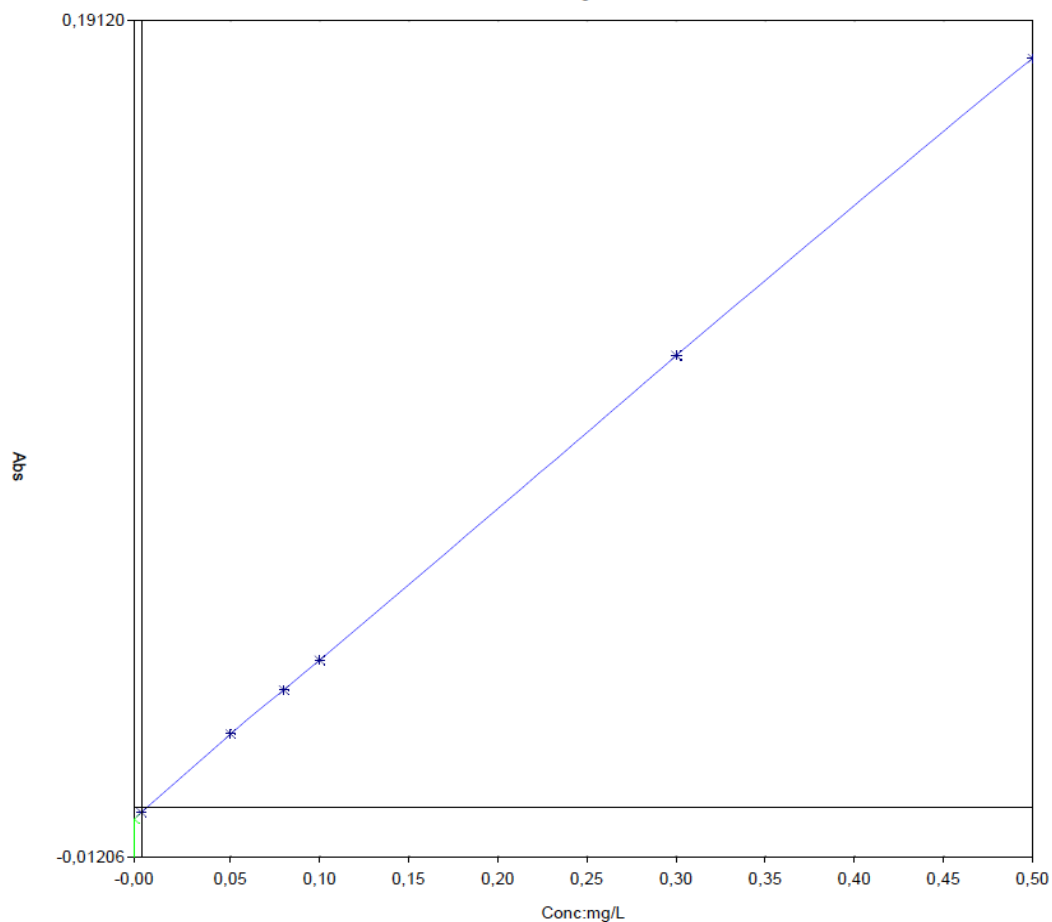


Operator Name: ciencias  
Results File: C:\SOLAAR\MIDATA\17-02-2021-Cd.slr  
Analysis Name: Cd-17-02-2021 10:01:36 17/02/2021

Report Date: 17/02/2021 10:35:27

## Calibration - Cd

Normal: Segmented Fit



### Calibration Details

Conc	Signal
0,000	-0,001
0,050	0,018
0,080	0,028
0,100	0,036
0,300	0,110
0,500	0,182

Min Curvature: 0%  
Max Curvature: 3%  
Characteristic Conc: 0,0116

# ANEXO L. CERTIFICADO DE ESTÁNDAR DE CADMIO

125 Market Street New Haven, CT 06513 USA	 <b>AccuStandard®</b>	Tel (203)786-5290 Fax (203)786-5287 www.AccuStandard.com
<b>CERTIFICATE OF ANALYSIS</b>		
<b>AccuTrace™ Reference Standard</b>		
<b>Catalog No:</b> AA08N-1	<b>Date Certified:</b> Sep 6, 2018	
<b>Description:</b> Cadmium AA Standard	<b>Expiration:</b> Sep 6, 2023	
<b>Element:</b> Cadmium (Cd)	<b>Sample Size:</b> 100 mL	
<b>SRM:</b> 3108	<b>Components:</b> 1	
<b>Lot:</b> 218085171	<b>Storage Condition:</b> Ambient (>5 °C)	
<b>Matrix:</b> 2-5% Nitric acid		
<b>Hazards:</b> Refer to SDS for complete safety information	<b>Certified Reference Material</b>	
	  	
<b>Signal Word:</b> Danger		
<b>Component</b>	<b>SRM #</b>	<b>Prepared Concentration (µg/mL)</b>
Cd	Cadmium 3108	1000
<p>The gravimetric uncertainty for this product is ±0.24%. The CRM uncertainty is ±2.4%. In order to verify the concentration(s), the final solution was checked by plasma emission spectroscopy (ICP) against material traceable to the above listed NIST SRM(s). This standard was prepared using ACS grade or better starting materials, high purity acids and ASTM Type I 18 megohm deionized water. All glassware used in preparation is Class A and calibrated regularly. All weights are traceable through NIST, Test No. 684/289871-17 Shake bottle prior to use and do not pipette directly out of the bottle. Use only cleaned Class A volumetric glassware. Keep bottle tightly capped.</p>		
		
	Certified By: <u>Meigan O'Leary, Inorganic QC Manager</u>	
Page 1 of 1 - Rev. 1		For use in routine laboratory analysis.
AccuStandard is accredited to ISO 17034, ISO/IEC 17025 and certified to ISO 9001:2015		
		OR-ORG/INC-001 Rev. 5/18



**1. Quality Standards:**

ISO 17034 – General Requirements for the Competence of Reference Material Producers ANAB Certificate Number AR-1463

ISO/IEC 17025 – General Requirements for the Competence of Testing And Calibration Laboratories ANAB Certificate Number AT-1339

ISO 9001:2015 – Quality Management System – Requirements Eagle Registrations Certificate Number 3774

- 2. Intended Use:** The product covered by this certificate is designed for calibration or for use in quality control procedures for the specified chemical compounds listed on the reverse side. This product can be used for quantification and/or identification. This product can also be used as a reference material to validate analytical procedures, subject to the conditions under Section 7.
- 3. Manufacturing:** All balances are calibrated daily using an in-house procedure with weights that are compared annually to master weights and traceable to NIST. The balances are also calibrated annually by an ISO/IEC 17025 accredited calibration laboratory. Please refer to the NIST test number listed on the front of this certificate. Class A glassware is used in the manufacture and quality control of all standards and calibrated using an in-house procedure. Good Laboratory Practices have been used throughout the preparation of this Standard.
- 4. Homogeneity:** This product is sufficiently homogeneous and any sample size would be within the uncertainty budget.
- 5. Stability:** The manufacturer guarantees the stability of this solution through the expiration date stated on the label, when handled and stored according to the conditions stated on the label
- 6. Uncertainty:** The uncertainty values as stated on the face of this certificate have been determined using the EURACHEM/CITAC Guide. We report a combined expanded uncertainty equal to the positive square root of the total variance of the uncertainty of the components using the following formula:  $u_n = \sqrt{(u(V))^2 + (u(m))^2 + (u(TV))^2 + (u(RO))^2}$  This formula represents uncertainty components from the mass, volume, short-term stability, long-term stability and homogeneity factors associated with the production of this product. The expanded uncertainty, assumes a normal distribution and a coverage factor of k=2 is chosen using approximately a 95% confidence level.
- 7. Legal Notice and Limit of Liability:** This product is for routine laboratory analysis and research purposes only. The company's liability will be limited to replacement of product or refund of purchase price. Notice of claims must be made within thirty (30) days from date of delivery.

**ANEXO M. (NORMA NTE INEN 1988, 2013), PRODUCTOS QUÍMICOS INDUSTRIALES.  
CARBÓN ACTIVADO PARA USO INDUSTRIAL.**



Quito - Ecuador

---

---

**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA**

**NTE INEN 1988:2013**

**Primera revisión**

---

---

**PRODUCTOS QUÍMICOS INDUSTRIALES. CARBÓN ACTIVADO  
PARA USO INDUSTRIAL. DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE  
YODO**

**Primera edición**

INDUSTRIAL CHEMICAL PRODUCTS. ACTIVATED CARBON FOR INDUSTRIAL USE. DETERMINATION OF IODINE NUMBER

First edition

---

DESCRIPTORES: Productos químicos, carbón activado, determinación del índice de yodo.  
QU 03.01-337  
CDU: 661.183.2  
CIU: 3511  
ICS: 71.080.01

<b>Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria</b>	<b>PRODUCTOS QUÍMICOS INDUSTRIALES CARBÓN ACTIVADO PARA USO INDUSTRIAL DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE YODO</b>	<b>NTE INEN 1988:2013 Primera revisión 2013-06</b>
<p style="text-align: center;"><b>1. OBJETO</b></p> <p>1.1 Esta norma establece el método para determinar la capacidad de adsorción o número de yodo, en el carbón activado para uso industrial.</p> <p style="text-align: center;"><b>2. DEFINICIONES</b></p> <p>2.1 Para los efectos de esta norma, se adopta la siguiente definición.</p> <p>2.1.1 <i>Número de yodo.</i> Se define como los mg de yodo adsorbidos por 1 g de carbón, cuando la concentración del yodo del filtrado residual es 0,02 N.</p> <p style="text-align: center;"><b>3. MÉTODO DE ENSAYO</b></p> <p><b>3.1 Resumen</b></p> <p>3.1.1 Se somete una cantidad de muestra a la acción del ácido clorhídrico, luego se libera el yodo en exceso como yoduro de potasio y se titula con tiosulfato de sodio.</p> <p><b>3.2 Equipos</b></p> <p>3.2.1 <i>Balanza analítica,</i> sensibilidad 0,1 mg.</p> <p>3.2.2 <i>Estufa</i> de temperatura regulable 150 °C ± 5 °C.</p> <p>3.2.3 <i>Desecador,</i> cloruro de calcio anhidro u otro desecante apropiado.</p> <p>3.2.4 <i>Frascos volumétricos,</i> 500, 1 000 cm<sup>3</sup>.</p> <p>3.2.5 <i>Frascos Erlenmeyers,</i> 250, 500 cm<sup>3</sup>.</p> <p>3.2.6 <i>Papel filtro</i> Whatman N° 2V, o su equivalente.</p> <p>3.2.7 <i>Pipetas volumétricas</i> de 10, 25, 50, 100 cm<sup>3</sup>.</p> <p>3.2.8 <i>Bureta volumétrica</i> de precisión.</p> <p>3.2.9 <i>Plancha de calentamiento.</i></p> <p>3.2.10 <i>Material usual de laboratorio.</i></p> <p>3.2.11 <i>Equipo de protección personal adecuado para laboratorio.</i></p> <p style="text-align: right;"><i>(Continúa)</i></p> <hr/> <p>DESCRIPTORES: Productos químicos, carbón activado, determinación del índice de yodo.</p>		

<p><b>3.3 Reactivos</b></p> <p>3.3.1 <i>Acido clorhídrico al 5% (m/v).</i> A 550 cm<sup>3</sup> de agua destilada, añadir 70 cm<sup>3</sup> de ácido clorhídrico concentrado, d = 1,19 (ver nota 1).</p> <p>3.3.2 <i>Solución estándar de Tiosulfato de sodio estándar 0,1 N.</i> Disolver 24,82 g de tiosulfato de sodio, para análisis, Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·5H<sub>2</sub>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 <i>Solución estándar de yodo 0,1 N.</i> Disolver 12,7 g de yodo, (I<sub>2</sub>) y 19,1 g de yoduro de potasio en aproximadamente 25 cm<sup>3</sup> de agua destilada. Dejar la solución en reposo durante 4 h, agitando ocasionalmente. Diluir a 1 litro en un frasco aforado con agua destilada. Colocar en una botella de vidrio de color oscuro con tapa; almacenar en un lugar oscuro (ver anexo B).</p> <p>3.3.4 <i>Solución de almidón.</i> 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><b>3.4 Procedimiento</b></p> <p>3.4.1 Moler una muestra representativa hasta que el 95 % del carbón, pase el tamiz INEN de 45 µm. Se puede determinar la finura del carbón en base de un análisis por tamizado en húmedo.</p> <p>3.4.2 Secar una porción de muestra del carbón pulverizado, a 140 °C por 2 h o también 110 °C por 3 h.</p> <p>3.4.3 Dependiendo del carbón usado, pesar de 1,0 g a 1,6 g de carbón pulverizado seco y colocar en un matraz Erlenmeyer de 250 cm<sup>3</sup>.</p> <p>3.4.4 Añadir, 10 cm<sup>3</sup> de HCl al 5% (m/m) y dar vueltas el frasco Erlenmeyer, hasta que todo el carbón se haya humedecido.</p> <p>3.4.5 Colocar el frasco Erlenmeyer sobre una plancha de calentamiento, llevar el contenido a ebullición y mantener así durante 30 s exactamente.</p> <p>3.4.6 Dejar enfriar el Erlenmeyer y su contenido a temperatura ambiente y añadir mediante pipeta volumétrica, 100 cm<sup>3</sup> de solución estándar de yodo 0,1 N.</p> <p>3.4.7 Tapar inmediatamente el frasco Erlenmeyer y agitar vigorosamente el contenido durante 30 s, filtrar a través del papel filtro Whatman N° 2V o su equivalente.</p> <p>3.4.8 Descartar los primeros 20 cm<sup>3</sup> a 30 cm<sup>3</sup> de filtrado, y recoger el filtrado en un frasco Erlenmeyer limpio.</p> <p>3.4.9 Mezclar el filtrado en el frasco Erlenmeyer con una varilla de vidrio y pipetear 50 cm<sup>3</sup> del filtrado en un Erlenmeyer de 250 cm<sup>3</sup>.</p> <p>3.4.10 Titular los 50 cm<sup>3</sup> de muestra, con una solución estándar de tiosulfato de sodio 0,1 N, hasta que el color amarillo haya desaparecido. Añadir aproximadamente 1 cm<sup>3</sup> de solución de almidón y continuar la titulación hasta que el color azul del indicador desaparezca.</p> <p>NOTA 1. Pureza de los reactivos. Los reactivos utilizados en esta norma deben ser productos químicos con grado analítico.</p> <p style="text-align: right;"><i>(Continúa)</i></p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

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

3.4.12 Efectuar la determinación por duplicado.

3.5 Cálculos

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

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

En donde

$$\frac{V}{m} = \frac{A - (2,2 \times B \times V_1)}{m_0}$$

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

$$A = N_1 \times 12693$$

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

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

C = normalidad del filtrado residual (para calcular f)

f = factor de corrección (ver Anexo C)

V<sub>1</sub> = volumen utilizado de tiosulfato de sodio 0,1 N, en cm<sup>3</sup>

N<sub>1</sub> = normalidad de la solución estándar de yodo 0,1 N

N<sub>2</sub> = normalidad de la solución estándar de tiosulfato de sodio 0,1 N

3.6 Errores de Método

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

3.7 Informe de resultados

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

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

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

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

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

Lo anterior es importante para el análisis, ya que la relación de peso de yoduro de potasio a yodo es 1.5: 1 de la solución estándar de yodo.

(Continúa)

ANEXO 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	0,9800	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	0,9600	0,9600	0,9600
0,0260	0,9600	0,9588	0,9588	0,9575	0,9575	0,9563	0,9563	0,9550	0,9550	0,9538
0,0270	0,9538	0,9525	0,9525	0,9513	0,9513	0,9500	0,9500	0,9500	0,9500	0,9488
0,0280	0,9488	0,9475	0,9475	0,9463	0,9463	0,9463	0,9450	0,9450	0,9438	0,9438
0,0290	0,9425	0,9425	0,9425	0,9413	0,9413	0,9400	0,9400	0,9394	0,9388	0,9388
0,0300	0,9375	0,9375	0,9375	0,9363	0,9363	0,9363	0,9363	0,9350	0,9350	0,9346
0,0310	0,9333	0,9333	0,9325	0,9325	0,9325	0,9319	0,9313	0,9213	0,9300	0,9300
0,0320	0,9300	0,9294	0,9288	0,9288	0,9280	0,9275	0,9275	0,9275	0,9270	0,9270
0,0330	0,9263	0,9263	0,9257	0,9250	0,9250	-	-	-	-	-

(Continúa)

## ANEXO A

ESTANDARIZACIÓN DE SOLUCIÓN DE TIOSULFATO DE SODIO 0,1 N, MEDIANTE LA SOLUCIÓN DE BIYODATO DE POTASIO 0,1 N, [KI (I0<sub>2</sub>)<sub>2</sub>] (ver nota 3).

A.1 Pesar 3,249 g de biyodato de potasio 0,1N [KI (I0<sub>2</sub>)<sub>2</sub>] y llevar a un litro con agua destilada en un frasco volumétrico. Conservar en una botella de vidrio con tapa.

A.2 Añadir 80 cm<sup>3</sup> de agua destilada, mediante chorro constante, 1 cm<sup>3</sup> de ácido sulfúrico (d = 1,84), 10 cm<sup>3</sup> de solución de biyodato de potasio 0,1 N y 1 g de yoduro de potasio (KI).

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

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

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

A.6 La normalidad N<sub>2</sub> se calcula mediante la ecuación siguiente:

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

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

(Continúa)

## ANEXO B

## ESTANDARIZACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE YODO 0,1 N

B.1 Pipetear 25 cm<sup>3</sup> de solución de yodo 0,1 N a un Erlenmeyer de 250 cm<sup>3</sup>.

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 N<sub>1</sub> se calcula mediante la ecuación siguiente:

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

(Continúa)





**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

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

**REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

**Fecha de entrega:** 26 / 01 / 2022

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> <i>Erick Daniel Moya Arias</i>
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> <i>Ciencias</i>
<b>Carrera:</b> <i>Ingeniería Química</i>
<b>Título a optar:</b> <i>Ingeniero Químico</i>
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> <i>Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.</i>

**LEONARDO  
FABIO MEDINA  
NUSTE**

Firmado digitalmente por LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE  
Nombre de reconocimiento (DN): c=EC,  
o=BANCO CENTRAL DEL ECUADOR,  
ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE  
INFORMACION-ECIBCE, l=QUITO,  
serialNumber=0000621485, cn=LEONARDO  
FABIO MEDINA NUSTE  
Fecha: 2022.01.26 10:31:20 -05'00'



**1503-DBRA-UTP-2021**