

Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

Fundada en 1968 Decreto Ley N° 17358



ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALÚRGICA

FACULTA DE INGENIERIA QUIMICA y METALURGICA

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO METALÚRGICO

TITULO:

"PREPARACION DE ACIDO OXALICO PLANTA BENEFICIO"

AUTOR:

MELGAREJO MENDEZ, JUAN ALEXANDER

ASESOR:

Dr. SANCHEZ GUZMAN ALBERTO IRHAAM

HUACHO- PERU

2021

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo primeramente a Dios por darme la capacidad para llegar hasta este punto de mi vida. Asimismo a mis padres a quienes amo con toda mi alma, a ellos por su amor, su comprensión y apoyo que han sido el pilar fundamental, para llegar a ser la persona que hoy soy.

AUTOR

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer, además, en forma muy especial a la comisión de grados Académicos y Títulos Profesionales.

Conceptual y me entregaron herramientas para el desarrollo de este trabajo.

Por último, a todas aquellas personas que de alguna u otra forma han influido, para dar este gran paso, "Muchas Gracias".

AUTOR

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. RESUMEN	9
1.1. Objetivos	12
1.1.1. Objetivo general	12
1.1.2. Objetivos específicos.....	12
1.2. PROBLEMA.....	13
1.2.1. Problema general.....	13
1.2.2. Problemas específicas.....	13
1.3. HIPÓTESIS.....	13
1.3.1. Hipótesis general.....	13
1.3.2. Hipótesis específicos.....	13
II. REVISIÓN DE LITERATURA	15
2.1. Aguaje (<i>Mauritia flexuosa</i> L. f.).....	15
2.1.1. Clasificación taxonómica	15
2.1.2. Distribución.....	16
2.1.3. Descripción.....	16
2.1.4. Épocas de producción y cosecha del aguaje en el Perú	17
2.1.5. Revalorización e importancia.....	17
2.1.5.1. Beneficio social.....	17
2.1.5.2. Beneficio económico.....	18
2.1.5.3. Beneficio ambiental	18
2.2. Ácido oxálico	19
2.2.1. Origen y producción	19
2.2.2. Propiedades	19
2.2.2.1. Propiedades físicas	19
2.2.2.2. Propiedades químicas	19

2.2.3. Usos y aplicaciones.....	20
2.2.4. Efectos tóxicos	20
2.2.4.1. Inhalación	20
2.2.4.2. Contacto con la piel	21
2.2.4.3. Contacto con los ojos	21
2.2.4.4. Ingestión	21
2.3. Carbono	22
2.3.1. Tipos de carbono.....	22
2.4. Carbón activado	22
2.4.1. Propiedades	23
2.4.1.1. Propiedades físicas	23
2.4.1.2. Propiedades químicas	25
2.5. Tipos de carbón activado	26
2.5.1. Carbón activado en polvo.....	27
2.5.1.1. Ventajas.....	27
2.5.1.2. Desventajas.....	27
2.5.2. Carbón activado granular	28
2.6. Métodos de obtención de carbón activado	28
2.6.1. Activación por el método físico	29
2.6.2. Activación por el método químico.....	30
2.7. Aplicaciones del carbón activado	31
2.7.1. Uso en medio líquido.....	31
2.7.2. Uso en medio gaseoso.....	32
2.8. Mercado del carbón activado en el Perú	32
2.9. Adsorción	33
2.9.1. Tipos de adsorción	34
2.9.2. Características.....	35
2.9.3. Parámetros que influyen sobre las propiedades de adsorción.....	35
2.10. Isotermas de adsorción	36
2.10.1. Modelo de Langmuir	38
2.10.2. Modelo de Freundlich	38
2.11. Antecedentes.....	38

III.	MATERIALES Y MÉTODOS	42
3.1.	Lugar de ejecución	42
3.1.1.	Ubicación política	42
3.1.2.	Ubicación geográfica	42
3.2.	Materiales, equipos y reactivos	43
3.2.1.	Muestra biológica	43
3.2.2.	Materiales	43
3.2.3.	Equipos	43
3.2.4.	Reactivos.....	44
3.2.5.	Software	44
3.3.	Metodología	44
3.3.1.	Caracterización de la semilla de aguaje (<i>Mauritia flexuosa</i> L. f.).....	44
3.3.1.1.	Humedad	45
3.3.1.2.	Cenizas.....	45
3.3.1.3.	pH y conductividad eléctrica	45
3.3.1.4.	Nitrógeno orgánico	46
3.3.2.	Preparación y caracterización de los tratamientos	47
3.3.2.1.	Contenido de humedad y cenizas	48
3.3.2.2.	pH.....	48
3.3.2.3.	Densidad aparente	48
3.3.2.4.	Rendimiento	49
3.3.3.	Determinación de las isotermas de adsorción de ácido oxálico	49
3.3.3.1.	Determinación de la concentración inicial.....	49
3.3.3.2.	Elaboración de la isoterma de adsorción.....	50
3.3.4.	Determinación del mecanismo y la capacidad de adsorción	51
3.3.4.1.	Modelo de Langmuir.....	51
3.3.4.2.	Modelo de Freundlich	52
IV.	RESULTADOS	54
4.1.	Caracterización de la semilla de Aguaje (<i>Mauritia flexuosa</i> L. f.)....	54
4.2.	Caracterización de los tratamientos de carbón activado	55

4.2.1.	Rendimiento	55
4.2.2.	Valores de pH.....	56
4.2.3.	Contenido de Humedad.....	57
4.2.4.	Contenido de ceniza	58
4.2.5.	Densidad aparente	59
4.3.	Determinación de las isothermas de adsorción de ácido oxálico	60
4.3.1.	Determinación de la concentración inicial	60
4.3.2.	Isotermas de adsorción de ácido oxálico.....	61
4.3.2.1.	Tratamiento 1 (20% - 0.5).....	61
4.3.2.2.	Tratamiento 2 (20% - 0.75).....	62
4.3.2.3.	Tratamiento 3 (20% - 1).....	63
4.3.2.4.	Tratamiento 4 (40% - 0.5).....	64
4.3.2.5.	Tratamiento 5 (40% - 0.75).....	65
4.3.2.6.	Tratamiento 6 (40% - 1).....	66
4.3.2.7.	Tratamiento 7 (60% - 0.5).....	67
4.3.2.8.	Tratamiento 8 (60% - 0.75).....	68
4.3.2.9.	Tratamiento 9 (60% -1).....	69
4.3.2.10.	Carbón activado comercial.....	70
4.3.2.11.	Análisis comparativo de los carbones activados.....	71
4.4.	Determinación del mecanismo y la capacidad de adsorción.....	72
4.4.1.	Modelo de Langmuir.....	73
4.4.2.	Modelo de Freundlich.....	75
4.4.3.	Análisis estadístico	75
V.	DISCUSIÓN.....	77
5.1.	Caracterización de la semilla del aguaje	77
5.2.	Caracterización del carbón activado obtenido.....	78
5.3.	Determinación de las isothermas de adsorción.....	79
5.4.	Determinación del mecanismo y capacidad de adsorción.....	80

VI. CONCLUSIONES	82
VII. RECOMENDACIONES.....	83
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84
IX. ANEXOS.....	88

I. RESUMEN

La contaminación del agua por compuestos orgánicos e inorgánicos es producto de las actividades que realiza el hombre para vivir y mejorar su calidad de vida, actualmente esta contaminación generada es un problema, ya que puede desencadenar un potencial peligro tanto para la salud de las personas como así como para el medio ambiente, principalmente por la naturaleza tóxica del contaminante o su generación en concentraciones muy elevadas.

Ante esta necesidad de mejorar la calidad del agua surge como alternativa eficaz el tratamiento por adsorción, que consiste en la separación de los contaminantes presentes en las aguas residuales, este proceso es competitivo frente a otras operaciones convencionales presentando ventajas como tecnología limpia y bajo consumo energético; Además de ser ampliamente utilizado en procesos de tratamiento de aguas, entre los que destacan la remoción de cloro y sabores indeseables en el agua potable y la remoción de contaminantes orgánicos de vertidos industriales; siendo el carbón activado el material más utilizado, debido a su gran variedad y eficacia en la adsorción de estos compuestos contaminantes.

Este proceso de adsorción utiliza carbón activado como tratamiento terciario, para adsorber moléculas orgánicas que no se han podido eliminar, o como paso en lugar de tratamiento secundario.

En el tratamiento de aguas industriales, se puede utilizar para cumplir con las normas de pretratamiento para descarga a sistemas de aguas residuales municipales o para cumplir con las normas de descarga al medio natural (INDITEX, 2014).

A nivel mundial, la materia prima mayormente usada para la producción de carbón activado es la cáscara de coco. Así mismo, el Perú importa una gran cantidad de carbón activado, pudiendo producir y caracterizar estos sólidos adsorbentes a través de nuevas fuentes de materia prima, como es el caso de la semilla de aguaje, el cual al ser un residuo generado de la cadena productiva se convierte en un atractivo, ya sea por su bajo costo económico como su fácil accesibilidad,

por lo que se podría producir carbón activado a partir de esta semilla para el tratamiento de aguas contaminadas.

En el presente informe se plantea la siguiente interrogante: ¿Cuál será la adsorción de ácido oxálico mediante el uso de carbón activado elaborado a partir de semillas de aguaje?, así mismo se planteó la hipótesis de que conforme se aumenten los porcentajes de concentración de agente activante e índice de impregnación, se incrementará la adsorción de los tratamientos obtenidos en la planta de beneficio.

Palabras claves: Ácido oxálico, Adsorción, peso y aguaje

I. RESUME

The contamination of water by organic and inorganic compounds is the product of the activities carried out by man to live and improve their quality of life, currently this generated contamination is a problem, since it can trigger a potential danger both for the health of people as well as for the environment, mainly due to the toxic nature of the pollutant or its generation in very high concentrations.

Faced with this need to improve water quality, adsorption treatment arises as an effective alternative, which consists of the separation of pollutants present in wastewater, this process is competitive compared to other conventional operations presenting advantages such as clean technology and low energy consumption; In addition to being widely used in water treatment processes, among which the removal of chlorine and undesirable flavors in drinking water and the removal of organic pollutants from industrial discharges stand out; being the most used material activated carbon, due to its great variety and effectiveness in the adsorption of these polluting compounds.

This adsorption process uses activated carbon as a tertiary treatment, to adsorb organic molecules that have not been able to be removed, or as a step instead of secondary treatment.

In industrial water treatment, it can be used to comply with pre-treatment standards for discharge to municipal wastewater systems or to comply with the standards for discharge to the natural environment (INDITEX, 2014).

Worldwide, the raw material most used for the production of activated carbon is coconut shell. Likewise, Peru imports a large amount of activated carbon, being able to produce and characterize these adsorbent solids through new sources of raw

material, such as the aguaje seed, which being a waste generated from the production chain it becomes an attraction, both due to its low economic cost and its easy accessibility, so that activated carbon could be produced from this seed for the treatment of polluted water.

In this report the following question is posed: What will be the adsorption of oxalic acid through the use of activated carbon made from aguaje seeds? Likewise, the hypothesis was raised that as the percentages of agent concentration increase activator and impregnation index, the adsorption of the treatments obtained in the beneficiation plant will be increased.

Key words: Oxalic acid, Adsorption, weight and water

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

- Determinar la adsorción de ácido oxálico mediante el uso de carbón activado elaborado a partir de semillas de aguaje en la planta de beneficio

1.1.2. Objetivos específicos

- Caracterizar la semilla de aguaje
- Preparar y caracterizar los tratamientos de carbón activado.
- Determinar las isotermas de adsorción de ácido oxálico en la planta de beneficio
- Determinar el mecanismo y la capacidad de adsorción de los tratamientos y compararlos con el carbón activado comercial.

1.2. PROBLEMA

Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿como a partir de semillas de aguaje la adsorción elaborara el ácido oxálico mediante el uso de carbón activado en la planta de beneficio?

1.2.2. Problemas específicas

- ¿Que Características tendrá la semilla de aguaje?
- ¿Que Preparar y caracterizar los tratamientos de carbón activado.?
- ¿Como Determinar las isotermas de adsorción de ácido oxálico en la planta de beneficio?
- ¿Que mecanismo y la capacidad de adsorción de los tratamientos y compararlos con el carbón activado comercial?

1.3. HIPÓTESIS

1.3.1. Hipótesis general

Las semillas de aguaje la adsorción elaborara el ácido oxálico mediante el uso de carbón activado influyen significativamente en la planta de beneficio?

1.3.2. Hipótesis específicos

- Las Características que tendrá la semilla de aguaje influyen significativamente en la planta de beneficio
- La Preparar y caracterizar los tratamientos de carbón activado influyen significativamente en la planta de beneficio

- La Determinación de los isothermas de adsorción de ácido oxálico influyen significativamente en la planta de beneficio
- El mecanismo y la capacidad de adsorción de los tratamientos y compararlos con el carbón activado commercial influyen significativamente en la planta de beneficio

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Aguaje

2.1.1. Clasificación taxonómica

La especie se clasifica, según (CALZADA, 1993):

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Orden: Arecales

Familia: Arecaceae

Género: *Mauritia*

Especie: *Flexuosa*

Nombre científico: *Mauritia flexuosa* L. f.

2.1.2. Distribución

La palmera del aguaje tiene una amplia distribución en América del Sur, en la región amazónica. En esta región, el aguaje se caracteriza por ser una de las palmeras arborescentes más representativas. De las cuales ocupa áreas abiertas e inundables, próximas a las de los bosques densos. La sucesión de esta palmera incluye desde el este de los Andes, Colombia, Venezuela, Guyana, Ecuador, Perú, Bolivia y Brasil, en los estados del Norte, Nordeste, Sudeste y Centro Oeste (VTIC AGROINDUSTRIA, 2018).

Es típico de las tierras bajas hidromórficas de la región de la selva del Perú, se halla ocupando las “asociaciones ecológicas hídricas” de las siguientes zonas de vida natural: Bosque húmedo - tropical, Bosque húmedo - subtropical, Bosque seco - tropical, Bosque muy húmedo tropical (MINAG, 1974).

El hábitat natural del Aguaje está formado por pantanos y suelos con mal drenaje en la Amazonía, donde predominan los suelos permanente o temporalmente inundados. Crece en ecosistemas típicos denominados "aguajales". Probablemente originaria de las cuencas de los ríos Huallaga, Marañón y Ucayali; se cultiva y explota en poblaciones naturales en los departamentos de Loreto, Ucayali, Huánuco y San Martín (IIAP, 2009).

2.1.3. Descripción

El Aguaje es una palmera arborescente de solo un tallo, sin espinas que alcanza de 25 a 35 m de altura en su estado adulto. Es una palmera polígama dioica (palmas con flores femeninas, masculinas o bisexuales). El fruto es una drupa, elíptica, mide entre 5 y 7 cm de longitud, y 4 a 5 cm de diámetro, el peso varía entre 40 y 85 g. La cosecha empieza de los siete a ocho años y dura hasta los 40 y 50 años. El rendimiento puede ser estimado entre 15 y 25 tl. ha/año (ZAMORA, 2010).

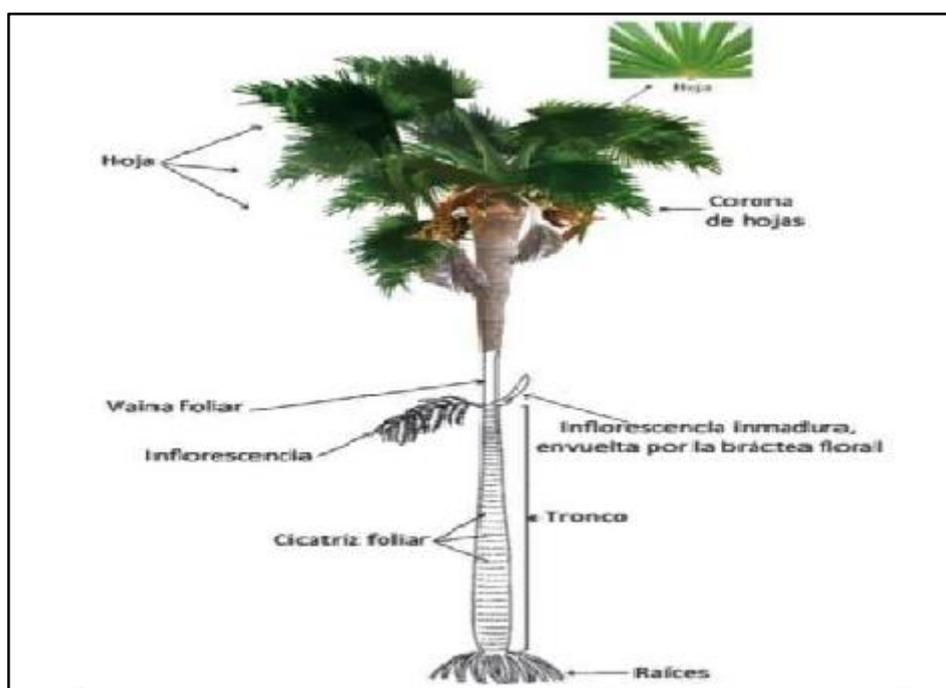


Figura 1. Estructura de la palmera de aguaje (*Mauritia flexuosa* L. f.)

Fuente: VTiC AGROINDUSTRIA, 2018

2.1.4. Épocas de producción y cosecha del aguaje en el Perú

El aguaje en estado natural produce anualmente en promedio, ocho racimos por palmera y cada racimo produce 725 frutos aproximadamente, por lo que la producción media estimada es de 290 kilos por palmera al año. Así mismo, los meses de alta producción son de agosto a diciembre, mientras que los de baja producción de febrero a julio según la información recogida de la cuenca de los ríos Pisqui y Cushabatay, en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Cordillera Azul (CIMA, 2012).

Así mismo, en la ciudad de Iquitos se consume, entre 131, 4 y 174,6 toneladas de frutos de Aguaje mensuales (50% utilizado por heladerías y chupeterías y el otro 50% utilizado como fruto o refresco). En promedio 153 toneladas mensuales son consumidas por los pobladores de Iquitos, que equivale a 51,23 toneladas de semilla generadas como desecho mensualmente en Iquitos (ROJAS *et al.*, 2001).

Se calcula que el consumo global en las ciudades de la selva peruana es de 50 toneladas diarias (CIMA, 2012).

En cuanto al sondeo de precios del aguaje como fruto y como pulpa, se manifiesta que cuando existe escasez de frutos de aguaje en los mercados, los precios varían entre 25.00 a 40.00 S/. por saco de 50 Kg en fruto y un promedio de 3.00 S/. por kilo de masa de aguaje. En épocas de abundancia los precios varían entre 5.00 a 15.00 S/. por saco de aguaje y 2.00 S/. por kilo de pulpa (VASQUEZ, 2007).

2.1.5. Revalorización e importancia

La palmera de Aguaje tiene múltiples usos, siendo los más importantes (CIMA, 2012):

2.1.5.1. Beneficio social

- La pulpa del aguaje presenta elevadas cantidades de vitamina A (como retinol).
- De las hojas se obtienen fibras para uso doméstico en leña y escobas.

- Del pecíolo (parte de la hoja que se une al tronco) se obtiene pulpa para papel.
- El tronco se utiliza como puente, para pisos y separador de ambientes, de la médula del tronco se obtiene harina comestible, mientras que del tronco en pudrición se extraen los "suris" (*Rhynchoporus palmarum*), larva blanquecina de un coleóptero que se consume.

2.1.5.2. Beneficio económico

- De las semillas se producen artesanías como pipas, botones, dados, trompos, llaveros y otras figuras decorativas.
- El fruto se consume de manera directa en distintas formas: para helados, mermeladas, refrescos, usos industriales y gastronómicos. Las semillas inmaduras son comestibles
- Cosmético en países como Brasil donde la palmera es conocida como "Buritf", el Aguaje es utilizado por su contenido de aceites, por la conocida empresa "Natura", en el Perú se comercializan estos productos, pero aún no se ha explorado este mercado por industrias nacionales.

2.1.5.3. Beneficio ambiental

- Los aguajales ofrecen posibilidades de recreación por la belleza de sus paisajes
- Conserva los hábitats donde viven y se alimentan numerosas especies de animales silvestres.
- Los aguajales ayudan a captar la contaminación del ambiente (se calcula que atrapan más de 600 toneladas de dióxido de carbono por hectárea) y generan aire limpio para uso de la humanidad.

2.2. Ácido oxálico

El ácido oxálico (o ácido etano dioico), de estructura HOOC-COOH, es el más simple de los ácidos dicarboxílicos alifáticos. La forma comercial más común es la di hidratada, de fórmula molecular: $C_2H_2O_4 \cdot 2H_2O$.

Se trata de un ácido orgánico saturado, de cadena normal, y muy fuerte (10000 veces más fuerte que el ácido acético). Gracias al enlace entre los dos grupos carboxilos, el ácido oxálico es uno de los ácidos orgánicos más fuertes. Los aniones del ácido oxálico, así como sus sales y ésteres, se conocen como oxalatos.

2.2.1. Origen y producción

El nombre habitual de "ácido oxálico" proviene de la palabra de origen griego axys (agrio), debido a su sabor amargo. El compuesto químico puro fue descubierto en 1776 por el químico sueco Carl Wilhelm Scheele en el proceso de oxidación del azúcar por el ácido nítrico. De ahí que al ácido oxálico se le llamara también "ácido de azúcar".

El ácido oxálico se produce en estado natural en forma de oxalato de potasio o de calcio en las raíces y rizomas de muchas plantas, como la acedera, el ruibarbo, la remolacha, y las plantas de la familia *Oxalis*. De forma industrial, el ácido oxálico se obtiene mediante dos oxidaciones sucesivas, utilizando ácido nítrico y el oxígeno del aire en presencia de un catalizador.

2.2.2. Propiedades

2.2.2.1. Propiedades físicas

- Sabor amargo.
- Sólido cristalino e incoloro.
- Sublima a 150°C.
- Densidad = 1,653 g/cm³.
- Parcialmente soluble en agua, etanol y otros disolventes.

2.2.2.2. Propiedades químicas

- En solución acuosa libera dos cationes ($2H^+$) por molécula.

- Grado de ionización: 60%
- Muy ácido y venenoso.
- Reacciona violentamente con agentes oxidantes fuertes.
- Se deshidrata de forma intramolecular en medio ácido:

$$\text{Ácido oxálico} + \text{CO} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$$
- Reacciona con bases formando oxalatos
- En solución acuosa es sensible a la luz y al aire, formando dióxido de carbono.

2.2.3. Usos y aplicaciones

El ácido oxálico se utiliza en las siguientes áreas:

- Construcción y aseo del hogar: Destinado fundamentalmente para pulir pisos de mármol y limpiar las piezas sanitarias como lavamanos e inodoros, eliminando manchas de óxido.
- Curtiembre: Durante el proceso de blanqueo y protección de cueros curtidos, el ácido oxálico evita la putrefacción que pueden originar los taninos y el cromo.
- Limpieza: Se utiliza para blanquear textiles, cuero, papel y madera, aparte, su presentación en cristales elimina las manchas de moho de la ropa. Conocido como sal amarga en los medios náuticos, es ideal para limpiar barcos.
- Textil: Aplicado como componente fijador en los baños de teñidos, además de ser un catalizador de las resinas que se usan en telas de planchado permanentes.

2.2.4. Efectos tóxicos

Los efectos agudos que puede llegar a producir (GTM, 2017), son:

2.2.4.1. Inhalación

La inhalación de ácido oxálico produce irritación de las vías respiratorias, ulceración de las mucosas, dolor de cabeza, nerviosismo, tos, vómitos, adelgazamiento, dolor de espalda (debido a una lesión renal), y debilidad.

2.2.4.2. Contacto con la piel

Causa irritación leve de la piel, nocivo si se absorbe. Por exposición prolongada, los productos químicos que contienen ácido oxálico en solución pueden provocar quemaduras. Las lesiones cutáneas se caracterizan por el agrietamiento de la piel y el desarrollo de las úlceras de lenta curación. La piel puede tomar un color azulado y las uñas se vuelven quebradizas y de color amarillo.

2.2.4.3. Contacto con los ojos

Puede causar irritación ocular grave, pudiendo resultar en lesiones en la córnea.

2.2.4.4. Ingestión

Este ácido puede irritar el esófago y el estómago cuando se ingiere, y causar daño renal, oliguria, albuminuria, hematuria. La ingesta de calcio o magnesio inhibe el paso de ácido oxálico a la sangre desde el tracto gastrointestinal.

Cuando los niveles de ácido oxálico son demasiado altos, estos se combinan con el calcio que produce el organismo, para formar oxalato de calcio, insoluble a pH fisiológico, por lo cual podría precipitar en los túbulos del cerebro y del riñón formando cálculos renales. La hipocalcemia secundaria a la formación de oxalato de calcio puede alterar la función del corazón y los nervios. Ulceraciones en la boca, vómitos de sangre, y la rápida aparición de shock, convulsiones, y colapso cardiovascular puede producirse después de la ingestión de ácido oxálico o de sus sales solubles.

Las personas pueden comer alimentos que contienen ácido oxálico u oxalatos, pero en pequeña cantidad, aunque estos se reducen entre un 30 a

87% con la cocción como señala un estudio realizado en Nueva Zelanda, pues

la mayor parte de ellos se solubiliza en agua, cuando se hierva las hortalizas previo a su consumo.

Entre algunos alimentos ricos en oxalato, podemos encontrar: espinaca, remolacha, cacao en polvo, chocolate, pimiento, germen de trigo, frutos secos, perejil, nueces, avellanas, frijoles, uvas, frambuesa y café en polvo.

2.3. Carbono

El carbono es un elemento de número atómico 6 y peso atómico 12 uma. Tiene las siguientes características:

- El átomo de carbono opta por compartir sus cuatro electrones externos con otros átomos mediante enlaces covalentes.
- Esa cuádruple posibilidad de enlace que presenta el átomo de carbono se denomina tetravalencia.
- El carbono es un elemento muy abundante en la corteza terrestre, el carbono puro existe bajo formas alotrópicas como sólidos cristalinos naturales y artificiales, y en forma impura como sólidos amorfos naturales y artificiales.

2.3.1. Tipos de carbono

- Carbones cristalinos:
Naturales: diamante, grafito
Artificiales: fullerenos
- Carbones amorfos:
Naturales: antracita (90 a 96 % de C), hulla, lignito, turba
Artificiales: carbón vegetal, negro de humo, coque

2.4. Carbón activado

El carbón activado es un material amorfo a base de átomos de carbono, que contiene además una pequeña cantidad de heteroátomos como oxígeno e hidrógeno.

Desde el punto de vista estructural el carbón activado se puede definir como un material carbonoso a partir de un precursor a base de carbón con gases, y en ocasiones con la adición de productos químicos, durante y después de la carbonización para aumentar la porosidad.

Este material tiene un elevado grado de porosidad y una gran superficie interna, demostrando ser un adsorbente eficiente para la eliminación de una amplia variedad de contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en el medio ambiente acuático. Debido a sus áreas superficiales porosas que van desde 500 hasta 1.500 m²/g, así como la presencia de un amplio espectro de superficie funcional que la hace accesible a diferentes reactivos (KARNIB *et al.*, 2014).

2.4.1. Propiedades

La capacidad de adsorción de los carbones activados se debe básicamente a sus propiedades físicas y químicas, es decir, a la porosidad de su estructura y a los grupos funcionales presentes en su superficie.

2.4.1.1. Propiedades físicas

Las propiedades físicas de los carbones activados están relacionadas con su gran área superficial específica y su estructura altamente porosa. Esta estructura está formada por poros de diferentes tamaños, los que son clasificados de acuerdo con las recomendaciones de la IUPAC en tres grupos principales:

- Microporos (menores a 2 nm)

Tienen un tamaño adecuado para retener moléculas pequeñas que aproximadamente corresponden a compuestos más volátiles que el agua, tales como: olores, sabores, y muchos solventes, además le confieren la elevada superficie y capacidad de retención.

- Mesoporos (entre 2 y 50 nm)
Son los apropiados para moléculas intermedias entre las anteriores.
- Macroporos (mayores a 50 nm, típicamente de 200 a 2000 nm) Atrapan moléculas grandes, tales como las que son cloradas o las sustancias húmicas (ácidos húmicos y fúlvicos) que se generan al descomponerse la materia orgánica.

Además, estos dos últimos son necesarios para retener moléculas de gran tamaño, como pueden ser colorantes o coloides, y para favorecer el acceso y la rápida difusión de las moléculas a la superficie interna del sólido (BANSAL *et al.*, 1998).

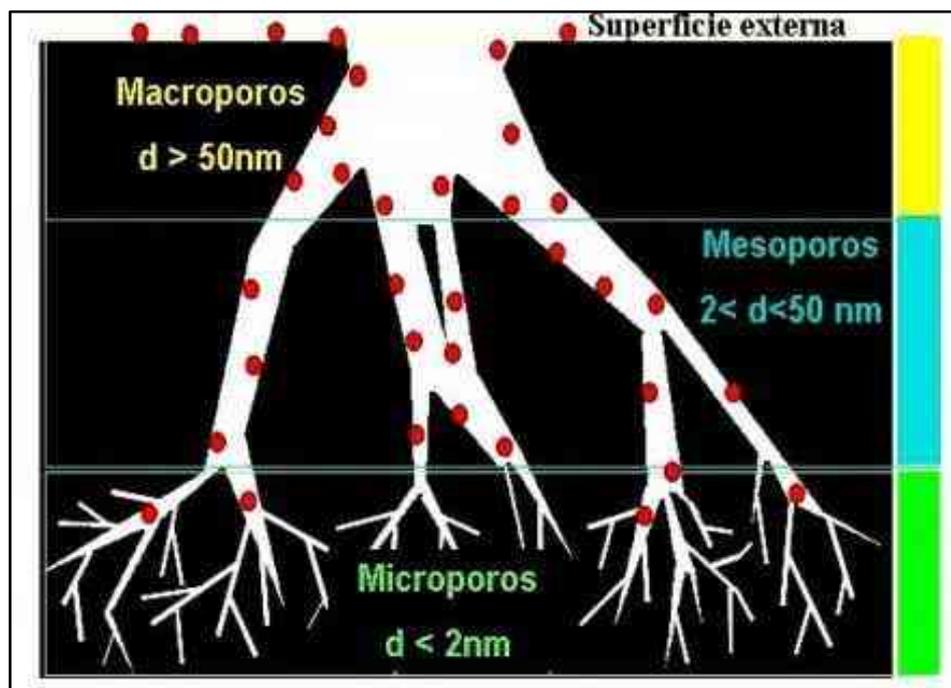


Figura 2. Distribución de poros al interior del carbón activado

Fuente: CARBOTECHNIA, 2004

Por lo tanto, la capacidad de un carbón activado para retener una determinada sustancia no solo depende de su área superficial, sino también de la proporción de poros internos que tenga dicho carbón, y del tamaño de estos (un tamaño adecuado para un poro debe oscilar entre 1 y 5 veces el diámetro de la molécula a retener).

Se puede pensar que, a mayor superficie específica, mejores serán las características como adsorbente del carbón activado, puesto que también deberíamos tener mayor número de espacios para adsorber el adsorbato. Sin embargo, esto no siempre es cierto, ya que se debe tener en cuenta el posible "efecto de tamiz molecular".

Por otro lado, también hay que tener en cuenta, la geometría del poro, como la del adsorbato. Así, por ejemplo, determinadas moléculas pueden penetrar en poros con geometrías del tipo "rendija" y no hacerlo en poros de dimensiones similares y geometrías cilíndricas.

En numerosas ocasiones también se ha observado que determinados compuestos se adsorben muy bien en un cierto carbón activado, mientras que la adsorción es mucho menor en otros carbones activados, a pesar de poseer éstos una distribución de tamaños de poros y superficie específica muy similar. Esto se debe al importante hecho de que; una elevada superficie específica, con una buena distribución de tamaños de poros que la hagan fácilmente accesible al adsorbato, es una condición necesaria, pero no suficiente, de modo que es necesario tener en cuenta otros factores (FERRADAS y TRUJILLO, 2013).

2.4.1.2. Propiedades químicas

Como propiedades de los carbones activados también son consideradas el carácter hidrófobo de su superficie, no obstante, se puede disminuir este carácter hidrófobo adicionando grupos superficiales polares, por reacción con algún agente oxidante.

También se considera su naturaleza anfótera, ya que en la superficie del carbón coexisten grupos superficiales de carácter ácido y grupos superficiales de carácter básico, el que un carbón sea globalmente ácido o básico dependerá

tanto de la concentración de estos grupos como de la fuerza como ácido o base de estos (MENÉNDEZ, 2008).

La presencia de estos grupos funcionales en el carbón se puede deber a los heteroátomos (oxígeno, nitrógeno e hidrógeno) presentes en el material precursor y al medio al que está expuesto el precursor durante la activación (FERRADAS y TRUJILLO, 2013).

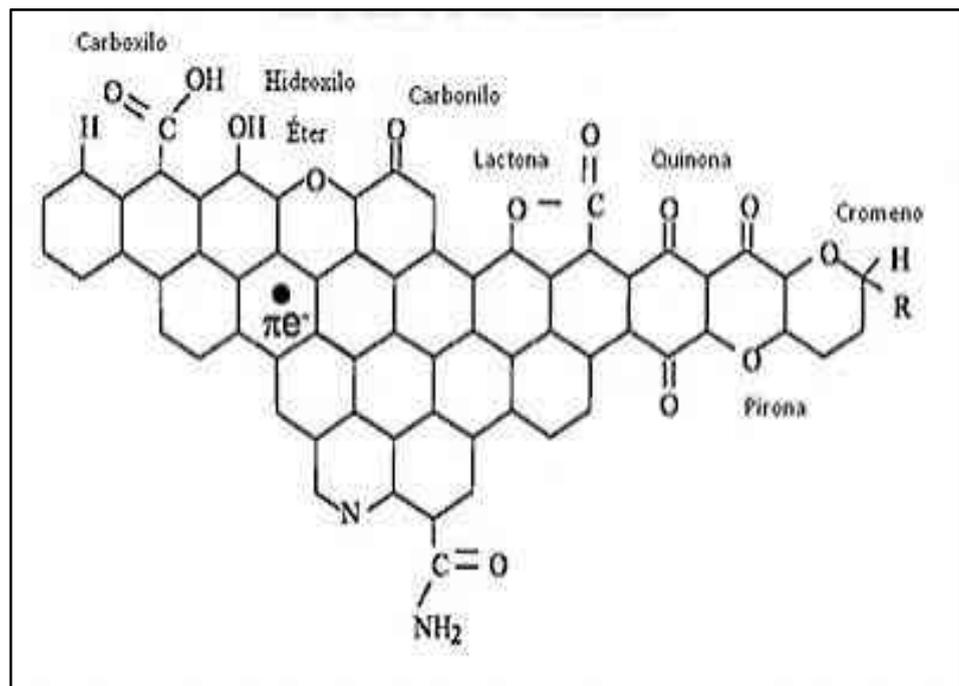


Figura 3. Principales grupos funcionales en la superficie del carbón activado

Fuente: Bandosz, 2006

2.5. Tipos de carbón activado

El carbón activado es clasificado de acuerdo con su estado físico (polvo o granular) presentando las siguientes características (SOTO, 2007):

- Carbón activado en polvo
Presentan tamaños menores a 100 nm, entre 15um y 25um.
- Carbón activado granular
Presentan un tamaño medio de partícula entre 1mm y 5 mm.

2.5.1. Carbón activado en polvo

El carbón activado en polvo posee dos propiedades importantes, la filtrabilidad y la densidad. Las principales propiedades físicas del carbón activado granular son la dureza y el tamaño de partícula; en este último es el más barato en la regeneración. La velocidad de adsorción del carbón activado en polvo es 100 veces mayor que la del granular. Sin embargo, el carbón activado en polvo es más difícil de manejar (JIMÉNEZ, 2001).

2.5.1.1. Ventajas

- Los carbones activados en polvo son de dos a tres veces más baratos que los granulares.
- Pueden dosificarse en exceso.
- Su cinética de adsorción es rápida, puesto que su superficie es fácilmente accesible.
- Una de las ventajas del carbón activado en polvo, es su facilidad para retirar sustancias altamente tóxicas que se encuentran a muy bajas concentraciones.
- Para aplicaciones en fase líquida, el carbón activado en polvo es muy utilizado y sus usos más frecuentes son: en decoloración y purificación de azúcares, procesos químicos, minería (extracción de oro), purificación de diferentes materiales, farmacia, medicina, máscaras antigás, entre otros (GIRALDO, 2007).

2.5.1.2. Desventajas

- El carbón activado en polvo no puede regenerarse cuando se recupera en mezcla con fangos de hidróxidos, por lo que debe preverse la pérdida de este material después de su utilización.

- Cuando se utiliza carbón activado en polvo, sólo (en ausencia de coagulantes minerales) puede recurrirse a la técnica de regeneración en lecho fluido, sin embargo, origina pérdidas muy elevadas (UNIVERSIDAD DE HUELVA, 2008).

2.5.2. Carbón activado granular

categorías:

Los carbones activados granulares, pueden dividirse en dos

- Carbón activado troceado (o sin forma):

Se obtienen por molienda, tamizado y clasificación de briquetas de carbón o de trozos más grandes.

- Carbón activado conformado (o con una forma específica, cilindros, discos, etc.):

Se obtienen por peletización o por extrusión de carbón en polvo mezclado con distintos tipos de aglomerantes (SOTO, 2007).

El uso más común del carbón activado granular para la depuración de agua residual ha sido en un tratamiento terciario, después de un tratamiento biológico (JIMÉNEZ, 2001).

2.6. Métodos de obtención de carbón activado

Los procesos de activación son de dos formas:

La activación física (llamada también activación térmica) y la activación química.

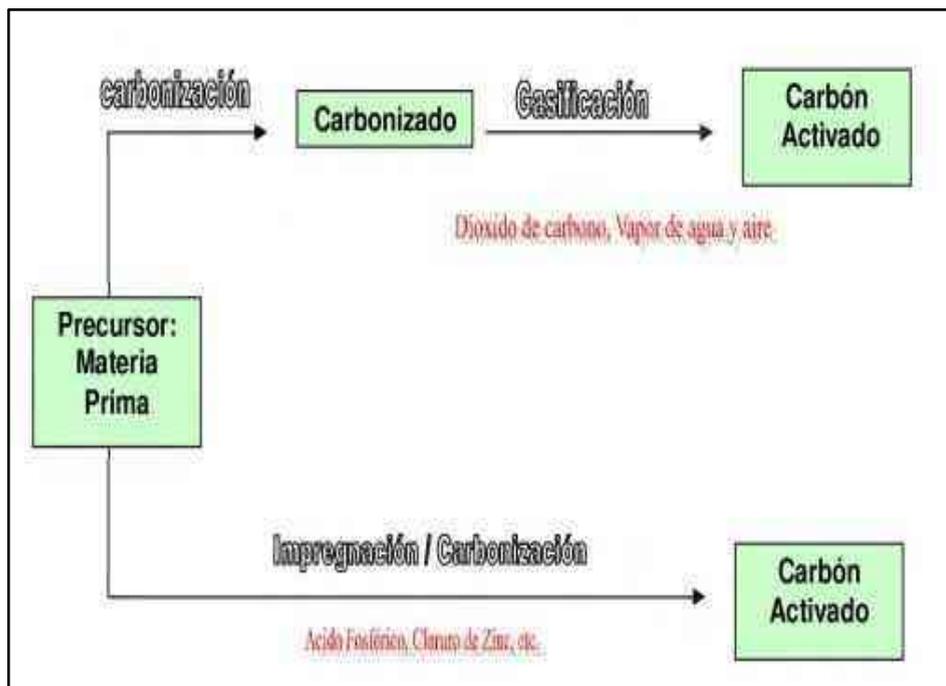


Figura 4. Tipos de activación.

Fuente: REINOSO, 2005.

2.6.1. Activación por el método físico

La activación física normalmente se lleva a cabo en dos etapas: la carbonización del precursor y la gasificación controlada del producto carbonizado. En el proceso de carbonización se eliminan elementos como hidrogeno y oxigeno del precursor para dar lugar a un esqueleto carbonoso con una estructura porosa rudimentaria (carbonización en medio poco oxidante a 500°C). Se obtiene entonces un material adsorbente cuya superficie específica es del orden de 10 m²/g. La segunda, es un proceso térmico que consiste en una oxidación controlada a 1000 °C en atmosfera, mediante la inyección de gas carbónico o vapor de agua. El tratamiento es relativamente largo de (10-48 horas), en él se destruyen la totalidad de materiales volátiles residuales y se aumenta el volumen de los poros y de la superficie del carbón activado del orden de 600 m²/g y en ocasiones hasta 1500 m²/g (GOMELLA *et al.*,1977).

La carbonización y la activación se realizan en distintos tipos de hornos, principalmente rotatorios construidos a base de acero y materiales refractarios, para soportar temperaturas cercanas a 1000 °C (REINOSO, 2005).

2.6.2. Activación por el método químico

El método de activación químico se caracteriza por que la carbonización y la activación tienen lugar en una sola etapa, llevada a cabo por la descomposición térmica de la materia prima impregnada con agentes químicos, tales como ácido fosfórico, cloruro de zinc, hidróxido de potasio o tiocianato potásico, siendo ésta realizada casi exclusivamente para carbones producidos de materia prima vegetal de origen reciente y obteniéndose rendimientos de hasta un 50% (bms), basándose la economía del proceso principalmente de la recuperación del agente activante utilizado (OVIN, 2003).

La porosidad de los carbones que se obtienen por activación química es generalmente por acciones de deshidratación química que tienen lugar a temperaturas mucho más bajas con respecto al método físico. En este proceso el material a base de carbón se impregna con un agente químico principalmente ácido fosfórico (o cloruro de zinc) y el material impregnado se calienta en un horno con temperatura entre 500 y 700 °C. Siendo la misión de los agentes activantes disminuir la formación del material volátil y alquitranes (ROBAU, 2006).

Entre los dos métodos de obtención del carbón activado, físico y químico, el método químico presenta más ventajas debido principalmente a que la materia prima no requiere de una previa carbonización, y no es necesario un equipamiento especial para proveer el agente de activación. El control del proceso se reduce básicamente a vigilar la temperatura y el tiempo de la carbonización- activación y la reducción de la formación de alquitrán, brea y otros residuos indeseables es máxima (CASTILLO, 1993).

Los agentes activantes reducen al máximo la formación de brea y tanto el cloruro de zinc como el ácido fosfórico actúan como un fuerte deshidratante y permiten la combinación del hidrogeno con el oxígeno de la célula para formar agua. Los vestigios de agua son eliminados, con lo cual solo pueden formarse cantidades muy pequeñas de alquitrán dejando finalmente que la mayor parte del alquitrán se transforme en compuestos de carbono; en esa forma los poros del carbón quedan libres (GUERRERO, 1987).

Los agentes activantes influyen en el proceso de pirólisis, restringiendo a un mínimo la formación de alquitrán y la cantidad de fase acuosa en el destilado (OVIN, 2003).

2.7. Aplicaciones del carbón activado

El carbón activado actualmente tiene diversidad de usos y aplicaciones, es usado en actividades industriales, sanitarias y domésticas. En general, el uso del carbón activado puede dividirse en dos grupos: usos en medio líquido y en medio gaseoso (REINOSO, 2005).

2.7.1. Uso en medio líquido

- Productos Alimenticios

En refinación del azúcar, para eliminar el color, olor, coloides y sustancias extrañas, con la finalidad de obtener productos purificados de buen aroma (MANTELL, 1951).

- Tratamiento del agua

Elimina aceites, grasas, color, olor de aguas potables y de alcantarillado, así como, impurezas y sedimentos de plantas industriales; se le emplea en la reutilización de aguas industriales dado que elimina, entre otros, el benceno, fenol y alcanfor (MANTELL, 1951).

Una aplicación importante en el tratamiento del agua potable es la de cloración, eliminando excesos de cloro; se usa también como desinfectante y purificador del agua de acuarios (SMISSEK, 1970).

- Hidrometalurgia

En la remoción de impurezas en los baños galvanoplásticos, y en metalurgia, en el proceso de cianuración del oro y la plata (CARBOTECNIA, 2004).

2.7.2. Uso en medio gaseoso

- Filtros industriales

En filtros contra vapores orgánicos solventes, gases ácidos, monóxido de carbono, dióxido de azufre, gases tóxicos, cianuro de hidrogeno, amoniaco y sulfuro de hidrogeno (SMISSEK ,1970).

Recuperación de biogás de rellenos sanitarios, eliminando hidrocarburos pesados y compuestos causantes de olores (CARBOTECNIA, 2004).

2.8. Mercado del carbón activado en el Perú

En el Perú, alrededor del 99 % del carbón activado que se consume es importado, lo que representa un monto de importación de 6´674 257 millones de USD FOB/año, y un volumen anual de 4443.159 toneladas, solo para el año 2014.

A nivel nacional la empresa Rayón y Celanese peruana, incursionó en los años 80 en ese rubro, cesando sus actividades a los pocos años debido a los problemas económicos y políticos del momento, posteriormente en 1995 la empresa Agrofor inicio la actividad de producción de carbón activado donde los costos de los productos fueron, para la industria (carbón activado en polvo y granular): 6 soles/kg, y para laboratorios e investigación (carbón activado en polvo): 15 soles/kg; esta producción de carbón activado se dio a partir de carozo de durazno, posteriormente al

tener problemas de abastecimiento de esta materia prima, utilizo otros productos agrícolas alternativos, cerrando posteriormente.

Actualmente en la provincia de Picota, departamento de San Martín se tiene a la empresa Agroindustria Las Tres Rosas E.I.R.L., dedicada a la obtención de derivados del coco, que está produciendo carbón activado como subproducto, cuya planta tiene una capacidad de 150 toneladas anuales (JOCABED *et al.*, 2015).

2.9. Adsorción

La adsorción es un fenómeno superficial por el cual átomos, iones o moléculas de una sustancia son retenidas en la superficie (región interfacial) de un sólido por las fuerzas superficiales que pueden ser fuerzas de Van Der Waals o enlaces químicos; dependiendo de ello, la adsorción es clasificada como física o química (ANSARI, 2009).

Hay que agregar que la interfase incluye tanto la superficie externa como la superficie interna de los capilares, las grietas y los intersticios del sólido (DEGADILLO, 2011).

La adsorción del carbón activado se debe a un desequilibrio de fuerzas que se genera en toda superficie formada por átomos de carbono. El desequilibrio se debe a que el carbono tiende a formar sus cuatro enlaces perfectamente distribuidos, en el espacio, lo que no ocurre en su superficie sólida, formándose enlaces del tipo Van Der Waals, con las moléculas de fluido adyacente. Los enlaces formados entre el carbón y el adsorbato se llaman fuerzas de London, que son las más comunes entre las seis fuerzas de Van Der Waals (MANABAN, 2007).

El término adsorción parece haber sido introducido por Kaiser en 1881, para connotar la condensación de gases sobre superficies libres, a diferencia de la absorción gaseosa en donde las moléculas del gas penetran dentro del sólido. El proceso inverso a la adsorción se conoce como desorción.

Todas las partes involucradas en el proceso reciben los siguientes nombres: las moléculas de la sustancia retenida son denominadas adsorbato; el sólido que las retiene, adsorbente y la sustancia a adsorber, adsortivo. Por último, la fuerza motriz de la adsorción es la diferencia de concentración entre el soluto en el adsorbente y el soluto en la disolución y su elemento limitante suele ser la difusión intraparticular (BADRUZZAMAN, 2004; AHMAD, 2010).

Se puede resumir la adsorción en tres pasos (DEGADILLO, 2011):

- 1) El transporte de las moléculas del adsorbato a través de la interfase líquido-sólido de la solución a la superficie del adsorbente.
- 2) Transporte del adsorbato hacia el interior de los poros del adsorbente. También conocido como difusión intraparticular.
- 3) Adsorción y distribución del adsorbato en los centros activos del adsorbente

2.9.1. Tipos de adsorción

- Adsorción física

Producto de las fuerzas que la producen donde la molécula adsorbida no está fija en un lugar específico de la superficie, sino más bien está libre de trasladarse dentro de la interfase. Ocurre fundamentalmente a temperaturas bajas. La adsorción de la mayoría de las sustancias orgánicas en el agua con carbón activado se considera de naturaleza física.

La adsorción (estrictamente, adsorción física) ha sido definida por la IUPAC como el enriquecimiento o el vaciamiento de uno o más componentes en una interfase. La molécula fisisorbida mantiene su identidad, pero son interacciones débiles.

- Adsorción química

Es cuando el adsorbato sufre una interacción química con el adsorbente, las energías de adsorción son elevadas, del orden de las de un enlace químico, debido a que el adsorbato

forma unos enlaces fuertes localizados en los centros activos del adsorbente. Ocurre a temperaturas altas.

La mayor parte de los fenómenos de adsorción son combinaciones de las formas de adsorción y de hecho, no es fácil distinguir entre adsorción física y química.

2.9.2. Características

- La adsorción es altamente selectiva. La cantidad adsorbida depende en gran medida de la naturaleza y del tratamiento previo al que se fue sometido al adsorbente, así como de la naturaleza de la sustancia adsorbida. Al aumentar la superficie de adsorbente y la concentración de adsorbato, aumenta la cantidad adsorbida.
 - Es un proceso espontáneo.
 - El cambio en la entalpía se conoce como la entalpía de adsorción.
- Dado que los procesos de adsorción son generalmente exotérmicos, al aumentar la temperatura disminuye la cantidad adsorbida. Son muchos los tipos de adsorción existentes (sólido-gas, sólido líquido, líquido-gas).
- Existen grupos de compuestos orgánicos presentes de forma habitual en el agua residual que son susceptibles de ser adsorbidos en carbón activo, incluyendo pesticidas, herbicidas, disolventes aromáticos, compuestos polinucleares aromáticos, compuestos clorados aromáticos, fenoles, disolventes clorados, compuestos de alto peso molecular (APM) (HMW - high molecular weight), ácidos alifáticos y ácidos aromáticos.

2.9.3. Parámetros que influyen sobre las propiedades de adsorción

- Los parámetros de capacidad determinan las características de carga del carbón (Concentración de adsorbato en el carbón, en el punto de saturación).
 - Área Superficial:

La capacidad de adsorción es proporcional al área superficial (es función del grado de activación del carbón)

- Tamaño de poro:

La correcta distribución del tamaño de poros es necesaria para facilitar el proceso de adsorción (suministrando los sitios de adsorción, los poros finos, y los canales de transporte adecuados para el manejo del adsorbato).

- Tamaño de partículas:

Las partículas pequeñas proveen una más rápida velocidad de adsorción (distancia más corta hasta los sitios de adsorción). El tamaño de partículas no influye sobre el área superficial total.

- El área superficial total es definida por el grado de activación y por la estructura de los poros del carbón.

- Concentración del adsorbato y tipo de sustancia de adsorbato:

La capacidad de adsorción es proporcional a la concentración del adsorbato (altas concentraciones proveen grandes fuerzas de empuje durante el proceso de adsorción).

2.10. Isotermas de adsorción

La adsorción se puede dar por dos formas: Adsorción física y adsorción química. La primera se da por interacciones débiles tales como las fuerzas de van der Waals, por esta forma se puede lograr una adsorción multicapa.

Por otra parte, la química se da por la formación de enlaces químicos que involucran una reacción por lo que la adsorción por multicapa no es posible.

Los modelos de isotermas de adsorción más utilizados para un único componente son el de Langmuir (1915) y el de Freundlich (1939). Ambos modelos describen una amplia gama de equilibrios de adsorción y permiten una interpretación física sencilla de cómo se producen las interrelaciones entre una sustancia adsorbida y una fase que adsorbe (RÍOS, 2008).

La adsorción para un sistema sólido-líquido, por lo general, es un proceso más complejo que la adsorción de un sistema sólido-gas. Para estos sistemas de adsorción, la clasificación más usada es la de Giles y Smith por presentar la relación entre los mecanismos de adsorción en las superficies sólidas y asociarlos con los tipos de isothermas obtenidos. Esta clasificación es conformada por cuatro clases principales de acuerdo con la pendiente inicial, con sus respectivos subgrupos para cada clase: 1, 2, 3, 4 y 5, basados en las formas de la parte superior de las curvas donde se describen el significado de las mesetas y los cambios de pendiente (OBREGÓN, 2012).

La isoterma tipo C (partición constante) tiene la forma de una línea. Esto significa que la relación entre la capacidad de adsorción (Q) y la concentración del adsorbato remanente en la solución en el equilibrio (C) permanece constante a cualquier concentración son curvas lineales dadas por solutos que penetran en el sólido con mayor facilidad que el solvente (sistema no competitivo).

La isoterma Tipo L se asemeja mucho a la isoterma de Langmuir, presenta una curva cóncava generalmente indican que las moléculas que se adsorben a la superficie de adsorbato son iones adsorbidos que están orientados verticalmente con fuerte atracción intermolecular.

Se subdivide en dos grupos: (I) cuando la curva alcanza una meseta estrictamente asintótica (sólido con limitada capacidad de adsorción) y (II) la curva no alcanza ninguna meseta (es decir, el sólido no presenta claramente el límite de su capacidad de adsorción).

La isoterma Tipo H (alta afinidad) es un caso particular de la isoterma tipo L donde la pendiente inicial es muy alta, es decir, la curva está muy pegada al eje de ordenadas se presenta en solutos adsorbidos como micelas iónicas y por iones intercambiables de alta afinidad.

La isoterma Tipo S (Langmuir) presenta una curva sigmoidea y un punto de inflexión. Las curvas son ligeramente convexas en la parte inicial de la adsorción, debido posiblemente a la resistencia al transporte de masa o difusión en la interfase. Este tipo de isothermas siempre es el resultado de al menos dos mecanismos opuestos. Los compuestos orgánicos no polares son un caso típico.

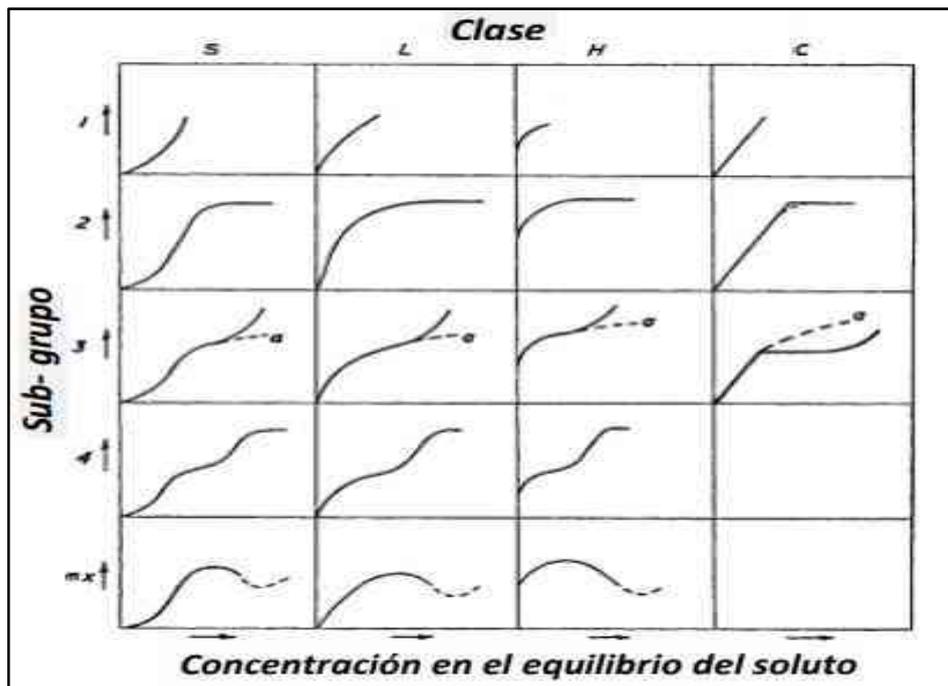


Figura 5. Sistema de clasificación de isothermas de adsorción sólido - líquido

Fuente: GILES Y SMITH, 1974

2.10.1. Modelo de Langmuir

El valor de RL indica la naturaleza de la adsorción (DADA *et al.*, 2011). Desfavorable: $RL > 1$; Lineal: $RL = 1$; Favorable: $0 < RL$.

2.10.2. Modelo de Freundlich

El modelo de Freundlich describe una adsorción (por intercambio iónico) superficial no ideal, reversible para superficies heterogéneas.

Se puede aplicar este modelo para una adsorción en multicapa sin una distribución uniforme de entalpía (sin distribución uniforme de energía) o afinidad de adsorción sobre una superficie heterogénea y que las interacciones entre el contaminante y el adsorbente no son siempre iguales (FOO y HAMEED, 2010).

K_f es la constante de Freundlich (mol. g^{-1}), que es un indicador de la capacidad de adsorción o describe la afinidad con el agente adsorbente y n es la intensidad de adsorción o indica cuán favorable es el proceso de adsorción o también se interpreta como parámetro de heterogeneidad (constante referida a la energía de adsorción entre contaminante-adsorbente) (RIVAS, 2006).

Si $n > 1$, representa una condición de adsorción favorable o de mayor heterogeneidad (DE OLIVEIRA *et al.*, 2013).

2.11. Antecedentes

NAVARRO y VARGAS (2009) Estudiaron el efecto de las propiedades físicas de un carbón activado, tales como distribución de tamaño de poros, superficie específica, diámetro promedio de poros, en la adsorción de oro desde disoluciones cianurada. Donde, se trabajó con dos carbones activados a partir de cáscara de coco.

Así mismo, en los resultados se obtuvo que el carbón B, con 786 m²/g de superficie específica, alcanzó una mayor carga por unidad de superficie (0,02 mg Au/m²) en relación con el carbón A, de 985 m²/g, el cual alcanzó una carga de 0,01 mg Au/m², después de 6 h de contacto carbón-disolución.

La velocidad de adsorción de oro en ambos carbones fue controlada por transferencia de masa en la película líquida que rodea a las partículas de carbón, a tiempos cortos o cargas pequeñas de oro en las partículas, lejos del equilibrio. Al aplicar un modelo cinético de primer orden, se obtuvo que la razón de las constantes cinéticas para los carbones A y B, es decir, (k_B/k_A), fluctúa en un valor de 3 para los distintos cationes en estudio.

SANGAY (2010) En este estudio se evaluó el carbón activado obtenido a partir del endocarpio de *Bertholletia excelsa*, procedente de plantación y de bosque natural empleando un método químico (H₃P0₄). Donde se estudió la influencia de los factores de proceso, como son: la concentración del agente activante, la granulometría y la procedencia de las muestras.

El carbón activo con mayor poder de adsorción y por consiguiente con una mayor área superficial fue el procedente de Bosque nativo (Madre de Dios), a 60% de concentración de agente activante empleando la menor abertura de tamiz, que incluye granos de diámetros menores a 0,15 mm. Según los resultados obtenidos en este trabajo se puede indicar que a partir del endocarpio del fruto de la castaña (*Bertholletia excelsa*) es posible obtener un carbón activado de buena calidad.

ZAMORA (2010) Realizó tres grados de impregnación distintos: 0,75, 1 y 1,5 g H₃PO₄/g precursor, y la activación térmica se realizó a tres diferentes temperaturas: 400, 500 y 600°C. Donde los mejores carbones obtenidos fueron: AG0.75_600 entre los carbones de la serie AG (aguaje), y AC1_600 para la serie AC (aceituna). Estos carbones se caracterizaron por tener un alta meso porosidad (140 y 125 m²/g) y acidez superficial (2,43 y 2,37 mmol H⁺. g⁻¹) lo que favoreció la adsorción de cadmio.

Finalmente, todas las isotermas de adsorción presentaron un ajuste predominante con el modelo Redlich - Peterson por medio del cual se

pudo determinar que la adsorción del ion cadmio tenía una mayor predominancia a una isoterma tipo Langmuir, esto indicaría que el proceso de adsorción se lleva a cabo en centros activos homogéneos y equivalentes en energía en toda la superficie del carbón.

OBREGÓN (2012) Estudió la obtención del carbón activado a partir las semillas de Aguaje y Shapaja utilizando el método químico con ácido fosfórico, así como los efectos de tres variables: especie (*Attalea phalerata* y *Mauritia flexuosa*); granulometría (+16, -16/+100,- 100) y tiempo de activación (90 y 120 min.). Donde el mejor carbón activado de acuerdo con la evaluación fue de la especie Aguaje, el cual se elaboró tomando las siguientes variables: granulometría (+16), tiempo de activación (120 min.).

De las variables empleadas se demostró estadísticamente que las variables que más influyeron en los resultados obtenidos fueron, el tiempo de activación y la especie. De acuerdo con los resultados obtenidos en este trabajo se puede indicar que a partir de las semillas de Aguaje y Shapaja se puede obtener carbón activado de buena calidad, siendo el Aguaje el que presenta capacidad de adsorción excepcional.

OSPINA (2013) Realizó la activación física usando como agentes activantes vapor de agua, CO₂ y una mezcla de estos gases, adicionalmente se realizó activación química usando K₂CO₃ como agente activante. Algunos de los carbones obtenidos fueron caracterizados por SEM y EDS, donde se encontró que los materiales obtenidos por ambos tipos de activación son principalmente amorfos y que las características morfológicas de los carbones obtenidos mediante activación física son muy diferentes de los obtenidos por activación química.

Finalmente, a través de impregnación con sales de Ni y Mo se evidenció que, por características como la alta dispersión obtenida, estos materiales carbonosos presentan un potencial para ser usados como soporte catalítico

SEPÚLVEDA (2014) Realizó estudios, donde las mejores condiciones para la producción de carbón activado para la adsorción de VM son 650 °C y 180 min para la temperatura y tiempo de activación, y una relación de impregnación de 1:1 g (ZnCl₂: precursor). En estas condiciones, las respuestas pronosticadas para el mejor número de yodo y el mejor porcentaje de rendimiento fueron 1123 mg/g y 18.76 %, respectivamente.

El CACFS producido en las mejores condiciones mostró una superficie porosa, con un área superficial de 1194 m²/g, que es superior a la reportada por otros carbones activados para la remoción de VM. La caracterización fisicoquímica y número de yodo de CACFS a partir de cáscara de frijol de soya son indicativos de su uso potencial como un buen adsorbente para eliminar el VM de soluciones acuosas.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

El presente trabajo se realizó en el laboratorio de Tesis, de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).

3.1.1. Ubicación política

- Departamento: Lima
- Provincia: Lima
- Distrito: La Molina

3.1.2. Ubicación geográfica

Se encuentra ubicada a una latitud $12^{\circ}04'55''$ Sur, longitud $76^{\circ}56'53''$ Oeste, con coordenadas UTM 8663624, 287969 y a una altitud de 247 m.s.n.m.

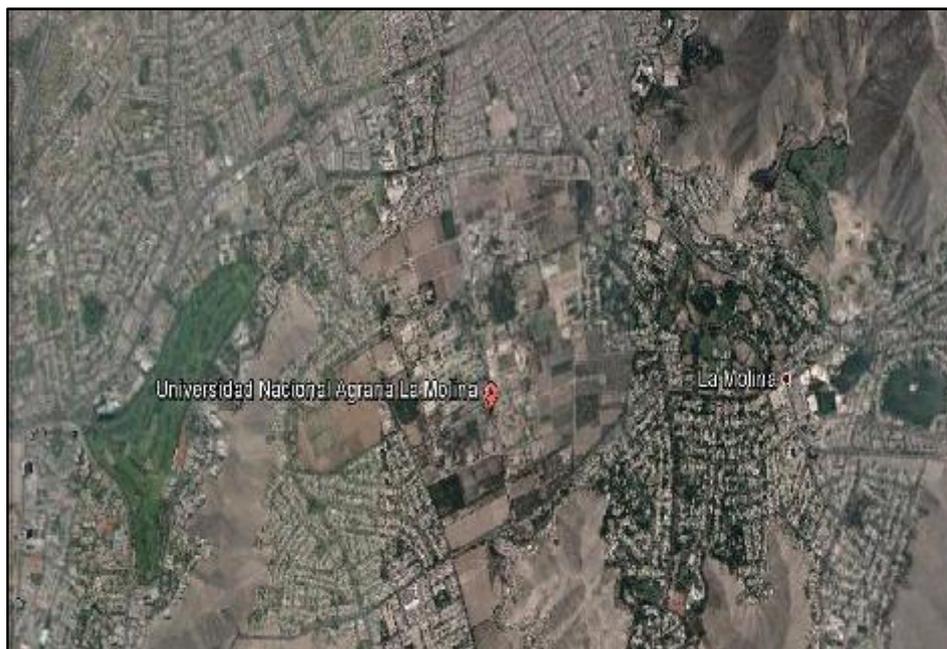


Figura 6. Lugar de ejecución de la práctica

Fuente: Google Earth

3.2. Materiales, equipos y reactivos

3.2.1. Muestra biológica

- Semilla de aguaje

3.2.2. Materiales

- Agua destilada
- Cápsula de porcelana
- Crisol de 70 ml
- Pizeta de 500 ml
- Probeta de 100 ml
- Vaso precipitado de 250 ml
- Matraz de 125 ml
- Fiola de 100 ml
- Placa petri
- Bureta de 25 ml
- Embudo de vidrio
- Pipeta de 10 ml
- Papel filtro Whatman 125 mm
- Plumón indeleble
- Bolsas herméticas
- Papel toalla
- Pinza
- Guantes desechables
- Cuaderno de apuntes
- Cámara digital

3.2.3. Equipos

- Estufa
- Mufla
- Agitador magnético
- Balanza analítica de sensibilidad de 0.01 mg
- pH metro

- Equipo Kjeldahl
- Moledora
- Tamices ASTM (20 -140)
- Campana de extracción
- Cronómetro

3.2.4. Reactivos

- Ácido fosfórico (H_3PO_4)
- Ácido oxálico ($H_2C_2O_4$) 0.2N
- Permanganato de potasio ($KMnO_4$) 0.1 N
- Hidróxido de sodio (NaOH)
- Ácido sulfúrico ($H_2S_2O_4$) 2N

3.2.5. Software

- Microsoft Word
- Microsoft Excel
- Google Earth
- Laptop Toshiba Core I7

3.3. Metodología

3.3.1. Caracterización de la semilla de aguaje

Se seleccionó como material precursor a la semilla de aguaje (*Mauritia flexuosa* L. f.), la cual fue recolectada de diferentes puestos de ventas de refresco de la ciudad de Tingo María, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco.

Las mismas que fueron analizadas en el laboratorio de Tesis de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Agraria La Molina, donde se determinó el contenido de humedad, cenizas, pH, conductividad eléctrica y nitrógeno orgánico, según (A.O.A.C., 1997).

3.3.1.1. Humedad

Se realizó mediante desecación en estufa, donde se pesaron 3 muestras, las cuales fueron puestas en cápsulas de porcelana.

Seguidamente, estas muestras fueron llevadas a estufa, a una temperatura de 105°C aproximadamente, para luego ser anotado el peso constante, donde el contenido de humedad fue obtenido mediante la diferencia de los pesos, con respecto a la cantidad de muestra analizada.

3.3.1.2. Cenizas

Se pesaron las muestras, las cuales fueron colocadas en cápsulas de porcelana previamente pesadas en una balanza analítica, para después ser llevadas a una mufla precalentada a una temperatura de 560°C por 2 horas hasta la obtención de ceniza.

Por último, se retiraron las muestras, las cuales fueron pesadas, para posteriormente ser procesados los resultados, los cuales se obtuvieron mediante la relación del peso obtenido con respecto al peso de muestra inicial analizado.

3.3.1.3. pH y conductividad eléctrica

Se pesaron 3 muestras de 10 g, las cuales fueron colocadas en matraces de 125 ml, para después ser agregado 100 ml de agua destilada, así mismo se colocaron tapones a cada una con la finalidad de evitar la pérdida de muestra a analizar.

Seguidamente se colocaron en un agitador magnético, con la finalidad de estar en agitación constante, por un prudente periodo de tiempo.

Al finalizar, las muestras fueron retiradas para su posterior reposo, una vez asentado el contenido, se procedió a

realizar las mediciones con el pH metro, con una solución buffer de pH = 7 para la respectiva calibración.

3.3.1.4. Nitrógeno orgánico

1) Digestión

Se pesaron 0.2 – 0.3 gramos de muestras y se colocaron en el balón de digestión. Seguidamente, se agregó 1 gramo de catalizador de oxidación con la finalidad de acelerar la reacción.

Después se agregó 2.5 ml de H₂SO₄ concentrado, para luego ser colocado el balón en la cocina de digestión, donde se agitó cada cierto tiempo. La digestión terminó cuando el contenido del balón llegó a ser cristalino.

2) Destilación

Se colocaron las muestras digeridas en el equipo de destilación para agregarse 5 ml de hidróxido de sodio (NaOH concentrado).

Luego se conectó el vapor y el refrigerante para comenzar el proceso de destilación. Se recogió el destilado en un Erlenmeyer de 125 ml conteniendo 20 ml de indicador para proteína (ácido bórico + indicadores de pH). La destilación se terminó cuando no pasó más amoníaco, así mismo hasta observarse un cambio de coloración.

3) Titulación

Se procedió a titular con ácido sulfúrico valorado en 0.02 N las muestras destiladas y se anotó el gasto al cambio de color a un tono rosa o violeta. Posteriormente, se procesaron estos datos obtenidos, a partir de la titulación realizada.

3.3.2. Preparación y caracterización de los tratamientos

1) Preparación de los tratamientos

La muestra de semilla de aguaje obtenida fue lavada y seguidamente secada en una estufa por 24 horas a 60°C, para luego ser pasada por una prensa hidráulica y una molidora.

Se pesaron 30 g de material, haciendo un total de 9 tratamientos los cuales fueron puestos en crisoles, para después ser añadidos diferentes concentraciones de ácido fosfórico (H_3PO_4) al 20, 40 y 60% (V/V), así como también diferente índice de impregnación de 0.5, 0.75 y 1 (g agente activante/g materia prima).

Así mismo, estos tratamientos se mantuvieron por un tiempo de impregnación de 16 a 24 horas a temperatura ambiente.

Con la finalidad de determinar el óptimo adsorbente; la clasificación de los tratamientos fue establecida de la siguiente manera:

Cuadro 1. Factores para la elaboración de los tratamientos

Tratamiento	Concentración de ácido fosfórico (%)	Relación de impregnación (P/P)
T1	20	0.5
T2	20	0.75
T3	20	1
T4	40	0.5
T5	40	0.75
T6	40	1
T7	60	0.5
T8	60	0.75
T9	60	1

El proceso de activación se realizó por el método químico, donde las muestras fueron llevadas a la mufla en la cual previamente se quemaron por un tiempo de media hora mediante una rampa de temperatura, para luego realizar la activación a una temperatura de 600°C, por una hora. Después se procedió a lavar las muestras con agua destilada.

Posteriormente, se secaron las muestras en estufa, para después ser molidas y tamizadas, con las mallas número 20 (0.85 mm) y 140 (0.106 mm), según ASTM.

Finalmente, estos tratamientos fueron colocados en bolsas herméticas para su posterior uso.

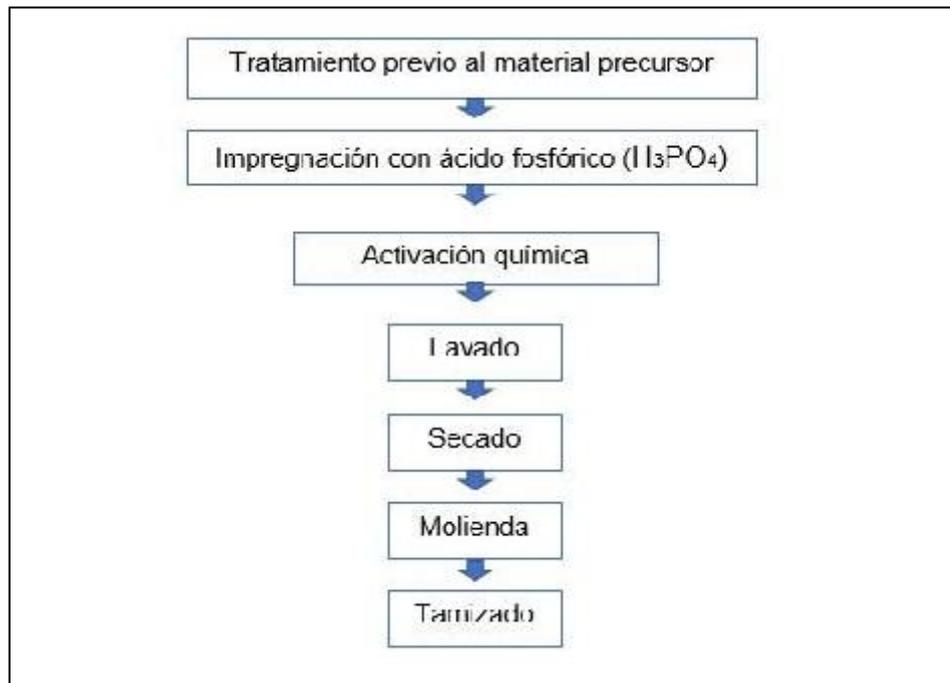


Figura 7. Flujograma de procesos realizados para la activación

2) Caracterización de los tratamientos obtenidos

Se realizaron los análisis de humedad, cenizas, pH, y densidad aparente, así mismo se determinó el rendimiento de cada tratamiento obtenido.

3.3.2.1. Contenido de humedad y cenizas

Fue determinado de acuerdo con la norma (ASTM, 2007)

3.3.2.2. pH

Fue determinado de acuerdo con la norma (NTP 027.025-1982)

3.3.2.3. Densidad aparente

Fue determinado de acuerdo con la norma (NTP 15-000-1982)

3.3.2.4. Rendimiento

Se determinó el rendimiento según (ZAMORA, 2010).

Donde, se registraron los pesos de los tratamientos tanto antes y después del proceso de activación química.

El rendimiento se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{Rendimiento} = \frac{C}{B} \cdot 100 \quad (1)$$

Donde:

- B: peso del precursor con el crisol antes de ingresar a la mufla (g)
- C: peso del precursor con el crisol después de la mufla (g)

3.3.3. Determinación de las isotermas de adsorción de ácido oxálico

3.3.3.1. Determinación de la concentración inicial

Se prepararon soluciones de permanganato de potasio (KMnO_4) a 0.1 N y de ácido oxálico ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$) a 0.2N.

Después se tomó una alícuota de ácido oxálico ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$) y se estandarizó con permanganato de potasio (KMnO_4), obteniéndose 0.1025 M aproximadamente.

Posteriormente se prepararon las siguientes disoluciones:

Cuadro 2. Proporciones de ácido oxálico y agua destilada

N°	Volumen total de la disolución (ml)	Volumen de ácido oxálico (ml)	Volumen de agua destilada (ml)
1	50	10	40
2	50	20	30
3	50	30	20
4	50	40	10
5	50	50	0

A partir de las disoluciones preparadas, se determinó la concentración inicial de cada una, a partir de la siguiente ecuación:

$$M_1 V_1 = M_2 V_2 \quad (2)$$

3.3.3.2. Elaboración de la isoterma de adsorción

Se pesó 1 gramo de carbón activado y se agregó a cada disolución preparada, haciendo un total de 5 para cada uno de los nueve tratamientos y para el carbón activado comercial, posteriormente se tapó y agitó por una hora y posteriormente se dejó reposar por un tiempo de media hora las muestras.

Al término se filtró cada solución para luego ser añadido 10 ml de ácido sulfúrico (H₂SO₄) 2 N, seguidamente se calentó en una cocinilla y se dejó reposar por unos minutos hasta llegar a una temperatura de 80°C aproximadamente. Así mismo, se realizó la valoración de cada disolución con permanganato de potasio (KMnO₄) a 0.1 N, hasta observar un cambio de coloración a rosado violeta, esto se realizó con 3 repeticiones, haciendo un total de 15 valoraciones por cada tratamiento.

Seguidamente se determinó la capacidad de adsorción en equilibrio, mediante la ecuación (LIMOUSIN, 2007):

$$q_e = V \times \left(\frac{C_i - C_e}{W} \right) \quad (3)$$

Siendo:

- : capacidad de adsorción en el equilibrio (mol. g-1)
- V: volumen de la solución (L)
- Ci: concentración inicial del adsorbato (mol•L-1)
- Ce: concentración en equilibrio del adsorbato (mol•L-1)
- W: peso del adsorbente (g)

3.3.4. Determinación del mecanismo y la capacidad de adsorción

Se determinó el mecanismo de adsorción, mediante la correlación con los modelos de Langmuir y Freundlich.

3.3.4.1. Modelo de Langmuir

Se graficó el modelo de Langmuir, mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_{L,Langmuir}} + \frac{C_e}{q_{m,Langmuir}} \quad (4)$$

Donde:

- Ce: concentración del adsorbato en el equilibrio (mol. L-1)
- qe: capacidad de adsorción el equilibrio (mol. g-1)
- qm: capacidad máxima de adsorción (mol. g-1)
- KL: constante de Langmuir (L. mol -1).

Así mismo se determinó el parámetro de equilibrio RL, constante adimensional denominado factor de separación (FOO y HAMEED, 2010).

$$R_L = \frac{1}{1 + k_L C_0} \quad (5)$$

Donde:

- C_0 : concentración inicial del adsorbato (mol. L⁻¹)
- K_L : constante relacionada con la energía de adsorción

3.3.4.2. Modelo de Freundlich

Así mismo, se utilizó el modelo de Freundlich, el cual se representa mediante la ecuación:

$$\log Q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (6)$$

Donde:

- q_e : capacidad de adsorción en el equilibrio (mol. g⁻¹)
- C_e : concentración del adsorbato en el equilibrio (mol. L⁻¹)
- K_F : constante de equilibrio
- n : constante referida a la energía de adsorción.

3.3.4.3. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico, se efectuó el análisis de varianza (ANOVA) de dos factores con la ayuda de la herramienta Excel, usando un nivel de significancia del 95%; esto con la finalidad de determinar si existe una diferencia significativa a partir de los factores empleados.

Las hipótesis con respecto a los factores planteados son:

- Concentración de ácido fosfórico:

Hipótesis Nula (H_0): No existe diferencia significativa en los porcentajes de concentración de agente activante, por lo que estos no influyen en la capacidad máxima de adsorción, con 95% de confiabilidad.

Hipótesis Alterna (Ha): Si existe diferencia significativa en los porcentajes de concentración de agente activante, por lo que estos infieren en la capacidad máxima de adsorción, con 95% de confiabilidad.

- Índice de impregnación:

Hipótesis Nula (Ho): No existe diferencia significativa en los índices de impregnación, por lo que estos no infieren en la capacidad máxima de adsorción, con 95% de confiabilidad.

Hipótesis Alterna (Ha): Si existe diferencia significativa en los índices de impregnación, por lo que estos infieren en la capacidad máxima de adsorción, con 95% de confiabilidad.

IV. RESULTADOS

4.1. Caracterización de la semilla de Aguaje (*Mauritia flexuosa* L. f.)

En el Cuadro 3, se observan los datos obtenidos para cada parámetro analizado, los cuales fueron realizados con 3 repeticiones en cada caso.

Cuadro 3. Análisis de la semilla de Aguaje

Parámetro	Semilla de aguaje
pH	6.19
Conductividad eléctrica (mS/cm)	2.53
Humedad (%)	7.457
Ceniza (%)	2.04
Nitrógeno (%)	0.784

A partir de los datos obtenidos, se puede observar que la semilla de aguaje presenta un contenido relativamente bajo de humedad de 7.46%, por lo que esto indicaría que no absorbe gran cantidad de agua del ambiente.

Así mismo, la semilla presenta un contenido de nitrógeno de 0.784%, además de un bajo contenido de cenizas de 2.04%, lo que confirma un bajo contenido inorgánico.

Por otro lado, la semilla de aguaje presenta un pH casi neutro, al obtener un valor de 6.19.

4.2. Caracterización de los tratamientos de carbón activado

4.2.1. Rendimiento

Cuadro 4. Porcentaje de rendimiento obtenido

Tratamiento	Concentración (%)	Índice de impregnación (P,P)	Rendimiento (%)
T1	20	0.5	36.715
T2	20	0.75	42.083
T3	20	1	45.399
T4	40	0.5	43.548
T5	40	0.75	51.831
T6	40	1	58.234
T7	60	0.5	49.879
T8	60	0.75	62.109
T9	60	1	71.710

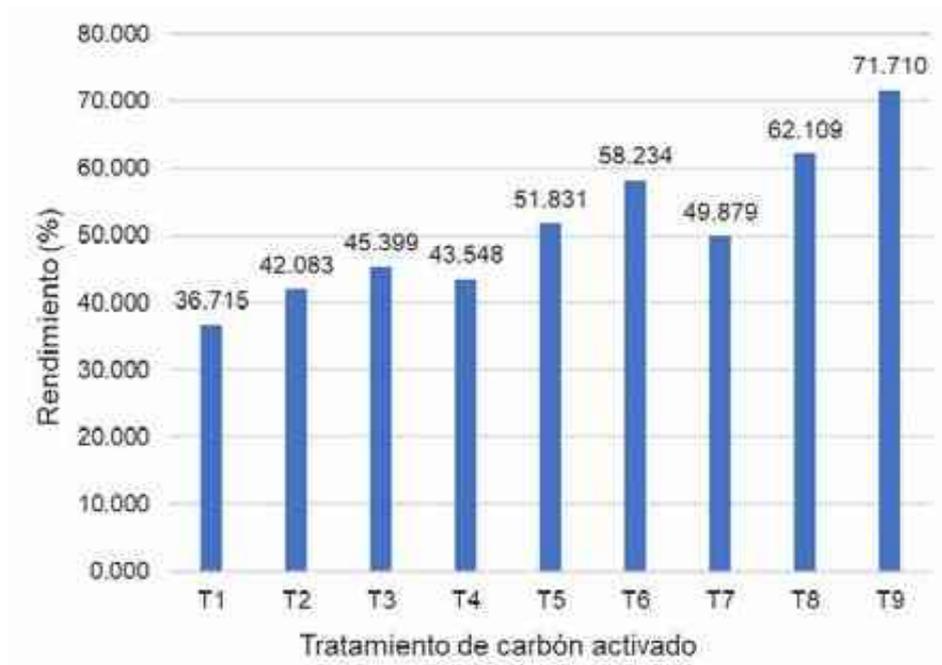


Figura 8. Rendimiento de los tratamientos

De la figura se observa que el rendimiento aumenta proporcionalmente con respecto al factor de concentración y al índice de impregnación utilizado en el proceso de activación, donde el menor y mayor valor

obtenido, fueron para los tratamientos 1 y 9 con los factores de activación de 20 y 60 % de concentración, así mismo con 0.5 y 1 de índice de impregnación respectivamente.

4.2.2. Valores de pH

Cuadro 5. Valores de pH obtenidos

Tratamiento	Concentración (%)	Índice de impregnación (P/P)	pH	Temperatura (°C)
T1	20	0.5	2.84	20.6
T2	20	0.75	2.51	21.3
T3	20	1	2.34	21
T4	40	0.5	2.3	21.3
T5	40	0.75	2.35	20.8
T6	40	1	2.33	20.6
T7	60	0.5	2.43	20.8
T8	60	0.75	2.21	20.4
T9	60	1	2.22	21

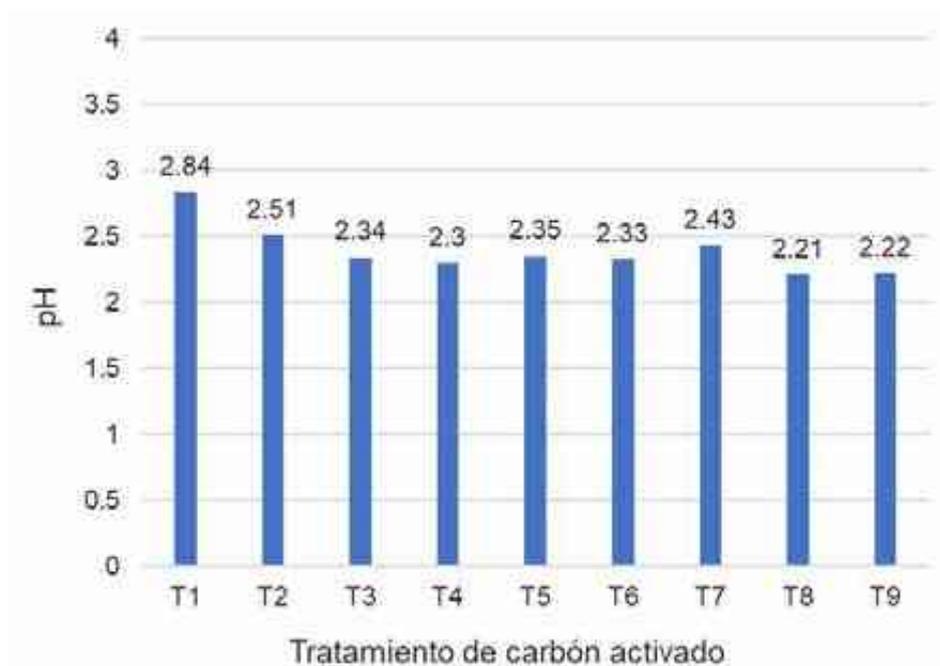


Figura 9. Valores de pH por tipo de tratamiento

Para los valores de pH encontrados, se observó que estos se encuentran relacionados de forma inversamente proporcional con respecto a los porcentajes de concentración.

Así mismo, con respecto al índice de impregnación esta relación pudo observarse con mayor notoriedad en los tratamientos activados al 20%, en comparación con los demás tratamientos analizados.

4.2.3. Contenido de Humedad

Cuadro 6. Contenido de humedad obtenido

Tratamiento	Concentración (%)	Índice de impregnación (P/P)	Humedad (%)
T1	20	0.5	7.403
T2	20	0.75	14.220
T3	20	1	12.558
T4	40	0.5	13.425
T5	40	0.75	14.655
T6	40	1	21.745
T7	60	0.5	17.461
T8	60	0.75	26.803
T9	60	1	24.518



Figura 10. Relación del contenido de humedad de los tratamientos

A partir de los valores de humedad obtenidos, se puede apreciar que éstos aumentaron conforme se incrementó la concentración de ácido fosfórico en los tratamientos, por otra parte, para el índice de impregnación esta relación fue notoria con respecto a los tratamientos activados al 40 por ciento.

4.2.4. Contenido de ceniza

Cuadro 7. Contenido de ceniza obtenido

Tratamiento	Concentración (%)	Índice de impregnación (P/P)	Ceniza (%)
T1	20	0.5	9.568
T2	20	0.75	10.240
T3	20	1	11.332
T4	40	0.5	7.895
T5	40	0.75	7.626
T6	40	1	6.843
T7	60	0.5	6.736
T8	60	0.75	6.298
T9	60	1	6.482

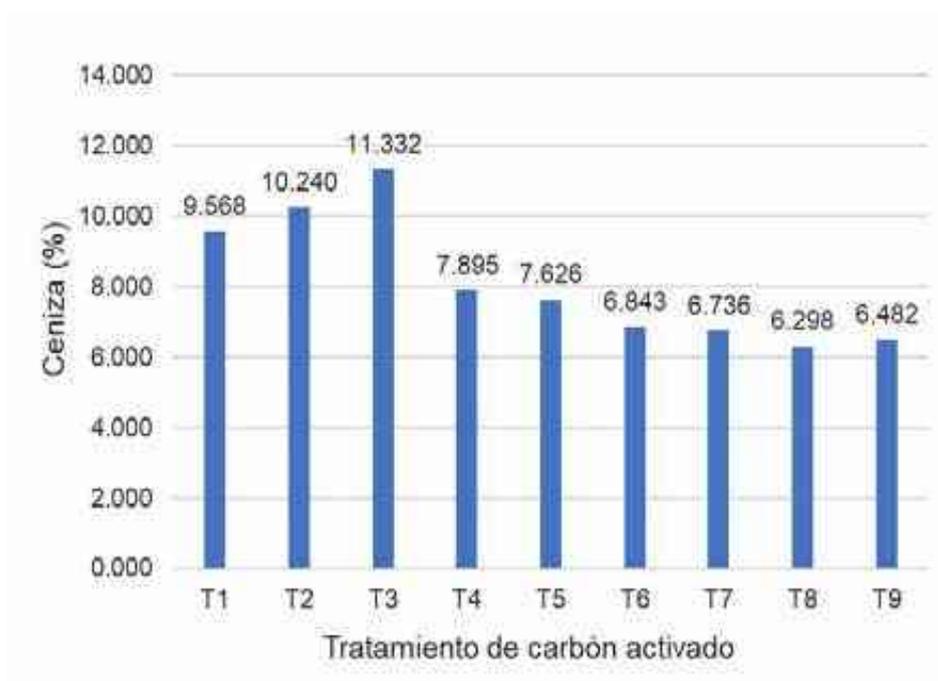


Figura 11. Contenido de ceniza obtenido para cada tratamiento

A partir de los resultados, se observa que a medida que se incrementa la concentración de ácido fosfórico, disminuye el contenido de ceniza en las muestras, mientras que para el índice de impregnación esto solo se pudo observar en los tratamientos activados al 40 por ciento.

4.2.5. Densidad aparente

Cuadro 8. Valor de densidad aparente obtenido

Tratamiento	Concentración (%)	índice de im pregnación (P/P)	Densidad aparente (g/cm ³)
T1	20	0.5	0.45
T2	20	0.75	0.38
T3	20	1	0.51
T4	40	0.5	0.46
T5	40	0.75	0.46
T6	40	1	0.43
T7	60	0.5	0.40
T8	60	0.75	0.41
T9	60	1	0.42

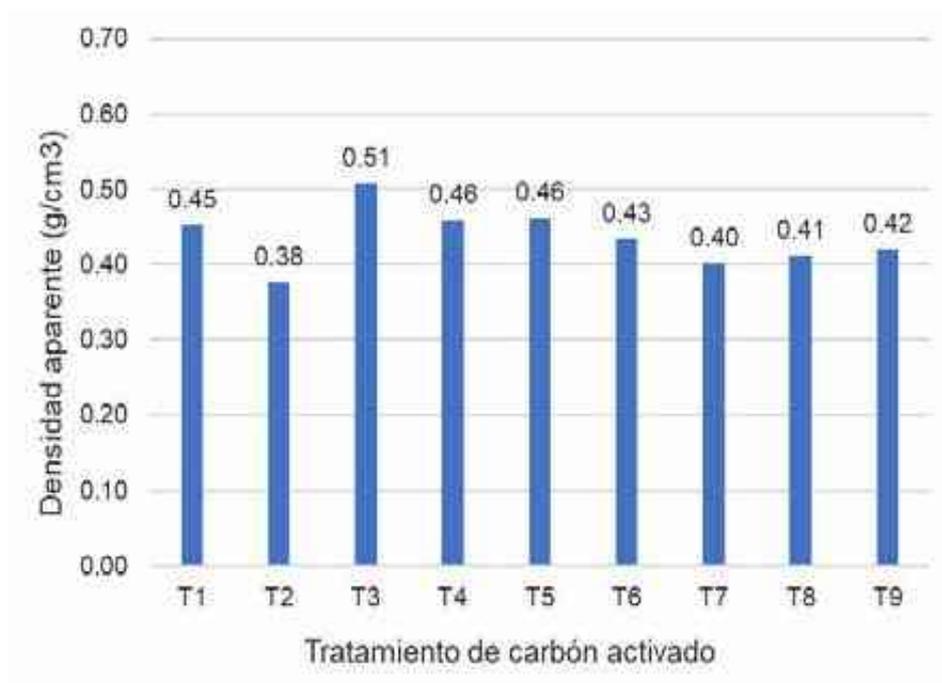


Figura 12. Densidad aparente con respecto al tipo de tratamiento

Con respecto a la densidad aparente, estos valores fueron casi similares para los tratamientos activados al 40 y 60 por ciento de ácido fosfórico, mientras que para los tratamientos activados al 20 por ciento estos valores no guardaron ninguna relación.

4.3. Determinación de las isotermas de adsorción de ácido oxálico

4.3.1. Determinación de la concentración inicial

Se determinó a partir de las disoluciones presentadas en el Cuadro 2.

Cuadro 9. Concentraciones iniciales de ácido oxálico

N°	Volumen de ácido oxálico (ml)	Volumen de agua destilada (ml)	Concentración ácido oxálico (mol/L)	Volumen Solución (ml)	Concentración inicial de solución (mol/L)
1	10	40	0.1025	50	0.0205
2	20	30	0.1025	50	0.041
3	30	20	0.1025	50	0.0615
4	40	10	0.1025	50	0.082
5	50	0	0.1025	50	0.1025

4.3.2. Isotermas de adsorción de ácido oxálico

Se obtuvieron las gráficas de las isotermas para cada tratamiento obtenido, las cuales fueron comparadas con la bibliografía, para determinar la clase y subgrupo al cual corresponden respectivamente.

4.3.2.1. Tratamiento 1 (20% - 0.5)

Cuadro 10. Concentración y capacidad de adsorción en equilibrio

Concentración en equilibrio (mol/L)	Concentración adsorbida (mol/L)	Peso carbón activado (g)	Capacidad de adsorción (mol/g)
0.0176	0.0029	1.05	0.0001381
0.0362	0.0048	1.07	0.0002243
0.0534	0.0081	1.12	0.00036161
0.0734	0.0086	1.098	0.00039162
0.0872	0.0153	1.13	0.00067699

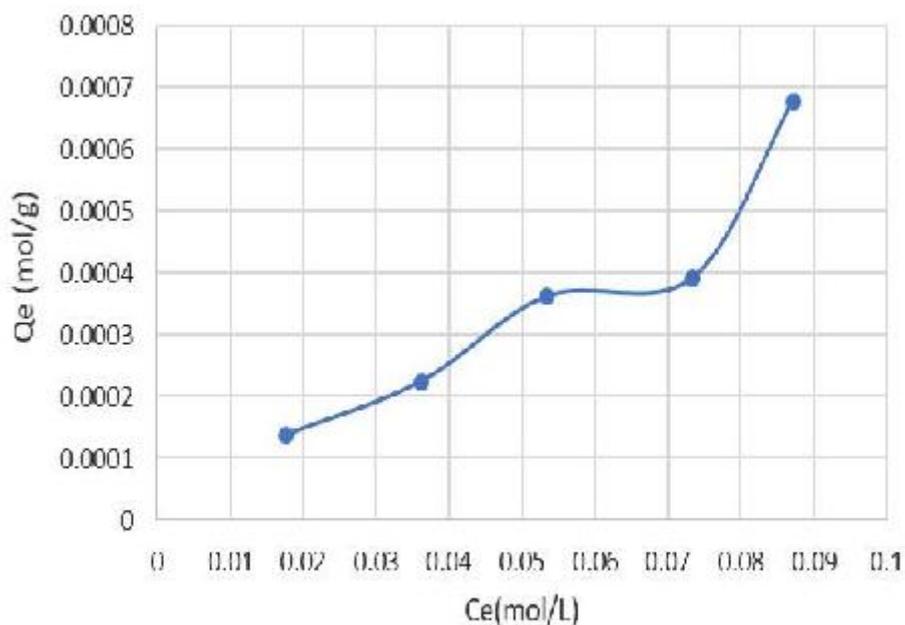


Figura 13. Isotherma de adsorción para tratamiento 1

A partir de la figura, podemos definir a la isoterma de clase S (tipo Langmuir), subgrupo 3, las cuales son ligeramente convexas al inicio debido posiblemente a la resistencia al transporte de masa.

4.3.2.2. Tratamiento 2 (20% - 0.75)

Cuadro 11. Concentración y capacidad de adsorción en equilibrio

Concentración en equilibrio (mol/L)	Concentración adsorbida (mol/L)	Peso carbón activado (g)	Capacidad de adsorción (mol/g)
0.0168	0.0037	1.02	0.00018137
0.03415	0.00685	1.05	0.00032619
0.0526	0.0089	1.08	0.00041204
0.0707	0.0113	1.04	0.00054327
0.086	0.0165	1.09	0.00075688

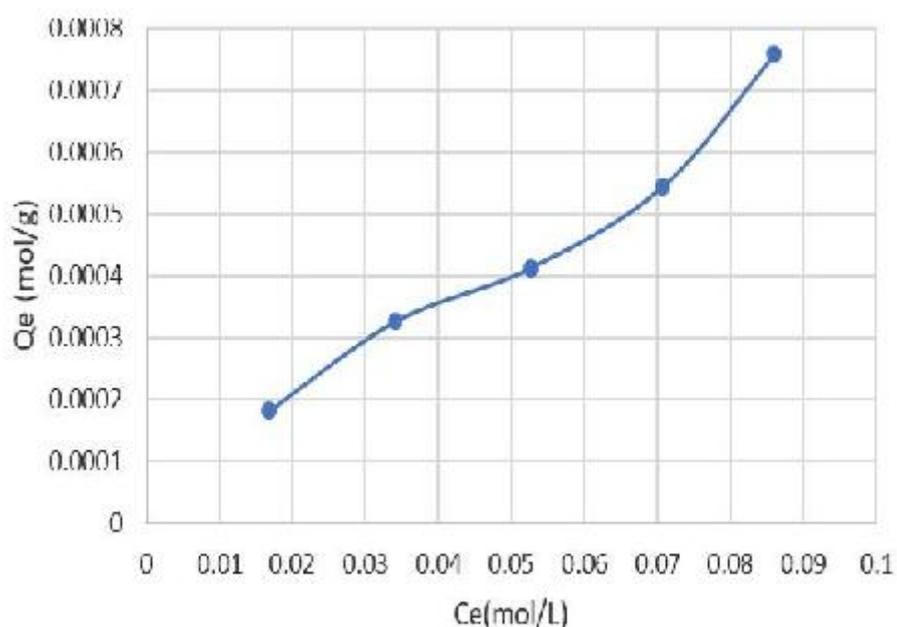


Figura 14. Isotherma de adsorción para tratamiento 2

Esta isoterma se puede clasificar de tipo L, subgrupo 3, el cual se asemeja a la isoterma de Langmuir, así mismo indican que las moléculas que se adsorben en la superficie del adsorbente son iones que están orientados verticalmente con fuerte atracción intermolecular, además no se observa una meseta asintótica, por lo que no presenta el límite de su capacidad de adsorción.

4.3.2.3. Tratamiento 3 (20% - 1)

Cuadro 12. Concentración y capacidad de adsorción en equilibrio

Concentración en equilibrio (mol/L)	Concentración adsorbida (mol/L)	Peso carbón activado (g)	Capacidad de adsorción (mol/g)
0.0167	0.0038	1.06	0.00017925
0.03435	0.00665	1.06	0.00031368
0.052	0.0095	1.09	0.00043578
0.06935	0.01265	1.07	0.00059112
0.0889	0.0136	1.05	0.00064762

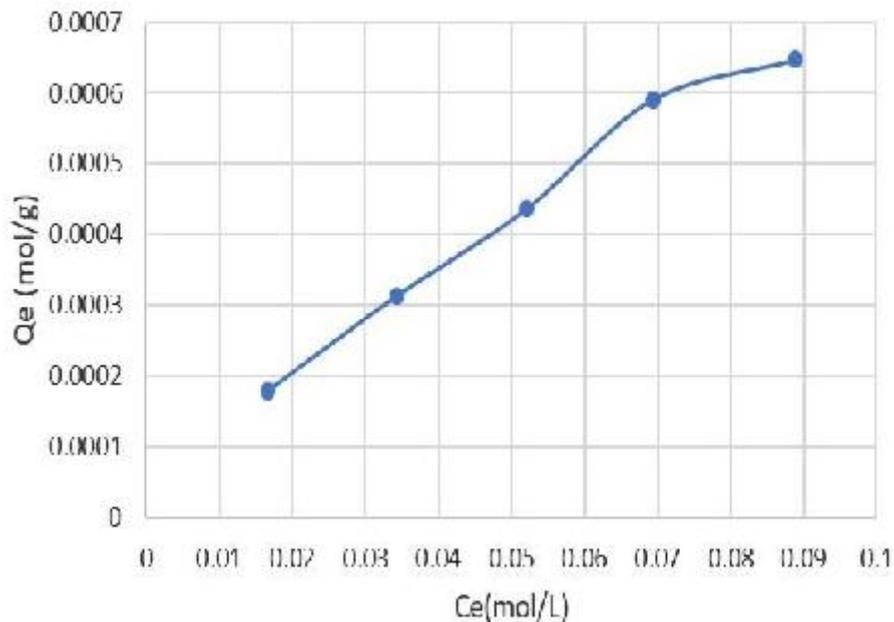


Figura 15. Isotherma de adsorción para tratamiento 3

Esta isoterma, es similar al tratamiento 2, tipo C, subgrupo 3, en donde la relación entre la capacidad de adsorción y la concentración del adsorbato en el equilibrio permanecen constantes a cualquier concentración, por lo que estos solutos penetran en el sólido con mayor facilidad que el solvente, por lo que presentaría un sistema no competitivo.

4.3.2.4. Tratamiento 4 (40% - 0.5)

Cuadro 13. Concentración y capacidad de adsorción en equilibrio

Concentración en equilibrio (mol/L)	Concentración adsorbida (mol/L)	Peso carbón activado (g)	Capacidad de adsorción (mol/g)
0.0156	0.0049	1.01	0.00024257
0.0325	0.0085	1.07	0.0003972
0.0490	0.0125	1.05	0.00059524
0.0658	0.0162	1.08	0.00075
0.0850	0.0175	1.06	0.00082547

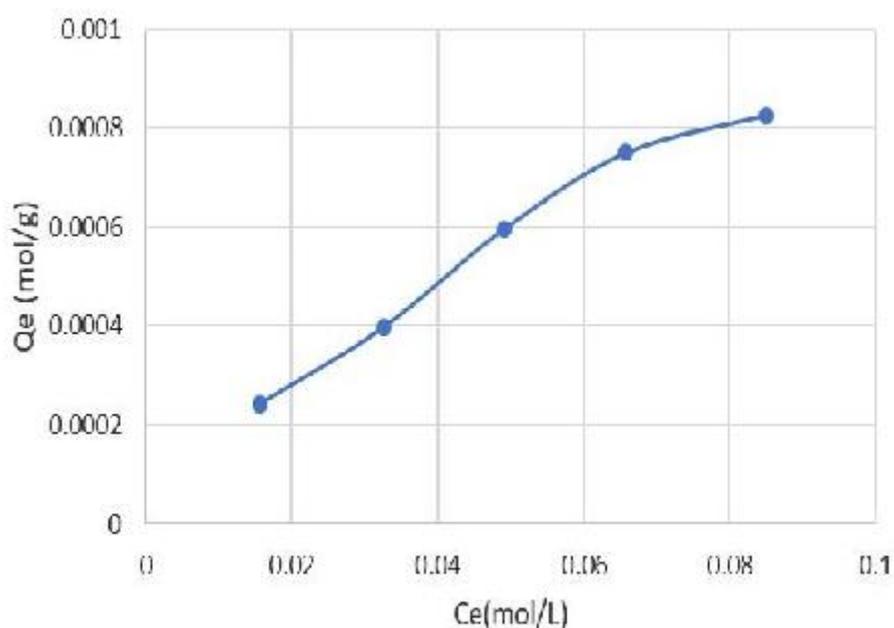


Figura 16. Isoterma de adsorción para tratamiento 4

Esta isoterma, al igual que el tratamiento 3, se puede definir de clase C, subgrupo 3, así mismo este tipo de isotermas presenta un sistema no competitivo, por lo que se asume que los solutos penetran en el sólido con mayor facilidad que el solvente.

4.3.2.5. Tratamiento 5 (40% - 0.75)

Cuadro 14. Concentración y capacidad de adsorción en equilibrio

Concentración en equilibrio (mol/L)	Concentración adsorbida (mol/L)	Peso carbón activado (g)	Capacidad de adsorción (mol/g)
0.015	0.0055	1.01	0.00027228
0.0311	0.0099	1.02	0.00048529
0.0495	0.012	1.03	0.00058252
0.06105	0.02095	1.02	0.00102696
0.081	0.0215	1.02	0.00105392

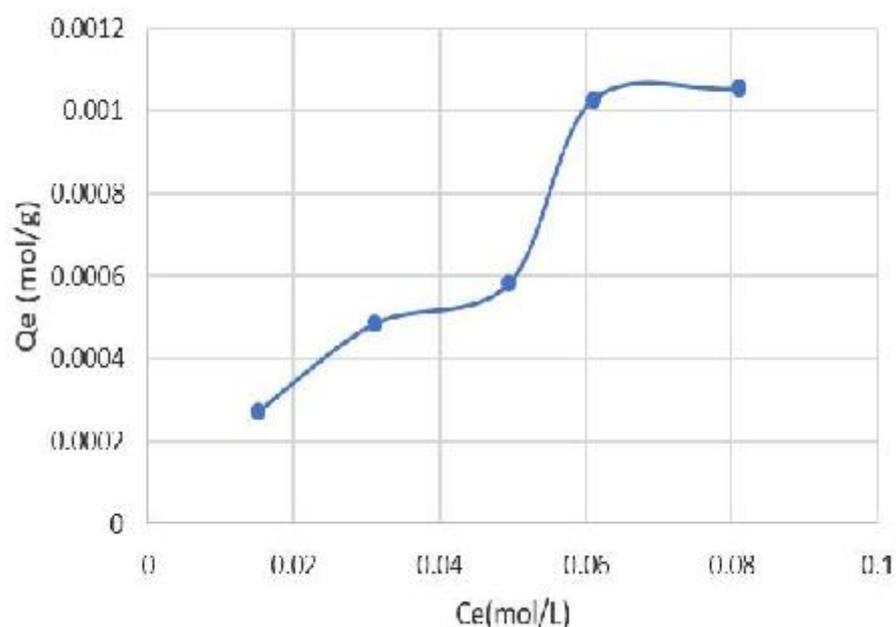


Figura 17. Isotherma de adsorción para tratamiento 5

Esta isoterma es similar a la obtenida en el tratamiento 2, de clase L, con la diferencia que presenta la forma del subgrupo 4, las cuales indican que las moléculas que se adsorben son iones con fuerte atracción intermolecular, por otro lado, se observa que presenta una meseta asintótica, es decir que el carbón presenta el límite de su capacidad de adsorción.

4.3.2.6. Tratamiento 6 (40% - 1)

Cuadro 15. Concentración y capacidad de adsorción en equilibrio

Concentración en equilibrio (mol/L)	Concentración adsorbida (mol/L)	Peso carbón activado (g)	Capacidad de adsorción (mol/g)
0.0136	0.0069	1.06	0.00032547
0.03095	0.01005	1.03	0.00048786
0.0475	0.014	1.05	0.00066667
0.06465	0.01735	1.04	0.00083413
0.08235	0.02015	1.08	0.00093287

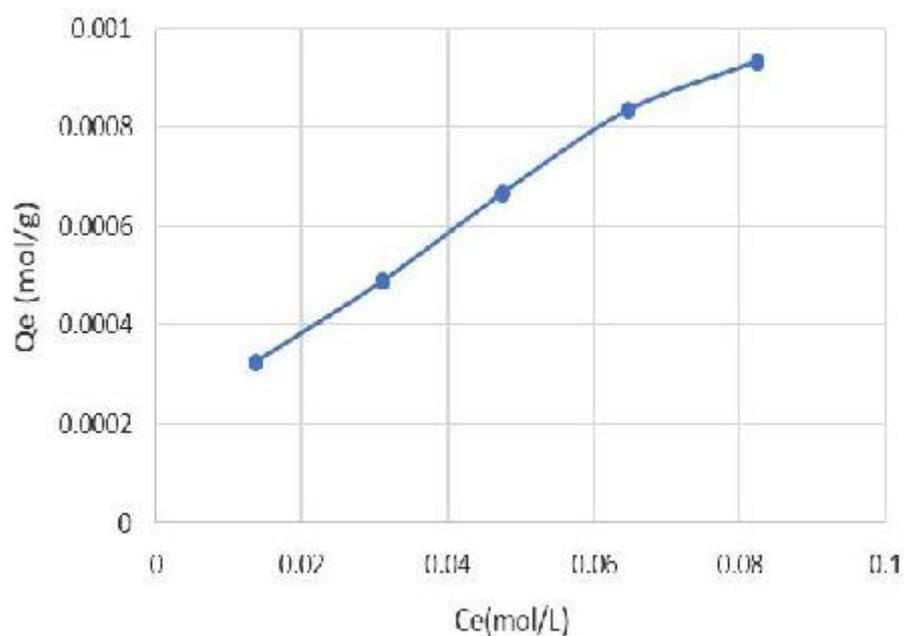


Figura 18. Isoterma de adsorción para tratamiento 6

Esta isoterma, guarda similitud a los tratamientos 3 y 4, el cual se clasifica de tipo C, subgrupo 3, los cuales son curvas lineales dadas por solutos que penetran en el sólido con mayor facilidad que el solvente (sistema no competitivo).

4.3.2.7. Tratamiento 7 (60% - 0.5)

Cuadro 16. Concentración y capacidad de adsorción en equilibrio

Concentración en equilibrio (mol/L)	Concentración adsorbida (mol/L)	Peso carbón activado (g)	Capacidad de adsorción (mol/g)
0.0142	0.0063	1.02	0.00030882
0.03045	0.01055	1.03	0.00051214
0.04715	0.01435	1.1	0.00065227
0.0642	0.0178	1.2	0.00074167
0.08	0.0225	1.05	0.00107143

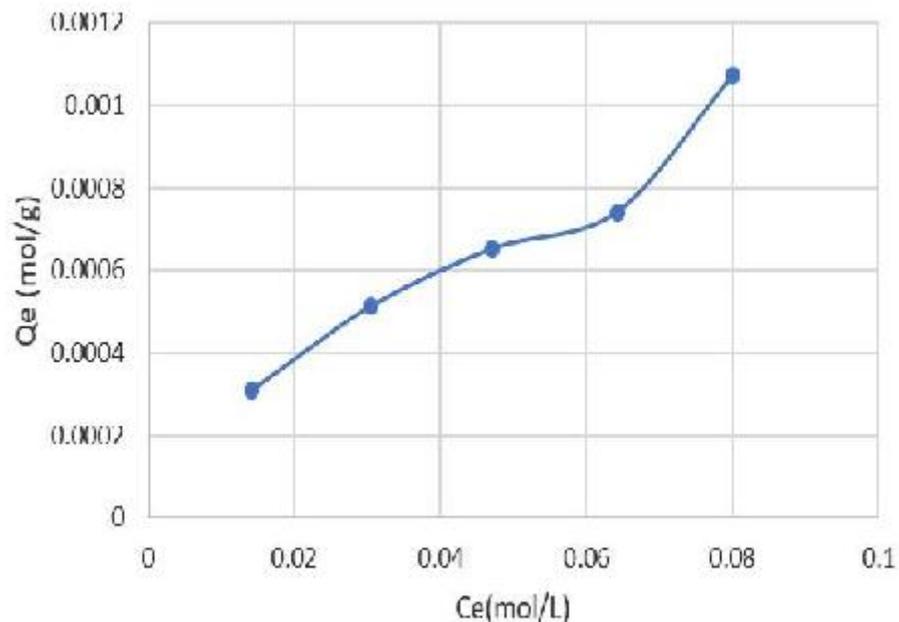


Figura 19. Isotherma de adsorción para tratamiento 7

Esta isoterma, es similar a los tratamientos 2 y 5, de tipo L, subgrupo 3, isothermas normales o de Langmuir, los cuales generalmente indican que las moléculas se adsorben con fuerte atracción intermolecular, además no presenta la meseta asintótica por lo que no está definido el límite de su capacidad de adsorción.

4.3.2.8. Tratamiento 8 (60% - 0.75)

Cuadro 17. Concentración y capacidad de adsorción en equilibrio

Concentración en equilibrio (mol/L)	Concentración adsorbida (mol/L)	Peso carbón activado (g)	Capacidad de adsorción (mol/g)
0.0128	0.0077	1.02	0.00037745
0.0292	0.0118	1.02	0.00057843
0.0445	0.017	1.04	0.00081731
0.06295	0.01905	1.02	0.00093382
0.0823	0.0202	1.05	0.0009619

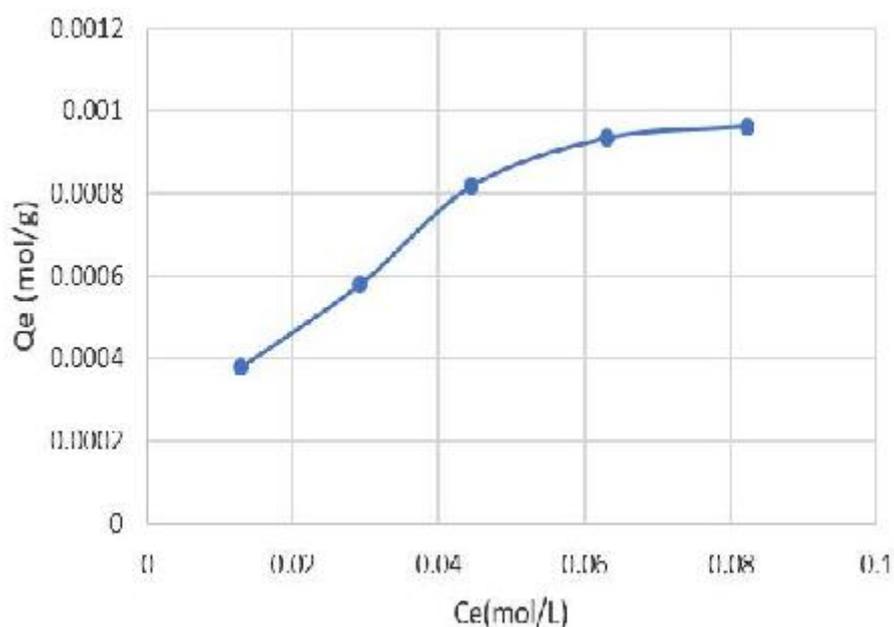


Figura 20. Isotherma de adsorción para tratamiento 8

A partir de la figura podemos definir a la isoterma, al igual que el tratamiento 1, de tipo S, subgrupo 3, donde las curvas son ligeramente convexas en la parte inicial de la adsorción, debido posiblemente a la resistencia al transporte de masa o difusión en la interfase.

4.3.2.9. Tratamiento 9 (60% -1)

Cuadro 18. Concentración y capacidad de adsorción en equilibrio

Concentración en equilibrio (mol/L)	Concentración adsorbida (mol/L)	Peso carbón activado (g)	Capacidad de adsorción (mol/g)
0.01285	0.00765	1.01	0.00037871
0.028	0.013	1.02	0.00063725
0.0428	0.0187	1.01	0.00092574
0.054	0.028	1.03	0.00135922
0.076	0.0265	1.01	0.00131188

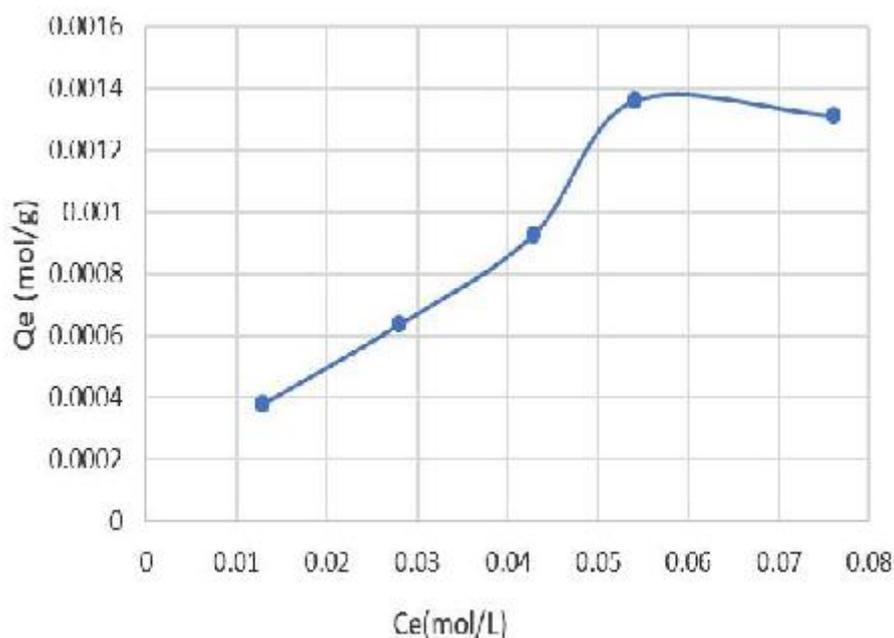


Figura 21. Isotherma de adsorción para tratamiento 9

La isoterma se asemeja a una isoterma tipo S (Langmuir), al igual que los tratamientos 1 y 8, con la diferencia que presenta la forma del subgrupo 2, así mismo se observa la presencia de una meseta por lo que presenta el límite de la capacidad de adsorción.

4.3.2.10. Carbón activado comercial

Cuadro 19. Concentración y capacidad de adsorción en equilibrio

Concentración inicial (mol/L)	Concentración en equilibrio (mol/L)	Concentración adsorbida (mol/L)	Peso carbón activado (g)	Capacidad de adsorción (mol/g)
0.0193	0.015000	0.0043	1.01	0.000426
0.0386	0.032500	0.0061	1.02	0.000598
0.0579	0.052500	0.0054	1.01	0.000535
0.0772	0.071500	0.0057	1.01	0.000564
0.0965	0.089500	0.007	1.01	0.000693

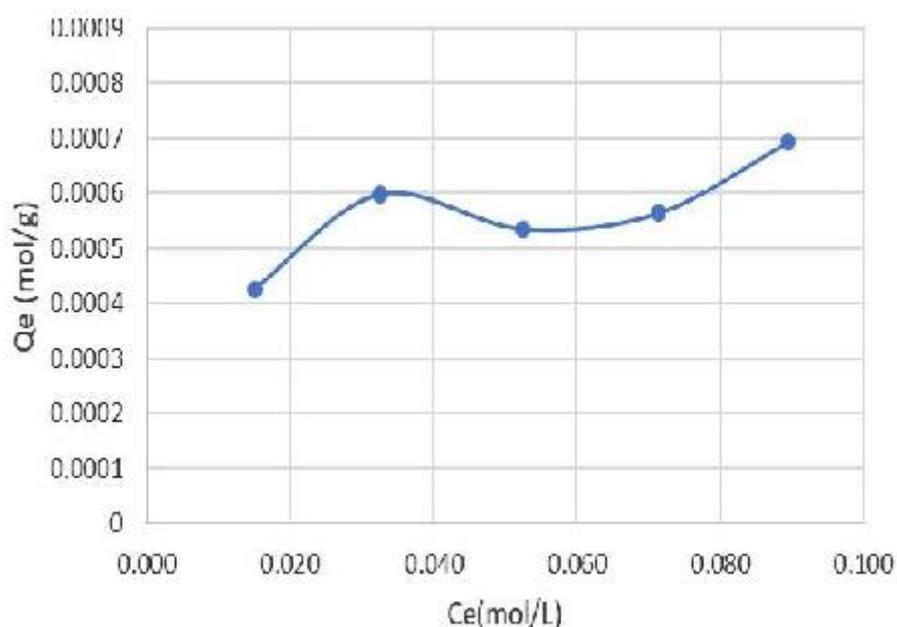


Figura 22. Isoterma de adsorción para carbón comercial

La isoterma generada por el carbón comercial, se puede clasificar como de tipo L, subgrupo mx, la cual presenta una curva cóncava, por lo que generalmente indican que las moléculas que se adsorben a la superficie de adsorbato son iones que están orientados verticalmente con fuerte atracción intermolecular, además de no presentar meseta por lo que el límite de capacidad de adsorción no se encuentra definido.

4.3.2.11. Análisis comparativo de los carbones activados

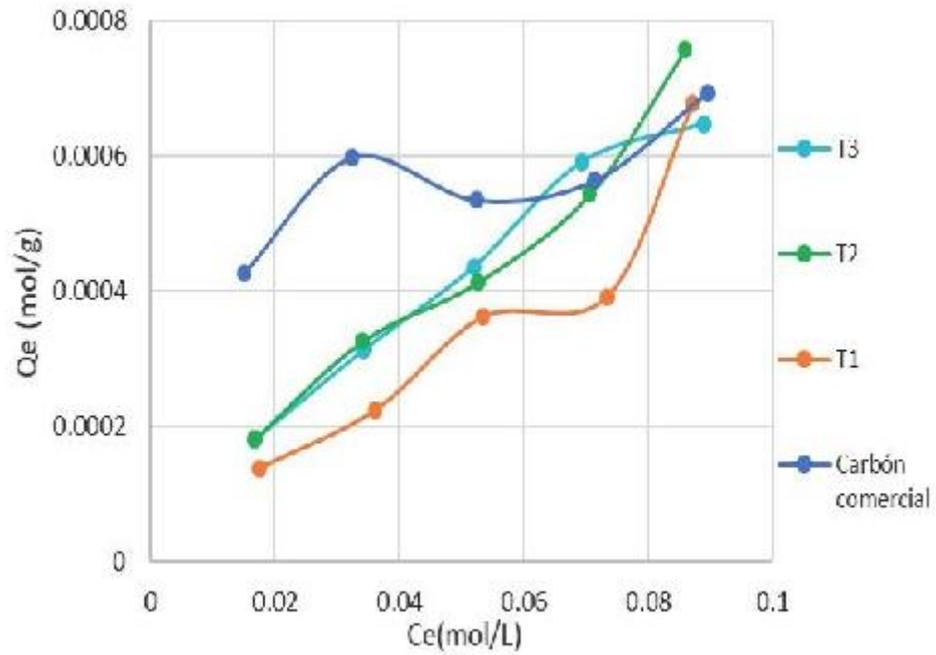


Figura 23. Tratamientos al 20% vs carbón activado comercial

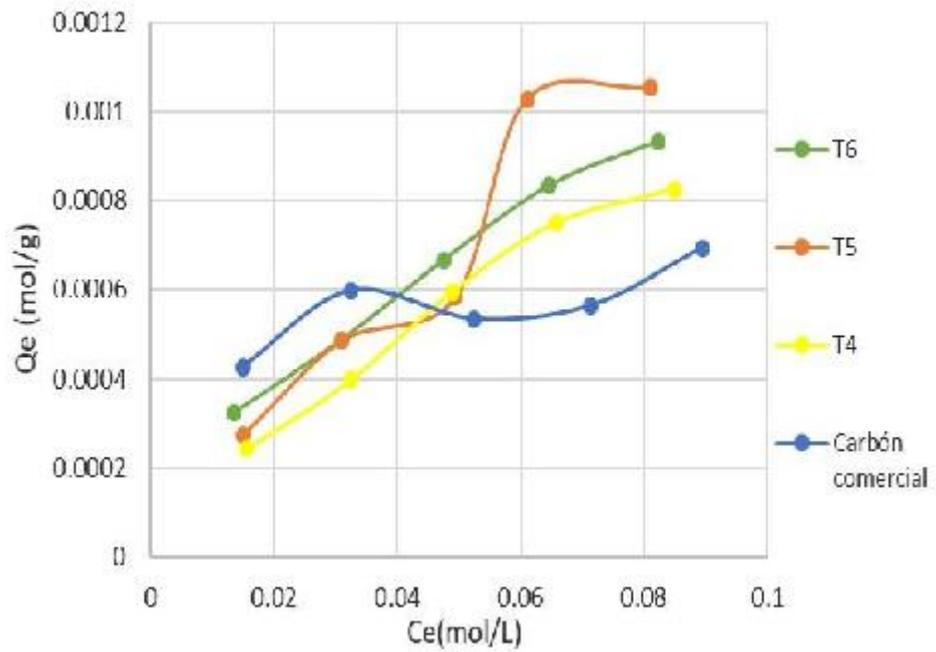


Figura 24. Tratamientos al 40% vs carbón activado comercial

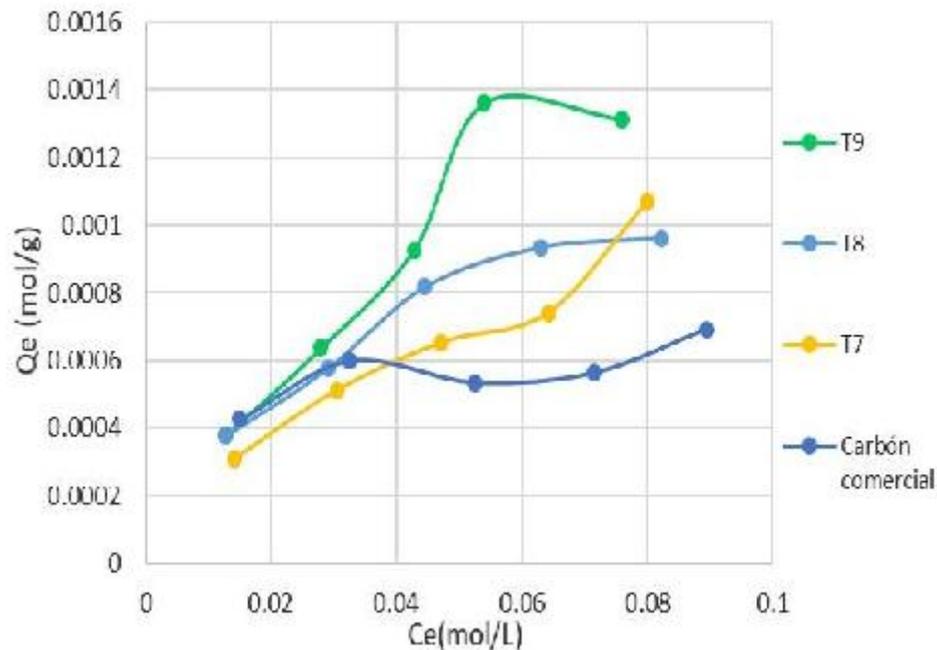


Figura 25. Tratamientos al 60% vs carbón activado comercial

A partir de los resultados, se puede observar que los tratamientos 4,5, 6, 7, 8 y 9 presentaron puntos más altos de adsorción conforme se incrementó la concentración del ácido oxálico en el equilibrio, en comparación con el carbón activado comercial. Así mismo se puede observar que los tratamientos 5 y 9 fueron los que presentaron una meseta asintótica, por lo que llegaron a alcanzar el límite de su capacidad de adsorción, en comparación con los demás tratamientos.

4.4. Determinación del mecanismo y la capacidad de adsorción

A partir de los modelos establecidos, los tratamientos 4 y 6 se ajustaron al modelo de Freundlich, por lo tanto, esta adsorción se realizó en multicapas, mediante una superficie heterogénea, sin una distribución uniforme de energía.

Así mismo, los demás tratamientos incluido el carbón activado comercial se ajustaron al modelo de Langmuir, lo cual describe que el mecanismo de adsorción se llevó a cabo en centros activos homogéneos y equivalentes.

4.4.1. Modelo de Langmuir

Cuadro 20. Parámetros obtenidos para cada tratamiento

Tratamiento	Decodificación	q_{\max_1} (mol/g)	K_{L_2} (L/mol)
T1	20% - 0.5	0.001581	5.29
T2	20% - 0.75	0.001629	7.39
T3	20% - 1	0.001618	7.39
T4	40% - 0.5	0.001768	10.01
T5	40% - 0.75	0.002465	8.16
T6	40% - 1	0.001272	24.48
T7	60% - 0.5	0.001487	18.17
T8	60% - 0.75	0.001378	28.94
T9	60% - 1	0.002917	11.39
T0	(carbón activado comercial)	0.000687	112.82

¹Capacidad máxima de adsorción

² constante de Langmuir

A partir de los datos obtenidos del modelo de Langmuir, se puede observar que, con respecto a la capacidad máxima de adsorción todos los tratamientos fueron mayores con respecto al carbón activado comercial el cual tuvo un valor de 0.000687 mol/g, así mismo los tratamientos 4, 5 y 9 presentaron la mejor capacidad de adsorción con 0.001768, 0.002465 y 0.002917 mol/g respectivamente.

Cuadro 21. Parámetro de equilibrio R_L para los diferentes tratamientos

C_0^1	T1 (20% - 0.5)	T2 (20% - 0.75)	T3 (20% - 1)
0.0205	0.90212938	0.86847547	0.8685107
0.041	0.82170828	0.76752686	0.76758189
0.0615	0.754452	0.68760233	0.68766857
0.082	0.69737253	0.62275342	0.62282588
0.1025	0.64832248	0.56908233	0.56915796
C_0^1	T4 (40% - 0.5)	T5 (40% - 0.75)	T6 (40% - 1)
0.0205	0.82977559	0.85665948	0.66581896
0.041	0.7090739	0.74926014	0.49904694
0.0615	0.61902818	0.66579008	0.39908541
0.082	0.54927536	0.59905354	0.33248671
0.1025	0.49365028	0.54447701	0.28493691
C_0^1	T7 (60% - 0.5)	T8 (60% - 0.75)	T9 (60% - 1)
0.0205	0.7285835	0.62762475	0.8107169
0.041	0.57304864	0.45732736	0.68168538
0.0615	0.47223743	0.35972178	0.58808703
0.082	0.40158947	0.29645133	0.51708854
0.1025	0.34932894	0.25210866	0.46138635
C_0^1	T0 (carbón activado comercial)		
0.0205	0.30186093		
0.041	0.17775984		
0.0615	0.12597074		
0.082	0.09755017		
0.1025	0.079593		

¹Concentración inicial

A partir de los valores de R_L , se puede observar que la naturaleza de adsorción fue favorable para todos los tratamientos, al estar estos valores dentro del rango ($0 < R_L < 1$), con respecto a las concentraciones iniciales de las 5 disoluciones de cada isoterma.

4.4.2. Modelo de Freundlich

Cuadro 22. Parámetros obtenidos para cada tratamiento

Tratamiento	Decodificación	n_f^1	K_f^2 (mol/g)
T1	20% - 0.5	1.097	0.00512
T2	20% - 0.75	1.218	0.00509
T3	20% - 1	1.260	0.00461
T4	40% - 0.5	1.323	0.00558
T5	40% - 0.75	1.207	0.00859
T6	40% - 1	1.665	0.00417
T7	60% - 0.5	1.506	0.00512
T8	60% - 0.75	1.870	0.00395
T9	60% - 1	1.307	0.01051
T0	(carbón activado comercial)	4.789	0.00107

¹Constante que indica naturaleza de adsorción

²Constante de Freundlich

Con respecto a los valores del modelo de Freundlich, todos los tratamientos presentaron una condición favorable para el proceso de adsorción, al ser $n_f > 1$. Así mismo, los mejores valores de K_f , fueron mayores para los tratamientos 4, 5 y 9, el cual es un indicador que describe la afinidad en el proceso de adsorción.

4.4.3. Análisis estadístico

Con respecto al diseño estadístico, se realizó un ANOVA para dos factores, con un ($\alpha = 0.05$), el cual proporcionó los siguientes resultados:

Cuadro 23. Análisis de varianza (ANOVA)

Decodificación	Suma	Promedio	Varianza
0.5	0.004836609	0.001612203	2.04921E-08
0.75	0.005472119	0.00182404	3.23719E-07
1	0.005806753	0.001935584	7.52521E-07
20%	0.004827733	0.001609244	6.42904E-10
40%	0.00550513	0.001835043	3.59119E-07
60%	0.005782618	0.001927539	7.37491E-07

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	Valor F	Valor Probabilidad	Valor crítico para F
Índice de impregnación	2	1.61893E-07	8.09464E-08	0.1593	0.8579	6.94
Concentración de agente activante	2	1.60853E-07	8.04263E-08	0.1583	0.8587	6.94
Error	4	2.03261E-06	5.08153E-07			
Total	8	2.35536E-06				

Con respecto a los resultados estadísticos, tanto para los factores:

- Concentración de ácido fosfórico:
El valor del F tab (0.1583) < F crítico (6.94), por lo tanto, se acepta la hipótesis nula.
- Índice de impregnación:
El valor del F tab (0.1593) < F crítico (6.94), por lo tanto, se acepta la hipótesis nula.

De esta manera, se puede concluir que estos factores no influyen en la capacidad de adsorción, al ser $F_{tab} < F_{critico}$, por lo tanto, no son significativos con respecto a esta práctica.

V. DISCUSIÓN

5.1. Caracterización de la semilla del aguaje

OBREGÓN (2012) Reporta que los contenidos tanto de humedad como de ceniza para la semilla de aguaje fueron 8.4 y 2.5 % respectivamente, los cuales guardan similitud a los hallados en esta práctica donde se obtuvo valores de 7.46 % de humedad y 2.04% de contenido de ceniza. Además, éstos pueden ser comparados a los valores referidos en ese mismo trabajo, procedentes de la de cáscara de coco (carbón activado comercial), según (WAND, W.; WAN, W., 2004), donde el contenido de humedad y de ceniza fueron de 7.9 y 1.1 % respectivamente; por lo que se puede observar que solo para el contenido de humedad de la semilla de aguaje presentó un bajo valor en comparación con la cáscara de coco.

IQBALDI *et al.* (2013) recomienda que se debe seleccionar precursores con bajo contenido de humedad y ceniza, ya que, debido al proceso de carbonización, los porcentajes de humedad y ceniza de la materia prima suelen aumentar y ocasionar una reducción en la capacidad de adsorción del carbón activado, cuyo comportamiento es debido a los tratamientos térmicos prolongados y a las altas temperaturas que enriquecen el contenido de cenizas con respecto al carbonizado; esto concuerda con los valores de humedad y ceniza hallados, ya que estos se incrementaron para todos los tratamientos con respecto a los valores iniciales hallados en la caracterización de la semilla.

5.2. Caracterización del carbón activado obtenido

OCHOA (2017) Reporta que el carbón obtenido con ácido fosfórico al 60 por ciento y con un tiempo de activación de 60 minutos es el que presenta un mejor rendimiento; lo cual guarda relación a los resultados encontrados, ya que se obtuvo un mayor rendimiento para los tratamientos activados al 60 por ciento de ácido fosfórico comparados a los tratamientos activados con el 20 y 40 por ciento de concentración.

Según DEGADILLO (2011); ZAMORA (2010) El agente activante es el factor que determina el pH de un carbón activado, lo mencionado concuerda con los valores obtenidos en esta práctica, ya que este valor disminuyó en función al aumento del porcentaje de concentración del ácido, siendo los menores valores de pH encontrados en los tratamientos impregnados al 60 por ciento de concentración de ácido fosfórico, esto se puede explicar debido a que el agente activante usado fue un ácido.

REINOSO (2005) Establece que un alto contenido de cenizas es una característica indeseable en el carbón activado, ya que su presencia está relacionada con materiales residuales provenientes de la carbonización (impurezas minerales), los que interfieren en el proceso de adsorción; en esta práctica se obtuvo menores valores de ceniza para las concentraciones del 40 y

60 por ciento de ácido fosfórico, mientras que los mayores valores de ceniza fueron para los del 20 por ciento, esto se podría explicar, ya que el ácido elimina estos residuos indeseables de la materia prima en el proceso carbonización - activación (CASTILLO, 1993), por lo que el aumento de la concentración explicaría la disminución de este; así mismo se puede deducir que al tener menor contenido de ceniza los tratamientos impregnados al 40 y 60 por ciento presentarían mejor capacidad de adsorción en comparación con los impregnados al 20 por ciento, lo cual concuerda con los resultados obtenidos.

LIMA *et al.* (2005) La importancia de la densidad aparente subyace en este experimento en el hecho de que una menor densidad es un indicador de una mayor porosidad y, por tanto, una mayor adsorción; en consecuencia, establece que lo ideal es obtener un carbón activado con

la menor densidad posible. Por otro lado, los valores obtenidos de la densidad aparente del carbón activado de cáscara de coco cuyo valor es de 0.471g/cm^3 , el cual está en un rango de 0.377 a 0.508 (RAMAKRISHNAN, 2009); a partir de esto se observa que los valores de densidad aparente encontrados en los tratamientos fueron menores con respecto al carbón obtenido de cáscara de coco, por lo que los tratamientos presentarían una mejor capacidad de adsorción, lo cual concuerda con los resultados obtenidos, ya que estos fueron superiores al carbón activado comercial el cual es elaborado a partir de cáscara de coco.

ASTM (2011) Establece una serie de límites para carbón activado usado en la remoción de contaminantes del agua. De acuerdo con la práctica, cinco tratamientos de carbón activado cumplen con los requisitos que exige la norma ASTM para su uso y comercialización, los cuales fueron los tratamientos

1 (20% - 0.5), 2 (20% - 0.75), 3 (20% - 1), 4 (40% - 0.5), y 5 (40% - 0.75), ya que estuvieron por debajo del 15% de contenido de humedad establecido, además de cumplir con los parámetros tanto de pH, ceniza y densidad aparente. De esta manera, la selección del carbón activado estaría basada de acuerdo con el criterio económico, y por lo tanto los tratamientos seleccionados estarían basados en la menor concentración de ácido fosfórico, ya que sus costos serían menores, por lo cual sería competitivo.

5.3. Determinación de las isotermas de adsorción

De acuerdo con la clasificación de las isotermas de adsorción establecidas por (GILES y SMITH, 1974), los tratamientos presentaron diferentes clases como S, L y C; así mismo con distintos subgrupos, los cuales representan la relación entre los mecanismos de adsorción en las superficies del sólido y los asocian a los tipos de isotermas, en base a los cambios de pendiente, así mismo se puede definir el límite de la capacidad de adsorción en base a las mesetas obtenidas. Por otro lado, se observó en todos los casos como la capacidad de adsorción aumentó con respecto a la concentración de ácido oxálico, siendo este un factor importante en el proceso de adsorción.

5.4. Determinación del mecanismo y capacidad de adsorción

LIMA (2017) Reporta una capacidad máxima de adsorción para el carbón activado comercial de 0.000747831 mol/g, a una concentración inicial de ácido oxálico de 0.2 M, con respecto a esta práctica el valor encontrado para el carbón activado comercial fue 0.000687 mol/g de capacidad máxima de adsorción, no obstante, se realizó a una concentración de 0.0965 M de ácido oxálico.

OBREGÓN (2012) Los mejores carbones obtenidos de aguaje reportados en este estudio fueron: AG0.75-600, entre los carbones de aguaje, por tener una alta área mesoporosa y alta acidez superficial, lo que favoreció la adsorción de cadmio. Esto se puede comparar a nuestros resultados ya que el tratamiento 5 (40% - 0.75), fue uno de los que presentó la mejor capacidad de adsorción, por lo que se podría asumir que este tratamiento presentó una mejor área superficial en comparación con los demás, así como también la acidez superficial que pudo influir en el proceso de adsorción de ácido oxálico; por otro lado con respecto al tratamiento 9 (60% - 1), este no sería adecuado al no cumplir con el porcentaje de humedad requerido, el cual es un indicador de calidad del carbón activado.

En todos los tratamientos se pudo determinar que la naturaleza de adsorción fue favorable, al estar R_L dentro del rango comprendido entre $0 < R_L < 1$, cuyo valor depende de las concentraciones iniciales de ácido oxálico y de K_L (constante de Langmuir que indica la afinidad por los sitios activos), según (DADA *et al.*, 2011); así mismo para la isoterma de Freundlich la constante n_f , fue mayor que 1 para todos los tratamientos, lo cual representa una condición de adsorción favorable o de mayor heterogeneidad, según (DE OLIVEIRA *et al.*, 2013).

ALBERTO (2012) Reporta que los carbones activados obtenidos con ácido fosfórico presentan la mayor capacidad de adsorción, además se observó que la tasa de impregnación no afecta la capacidad de adsorción de azul de metileno realizado en ese respectivo estudio, de manera que

los valores de adsorción de los carbones activados obtenidos con ácido fosfórico son similares;

esto concordaría con los análisis estadísticos obtenidos, ya que, si bien el agente activante es un factor clave, la diferencia en la tasa de impregnación no tiene un efecto muy significativo en la capacidad de adsorción evaluada, por lo que se podría deducir a partir de los resultados hallados, que si bien estos factores no infieren directamente en la capacidad máxima de adsorción, si lo hacen de forma indirecta en las características del carbón activado, como pH, humedad, ceniza y densidad aparente, por lo que estos si serían los que intervendrían a la hora de seleccionar el mejor tratamiento o con el mayor valor de capacidad máxima de adsorción.

VI. CONCLUSIONES

1. Se obtuvo menores valores para el contenido de humedad como de ceniza en la caracterización de la semilla de aguaje, por lo que su empleo en la elaboración de carbón activado sería adecuado.
2. Se pudo comprobar que el contenido de humedad como de ceniza aumentó en todos los tratamientos en comparación con la muestra inicial. Así mismo, se pudo observar que estos valores estuvieron en función al aumento de los factores de activación (porcentaje de concentración e índice de impregnación), siendo directamente proporcional con respecto a la humedad e inversamente al contenido de ceniza.
3. Se determinó que la capacidad de adsorción si bien no presenta una relación con respecto a los factores de activación, ya que esta no aumenta conforme lo hace el porcentaje de concentración y el índice de impregnación, si guarda una relación con las características propias del carbón activado como son el pH, humedad, ceniza y densidad aparente.
4. Se observó que, a partir de la semilla de aguaje, se puede obtener un potencial adsorbente como vía sustentable para la eliminación de ácido oxálico, al compararlo con el carbón activado comercial, por lo que se podría establecer un valor agregado a esta materia prima.

VII. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda buscar otras fuentes de materia prima, en base al bajo contenido de humedad y ceniza para la elaboración de carbón activado.
2. Para conseguir menores porcentajes de humedad del carbón activado, se recomienda trabajar a diferente temperatura de activación, así como también evaluar su relación con otros factores de activación.
3. A partir de la semilla de aguaje, se recomienda tratar con metales pesados, para observar el porcentaje de remoción que podría llegar a tener los carbones activados evaluados.
4. Seguir el estudio, en base a procesos de optimización.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

<https://portal.unas.edu.pe/sites/default/files/epirnr/ADSORCION%20DE%20ACIDO%20OXALICO%20MEDIANTE%20EL%20USO%20DE%20CARBON%20ACTIVADO%20ELABORADO%20A%20PARTIR%20DE%20SEMILLAS%20DE%20AGUAJE%20%28Mauritia%20flexuosa%20L.f.%29%20DE%20LA%20CIUDAD%20DE%20TINGO%20MARIA.pdf>

AHMAD, M., ALROZI, R. 2010. Optimization of preparation conditions for mangosteen peel-based activated carbons for the removal of remazol brilliant blue using response surface methodology. Chem. Eng. J. 165(3):883-890.

ANSARI, R. 2009. Activated charcoal : preparation, characterization and applications : a review article, 1(4), 859–864.

A.O.A.C. 1997. Official Methods of Analysis of Association the Official Analytical Chemists. Washington. DC. USA.

ANSARI, R.; MASOUDI, M. 2014. Removal of chromium hexavalent from aqueous solution using activated carbon, inter. J. Chemistry, 14(3) 139-147.

ASTM INTERNATIONAL. 2011. Norma Internacional. [En línea]: (<https://www.astm.org/FAQ/index-spanish.html>, 28 set., 2018).

BADRUZZAMAN, M., WESTERHOFF, P., KNAPPE, D. 2004. Intraparticle diffusion and adsorption of arsenate onto granular ferric hydroxide (gfh). Water res ;35(40) 02–12.

BANSAL, R., DONNET, J., STOECKLI, F. 1998. Active Carbon. Marcel Dekker, New York, EE. UU..35p.

CALZADA, B. 1993. Frutales Nativos. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú. 336 p.

CARBOTECNIA. 2004. Servicios. [En línea]: (<http://www.carbotecnia.info/servicios.htm>, 25 set., 2018).

CASTILLO, E. 1993. Estudio tecnológico para la obtención de carbón activado a partir de aserrín y virutas de roble y tornillo (*Quercus velutina* y *Araucaria imbricada*), Tesis (Ing. Químico), Ayacucho, Perú, Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga. 135p.

- CIMA. 2012. Revalorización e importancia del aguaje en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Cordillera Azul. PNCZ – SERNANP. pp.
- DADA, A., OLALEKAN, A., OLATUNYA, A., DADA, O. 2012. Langmuir, Freundlich, Temkin and Dubinin – Radushkevich Isotherms Studies of Equilibrium Sorption of Zn²⁺ Unto Phosphoric Acid Modified Rice Husk. IOSR Journal of Applied Chemistry, 3 (1), 38-45p.
- DEGADILLO, G. 2011. Obtención de carbones activados a partir de pepas de níspero de palo (*mespilus communi*) y su aplicación para la adsorción de fenol. Tesis de Maestría en química. Pontificia Universidad católica de Perú. Pág. 118.
- DE OLIVEIRA, C., DA SILVA, F., JIMENEZ, G., DA S. NETO, J., DE SOUZA, D., DE SOUZA, I., JÚNIOR, S. 2013. MOF@activated carbon: a new material for adsorption of aldcarb in biological systems. Chemical Communications, 49, 6486-6488.
- FERRADAS, A., TRUJILLO, H. 2013. Estudio de un sistema de tratamiento para la remoción de fenoles del efluente industrial de la refinera de Iquitos con carbón activado granular. UNI. Lima.
- FOO, K., HAMEED, B. 2010. Review: Insight into the modeling adsorption isotherm systems. Chemical Engineering Journal, 156, 2-10.
- GILES, C., SMITH, D., HUITSON, A. 1974. A general treatment and classification of the solute adsorption isotherm. I. Theoretical. Journal of Colloid and Interface Science, 47, 755-765. 9.
- LIMOUSIN, G. 2007. Review Sorption isotherms: A review on physical bases, modeling and measurement. Applied Geochemistry, 22, 249-275.
- GIRALDO, L., GARCÍA, V., MORENO, J. 2007. Caracterización superficial en fase gas y líquida de carbones activados. Bogotá, Colombia. 37p.
- GOMELLA, C., GUERREE, H. 1977. Tratamiento de aguas residuales para su abastecimiento público, Barcelona, España. 56p.
- GTM. 2017. Acido oxálico. Ficha de datos.

- GUERRERO, M. 1987. Obtención de Carbón Activado a partir de Cáscara de café (Coffe arabica) por activación química, Tesis (Ing. Químico), Lima, Perú, Universidad Nacional Mayor de San Marcos.150pp.
- IIAP. 2009. Aguaje, La Maravillosa Palmera de la Amazonía.
- INDITEX. 2014. ADSORCIÓN EN CARBÓN ACTIVO. FT-TER-002. Universidad de Coruña. 3 – 11 p.
- JIMÉNEZ, B. 2001. La contaminación ambiental en México: Causas, efectos y tecnología apropiada. Colegio de Ingenieros Ambientales de México, Instituto de Ingeniería de la UNAM y FEMISCA. México.58p.
- JOCABED, L., BARRETO, L., SEPÚLVEDA, W. 2015. Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta industrial para obtener carbón activado a partir del bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en la región Loreto. UNAP. Iquitos. Pp.
- LIMOUSIN, G., GAUDET, J., CHARLET, L., SZENKNECT, S., BARTHÈS, V., KRIMISSA, M. 2007. Sorption isotherms: A review on physical bases, modeling and measurement. Applied Geochemistry, 22 (2), 249-275.
- MANABAN, S. 2007. Introducción a la Química Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México. D.F. México.45p.
- MANTELL, C. 1951. Adsorption. 2da edición. Me Graw-Hill Book Company I.N.C. London. 63p.
- MENÉNDEZ, A. 2008. Curso de extensión universitaria, EL MUNDO DEL RESIDUO: CARACTERIZACION, TRATAMIENTO Y GESTION. Tema: Residuos de biomasa para la producción de carbones activos. Universidad de Oviedo, Facultad de Geología, España. 58-63p.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA. (MINAG). 1974. *Mauritia flexuosa* LF. Simposio sobre plantas de interés económico en la flora amazónica. Perú.
- NTP (Norma Técnica Peruana). 1982. Carbón activado usado en la industria azucarera y otros productos edulcorantes. NTP 207.024-1982. Lima, PE. pp.
- OBREGÓN, D. 2012. Estudio comparativo de la capacidad de adsorción de cadmio utilizando carbones activados preparados a partir de semillas de

- aguaje y de aceituna. Tesis de Licenciatura de la Facultad de Ciencias e Ingeniería PUCP. Lima. Diciembre. pp.
- OVIN, C. 2003. "Depuración de Efluentes Industriales con Carbón Activo. Adsorción de contaminantes y regeneración del adsorbente", Tesis Doctoral, Oviedo, España, Universidad de Oviedo. 122p.
- REINOSO, F. 2005. Carbón activado: estructura, preparación y aplicaciones, Revista UNIANDES, Vol. 3, 66-69p.
- RÍOS, M. 2008. Biosorción de cadmio con raspo de uva. Aproximación a la monitorización del proceso mediante sensores químicos, 1-101.
- RIVAS, G. 2006. Caracterización de la biosorción de cromo con hueso de aceituna. Universidad de Granada, Facultad de Ciencias. Retrieved from
- ROJAS *et al.* .2001. Comercialización de masa y «fruto verde» de aguaje (*Mauritia flexuosa* L.f.) EN IQUITOS (PERÚ). IIAP. Folia amazónica Vol. 12 (1-2) – 2001.
- ROBAU, A. 2006. Síntesis de tamices moleculares de carbón a partir de materiales lignocelulósicos, Tesis (Ph.D.), México, Universidad Autónoma de México.143p.
- SMISSEK, M. 1970. Activated carbon: Manufacture, properties and applications American Elsevier publishing company, New York, EE.UU.132p.
- SOTO, F. 2007. Evaluación técnico económico para la instalación de una planta de carbón activado. Tesis (Ing. Civil Industrial), Santiago de Chile, Chile, Universidad de Chile.137p.
- VTIC AGROINDUSTRIA. 2018. Aprovechamiento de los residuos de *Mauritia flexuosa*. Boletín N° 1. Instituto Tecnológico del Perú. Ministerio de la Producción. Pp.
- ZAMORA, G. 2010. Obtención de carbón activado a partir de semillas de dos palmeras de la Amazonia peruana shabaja (*Attalea phaleratal*) y aguaje (*Mauritia flexuosa*).. Universidad nacional agraria la molina, lima, Perú.

IX. ANEXO
Anexo E. Panel fotográfico



Figura 46. Semillas de aguaje recolectadas



Figura 47. Secado de semillas



Figura 48. Molienda de la materia prima



Figura 49. Muestra analizada



Figura 50. Caracterización de la materia prima



Figura 51. Agitación de la muestra para su posterior análisis de pH



Figura 52. Muestras preparadas para la determinación del contenido de nitrógeno



Figura 53. Impregnación de los tratamientos



Figura 54. Carbón activado obtenido



Figura 55. Tratamientos obtenidos



Figura 58. Soluciones de ácido oxálico para tratamientos al 20% de concentración