

UNIVERSIDAD DE CUENCA



Facultad de Ciencias Químicas
Carrera de Ingeniería Química

Elaboración de Carbón Activado a partir del cuesco de Nogal (*Juglans neotropica*) para su aplicación en el tratamiento de soluciones acuosas de colorantes de una fábrica de jeans.

**Trabajo de titulación previo
a la obtención del título de
Ingeniero Químico**

Autor:

Jorge Luis Vidal Méndez

CI: 0302019492

Correo: jvidalmqwerty@gmail.com

Directora:

Tsai García Pérez

CI: 1715551022

Cuenca, Ecuador

04-Enero-2022



RESUMEN

En la presente investigación se presenta la elaboración de carbón activado a partir del Cuesco de Nogal “Juglans neotropica” mediante la activación química con H_3PO_4 , a partir de los residuos generados del consumo de esta nuez local. Los carbones activados obtenidos se los empleó en el proceso de adsorción de colorantes de una muestra de agua residual de una fábrica de jeans. La activación se realizó con una concentración de H_3PO_4 al 85% y al 40% %V/V a una temperatura de 350 °C durante un periodo de 2.5 horas. La caracterización de la materia prima, así como de los carbones activados obtenidos se los realizó teniendo como principal referencia las normas NTE INEN establecidas para cada una de las propiedades.

Los resultados de la caracterización de los carbones activados muestran que propiedades como: humedad, cenizas, densidad aparente, cumplen con las propiedades requeridas por las diferentes normativas, los análisis favorables reportados por las isothermas de adsorción y los resultados del índice de yodo de 640 mg/g y 541 mg/g para las muestras de carbón activado al 85% y al 40% respectivamente demuestran un área superficial moderadamente alta, lo que lo hace ideal para procesos de adsorción. Los análisis de DBO5 y DQO presentaron una reducción, pero la elevada concentración inicial de la muestra de la fábrica de jeans impide que se cumpla con normativa establecida. El pH, color, turbiedad y sólidos disueltos en el agua tratada con el carbón activado al 85% estuvo dentro de los límites aceptados.

Palabras Claves: Carbón activado. Juglans neotropica. Colorantes. Activación química. Ácido fosfórico.



ABSTRACT

This research presents the elaboration of activated carbon from the walnut cuesco "Juglans neotropica" by means of chemical activation with H_3PO_4 , from the residues generated from the consumption of this local nut. The activated carbons obtained were used in the process of adsorption of colorants from a sample of wastewater from a jeans factory. Activation was carried out with a concentration of H_3PO_4 at 85% and 40% % V/V at a temperature of 350 °C for a period of 2.5 hours.

The characterization of the raw material as well of the activated carbons obtained was carried out taking as main reference the NTE INEN standards for "Carbón activado para uso industrial" established for each one of properties, the positive results reported by the adsorption isotherms and the iodine number of 640 mg / g and 541 mg / g for the activated carbon samples at 85% and 40% respectively demonstrate a moderately high surface area, making it ideal for adsorption processes. The BOD5 and COD analyzes showed a reduction but the high initial concentration of the sample from the jeans factory prevents compliance with established regulations. The pH, color, turbidity and dissolved solids obtained in the water treated with the 85% activated carbon were within the accepted limits.

Key Words: Activated carbon. Juglans neotropica. Dyes. Chemical activation. Phosphoric acid.



INDICE GENERAL

Contenido

RESUMEN	2
ABSTRACT	3
LISTA DE ILUSTRACIONES	6
LISTA DE TABLAS	7
LISTA DE ECUACIONES	8
GLOSARIO	11
1 INTRODUCCIÓN	14
1.1 Objetivo General	15
1.2 Objetivos Específicos	15
2 MARCO TEÓRICO	15
2.1 Carbón Activado.	15
2.1.1 Antecedentes Históricos.	15
2.1.2 Concepto de Carbón Activado.....	16
2.1.3 Características del Carbón Activado.....	17
2.1.4 Características Químicas.	19
2.1.5 Tipos de Carbón Activado.....	20
2.1.6 Procesos de Activación.....	22
2.1.7 Regeneración del Carbón Activado.	24
2.1.8 Aplicaciones del Carbón Activado.	26
2.2 Juglans Neotropica.	28
2.2.1 Descripción Botánica.....	28
2.2.2 Composición Química.	30
2.2.3 Producción de nogal en el Ecuador.....	30
2.2.4 Usos.....	30
2.3 Adsorción.....	31
2.3.1 Concepto de Adsorción.	31
2.3.2 Tipos de Adsorción.	31
2.3.3 Isotermas de Adsorción.	32
2.3.4 Factores que influyen los procesos de adsorción de compuestos que se encuentran presentes en el agua.....	34
2.4 Colorantes.	34
2.4.1 Concepto.	34
2.4.2 Clasificación de los Colorantes.	35
2.5 Aguas residuales.....	37



2.5.1 Concepto.	37
2.5.2 Aguas residuales de la industria textil	37
2.5.3 El color en las aguas residuales.	38
3 Materiales y Métodos.	39
3.1 Materiales y Equipos.	39
3.2 Adquisición de los cuescos de nogal.	41
3.3 Obtención y Selección de la Materia prima.	41
3.4 Pretratamiento (Secado y Molienda).	42
3.5 Caracterización del cuesco de Nogal.	44
3.5.1 Determinación de Humedad.	44
3.5.2 Determinación de Cenizas.	45
3.5.3 Determinación Granulométrica de la materia prima.	46
3.6 Activación Química.	47
3.7 Lavado.	48
3.8 Secado.	48
3.9 Determinación del rendimiento obtenido del Carbón Activado.	48
3.10 Caracterización del carbón activado obtenido.	49
3.10.1 Determinación de la humedad	49
3.10.2 Determinación de Cenizas.	50
3.10.3 Determinación de la Densidad Aparente.	51
3.10.4 Determinación del Índice de Yodo.	52
3.10.5 Área Superficial.	54
3.10.6 Construcción de las Isotermas de Adsorción.	54
3.11 Aplicación.	56
3.11.1 Remoción de colorante en columna de carbón activado.	57
3.11.2 Estudio para la estabilización del flujo del filtro	58
3.11.3 Determinación del porcentaje de remoción de colorante de la muestra de agua de una fábrica de jeans.	58
3.11.4 Análisis Físicoquímicos.	59
3.12 Análisis del costo de producción del proceso de elaboración del carbón activado.	60
4 Resultados y Discusiones.	61
4.1 Caracterización de la materia prima.	61
4.1.1 Humedad del cuesco de Nogal.	61
4.1.2 Cenizas del cuesco de Nogal.	62
4.1.3 Determinación granulométrica de la materia prima.	63
4.2 Rendimiento de la obtención de carbón activado.	65
4.3 Caracterización del Carbón Activado.	67
4.3.1 Humedad del Carbón Activado.	67



4.3.2 Porcentaje de Cenizas	68
4.3.3 Densidad Aparente	69
4.3.4 Índice de Yodo	70
4.3.5 Área superficial	74
4.3.6 Isotermas de Adsorción de ácido Oxálico.....	75
4.4 Aplicación del Carbón Activado para remoción de colorantes de una fábrica de jeans. ...	88
4.4.1 Resultados y comparación de los análisis de Color y turbiedad de las muestras de agua	88
4.4.2 Resultados de los Análisis Físico Químicos de las muestras de Agua	89
4.4.3 Comparación de los carbones activados obtenidos con un carbón activado comercial.	90
4.5 Análisis del costo de producción del carbón activado.	91
5 Conclusiones	94
6 bibliografía.....	96

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Carbón Activado Granular	16
Ilustración 2: Estructura del carbón activado	17
Ilustración 3: Estructura de Macro, Meso y Microporos de Carbón Activado	18
Ilustración 4: Carbón Activado elaborado a partir de Nogal	20
Ilustración 5: Carbón Activado en forma de polvo.....	21
Ilustración 6. Carbón Activado en forma de Pellets	22
Ilustración 7: Juglans Neotropica	28
Ilustración 8: Fruto del árbol de Nogal.....	29
Ilustración 9: Fruto de la nuez de nogal	31
Ilustración 10: Nogales adquiridos en el mercado "El Arenal"	41
Ilustración 11: Extracción del fruto de la nuez de nogal	42
Ilustración 12. Secado de la cascara del cuesco de nogal	42
Ilustración 13: Proceso de molienda del cuesco de nogal.....	43
Ilustración 14: Proceso de determinación de humedad del cuesco de nogal	44
Ilustración 15: Determinación de Cenizas del Cuesco de Nogal	45
Ilustración 16: Análisis Granulométrico de la materia prima obtenida del cuesco de Nogal	46
Ilustración 17: Proceso de Activación del Carbón Activado con H ₃ PO ₄ al 85%	47
Ilustración 18: Lavado y neutralización del Carbón Activado obtenido	48
Ilustración 19: Determinación de Cenizas	50
Ilustración 20: Determinación de Cenizas	51
Ilustración 21: Densidad Aparente	52
Ilustración 22: Índice de Yodo	53
Ilustración 23: Gráfica de Giles para isotermas, Adaptado de Giles, C. H. y col.; 1960hgh.....	55
Ilustración 24: Construcción de las Isotermas de Adsorción	56
Ilustración 25: Ilustración de una columna de adsorción.....	56
Ilustración 26: Montaje de la columna de Adsorción	57
Ilustración 27: Proceso de Estabilización del flujo de la columna.....	58
Ilustración 28: Resultados del proceso de adsorción de la muestra de agua de fábrica de Jeans	59
Ilustración 29: Análisis de Color y Turbiedad en la Planta de Tratamiento de Tixán.....	59



Ilustración 30: Análisis de pH y Sólidos Disueltos a las muestras de aguas filtradas60
Ilustración 31: Gráfica del análisis de Área Superficial74
Ilustración 32: Ampliación de la Gráfica de Área Superficial75
Ilustración 33: Isoterma de Freundlich del Carbón Activado al 85% con $H_2C_2O_4$ 79
Ilustración 34: Isoterma de adsorción de $H_2C_2O_4$ en el Carbón Activado al 85%80
Ilustración 35: Isoterma de Freundlich del Carbón Activado al 40% con $H_2C_2O_4$ 85
Ilustración 36: Isoterma de adsorción de $H_2C_2O_4$ en el Carbón Activado al 40%85

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Composición química del Nogal30
Tabla 2: Clasificación de los colorantes en base a su familia y grupos cromóforos35
Tabla 3: Clasificación de los colorantes por su método de aplicación36
Tabla 4: Pesos Obtenidos para cálculo de la humedad61
Tabla 5: Resultados del porcentaje de retención del Carbón Activado Comercial64
Tabla 6: Resultados del porcentaje de retención de la materia prima64
Tabla 7: Muestras del cuesco de Nogal para la activación química al 85%65
Tabla 8: Muestras del cuesco de Nogal para la activación química al 40%65
Tabla 9: Tabla del rendimiento de los carbones activados elaborados66
Tabla 10: Datos para el cálculo del índice de yodo70
Tabla 11: Datos para el cálculo del índice de yodo71
Tabla 12: Resultados de la constante f73
Tabla 13: Resultados del Área Superficial74
Tabla 14: Datos para la construcción de las isotermas de adsorción de la muestra activada al 85% H_3PO_4 75
Tabla 15: Datos para el cálculo del número de moles iniciales para cada una de las muestras de carbón activado al 85%76
Tabla 16: Datos para la determinación de la concentración del ácido oxálico en equilibrio para cada una de las muestras del carbón activado al 85%78
Tabla 17: Valores para el cálculo del número de moles78
Tabla 18: Valores para la construcción de la isoterma para la muestra de Carbón Activado con ácido fosfórico al 85%79
Tabla 19: Datos de los valores logarítmicos para la muestra activada al 85%79
Tabla 20: Datos para la construcción de las isotermas de adsorción de la muestra activada al 40% H_3PO_4 81
Tabla 21: cálculo del número de moles iniciales para muestras activadas al 40%82
Tabla 22: Tabla para el cálculo de la concentración del ácido oxálico en equilibrio para cada una de las muestras del carbón activado al 40%83
Tabla 23: Datos para el cálculo del número de moles adsorbidos para las muestras activadas al 40%84
Tabla 24: Datos para la construcción de la gráfica de la isoterma de la muestra de Carbón Activado al 40% de ácido fosfórico84
Tabla 25: Datos logarítmicos para la muestra activada al 40%85
Tabla 26: Resultados de los análisis de color y turbiedad88
Tabla 27: Tabla del porcentaje de remoción de color88
Tabla 28: Tabla del porcentaje de remoción de turbiedad89
Tabla 29: Tabla de los resultados de los análisis fisicoquímicos de las muestras de agua89
Tabla 30: Tabla comparativa de las propiedades de los carbones activados obtenidos vs carbón activado comercial90
Tabla 31: Tabla de los costos de materia prima91



Tabla 32:Tabla comparativa de los costos del carbón Activado elaborado y un carbón activado comercial.....91
Tabla 33:Tabla del costo total de la mano de obra directa.....92
Tabla 34:Tabla del costo de los gastos de producción.....92

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación Isoterma de Freundlich (1).....32
Ecuación linealizada de Freundlich (2)33
Ecuación de Langmuir (3).....33
Ecuación de Linealizada Langmuir (4)33
Ecuación usada para la determinación de la humedad promedio(5).....33
Ecuación usada para la determinación de las cenizas totales(6)44
Ecuación para el cálculo del rendimiento obtenido del Carbón Activado(7).....45
Ecuación para el cálculo de las cenizas totales del carbón activado(8)49
Ecuación para el cálculo de la densidad aparente del carbón activado (9).....50
Ecuación de cálculo del número de yodo(10).....51
Ecuación del número de yodo en relación con sus constantes(11)52
Ecuación para el cálculo de la constante C(12)52
Ecuación para el cálculo de la constante A(13)53
Ecuación para el cálculo de la constante B(14)53
Balance de masa de una columna de adsorción(15)55
Ecuación para determinación del costo de producción(16)57
Ecuación de cálculo del análisis granulométrico(17)62
Ecuación para la conversión de la normalidad a molaridad(18)69
Ecuación del cálculo de los moles iniciales(19)75
Ecuación del cálculo de la concentración en equilibrio para cada una de las muestras filtradas(20).....76
Ecuación de cálculo de la relación entre los moles adsorbidos y los gramos de adsorbente(21)78
Ecuación de la isoterma empírica(22)78
Ecuación de linealizada de la isoterma (23)78
Ecuación de cálculo del porcentaje de remoción de colorante (24)88
Ecuación para el cálculo del porcentaje de remoción de turbiedad(25).....89



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio
Institucional

Jorge Luis Vidal Méndez, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Elaboración de Carbón Activado a partir del cuesco de Nogal (Juglans neotropica) para su aplicación en el tratamiento de soluciones acuosas de colorantes de una fábrica de jeans", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 04 de enero de 2022

Jorge Luis Vidal Méndez

C.I: 0302019492



Cláusula de Propiedad Intelectual

Jorge Luis Vidal Méndez, autor del trabajo de titulación "(Elaboración de Carbón Activado a partir del cuesco de Nogal (*Juglans neotropica*) para su aplicación en el tratamiento de soluciones acuosas de colorantes de una fábrica de jeans.)", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 04 de enero de 2022

A handwritten signature in blue ink, reading "Jorge Luis Vidal Méndez", written over a horizontal line.

Jorge Luis Vidal Méndez

C.I: 0302019492



GLOSARIO

Electroquímica: La electroquímica es la rama de la fisicoquímica centrada en las leyes que se refieren a la generación de electricidad a partir de reacciones químicas.

Tocte: Árbol de las yuglandáceas semejante al nogal, que da una madera que se utiliza en carpintería y unos frutos comestibles semejantes a las nueces.

Drupas: Fruto carnoso de forma redondeada que tiene en su interior una única semilla envuelta en una capa leñosa dura o hueso.

Fuerza de Van Der Waals: Fuerzas intermoleculares atractivas o repulsivas, diferentes de aquellas que generan los enlaces atómicos o la atracción electrostática entre iones y otras moléculas.

Isoterma: Relación en el equilibrio entre la cantidad de gas adsorbido y la presión del gas a temperatura constante.

Compuesto Orgánico: Compuesto químico que contiene carbono, formando enlaces carbono-carbono y carbono-hidrógeno.

Superficie Específica: Medida aplicada a sólidos con granos o partículas. Es el área de superficie por unidad de masa.

Especie Forestal: Especies presentes en bosques con predominancia de árboles, cuya principal característica es que han sido plantados allí por mano del hombre.

Cromóforos: Conjunto de átomos que, al absorber radiaciones luminosas, dotan de color a un compuesto orgánico.

Análisis BET: Análisis que permite determinar la superficie de un sólido basándose en la adsorción de un gas inerte, generalmente N_2 , a baja temperatura.



DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre Jenny quien me acompañó durante todo este proceso y siempre creyó en mí.

Al resto de mi familia que siempre estuvieron pendientes y me brindaron su apoyo durante toda esta etapa.

JORGE LUIS VIDAL MÉNDEZ



AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Juan Diego Espinoza, por la ayuda y las facilidades brindadas para el desarrollo de este trabajo de investigación.

A la Dra. Tsai Garcia por su valiosa asesoría y orientación científica, por su dedicación y respaldo durante la etapa final de esta investigación.

A la Ing. Verónica Saetama, por su invaluable asesoría y respaldo brindado durante todo el proceso.

A todos los docentes y compañeros que brindaron su ayuda durante la realización de este trabajo.



1 INTRODUCCIÓN

La adsorción es un proceso superficial, cuyo principal objetivo es aumentar la concentración de un compuesto determinado sobre la superficie del adsorbente. Durante este proceso se denomina como adsorbato a aquel compuesto que se encuentra en una elevada concentración en el medio y se denomina como adsorbente aquel material sobre el cual se produce la acumulación de este compuesto. El carbón activado es uno de los materiales adsorbentes más utilizados a nivel industrial, su aplicación va desde la industria de potabilización de agua, hasta la industria alimentaria e industria farmacéutica.

La industria textil es una de las empresas con un mayor grado de contaminación debido a los residuos que se generan durante el proceso. Según los datos proporcionados por la Cámara de la pequeña industria de Cuenca, en la ciudad existen actualmente alrededor de cinco empresas dedicadas al proceso de lavado y teñido de jeans, generando de esta manera residuos que poseen un alto grado de contaminación que pocas veces recibe algún tratamiento previo a su descarga. (Tenezaca, 2016)

El árbol *Juglans neotropica*, mejor conocido en el país como “Nogal” produce una nuez a la cual no se le ha dado ningún otro uso más que el gastronómico, como resultado de esto se planteó la posibilidad de obtener un material poroso, con la finalidad de usar este material en otros procesos. Un ejemplo sería en la eliminación de colorantes de las aguas residuales de las fábricas de Jeans, una de las principales fuentes contaminantes de nuestros ríos.

El objetivo del presente trabajo es obtener un material que posea una alta capacidad adsorbente y la especificidad de remover colorantes de aguas residuales partiendo del cuesco de Nogal (*Juglans Neotropica*) como materia prima. Para esto se obtuvieron carbones activados en un equipo a escala de laboratorio utilizando H_3PO_4 a diferentes concentraciones en el proceso de la activación química del carbón. Su rendimiento en la remoción de colorantes usados en la industria textil fue comparado con un carbón activado comercial de la empresa Erafi.



1.1 Objetivo General

- Elaborar carbón activado a partir del cuesco de Nogal (*Juglans Neotropica*) para su aplicación en el tratamiento de soluciones acuosas colorantes de una fábrica de Jeans.

1.2 Objetivos Específicos

- Realizar la caracterización del carbón activado obtenido a partir del cuesco de Nogal (*Juglans Neotropica*).
- Determinar la capacidad de remoción de colorantes de soluciones acuosas de una fábrica de jeans utilizando como medio filtrante el carbón activado obtenido.
- Realizar una comparación de las propiedades físicas del carbón activado obtenido y un carbón activado comercial.
- Determinar si los parámetros de color, pH, turbiedad, DBO, DQO y sólidos disueltos de la solución tratada con el carbón activado obtenido, cumplen con las normativas establecidas por el TULSMA para descarga en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillados.
- Analizar el costo de producción del carbón activado a partir del cuesco de Nogal *Juglans Neotropica*.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Carbón Activado.

2.1.1 Antecedentes Históricos.

A través de la historia no se tienen datos exactos del uso del carbón activado, sin embargo, la primera referencia al uso del carbón vegetal con fines medicinales data del año 1550 A.C en un papiro encontrado en Grecia. Asimismo, en el año 400 Hipócrates recomienda utilizar carbón vegetal para filtrar el agua con el fin de evitar enfermedades. (García, 2013)

En el año 1881 se menciona por primera vez la propiedad de adsorción de gases que poseen algunos materiales carbonizados, el Dr. R. Von Ostrejko considerado el inventor

del carbón activado es quien desarrollo varios métodos para la producción de carbón activado que se siguen usando hasta el día de hoy. Así, en 1901 se patentaron dos métodos para la producción de carbón activado. El primero consistía en someter el carbón a una oxidación controlada con dióxido de carbono a una temperatura elevada; el otro procedimiento se lo realizaba incorporando cloruros metálicos a la materia prima previo al proceso de carbonización. En el año de 1974 en Inglaterra se realiza la primera aplicación industrial del carbón activado para la purificación de azúcar. (Lazo, 2015)

Durante la primera guerra mundial el uso de armas químicas trajo como consecuencia la necesidad de desarrollar filtros que permitieran soportar este tipo de ataques, por lo que la industria del carbón activado se vio altamente beneficiada, ya que se comenzaron a desarrollar filtros de carbón activado para máscaras de gas. Es durante este periodo que se desarrolló una gran cantidad de aplicaciones del carbón activado entre las cuales tenemos: depuración de gases y aguas, aplicaciones médicas, soporte de catalizadores, etc. (Sevilla, 2011)

2.1.2 Concepto de Carbón Activado.

El carbón activado es un adsorbente que se obtiene a partir de materiales carbonosos que posee características tales como: elevada superficie interna, grupos funcionales diversos y una elevada distribución de poros, son estas propiedades las que le permiten al carbón activado atrapar una gran cantidad de moléculas en su superficie. (Bastidas et al., 2010)



Ilustración 1: Carbón Activado Granular

Fuente: Mercola, 2017

Los poros son pequeños espacios que existen entre las partículas de carbón, estos espacios sirven para atrapar agentes moléculas que se encuentran en un líquido que rodea a las partículas. De esta forma la superficie del carbón activado actúa como una malla

molecular que posee una alta especificidad. El volumen de poros del carbón activado es mayor a 0.2 mg/l y posee una superficie interna que va desde los 400 a 1500 m^2/g . (Navarro & Vargas, 2010)

Los carbones activos que se utilizan para la adsorción de gases y vapores son diferentes a los utilizados en adsorción de líquidos. La primera clase se caracteriza por poseer un tamaño pequeño de poros (menor a 20 Å de diámetro); además este tipo de carbón es más duro y denso que los carbones llamados “decolorantes”. Los carbones activos decolorantes son aquellos que se usan en fases líquidos, estos a su vez se dividen en carbones animales y vegetales, siendo los primeros elaborados a partir de restos animales y en el caso del carbón vegetal se fabrican de lignito de líquidos residuales de papel, turba y madera. (Castro et al., 2009)

2.1.3 Características del Carbón Activado.

El carbón activado se caracteriza principalmente por su estructura capilar, porosidad, superficie interna y específica, estas propiedades depende a su vez de la forma en la que se obtuvo el carbón activo y su estructura física, son todas estas propiedades las que le confieren a este tipo de material una alta capacidad de adsorción. Al carbón activo se le incluye dentro del grupo de carbones de estructura amorfa, ya que presentan una estructura microcristalina que depende de las condiciones de preparación, asemejándose a la estructura del grafito (Smisek & Cerny, 1970) .Otro tipo de estructura que se presenta en este tipo de material es la que lo describe como una malla o estructura reticular que se encuentra formando hexágonos de carbono de estructura desordenada, lo que a su vez induce la desorientación en los planos de las capas de carbón.

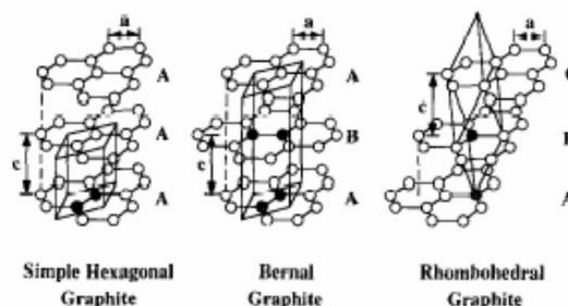


Ilustración 2: Estructura del carbón activado

- Porosidad

Una propiedad muy importante para las propiedades adsorbentes de un material es su estructura porosa la misma que se ve influenciada por el número total de poros y el tamaño de los mismos. La mayor parte de estructuras carbonosas poseen una estructura en la que existen diferentes tamaños y formas de poros. La IUPAC ha clasificado el tamaño de los poros para carbón activado en tres grupos: Microporos (como aquellos que poseen una abertura menor a 2 nm), mesoporos (con una apertura entre 2 y 50 nm) y Macroporos (con una apertura mayor a 50 nm)(Sánchez Polo et al., 2014). La abertura de un poro se define como la distancia entre de un poro en forma cilíndrica.

1. Macroporos: Debido a la superficie de macroporos y a la pequeña área superficial que posee, la adsorción sobre esta superficie normalmente se rechaza (Ures et al., 2014) Aunque la superficie de macroporos no contribuye significativamente al área superficial específica, estos pueden retener una gran cantidad de líquido. (Muñoz Rivadeneira, 2010)
2. Mesoporos: La adsorción que existe en múltiples capas tiene lugar sobre la superficie de los mesoporos, además que estos sirven como conductos para el transporte de especies hacia los microporos. (García López & Granillo Oporta, 2017)
3. Microporos: Los microporos son los que contribuyen en la mayor parte de la superficie interna del carbón activado y la mayor parte del fenómeno de adsorción se produce en los microporos. (Martínez, 2012)

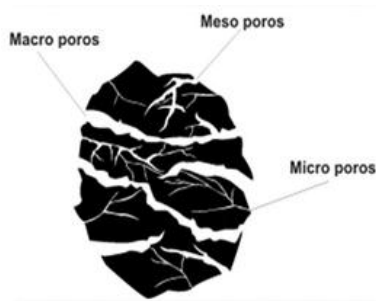


Ilustración 3: Estructura de Macro, Meso y Microporos de Carbón Activado

Fuente: Contreras 2016



- Superficie Específica

El área superficial constituye al área formada por la estructura porosa del material. En el caso de los carbones activados es en la superficie de las partículas donde se produce los fenómenos de adsorción de cationes y moléculas de aguas, esta se encuentra en función del pH, salinidad y temperatura del medio. (Colpas et al., 2017)

El método que usualmente se usa para la determinación de la superficie específica de un carbón activado es el método de BET, este se realiza mediante una adsorción de nitrógeno a 77 K y se basa en el cálculo del número de moléculas de adsorbato (Nitrógeno) adsorbidas en monocapa, este método además permite determinar otras propiedades tales como: área superficial, tamaño y forma del poro, distribución y calores de adsorción.

- pH

En la mayoría de efluentes industriales que presentan altas concentraciones de colorantes requieren ser tratados con carbón activado, existe una relación directa entre la acidez de la solución y la adsorción de colorante, a mayor acidez mayor decoloración. El carbón activado al igual que las impurezas presentes en las aguas residuales posee cargas eléctricas, la absorbancia que este posea depende de las interacciones entre las cargas eléctricas del carbón y las partículas. Dependiendo mucho del valor de pH que posean las sustancias anfóteras, coloides, proteínas y algunos colorantes naturales pueden actuar como ácidos o como bases. (Gonzales Mora H.E., 2004)

2.1.4 Características Químicas.

La capacidad de adsorción depende también de las características químicas que posea la superficie del carbón activo. La superficie es heterogénea lo cual se debe principalmente a la presencia de grupos oxígeno superficiales, que aunque se encuentren en concentraciones relativamente pequeñas afectan en propiedades tales como: acidez, polaridad, hidrofobia y carga superficial (Valladares, 2017). La presencia de estos grupos afecta también en la energía de interacción entre el contaminante y la superficie del carbón, esto se produce por una reducción de las fuerzas de van der Waals.

2.1.5 Tipos de Carbón Activado.

Se puede clasificar a los carbones activados según su tamaño de partícula en Carbón Activo Granular (CAG) y Carbón Activo en Polvo (CAP). El carbón activado Granular posee un tamaño mayor a los 100 μm y el carbón activado en polvo un tamaño menor a los 100 μm (entre 15 y 25 μm). (Ruiz, 2018)

2.1.5.1 Carbón Activo Granular.

El carbón activado granular consiste en gránulos que poseen una forma irregular, estos se depositan dentro de un recipiente en el cual circula el líquido o gas a tratar. Este tipo de carbón activado se comercializa en varios tamaños, por ejemplo, 8x30 lo que indica que el carbón atravesó la malla 8 pero no la malla 30, esto indica que la muestra de carbón activado granular posee un tamaño de partículas que va desde los 0.595 y 2.38 mm. (Groso Cruzado, 1997)



Ilustración 4: Carbón Activado elaborado a partir de Nogal

Fuente: Autor

Mediante varios experimentos realizados se ha llegado a la conclusión de que mientras menor es el tamaño de partícula de un carbón activado, esto se debe a que se facilita el acceso del adsorbato a la superficie interna del carbón. (Groso Cruzado, 1997)

2.1.5.2 Carbón Activo en Polvo.

El carbón activado en polvo se lo define como aquel carbón que atraviesa la malla 80, según la norma AWWA B600-90 relativa al carbón activado en polvo especifica que un para el tratamiento de agua el 99% de la muestra debe pasar por la malla 100, el 95% debe pasar la malla 200 y el 90% debe pasar la malla 325. Debido al tamaño de partícula

que posee este carbón no se puede emplear en lechos fijos, es decir no se los puede utilizar para el tratamiento de gases, pero es este tamaño tan pequeño que le brinda una mayor área superficial. (Vayas, 2017)



Ilustración 5: Carbón Activado en forma de polvo

Fuente: Freepik 2019

Ventajas del Carbón Activado en Polvo sobre el carbón activado en polvo:

- El carbón activado en polvo trabaja a una mayor velocidad
- No requiere dureza

Desventajas del Carbón Activado en Polvo sobre el carbón activado en polvo:

- El carbón activado en polvo genera una mayor caída de presión en el lecho

2.1.5.3 Carbón Activado en Pellets.

Este tipo de carbón activado suele presentarse en forma cilíndrica, esto debido a que se produce por extrusión. La principal ventaja que ofrece utilizar este tipo de carbón es la disminución en la caída que producen en comparación con el carbón granular, lo que los hace muy útiles en la purificación de gases. Es debido a su forma cilíndrica y regular que no se rompe con facilidad durante el retrolavado, esto es algo importante en operaciones que es imprescindible evitar el desprendimiento de partículas, como es el caso de la adsorción de oro. (Mero & Bonifaz, 2017)

Además de comercializarse en forma cilíndrica, también se fabrican en forma de panal de abeja, estatuillas decorativas para la eliminación de olores de cigarro, es por esto también que el costo de fabricación de este tipo de carbón activado es mucho mayor con respecto al carbón activado granular. (Arteaga Martínez, 2018)



Ilustración 6. Carbón Activado en forma de Pellets

Fuente: Staloff, n.d.

2.1.6 Procesos de Activación.

De acuerdo al tipo de agente que se utilice para la activación del carbón activado se generan sólidos con diferentes tamaños, distribución de poros y características texturales, ya que estos compuestos ayudan en la generación de una mayor porosidad. (Acevedo Corredor, 2014)

2.1.6.1 Activación Química.

En este tipo de activación se realiza un tratamiento químico ya sea con cloruro de zinc, ácido fosfórico u otros reactivos con la finalidad de transformar la materia prima en carbón que posea grandes propiedades de adsorción. El proceso de activación química se realiza directamente mezclando la materia prima (madera, semillas o huesos de nueces) con cloruro de zinc o ácido fosfórico. La activación se realiza en un rango de temperatura que oscila entre los 500 °C y 900 °C, la activación se realiza a altas temperaturas ya que de esta manera se produce una mayor activación.

Una vez que se concluye el proceso de activación, se deja enfriar la materia prima y se le realiza un lavado con el fin de neutralizar los químicos utilizados durante el proceso, luego de esto se filtra y se seca. Para el proceso de activación química se pueden utilizar varias sustancias deshidratantes entre las cuales tenemos: cloruro de zinc, ácido fosfórico, ácido sulfúrico, ácido bórico, ácido nítrico, sulfuro de potasio, sulfato de magnesio y sodio. La aplicación de cada uno de ellos depende de las propiedades de la materia prima inicial y de las características que se desea en el producto final. Para este estudio se decidió usar ácido fosfórico, ya que es un reactivo de bajo costo económico



además de favorecer a la activación química, ya que disminuye el material volátil en la estructura final del carbón activado.

Durante mucho tiempo la activación química realizada con cloruro de zinc era el más utilizado, pero dado que esta generaba una alta contaminación medio ambiental, hoy en día en algunos países como china todavía se usa este compuesto para la fabricación de Carbón Activado.

El proceso de activación química con ácido fosfórico consta de los siguientes pasos:

1. Preparación de la materia prima y molienda
2. Mezcla de la materia prima con el ácido fosfórico
3. Tratamiento térmico a una temperatura entre 300 °C y 350 °C
4. Lavado, Secado y clasificación del carbón activado

2.1.6.2 Activación Física.

El primer paso en la preparación del carbón activo mediante activación física es la carbonización de la materia prima, este proceso se realiza en ausencia de aire a una temperatura inferior a las 600°C, de esta manera se logra expulsar los hidrocarburos presentes en la muestra, logrando de esta manera una deshidratación y desvolatilización, para la obtención de un carbón primario. Durante este proceso los átomos de carbono insaturados, provenientes de la ruptura de enlaces, se unen entre sí formando estructuras microcristalinas, pero con una estructura irregular originando espacios libres en su estructura, es por esta razón que se requiere de una etapa adicional. (Polo Peñalosa, 2013)

Durante la etapa de activación el material sólido es expuesto a una atmósfera oxidante, la cual puede estar formada por: oxígeno, vapor de agua o dióxido de carbono, a temperaturas entre 800 °C y 1000 °C durante tiempos que oscilan entre 12 horas a 30 minutos dependiendo de la materia prima, durante este proceso ocurren las siguientes reacciones:





Un aspecto a considerar durante este proceso es la naturaleza entálpica de los agentes oxidantes, ya que la reacción con oxígeno es exotérmica lo que favorece el proceso pero al mismo tiempo lo hace más dificultosa ya que es necesario mantener un rango fijo de temperatura, en cambio las reacciones con dióxido de carbono y vapor de agua son endotérmicas por lo que es necesario un calentamiento adicional lo que implica la utilización de un horno adicional, este generalmente suele ser del tipo rotatorio ya que existe un menor grado de abrasión entre las partículas del carbón y la superficie del horno. (Recobert, 2015)

Es por todas estas razones que uno de los factores a considerar es la elección del agente oxidante, por lo general se suele usar O_2 , ya que es fácil de usar y presenta una menor reactividad a elevadas temperaturas, otro factor a considerar es la temperatura la cual afecta directamente la cinética de la reacción, si se ocupa una temperatura muy baja los tiempos de residencia se suelen alargar, y ya que mientras mayor sea el tiempo de residencia mayor será el poder adsorbente del carbón activo pero esto tiene una grave incisión en el costo de producción del mismo.

2.1.7 Regeneración del Carbón Activado.

La regeneración del carbón activado es la parte más costosa y difícil del uso de esta tecnología, la regeneración implica la eliminación de los contaminantes que se encuentran sobre la superficie del carbón, este proceso generalmente se realiza a elevadas temperaturas, existen varios métodos de regeneración entre los cuales se encuentran: regeneración por vapor, térmica, con gases, con ácidos, biológica entre otras. (Aktas, Ö., & ec-en, 2012)

- Regeneración por vapor

Para este tipo de regeneración se realiza mediante un flujo ascendente de vapor de agua a través del lecho de carbón activado, lo cual permite la eliminación de los contaminantes depositados en la superficie del material, este método se utiliza usualmente para carbones activados del tipo granular. (Grijalva, 2008)



- Regeneración Térmica

La regeneración térmica es el método más utilizado, ya que elimina contaminantes orgánicos, compuestos orgánicos, óxidos y grupos funcionales, sin embargo, este método presenta algunos inconvenientes que son:

1. Presenta un alto costo energético, ya que este proceso se realiza a altas temperaturas. (600 y 1000°C)
2. Se pierde un porcentaje de alrededor del 5 al 20 % del carbón activo cuando se realiza este proceso, por lo que será necesario añadir pequeñas cantidades de material una vez que se finalice este proceso. (Pelaz Fernández, 2016)

Existe una alteración en las propiedades iniciales del carbón activado utilizado

- Regeneración por ácido

Este tipo de regeneración se utiliza cuando se ha utilizado el carbón activado para el tratamiento de aguas con alto contenidos de carbonatos e hidróxidos de calcio, para esto se utiliza una solución de un ácido fuerte como puede ser el clorhídrico, este proceso dura alrededor de unas 10-40 horas. (Lapo, 2014)

- Regeneración Biológica

Para esta regeneración se pone en contacto el carbón activado una solución aireada con nutrientes como el fósforo o nitrógeno, este proceso dura alrededor de 96 horas logrando una regeneración del 80% (Groso Cruzado, 2021), este tipo de regeneración no es muy utilizada en la industria debido a los altos tiempos que requiere este proceso.

- Regeneración Química

El proceso de regeneración química usualmente se realiza mediante la utilización de agentes químicos oxidantes y deshidratantes, a continuación, se presentan los principales métodos empleados para esta técnica. (Da'na & Awad, 2017)

- Regeneración con NaOH

Este proceso se lleva a cabo mediante una reacción química o un cambio de pH en el medio en el que se encuentra el carbón activado. (Salvador et al., 2015). Los adsorbatos que no reaccionan con el hidróxido de sodio como las anilinas, bencil, alcoholes o colorantes, son removidos cuando el pH de la superficie del carbón activado cambia, a pH's altos la intensificación de las fuerzas repulsivas entre las moléculas aniónicas



adsorbidas y la superficie del carbón rompen la unión entre el adsorbato y el adsorbente. (Valbuena & Rodríguez, 2018)

- Regeneración Electroquímica

La regeneración electroquímica se produce cuando el material adsorbente saturado se expone a una corriente generada por una celda electroquímica, los iones OH^- producidos generados en el cátodo permite la conversión de los grupos superficiales y adsorbatos retenidos en su forma aniónica, los adsorbatos desorbidos migran hacia el ánodo y son oxidados por el oxígeno generado en el electrodo. (Valbuena & Rodríguez, 2018)

2.1.8 Aplicaciones del Carbón Activado.

Gracias al reconocimiento de todas las propiedades que posee el carbón activo es lo que lo ha llevado a ser usado en múltiples campos industriales entre los que destacan: purificación, desintoxicación, separación, tratamiento de aguas y gases, industria alimentaria, industria química, petroquímica, metalúrgica, farmacéutica y electrónica. En la siguiente tabla se resumen algunas de las aplicaciones industriales más importantes del carbón activado.

- Industria Azucarera: El uso del carbón activado en la industria azucarera ha desplazado el uso del carbón de huesos, se usa principalmente en refinerías de azúcar de remolacha, proporciona una mejor calidad al producto y permite una mayor flexibilidad en su fabricación. (Marín, 2014)
- Industria de Aceites y grasas comestibles: En el campo de los aceites y grasas comestibles se lo utiliza principalmente para la eliminación de color, eliminación de jabones y peróxidos. Su uso se ha extendido a multitud de productos que van desde el aceite de coco, al aceite de linaza y soja, manteca de cerdo y sebo. (Parra et al., 2018)
- Productos Comestibles: En el campo alimenticio se ha utilizado el carbón activo con el objetivo de mejorar el color y el sabor de productos tales como: gelatina, sopas, vinagre. Además, se emplea en productos que no pueden purificarse por medio de una cristalización o destilación. Uno de los beneficios de usar el carbón activado en este tipo de productos es que este no adiciona ningún tipo de compuesto al producto final, al contrario, con lo que pasa con otros tratamientos químicos.



- **Bebidas Alcohólicas:** En este campo su aplicación se la realiza con el objetivo de clarificar y mejorar el producto final. Como ejemplo podemos poner el Whisky, este presenta un sabor desagradable recién destilado, por lo que el uso del carbón activado luego de este proceso le proporciona un mejor sabor. (Grisales, 2016)
- **Productos Químicos y Farmacéuticos:** El uso del carbón activado en la industria farmacéutica ha permitido mejorar los productos finales y abaratar costos de producción, ya que el uso del carbón activo permite la adsorción de impurezas incoloras, mejora la temperatura de fusión de compuestos orgánicos y ayuda en la purificación del producto final. (Marín, 2014)
- **Recuperación de disolventes:** Los disolventes que son usados en procesos industriales a menudo se cargan con impurezas, luego estos deben ser tratados para su recuperación, estos procesos suelen ser largos y costosos, pero cuando estas impurezas pueden recuperarse por adsorción, el empleo de tratamientos con carbón activo se vuelve el método más sencillo y de menor costo. (Ricardo Castro & Parravicini, 2009)
- **Abastecimiento de Aguas Potables:** Una de las aplicaciones más notables del uso del carbón activo es la eliminación de sabores y olores de las aguas potables, este es un tratamiento adicional que se realiza luego del proceso de cloración. Este tratamiento se aplicó por primera vez en el año de 1930 y desde entonces no se ha encontrado otro tratamiento igual de efectivo, por lo que su uso se ha expandido a casi todos los países. (Guanuche. et al., 2017)
- **Recuperación de Sustancias Adsorbidas:** Los disolventes que son usados en procesos industriales a menudo se cargan con impurezas, luego estos deben ser tratados para su recuperación, estos procesos suelen ser largos y costosos, pero cuando estas impurezas pueden recuperarse por adsorción, el empleo de tratamientos con carbón activo se vuelve el método más sencillo y de menor costo.
- **Catálisis:** El carbón activado también se suele usar como catalizador para diversas reacciones, este se puede usar solo o como portador de otros catalizadores. (García-Matamoros, 2008)

2.2 Juglans Neotropica.

2.2.1 Descripción Botánica.

Juglans Neotropica mejor conocido como nogal (“tocte” en Ecuador) es nativo de la zona andina de América del Sur, específicamente de países como: Ecuador, Colombia, Perú y Bolivia, esta especie se suele encontrar a una altura entre 1600 y 2500 msnm a temperaturas que oscilan los 12°C y 18 °C (Vanegas & Rojas, 2018). Este árbol tiene aplicaciones que van desde la industria maderera, así como sus hojas y frutos se aplican en industrias textiles y de alimentos.



Ilustración 7: Juglans Neotropica

Fuente: Hernández 2020

En la actualidad la especie de Jungla Neotropica se encuentra catalogada como una especie en peligro, esto debido a su excesiva explotación por parte de la industria maderera, además que su hábitat natural ha disminuido considerablemente debido a la ampliación de las zonas urbanas y agrícolas del País, en algunos países incluso se ha vedado la tala de esta especie como lo es en el caso de Colombia. El fruto del árbol del nogal se caracteriza por su gran tamaño y por poseer una corteza dura y gruesa. El fruto que se extrae del nogal es semejante al de la nuez y poseen valores semejantes con respecto a sus propiedades Nutricionales.(Vanegas & Rojas, 2018)

Es una especie forestal que destaca por su altura que varía entre 15 m y 48 m, posee raíces pivotantes que alcanzan hasta más de tres metros de profundidad, el tronco puede llegar

a alcanzar los 30 cm – 120 cm de diámetro, su corteza es de color gris oscuro y posee una corteza interior fibrosa color crema (Palomino et al., 2003) (Gómez & Toro, 2007). Su copa es irregular, frondosa de hasta de 10 m de ancho, cuyas ramas son gruesas de poca médula cuando alcanzan una edad adulta.

Las Hojas son compuestas alternadas e imparipinnadas, estas se encuentran agrupadas al final de la rama y miden entre 20 y 60 cm de largo y entre 18 a 30 cm de diámetro, nacen a partir de una yema terminal escamosa, delgada y puntiaguda protegida por una bráctea vistosa y alargada. (Gómez & Toro, 2007)

Los frutos son drupas de forma elipsoidal casi circulares, con dimensiones que van desde los 6 cm de largo y 5 cm de ancho, poseen un epicarpio grueso, áspero con presencia de lenticelas café y color verde oliva cuando estos se encuentran en estado de inmadurez, pero una vez que el fruto se encuentra en estado maduro la lenticela posee un color café oscuro casi negro. La semilla del fruto se considera del tipo nuez, posee un endocarpio surcado de manera longitudinal, de color café oscuro a casi negros, estos poseen una longitud promedio de 3 cm y un ancho de 4 cm, en su interior se encuentra una almendra blanca que ocupa un gran espacio en la cavidad de la semilla. (Toro Vanegas & Roldán Rojas, 2018)



Ilustración 8: Fruto del árbol de Nogal

Fuente: Autor

2.2.2 Composición Química.

Tabla 1: Composición química del Nogal

Composición Química del Nogal por cada 100 g de materia seca

Lípidos (%)	66
Proteínas (%)	18
Grasas (mg)	59
Potasio (mg)	500
Fósforo (mg)	350
Calcio (mg)	100
Sodio (mg)	3
Hierro (mg)	3
Calorías (kcal)	678
Vitaminas: E, A, C, niacina, tiamina y riboflavina	

Fuente: Erazo,D.. (sf). El cultivo de la Nuez. Junio 03, 2019, de Infoagro.com Sitio web: http://www.infoagro.com/frutas/frutos_secos/nogal2.htm

2.2.3 Producción de nogal en el Ecuador.

El desconocimiento técnico que existe del cultivo de nogal en el país y gracias al hecho de que la especie se encuentre catalogada como en peligro, ha llevado a que se la considere como una especie tradicionalmente forestal, por lo que no existe valores exactos de la producción de árbol de nogal en el país, sin embargo se considera que en zonas que son aptas para este cultivo puede llegar a darse plantaciones de hasta 80 a 100 árboles/Ha. (Ortega-Montenegro, 2016)

2.2.4 Usos.

Con todas las características botánicas y ecológicas que posee el nogal, se lo ha utilizado para la recuperación de suelos que han sido contaminados por la minería, ganadería u otros tipos de erosión, como para enriquecimiento de bosques secundarios. Dentro de una de las aplicaciones más importantes que posee el nogal se tiene su uso como madera, esta posee un alto valor comercial, se usa principalmente en ebanistería, tableros, contrachapados, construcción, productos torneados y elaboración de instrumentos musicales. De las raíces, cortezas, y frutos secos se saca la juglona (ictiotóxica y

fungistática) esta se utiliza como un insumo para la pesca artesanal, además se extraen tintes o colorantes (color café) para adornar artesanías, así como para teñir ropa y cabello. De las hojas y cortezas se realizan extracciones alcohólicas, liofilización o de hidrogeles, además de infusiones que han ayudado a disminuir problemas de diabetes, infecciones vaginales, gástricas y respiratorias. (Toro Vanegas & Roldán Rojas, 2018)

El fruto que se extrae del nogal es comestible, saludable y nutritivo, es catalogado como un fruto seco, este ayuda a reducir el colesterol y la posibilidad de sufrir accidentes cerebrovasculares. En Ecuador es común su uso gastronómico para la elaboración de confituras y postres como tortas.



Ilustración 9: Fruto de la nuez de nogal

Fuente: Autor

2.3 Adsorción.

2.3.1 Concepto de Adsorción.

De manera general se puede definir el proceso de adsorción como aquel en cual los átomos que se encuentran depositados en la superficie de un sólido (adsorbente), atraen y retienen moléculas de otro compuesto (adsorbato), esto debido a la existencia de fuerzas que interactúan entre estas dos partículas. (Serrano Guerrero, 2019).

2.3.2 Tipos de Adsorción.

Existen tres tipos de adsorción:

1. La adsorción física se debe a fuerzas de interacción débiles conocidas como “Fuerzas de Van der Waals”, este proceso de adsorción es inespecífico, es decir que la partícula adsorbida no se fija en un solo punto de la superficie del sólido, sino que más bien se encuentra libre sobre la superficie de este además que este proceso es reversible.



2. La adsorción química se produce por fuerzas de interacción fuertes, en este caso las moléculas adsorbidas no se encuentran libremente sobre la superficie del sólido, este proceso es irreversible.
3. La adsorción por intercambio se caracteriza en que existe una atracción eléctrica que se produce entre el adsorbente y el adsorbato, a este proceso también se le conoce como intercambio iónico. (Calderón, 2005)

2.3.3 Isotermas de Adsorción.

La capacidad de adsorción que posee un material está definida en base a sus isotermas de adsorción. Se define a una isoterma de adsorción como la correlación de dependencia que existe entre la cantidad de adsorbato adsorbido y el peso unitario del adsorbente, con respecto a la concentración del adsorbato en equilibrio. (Calderón, 2005)

2.3.3.1 Isoterma de Freundlich.

Este tipo de isotermas se utiliza principalmente cuando se trabaja a bajas presiones, y expresa la relación que existe entre la carga de adsorbato en el carbón activado y la concentración del adsorbato en la solución. El modelo matemático que representa la isoterma de Freundlich es presentado a continuación y es ampliamente usado en síntesis de datos obtenidos en procesos de tratamientos de aguas residuales y procesos de potabilización de agua con carbón activado. (Ureña Gómez, 2017)

$$q_e = K_f C_e^{\frac{1}{n}} \quad (1)$$

En donde:

- q_e : Cantidad de adsorbato retenido por el material adsorbente (carbón activado de nogal)
- C_e : Concentración en equilibrio una vez finalizado el proceso de adsorción
- K_f, n : Son constantes



La ecuación usada para determinar las constantes de la ecuación de Freundlich se expresa como:

$$\text{Log}(q_e) = \text{Log}(K_f) + \frac{1}{n}(\text{Log } C_e) \quad (2)$$

2.3.3.2 Isoterma de Langmuir.

Este tipo de isothermas se utiliza generalmente en procesos de adsorción química y para adsorción física a presiones bajas y temperaturas altas. Este modelo se desarrolló teniendo las consideraciones de que no existe interacción entre las moléculas adsorbidas y que los sitios disponibles para el proceso de adsorción se encuentran distribuidos homogéneamente sobre la superficie del adsorbente. (Carriazo et al., 2010)

$$Q_e = \frac{qC_e}{K + C_e} \quad (3)$$

En donde:

Q_e: Proporción adsorbida por unidad de adsorbente

C_e: Concentración de equilibrio que posee el adsorbato en solución una vez finalizado el proceso de adsorción

q, K: Constantes

La ecuación linealizada se expresa como:

$$\frac{C_e}{q_e} = \left(\frac{1}{qm}\right) C_e + \frac{1}{bqm} \quad (4)$$



2.3.4 Factores que influyen los procesos de adsorción de compuestos que se encuentran presentes en el agua.

Los factores más relevantes que influyen en los procesos de adsorción son:

- Elevada concentración del contaminante que desea ser eliminado: Mientras más elevada sea, se requerirá un mayor volumen de carbón activado.
- Presencia de Compuestos Orgánicos: Si exista presencia de otros compuestos orgánicos en la muestra de agua, estos ocuparan los espacios disponibles en la superficie del material adsorbente y afectará el proceso de adsorción del compuesto requerido.
- pH: El pH de la muestra de agua que se desea realizar el proceso de adsorción también afecta dicho proceso, ya que los compuestos que son ácidos es decir de un pH bajo se eliminan con mayor facilidad que los compuestos a un pH alto.
- Tipo de Compuesto: El tipo de compuesto también afecta su proceso de adsorción, ya que compuestos con elevado peso molecular y una baja solubilidad se absorben con una mayor facilidad.

2.4 Colorantes.

2.4.1 Concepto.

Los colorantes suelen ser compuestos orgánicos cuya principal función es dar color a diversas sustancias entre las cuales se encuentran: fibras animales, vegetales o sintéticas y productos similares (tales como lana, seda, algodón, lino, papel, cuero o pieles) u otros materiales (como aceites, ceras caucho o plásticos). En estos casos el colorante puede formar una combinación química con la sustancia que se tiñe o bien unirse físicamente.

Los colorantes que son más o menos solubles en agua, o que se pueden volver solubles por medio de alguna simple reacción química (como la reducción) se usan generalmente para teñir o estampar fibras y materiales similares. Los materiales colorantes insolubles se conocen con el nombre de pigmentos. Algunos colorantes solubles son convertidos en pigmentos orgánicos para ser usados en barnices y pinturas.

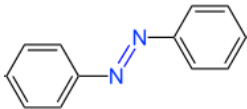
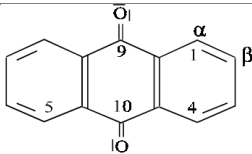
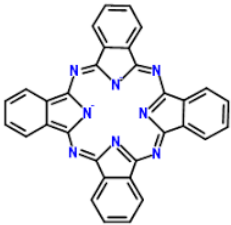
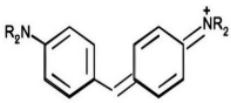
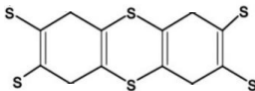
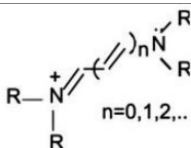
2.4.2 Clasificación de los Colorantes.

Los colorantes se pueden clasificar por su estructura química, por el método de aplicación o por su utilización.

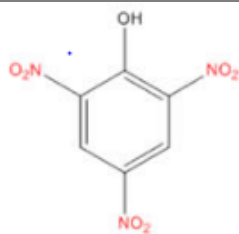
2.4.2.1 Colorantes según su estructura Química.

La clasificación por su estructura química se fundamenta en las teorías clásicas del color y en el concepto de grupos cromóforos, modificados en algunos casos por el tipo de sistemas de anillos orgánicos en la molécula.

Tabla 2: Clasificación de los colorantes en base a su familia y grupos cromóforos

Familia	Grupo Cromóforo	Descripción
Azoicos		Este grupo de colorantes es el más importante para la industria textil, ya que se encuentra presente en el 70% de los colorantes orgánicos.
Antraquinonas		Son quinonas tricíclicas derivadas del antraceno que a menudo contienen uno o más grupos hidroxilos.
Ftalocianina		Estos colorantes se encuentran formados por cuatro grupos isoindol, unidos por cuatro átomos de nitrógeno, dando lugar a un anillo de 16 átomos.
Ion Arilcarbonio		Su estructura química se conforma por un átomo de carbono unido a dos anillos aromáticos.
Sulfuro		Este es un grupo de colorantes insolubles en agua, pero que se pueden solubilizar por reducción, proporciona una gama de colores pálidos.
Polimetino		Este grupo genera tintes neutros catiónicos y aniónicos. En los extremos de su cadena poseen un grupo donador y sustractor de densidad electrónica.

Nitro



Este grupo se caracteriza por que su adsorción se encuentra muy cerca del campo visible por combinación de grupos auxocromos débiles, proporcionándonos tonalidades amarillentas.

Fuente: (Zaruma et al., 2018)

Los colorantes principalmente son usados en la industria textil son aquellos de las familias azo o colorantes azoicos, estos se caracterizan por poseer un doble enlace de moléculas de nitrógeno. Estos compuestos y al igual que los colorantes de origen sintético pueden ser cancerígenos y mutagénicos.

2.4.2.2 Clasificación por su método de aplicación.

Existen diferentes tipos de fibras dentro de la industria textil (lana, algodón, nylon, poliéster, etc.) en donde cada uno de ellos posee diferentes métodos de teñido, esto debido a la capacidad y grado de fijación de los colorantes en cada uno de ellos. Para ello en la siguiente tabla a continuación se muestran el método de aplicación de los principales tipos de colorantes. (Zaruma et al., 2018)

Tabla 3: Clasificación de los colorantes por su método de aplicación

TIPO	FIBRAS	METODO DE APLICACION	GRUPOS CROMOFOROS
Ácidos	Nylon, lana, seda, papel, tintas y piel	Normalmente se utiliza para baños con tintes neutros y ácidos	Azo, antraquinona, nitroso, trifenilmetano
Básicos	Papel, poliacrilonitrilos, nylon, poliéster y seda	Se utiliza para baños de tintura básicos	Azo, trimetil metano, antraquinona
Directos	Algodón, piel y nylon	Se utiliza en inmersión con la fibra a través de un baño electrolítico	Azo



Dispersos	Poliéster, poliamida, acetato, acrílico y plásticos	Estos se aplican en forma de presión coloidal, mediante altas temperaturas y altas presiones	Antraquinona, azo y nitro
Mordaz	Lana, piel y algodón	Estos se aplican en conjunto de sales de cromo	Antraquinona y azo
Reactivos	Algodón, lana, seda y nylon	Los grupos reactivos del colorante reaccionan con los grupos funcionales de la fibra	Antraquinona y azo
Al Azufre	Algodón		Estructuras indeterminadas
A la tina	Algodón y lana	Se utiliza a través de una reducción con hidrosulfito de sodio	Antraquinona e Índigos

Fuente: (Zaruma et al., 2018)

2.5 Aguas residuales.

2.5.1 Concepto.

Se conoce como aguas residuales a aquellas aguas provenientes de diferentes efluentes de descargas ya sean industriales, comerciales, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo otros usos que hayan sufrido una degradación de su calidad inicial.

El tratamiento de aguas residuales provenientes de procesos industriales, conlleva un elevado grado de complejidad debido a la elevada concentración de compuestos tanto orgánicos e inorgánicos, para lo cual es necesario realizar procesos más complejos para su correcto tratamiento, ya que los tratamientos convencionales presentan un bajo porcentaje de efectividad, es por ello que en la actualidad las autoridades sanitarias de cada país llevan un estricto control de estos efluentes, debido a la toxicidad y efectos biológicos a largo plazo en este tipo de efluentes. (Vilaseca, 2015)

2.5.2 Aguas residuales de la industria textil .



Las aguas residuales de las industrias textiles se pueden clasificar en base a los procesos de elaboración de los procesos textiles, se pueden clasificar en:

Procesos de fabricación en seco: este tipo de procesos textiles no producen efluentes que se puedan considerar como significativos.

Proceso de fabricación vía húmeda: Este tipo de proceso es el más común dentro de las industrias textiles, ya que es en estos procesos donde se realizan actividades tales como: encolado, lavado de lana y acabados textiles. Estos procesos requieren grandes cantidades de agua. Los efluentes resultantes de estas actividades contienen altas concentraciones de color, por lo que la eliminación de los colorantes es una de las principales prioridades en el tratamiento de estos efluentes. Existen varios métodos para la eliminación de colorantes, uno de los más empleados y el que mejores resultados proporciona es el método de adsorción por medio de carbón activado. (Vilaseca, 2015)

2.5.3 El color en las aguas residuales.

Hoy en día en las industrias textiles, la mayoría de colorantes poseen una elevada resistencia a la degradación química o fotoquímica, es por ello que los principales fabricantes de este tipo de compuestos realizan constantes investigación para obtener tonalidades mucho más brillantes y que a la vez posean una alta resistencia a los agentes degradantes que se utilizan para la limpieza como lo son, el agua, jabón, detergente y la luz.

El esfuerzo de muchas de estas compañías es mejorar la solubilidad de estos colorantes en agua, para de esta manera mejorar la adherencia del color en las diferentes prendas, lo que también conlleva a un problema mayor, el cual es la eliminación de estos colorantes de las aguas residuales generadas por estos procesos.

En Ecuador se ha visto un aumento de casi el 60% de industrias dedicadas al ámbito textil, en donde se generan principalmente productos a base de fibras de seda, nylon, poliéster, algodón, generando de esta manera aproximadamente 46.240 nuevas plazas de trabajo. (Nidia, 2018)



3 Materiales y Métodos.

3.1 Materiales y Equipos.

Para la determinación de la humedad y cenizas tanto de la materia prima como del carbón activado obtenido se utilizaron: dos crisoles, una pinza metálica y un desecador. En el proceso de análisis granulométrico de la materia prima se utilizaron: un vaso de precipitación de 500 ml y un juego de tamices Tyler de número 20, 16, 12, 8, 6, 4. En los procesos de activación química se utilizaron los siguientes materiales: cápsulas de porcelana, una pipeta volumétrica de 20 ml, una espátula y 2 metros de papel aluminio. Durante el proceso de lavado del carbón activado obtenido se utilizaron los siguientes materiales: una espátula, piceta y varilla de vidrio, dos vasos de precipitación de 500 ml y dos embudos, también se utilizó 1 metro de papel filtro Whatman.

Para la determinación de la densidad aparente se utilizaron los siguientes materiales: un embudo, una espátula y una probeta de 100 ml. Durante la determinación del índice de yodo se utilizaron los siguientes materiales: vasos de precipitación de 250 ml y 500 ml, pipetas volumétricas de 20 ml, 10 ml, 1 ml, papel filtro Whatman en cuadro de 15x15, una bureta con su respectivo soporte y pinza, cuatro embudos, 2 cápsulas de porcelana y una cocineta. Para la elaboración de las isothermas de adsorción se utilizaron los siguientes materiales: diez vasos de precipitación, dos balones de aforo, una bureta con su respectiva pinza y soporte, una plancha de calentamiento, dos varillas de vidrio y papel filtro Whatman en cuadro de 15x15.

El proceso de pesaje de la materia prima o el carbón activado obtenido se los realizó en una balanza analítica Sartorius CP224S. Para la determinación de cenizas o humedad el proceso de pesaje se lo realizó una balanza de precisión electrónica Mettler Toledo MS 1602 con precisión de 0.01g. Los procesos de secado de materia prima, reactivos o carbón activado obtenido se los realizó en una estufa Memmert SN75. El pH fue medido en un pH metro Hanna Edge HI 2020. La medición de los sólidos disueltos se lo realizó en un Conductímetro Greisinger GMH 3431.

3.2 Reactivos

- Ácido Fosfórico al 85%



- Ácido fosfórico al 40%
- Hidróxido de Sodio 1N grado reactivo
- Ácido Clorhídrico Concentrado grado reactivo
- Solución de Tío Sulfato de Sodio 0.1N
- Solución Estándar de Yodo
- Solución de Almidón
- Ácido Oxálico
- Ácido Sulfúrico 2N
- Permanganato de Potasio 0.1N

Preparación de la disolución del Ácido Fosfórico al 40%

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$$85\% \times V_1 = 40\% \times 1000 \text{ ml}$$

$$V_1 = \frac{(40\% \times 1000 \text{ ml})}{85\%} = 470.58 \text{ ml}$$

Es necesario disolver 470.58 ml de ácido fosfórico en 529.4117 ml de agua destilada para así obtener 1000 ml de una disolución de ácido fosfórico con una concentración del 40%

La preparación de las soluciones de Tiosulfato de Sodio y la solución estándar de yodo se siguió el procedimiento establecido por la norma NTE INEN 1988:2013

Para preparar la solución de ácido oxálico 0.1N, se pesó 6.302g en una balanza analítica y se disolvió en un 1 L de agua destilada, para preparar la solución de hidróxido de sodio 1N se pesó 40g de NaOH y se aforo a 1 L. Para preparar la solución de ácido sulfúrico 2N, se agrega 2.6 ml de H₂SO₄ d=1.84 y disolvemos 47.4 de agua destilada. La preparación de la solución de Permanganato de Potasio se lo realizó pesando 3.25g de KMnO₄ en una balanza analítica y disolviéndolos en un litro de agua destilada, se calentó la solución a ebullición por un tiempo de 10 minutos y luego se procedió a filtrarlo y almacenarlo en un frasco ámbar.

3.2 Adquisición de los cuescos de nogal.

Para la obtención del cuesco de nogal, se adquirió dos saquillos a un comerciante del mercado “El Arenal” de la ciudad de Cuenca, en donde cada uno de los saquillos contenía aproximadamente 30 kg de nogal.



Ilustración 10: Nogales adquiridos en el mercado "El Arenal"

Fuente: Autor

3.3 Obtención y Selección de la Materia prima.

Dado que el tocte es considerado una nuez, es decir tiene una corteza (cuesco) o endocarpio que es la materia prima de la cual se obtendrá el carbón activado, pero también posee un cotiledón que es la parte comestible de la nuez, fue necesario realizar la separación de estas dos partes de la nuez. Para lo cual y tratando de generar la menor cantidad de desperdicios se procedió a romper la nuez con un martillo para separar cada una de las partes y de esta manera obtener la materia prima necesaria para la elaboración del carbón. Este proceso tomó un periodo de tiempo de dos semanas obteniendo así 50 kg de materia prima, en donde los otros 10 kg corresponden a lo obtenido entre el fruto seco y otros desperdicios generados.



Ilustración 11: Extracción del fruto de la nuez de nogal

Fuente: Autor

3.4 Pretratamiento (Secado y Molienda).

Secado

Obtenidos los 50 kg de materia prima, se realizó un secado al sol y al aire libre, para lo cual se colocó la materia prima en fundas plásticas y se las dejó reposar bajo el sol durante 48 horas, esto con el objetivo de minimizar la humedad de la materia prima y facilitar el proceso de molienda. (Carrasco & Londa, 2018)



Ilustración 12. Secado de la cascara del cuesco de nogal

Fuente: Autor

Molienda

El proceso de molienda se realizó en dos etapas: Una molienda gruesa y una molienda fina.

Los molinos de mandíbulas y martillos que se utilizaron para la molienda de la materia prima se encuentran ubicados en el laboratorio de arquitectura en el campus Central y en el laboratorio de cerámicas del campus Balzay respectivamente de la Universidad de Cuenca.

El proceso de molienda gruesa, se realizó en un molino de mandíbulas en el laboratorio de arquitectura de la Universidad de Cuenca ubicado en el campus Central. El proceso se realizó colocando 800 g de materia prima en el molino, con un tiempo de espera de 1 minutos entre cada carga, la materia prima molida se recogió en saquillos en la parte inferior del molino.

El proceso de molienda fina se lo realizó en un molino de martillos que se encuentra ubicado en el Laboratorio de Cerámicas de la Universidad de Cuenca, este proceso se lo realizó con una criba de 3/8, en donde se colocó la muestra en pequeñas cantidades de 500 g en lapsos de 20 minutos esto con el fin de que el molino no se sobre cargue, debido a su capacidad y a la dureza que presenta el cuesco de nogal. La materia prima obtenida de este proceso de molienda se almaceno en saquillos.



Ilustración 13: Proceso de molienda del cuesco de nogal

Fuente: Autor

3.5 Caracterización del cuesco de Nogal.

3.5.1 Determinación de Humedad.

Para determinar la humedad de la materia prima, se utilizó el método de pérdida de peso que establece la norma, para ello se procedió a lavar el crisol y colocarlo en la estufa a $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ por un periodo de 2 horas. Una vez seco, se pesó el crisol vacío (P) y se colocó 3g de cuesco de nogal en el crisol (P1), se introdujo nuevamente el crisol en la estufa precalentada a $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante un periodo de 2 horas. Pasado este periodo se sacó el crisol y se lo colocó en un desecador por 10 minutos y se procedió a realizar nuevamente el pesaje del crisol (P2) este proceso se realiza hasta obtener un peso constante. Este proceso se realizó por duplicado. (NTE INEN 1985,2013)

Para el cálculo de la humedad se aplicó la siguiente ecuación:

$$\%H = \frac{P1 - P2}{P1 - P} * 100 \quad (5)$$

En donde:

P: Se refiere al peso del crisol vacío

P1: Se refiere al peso del crisol + muestra de nogal húmeda

P2: Se refiere al peso del crisol + muestra de nogal seca



Ilustración 14: Proceso de determinación de humedad del cuesco de nogal

Fuente: Autor

3.5.2 Determinación de Cenizas.

Para la determinación de cenizas se utilizó el método pérdida de peso, para ello se procedió a lavar el crisol y colocarlo en la mufla a 500 °C durante un período de 2 horas. Se pesó 0.1 g de la muestra en el crisol previamente seco y se colocó en una plancha de calentamiento para calcinar la muestra, este proceso se realizó hasta que la muestra deje de desprender humo. Una vez finalizado el proceso anterior se colocó el crisol en la mufla a una temperatura de 500 °C por un tiempo de 4 horas, pasado este período se saca el crisol de la mufla y se lo coloca en el desecador durante 10 minutos y se pesa nuevamente el crisol. (INEN 1987,2013)

Para el cálculo de las cenizas se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% \text{Cenizas Totales} = \frac{P2 - P0}{P1 - P0} * 100 \quad (6)$$

Donde:

P0= Se refiere al peso del crisol sin muestra

P1= Se refiere al peso del crisol + muestra de nogal

P2: Se refiere peso del crisol + cenizas de nogal



Ilustración 15: Determinación de Cenizas del Cuesco de Nogal

Fuente: Autor

3.5.3 Determinación Granulométrica de la materia prima.

Con el objetivo de obtener un carbón activado que sea semejante en tamaño a un carbón activado comercial de la empresa Erafi cuyo tamaño varia de 0.60-10 milímetros, previo al proceso de activación fue necesario realizar un proceso de análisis granulométrico de la materia prima obtenida en el proceso de molienda y de un carbón activado comercial.

Se realizó un muestreo por cuarteo de 1 kg de materia prima obtenida en el proceso de molienda y se tomó una muestra representativa de 200 g, se pesó cada uno de los tamices vacíos, se colocó 200 g de la muestra representativa en la parte superior de los tamices, estos deben estar colocados en orden ascendente en relación al número que posee cada uno; se coloca los tamices con su respectiva tapa en el agitador durante un periodo de 10 minutos, se pesan nuevamente los tamices, por diferencia de peso se obtiene el porcentaje retenido en cada uno de los tamices, este proceso se repite nuevamente para el carbón activado comercial.

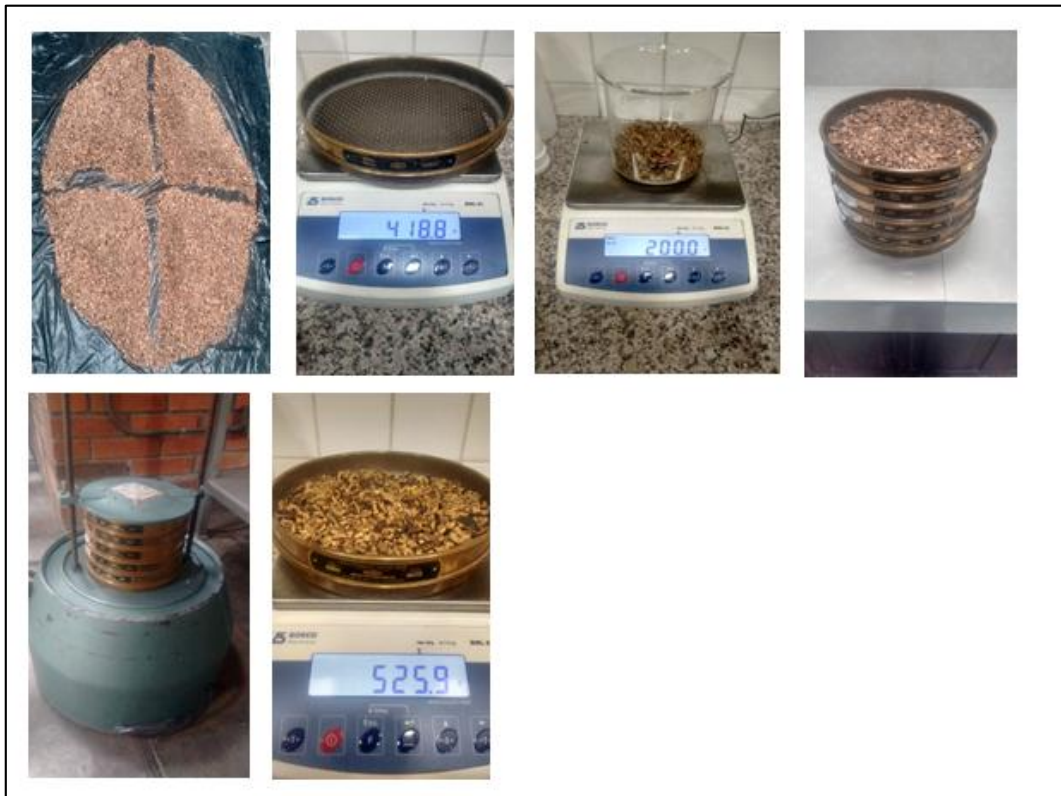


Ilustración 16: Análisis Granulométrico de la materia prima obtenida del cuesco de Nogal

Fuente: Autor

3.6 Activación Química.

Para el proceso de activación química se siguió el método empleado por (Carrasco & Londa, 2018) y se lo realizó en el Laboratorio de Energía e Ingeniería de la reacción de la Universidad de Cuenca utilizando H_3PO_4 , en dos concentraciones diferentes, al 85 % y al 40 %, manteniendo constante la temperatura de 300 °C.

Para el proceso de activación se colocó 375 g de la muestra de materia prima en cápsulas de porcelana, se agregó a las cápsulas H_3PO_4 con una concentración correspondiente al 85% en una relación 1:1 P/V. Se cubren las cápsulas con papel aluminio dejando unos orificios en la parte superior para que escapen los vapores que se acumulan del ácido y se deja en reposo durante 24 horas, una vez pasado este periodo se coloca las cápsulas en la mufla a una temperatura de 300 °C \pm 5 °C durante 3 horas. Se retiran las muestras de la mufla y se deja enfriar a temperatura ambiente. Este proceso se repite nuevamente para la activación con H_3PO_4 al 40%.



Ilustración 17: Proceso de Activación del Carbón Activado con H_3PO_4 al 85%

Fuente: Autor

3.7 Lavado.

Para realizar el proceso de lavado se colocó el carbón activado obtenido en un vaso de precipitación de 500 ml hasta ocupar $\frac{3}{4}$ partes, se adicionó 200 ml de solución de NaOH 1N y se agitó con una varilla de vidrio. Se deja reposar la muestra durante 5 minutos y se procede a filtrarla con el fin de separar el hidróxido de la muestra, el proceso anterior se repite nuevamente utilizando agua destilada para eliminar los restos de hidróxido. Una vez terminado el proceso de lavado se procede a medir el pH en un pH-metro, este valor deberá ser cercano a la neutralidad ($\text{pH} = 7$), caso contrario se deberá repetir nuevamente el proceso anterior. (Proceso diseñado por el autor)



Ilustración 18: Lavado y neutralización del Carbón Activado obtenido

Fuente: Autor

3.8 Secado.

Para realizar el proceso de secado se colocó 375 g de la muestra de carbón activado lavado en cápsulas de porcelana, en la estufa a una temperatura de a 105 °C durante un tiempo de 48 horas, pasado este periodo se deja enfriar las muestras a temperatura ambiente y se las coloca en fundas herméticas ziploc debidamente etiquetadas.

3.9 Determinación del rendimiento obtenido del Carbón Activado.

La determinación del rendimiento permite determinar el porcentaje de carbón activado obtenido a partir de cantidad de materia prima utilizada, para el cálculo de este valor se utiliza la siguiente ecuación:



$$\%Rendimiento = \frac{Rendimiento\ real}{Rendimiento\ Teórico} * 100 \quad (7)$$

3.10 Caracterización del carbón activado obtenido.

3.10.1 Determinación de la humedad

La determinación de la humedad del carbón activado se realizó mediante el método de pérdida de peso, para ello se procedió a lavar el crisol y colocarlo en la estufa a $105\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ por un periodo de 4 horas. Una vez seco, se pesó el crisol vacío (P) y se colocó 1 g de carbón activado en el crisol (P1), se introdujo nuevamente el crisol en la estufa a $105\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ durante un periodo de 2 horas. Pasado este periodo se sacó el crisol y se lo colocó en un desecador por 15 minutos y se procedió a realizar nuevamente el pesaje del crisol (P2) este proceso se realiza hasta obtener un peso constante. Este proceso se realizó por duplicado. (INEN 1985,2013)

Para el cálculo de la humedad se utilizó la siguiente ecuación:

$$\%H = \frac{P1 - P2}{P1 - P} * 100 \quad (5)$$

En donde:

P: Se refiere a la masa del crisol sin muestra

P1: Se refiere a la masa del crisol + muestra de carbón húmeda

P2: Se refiere a la masa del crisol + muestra de carbón seca

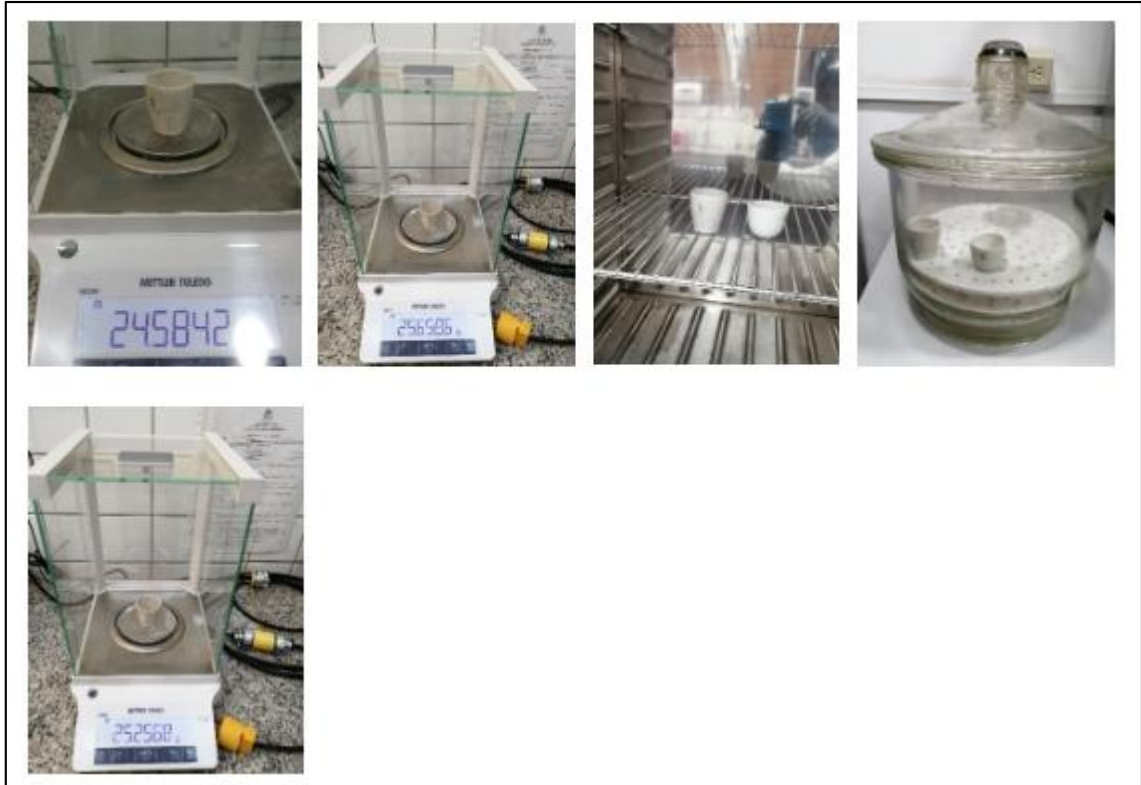


Ilustración 19: Determinación de Cenizas

Fuente: Autor

3.10.2 Determinación de Cenizas.

Para la determinación del porcentaje de cenizas, se pesó en una cápsula 10g de muestra, se colocó en la estufa a una temperatura de 150°C por un tiempo de 3 horas. Una vez terminado este periodo se deja enfriar la muestra en el desecador; se procedió a pesar el crisol vacío (m_c) el cual debe estar previamente calcinado en la mufla a 600°C durante 1 hora y enfriado en el desecador. De la muestra seca se pesó 1g de carbón seco (m) en el crisol, se colocó el crisol con la muestra en la mufla a una temperatura de 650°C durante un periodo de 3 horas, una vez terminado este periodo se saca y coloca el crisol en el desecador durante 20 minutos y se pesa nuevamente el crisol (m_1). (INEN 1987,2013)

Para el cálculo de las cenizas totales se utiliza la siguiente ecuación.

$$\%C = \frac{(m_1 - m_c) * 100}{m} \quad (8)$$

Donde:

m_1 = masa del crisol con cenizas, en g

m_c = masa del crisol vacío

m = masa de la muestra



Ilustración 20: Determinación de Cenizas

Fuente: Autor

3.10.3 Determinación de la Densidad Aparente.

Para la determinación de la densidad aparente, se secó previamente la muestra de carbón activado en una estufa a 150°C, se pesó la probeta vacía, cuidadosamente y con ayuda de un embudo se colocó la muestra de carbón activado en la probeta hasta completar el aforo y se procedió a pesar nuevamente la probeta. (INEN 1986,2013)

Para el cálculo de la densidad aparente se utilizó la siguiente ecuación:

$$d_{ap} = \frac{m_1 \times (100 - \%H)}{10000} \quad (9)$$

Donde:

d_{ap} : densidad aparente en $\frac{g}{cm^3}$

m_1 : masa del carbón en gramos

$\%H$: porcentaje de humedad



Ilustración 21: Densidad Aparente

Fuente: Autor

3.10.4 Determinación del Índice de Yodo.

Para este proceso, se secó previamente una muestra de carbón activado en la estufa a una temperatura de 110 °C durante un periodo de 3 h. Se pesó 1.5 g de la muestra seca en un vaso de 250 ml, se añadió 10 ml de HCl al 5 % y se agitó hasta que todo el carbón se haya humedecido, se colocó el vaso en una plancha de calentamiento y se llevó a ebullición durante 30 segundos exactamente y se dejó enfriar hasta la temperatura ambiente. Se añadió mediante pipeta volumétrica 100 ml de solución estándar de yodo, se tapó y agitó vigorosamente, se filtró la muestra utilizando un embudo con papel filtro Whatman descartando los primeros 20 ml o 30 ml del filtrado, el filtrado se recoge en un vaso de precipitación. Se pipeteo 50 ml del filtrado y se lo colocó en un Erlenmeyer.

Se cargó la bureta con solución estándar de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0.1 N y se tituló la muestra hasta que el color amarillo desaparezca, una vez que la muestra se tornara incolora se añadió 1 ml de solución de almidón, se continúa con el proceso de titulación hasta que la muestra se torne incolora. Se debe anotar el volumen de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. (INEN 1988, 2013)

Para el cálculo del índice de yodo se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$\text{Número de Yodo} = \frac{V}{m} * f \quad (10)$$

En donde:

$$\frac{V}{m} = \frac{A - (2.2xBxV_t)}{m_0} \quad (8)$$

$$C = \frac{N_2 \times V_t}{50} \quad (9)$$

$$A = N_1 \times 12693 \quad (13)$$

$$B = N_2 \times 126,93 \quad (10)$$

V/m: Se refiere a los miligramos de yodo absorbidos por cada gramo de carbón activado

f: Factor de corrección

C: Se refiere normalidad que posee el filtrado

V_t : Se refiere al volumen de tiosulfato de sodio 0.1N utilizado expresado en cm^3

N_1 : Se refiere a la normalidad del estándar de yodo 0.1N

N_2 : Se refiere a la normalidad del estándar de tiosulfato de sodio 0.1N

A y B: Son constantes que se obtienen a partir de la normalidad de la solución estándar de yodo y tiosulfato de sodio respectivamente

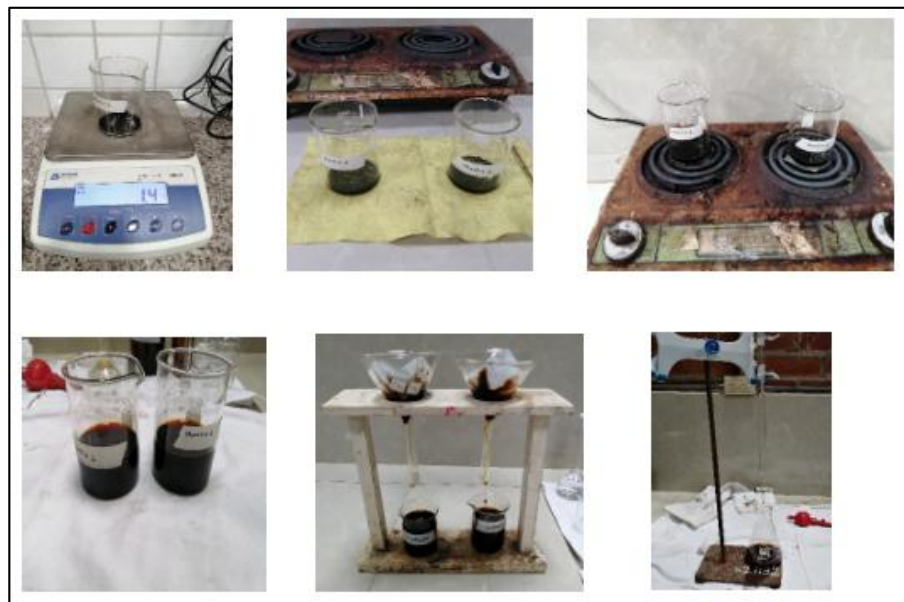


Ilustración 22: Índice de Yodo

Fuente: Autor



3.10.5 Área Superficial.

El análisis de la determinación del área superficial se lo realizó únicamente a la muestra de carbón activado al 85%, ya que este presentó mejores resultados en la determinación del índice de yodo. Este análisis se realizó mediante el análisis BET en el equipo de fisisorción “NOVA quantachrome2200 Surface Área and Pore Size Analyzer” del departamento de Metalurgia Extractiva de la Escuela Politécnica Nacional, el reporte de los resultados de este análisis se encuentra en el anexo 4.

3.10.6 Construcción de las Isotermas de Adsorción.

Para la elaboración de las isotermas de adsorción se preparó previamente una disolución 0.1N de $H_2C_2O_4$ en relaciones: 10/40; 20/30; 30/20; 40/ 10 y 50/0 en relación ácido-agua respectivamente.

Se pesó dos gramos de carbón activado en 5 vasos de precipitación, se agregó las mezclas de $H_2C_2O_4$ en relaciones: 10/40; 20/30; 30/20; 40/ 10 y 50/0 en cada uno de los vasos debidamente etiquetados y se procedió a agitarlos durante 30 minutos con ayuda de una varilla de vidrio. Se dejó reposar la mezcla durante 1 hora y se procedió a filtrar cada una de las mezclas con ayuda de un embudo y papel filtro, se añadió 2 ml de ácido sulfúrico 2N en cada uno de los vasos y se calentó las muestras en una plancha de calentamiento durante un periodo de 5 minutos sin que estas lleguen a una etapa de ebullición.

Para el proceso de titulación se utilizó una bureta cargada con solución de $KMnO_4$ 0.1N y se titularon las muestras en caliente hasta que se produzca el viraje y la solución pase de ser incolora a tener un tono levemente rosa.

Obtenidos los valores experimentales de los ensayos, se realizaron las gráficas de las curvas de equilibrio, para ello se parte de los cálculos del número de moles iniciales de $H_2C_2O_4$, cálculo de la molaridad y la concentración de $H_2C_2O_4$ en equilibrio para cada una de las muestras; realizados estos procedimientos se calculó el número de moles adsorbidos de $H_2C_2O_4$. Con los valores de la concentración en equilibrio y el número de $H_2C_2O_4$ adsorbidos por cada gramo de carbón activado se realizó la gráfica de la isoterma de Freundlich.

Aplicando la ecuación linealizada de la isoterma de Freundlich:

$$\text{Log}(q_e) = \text{Log}(K_f) + \frac{1}{n}(\text{Log } C_e) \quad (2)$$

Se realizó una nueva gráfica linealizada de la isoterma de Freundlich, lo que permitió obtener los valores de las constantes k & n , y determinar si la isoterma empírica es favorable o no favorable, para cada una de las muestras de carbón activado.

Para determinar el tipo de isoterma utilizaremos el criterio de la gráfica de Giles (Giles et al., 2021)

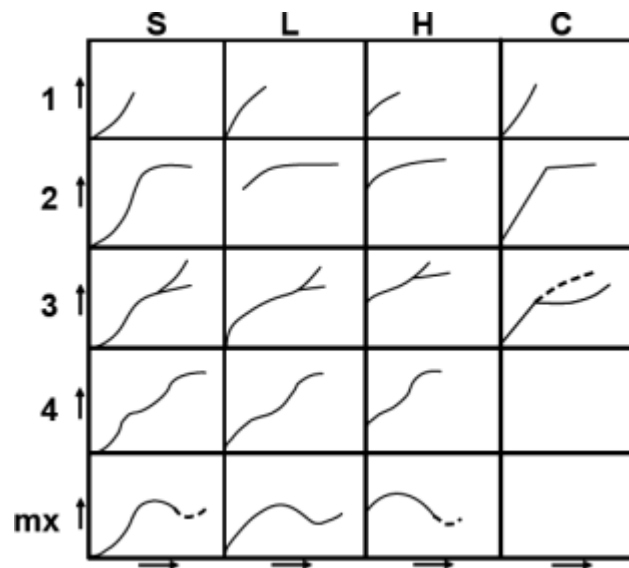


Ilustración 23: Gráfica de Giles para isotermas, Adaptado de Giles, C. H. y col.; 1960hgh



Ilustración 24: Construcción de las Isotermas de Adsorción

Fuente: Autor

3.11 Aplicación.

Los resultados de la caracterización del carbón activado y la elaboración de las isotermas de adsorción, supone que el carbón activado posee las características y propiedades necesarias para implementarlo en un sistema de remoción de colorantes de un efluente contaminado, en este caso de una fábrica de jeans.

Estos procesos de remoción de componentes generalmente son llevados a cabo en columnas de adsorción:

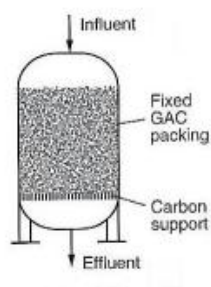


Ilustración 25: Ilustración de una columna de adsorción



Cuyo balance de masa queda expresado de la siguiente forma:

$$\textit{Acumulación} = \textit{Entrada} - \textit{Salida} - \textit{Cantidad Adsorbida} \quad (15)$$

Este trabajo utilizó el carbón activado obtenido experimentalmente y carbón activado comercial con la finalidad de realizar comparaciones entre las propiedades y capacidad de remoción.

3.11.1 Remoción de colorante en columna de carbón activado.

La adsorción de colorante en carbón activado de cuesco de nogal se realizó a través de una columna de lecho fijo con flujo descendente. Previo al proceso y con el fin de acondicionar el carbón activado se realizó un pretamamiento de lavado y secado.

Para el montaje de la columna se utilizó una bureta, la parte superior e inferior de la columna contaban con la suficiente cantidad de grava necesaria para compactar la cama y evitar que el lecho se levante.

Se compactó el carbón activado que se colocó al interior del filtro con el objetivo de evitar canalizaciones y obtener un flujo estable del líquido colorante a través del filtro. La alimentación del filtro se realizó manualmente a través de una piseta, agregando continuamente la solución colorante teniendo la precaución de mantener una altura constante en la parte superior de la columna correspondiente al 50% de la altura del filtro para de esta manera mantener una presión y flujo constante. El filtro se acopló en un soporte de hierro y una pinza para bureta. Las pruebas se realizaron a temperatura ambiente de 20°C.



Ilustración 26: Montaje de la columna de Adsorción

Fuente: Autor

3.11.2 Estudio para la estabilización del flujo del filtro

Usando diferentes cantidades de carbón activado, se realizaron varios experimentos para la determinación de la altura del carbón activado, ya que según los criterios de diseño que plantea Robert Treibal en su libro “Operaciones de transferencia de masa”, la altura que debe tener el lecho puede ser de seis veces o más el diámetro de la columna o una altura que proporcione un flujo volumétrico entre 1.2 y $2.5 \frac{ml}{min}$.

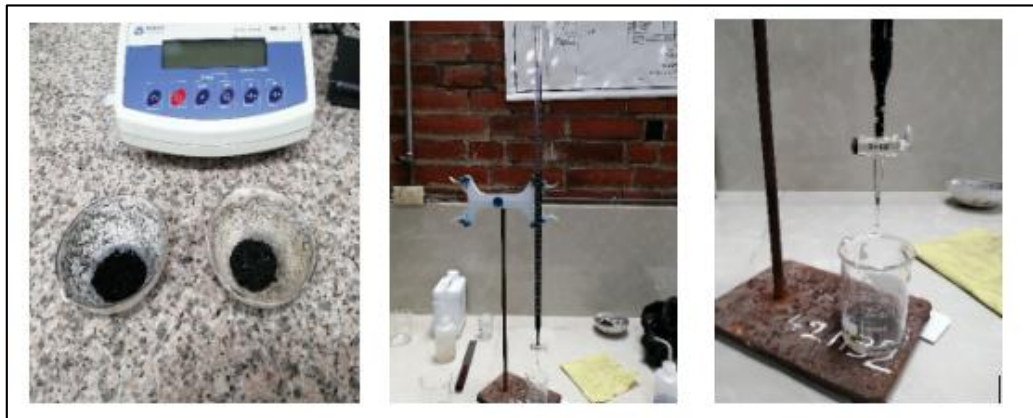


Ilustración 27: Proceso de Estabilización del flujo de la columna

Fuente: Autor

3.11.3 Determinación del porcentaje de remoción de colorante de la muestra de agua de una fábrica de jeans.

Determinado los parámetros de masa, altura del lecho y caudal óptimos para el proceso de estabilización del flujo del filtro, se procedió a realizar el proceso de remoción de colorante. Para ello se hizo circular agua residual procedente de una fábrica de jeans a través del filtro con una piseta manteniendo una altura constante. Se recogieron 50 ml del efluente incoloro a la salida de la columna a diferentes intervalos de tiempo. La muestra filtrada se almacena en un envase plástico debidamente lavado y homogenizado, manteniéndose refrigerado a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ para su posterior análisis.

Los análisis de color y turbiedad se realizaron en el laboratorio de la planta de tratamiento de Tixán, las muestras analizadas corresponden al agua residual de la fábrica de jeans y el agua resultante del proceso de adsorción con carbón activado al 85 % y 40 % (nogal).

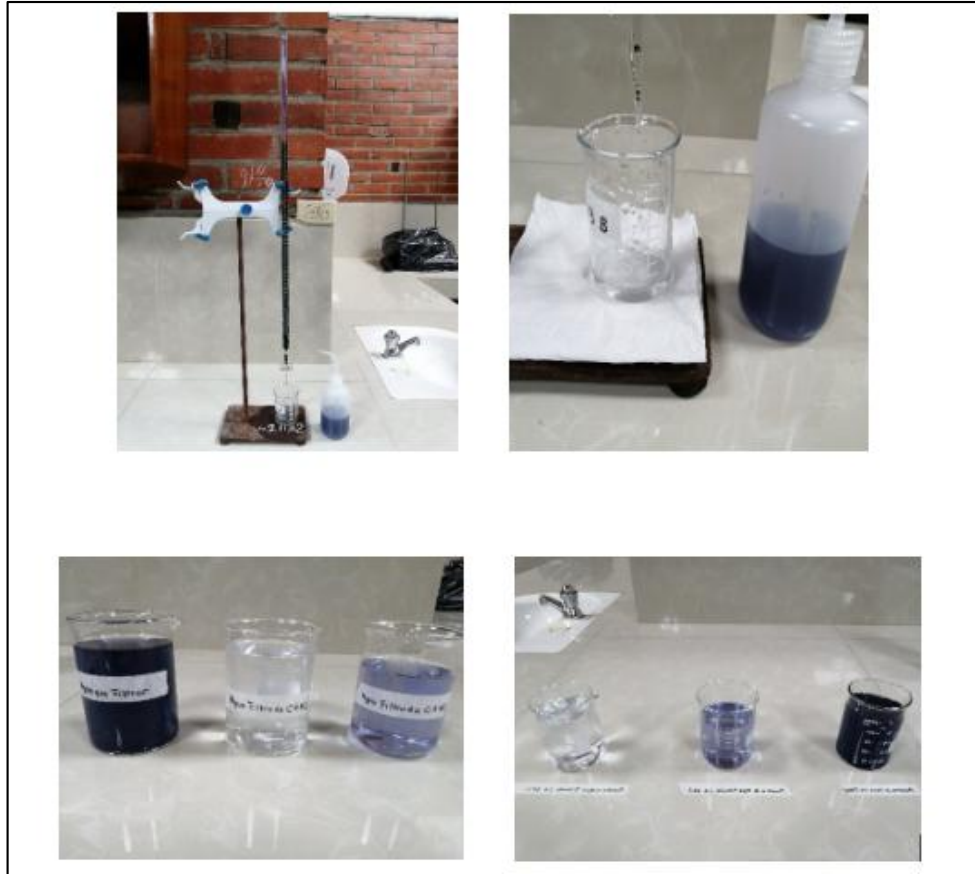


Ilustración 28: Resultados del proceso de adsorción de la muestra de agua de fábrica de Jeans

Fuente: Autor



Ilustración 29: Análisis de Color y Turbiedad en la Planta de Tratamiento de Tixán

Fuente: Autor

3.11.4 Análisis Físicoquímicos.

Complementario a los análisis de color y turbiedad, también se realizaron análisis de pH, sólidos disueltos, DBO5 y DQO, para ver la influencia que tiene el filtro de carbón activado en estos parámetros, los análisis de DBO y DQO se los realizaron en un laboratorio externo (Laboratorios de alimentos MSV).

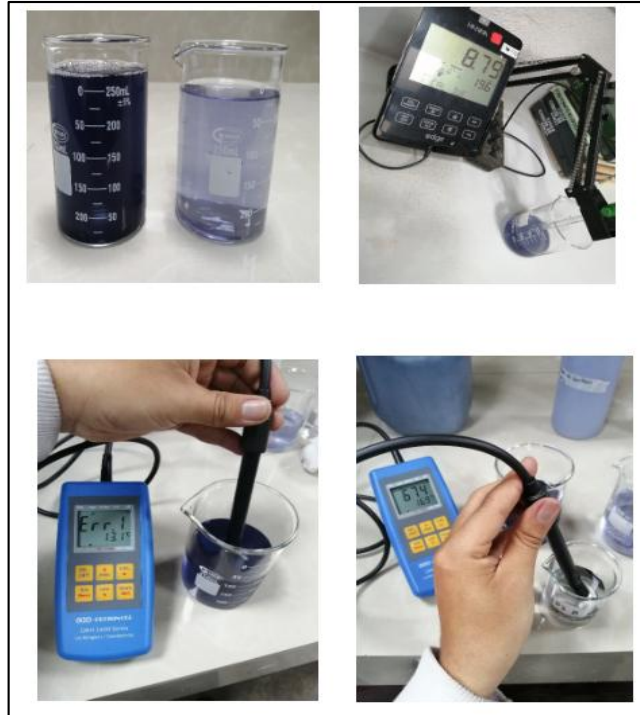


Ilustración 30: Análisis de pH y Sólidos Disueltos a las muestras de aguas filtradas

Fuente: Autor

3.12 Análisis del costo de producción del proceso de elaboración del carbón activado.

Se efectuó un análisis económico del proceso mediante el método de costo de producción con la finalidad de determinar el costo aproximado.

Para el análisis del costo de producción se tomó en cuenta los gastos efectuados en la elaboración del carbón activado, en el método propuesto se consideran 3 factores fundamentales del proceso de producción: Materia Prima, Mano de Obra directa y gasto de producción. (Vinza, 2012)

$$CP = M_p + M_{od} + G_p \quad (16)$$

Donde:

CP= Costo de Producción

M_p= Materia Prima

M_{od}= Mano de Obra directa

G_p= Gasto de producción



4 Resultados y Discusiones.

4.1 Caracterización de la materia prima.

4.1.1 Humedad del cuesco de Nogal.

Determinación de Humedad del Cuesco de Nogal

Ecuación:

$$\%H = \frac{P1 - P2}{P1 - P} * 100 \quad (5)$$

Datos Obtenidos

Tabla 4: Pesos Obtenidos para cálculo de la humedad

N	Peso
1	21.0886
2	20.7384
3	20.7380

$$\%H = \frac{21.0886 - 20.7380}{21.0886 - 18.0285} * 100 = 11.45\%$$

$$\%H = 11.45 \%$$

El análisis de humedad de la cáscara de Nogal, fue realizada luego del proceso de molienda de la materia prima. El porcentaje de humedad obtenido fue de 11.45%, no existe análisis de humedad realizados para este tipo de materia prima, pero según el valor obtenido por (Carrasco Tito & Londa Veletanga, 2018) para la humedad de la cáscara coco siendo esta una de las principales materias primas para la elaboración de carbón activado vegetal es de 11.87%, lo que indica que la materia prima tiene un porcentaje de humedad ideal para la elaboración de carbón activado.



4.1.2 Cenizas del cuesco de Nogal.

Ecuación:

$$\%Cenizas\ Totales = \frac{P2 - P0}{P1 - P0} * 100 \quad (6)$$

Donde:

P0= Se refiere a la masa del crisol vacío

P1= Se refiere a la masa del crisol + muestra de nogal

P2: Se refiere a la masa del crisol + cenizas de nogal

Determinación de las cenizas totales de la muestra de nogal 1

$$\%Cenizas\ Totales\ 1 = \frac{24.5887 - 24.5873}{24.6874 - 24.5873} * 100 = 1.3986$$

$$\%Cenizas\ Totales\ 1 = 1.3986$$

Determinación de cenizas totales de la muestra de nogal 2

$$\%Cenizas\ Totales\ 2 = \frac{18.0291 - 18.0278}{18.1307 - 18.0278} * 100 = 1.2633$$

$$\%Cenizas\ Totales\ 2 = 1.2633$$

Determinación de Cenizas promedio

$$\%Cenizas\ Totales\ Promedio = \frac{Cenizas\ totales\ 1 + Cenizas\ totales\ 2}{2}$$



$$\%Cenizas\ Totales\ Promedio = \frac{1.3986 + 1.2633}{2} = 1.3309$$

$$\%Cenizas\ Totales\ Promedio = 1.3309$$

El porcentaje de cenizas totales del cuesco de nogal fue de 1.3309%, este valor se comparó con los resultados obtenidos para el carbón activado de la cáscara de coco reportado por (Wei, 2008) cuyo valor fue 1.10%.

El porcentaje de cenizas es uno de los parámetros más importantes a la hora de analizar una materia prima para la elaboración de carbón activado, ya que este parámetro afecta directamente futuras propiedades del carbón activado como lo son área superficial, índice de yodo y capacidad de adsorción. El porcentaje de cenizas en una materia prima debe encontrarse en un valor inferior al 12%, valores superiores puede afectar directamente en la adsorción de moléculas orgánicas. (Filippín et al., 2017)

4.1.3 Determinación granulométrica de la materia prima.

Cálculo del Porcentaje de Retención del carbón activado comercial

Fórmula para el cálculo del porcentaje de retención

$$\% \textit{Retención} = \frac{(\textit{Peso del Tamiz} + \textit{Muestra}) - (\textit{Peso del Tamiz Vacío}) * 100}{\textit{Peso de la muestra}} \quad (17)$$

Cálculo del porcentaje de retención del carbón activado comercial

$$\% \textit{Porcentaje de Retención tamiz 16} = \frac{(450.8\text{ g}) - (352.0\text{ g}) * 100}{200\text{ g}} = 49.4\%$$



Tabla 5: Resultados del porcentaje de retención del Carbón Activado Comercial.

Tamiz	Peso Tamices Vacíos (g)	Peso Tamiz + Muestra	% Retenido
Fondo	375,2	377,4	1,1
20	325,2	355,8	15,3
16	352,0	450,8	49,4
12	351,0	415,6	32,3
8	382,2	385,6	1,7
6	419,0	419,4	0,2
4	430,2	430,2	0

Cálculo del Porcentaje de Retención de la materia prima

Fórmula para el cálculo del porcentaje de retención

%Porcentaje de Retención

$$= \frac{(\text{Peso del Tamiz} + \text{Muestra}) - (\text{Peso del Tamiz Vacío}) * 100}{\text{Peso de la muestra}}$$

Cálculo del porcentaje de retención de la materia prima

$$\% \text{Porcentaje de Retención tamiz } 16 = \frac{(358.7 \text{ g}) - (352.0 \text{ g}) * 100}{200 \text{ g}} = 3.35 \%$$

Tabla 6: Resultados del porcentaje de retención de la materia prima

Tamiz	Peso Tamices Vacíos (g)	Peso Tamiz + Muestra	% Retenido
Fondo	375,2	384,3	4,55
20	325,2	328,9	1,85
16	352,0	358,7	3,35
12	350,8	361,9	5,55
8	381,9	406,8	12,45
6	418,8	462,6	21,9



4	430,1	531,1	50,5
---	-------	-------	------

En los resultados de los análisis granulométricos del carbón activado comercial, el mayor porcentaje de retención se lo realiza en los tamices número 12 y 16 , mientras que en la materia prima el mayor porcentaje de retención se encuentra en el tamiz número 4, lo que indica que la mayor cantidad de la materia prima tiene un tamaño de partícula muy grande, por lo que será necesario tamizar toda la materia prima con el fin de utilizar solo la materia prima que quede retenida en el tamiz 12 y 16 para así obtener un carbón activado de tamaño semejante al del carbón activado comercial.

4.2 Rendimiento de la obtención de carbón activado.

Carbón Activado al 85%

Datos Obtenidos

Tabla 7: Muestras del cuesco de Nogal para la activación química al 85%

Peso de cuesco de Nogal	376.8 g
Peso del carbón activado obtenido	130.2 g

Cálculo del rendimiento alcanzado para el proceso de activación del carbón activado al 85%

$$\%Rendimiento = \frac{Rendimiento\ real}{Rendimiento\ Teórico} * 100 \quad (11)$$

$$\%R = \frac{130.2\ g}{376.8\ g} * 100 = 34.55\%$$

Carbón Activado al 40%

Datos Obtenidos

Tabla 8: Muestras del cuesco de Nogal para la activación química al 40%

Peso de cuesco de Nogal	376.5 g
Peso del carbón activado obtenido	155.2 g



Cálculo del rendimiento alcanzado para el proceso de activación del carbón activado al 40%

$$\%R = \frac{155.2 \text{ g}}{376.5 \text{ g}} * 100 = 41.22\%$$

En los tratamientos de lavado y secado del carbón activado obtenido se producen diferentes tipos de pérdidas, por lo que es necesario realizar un cálculo del rendimiento del proceso para una futura proyección de la elaboración comercial del producto. Los resultados del rendimiento para cada uno de los carbones activados se muestran a continuación.

Tabla 9: Tabla del rendimiento de los carbones activados elaborados

Muestra de Carbón Activado	Rendimiento
Carbón Activado al 85%	34.55 %
Carbón Activado al 40%	41.22 %

Los carbones activados obtenidos a partir del cuesco de Nogal, presentan un bajo rendimiento en su elaboración en comparación con los valores obtenidos para el rendimiento de cáscara de coco donde estos valores se encuentran en un rango de 50% al 65%. Según (Asimbaya C et al., 2015) el rendimiento de una materia prima para la elaboración de carbón activado está basado en el porcentaje de carbón fijo de la muestra, lo que indica que mientras mayor carbón fijo tenga la muestra mayor será el rendimiento que se obtendrá. Así para otras materias primas como la cáscara de naranja, cascarilla de café o bagazo de caña, se obtuvo rendimientos del 40%, 33% y 35% respectivamente (Alberto et al., 2012), valor semejante al obtenido con carbón activado del cuesco de nogal, lo que indicaría un valor de carbón fijo semejante al de estos materiales.



4.3 Caracterización del Carbón Activado.

4.3.1 Humedad del Carbón Activado.

Ecuación:

$$\%H = \frac{P1 - P2}{P1 - P} * 100 \quad (5)$$

Muestra de carbón activo al 85%

Determinación de la humedad del Carbón Activo al 85%

$$\%H = \frac{25.6586 - 25.5627}{25.6586 - 24.5842} * 100 = 8.9256 \%$$

$$\%H = 8.9256 \%$$

Muestra de carbón activo al 40%

Determinación de la humedad del Carbón Activo al 40%

$$\%H = \frac{19.1285 - 19.0161}{19.1285 - 18.0275} * 100 = 10.2089 \%$$

$$\%H = 10.2089 \%$$

Los porcentajes de humedad para los carbones activados al 85% y 40% fueron de 8.92% y 10.20 % respectivamente, estos valores se encuentran dentro del rango que establece la norma INEN 1991 Requisitos para Carbón Activado de Uso Industrial en donde estipula que el porcentaje de humedad debe ser de máximo el 12%. El porcentaje de humedad obtenido se debe a que el carbón activado absorbe humedad del ambiente, ya que luego del proceso de lavado del carbón activado se procedió a realizar un secado, perdiendo de



esta manera la mayor parte de su humedad, por lo que la humedad obtenida en el análisis es posterior a ese proceso.

Se recomienda que el carbón activado no posea un contenido de humedad superior al 12% debido a que de superar este valor puede perjudicar diferentes procesos y causar un incremento en la turbidez del líquido filtrado. (Caracela, 2017)

4.3.2 Porcentaje de Cenizas.

Ecuación:

Carbón Activado al 85%

$$\%C = \frac{(m_1 - m_c) * 100}{m} \quad (8)$$

Cálculo del contenido de cenizas totales del Carbón Activado al 85%

$$\%C = \frac{(24.7398 - 24.5843) * 100}{1.0006} = 15.5406\%$$

$$\%C = 15.5406\%$$

Carbón Activado al 40%

Cálculo del contenido de cenizas totales del Carbón Activado al 40%

$$\%C = \frac{(18.2102 - 18.0275) * 100}{1.045} = 17.4832\%$$

$$\%C = 17.4832\%$$

Los valores obtenidos para los porcentajes de cenizas de los carbones activado al 85% y 40% fueron de 15.54% y 17.48% respectivamente, el valor de cenizas del carbón activado al 85% se encuentra los rangos establecidos por la norma ASTM D-2866 “Método de prueba estándar para el contenido total de cenizas del carbón activado” que estipula que los valores de cenizas totales deben encontrarse en un rango del 3% al 15% en base seca. Este es un parámetro a tener en consideración, ya que el porcentaje de cenizas totales en



carbón activado que se utiliza para tratamiento de aguas indica de carbón es realmente efectivo para efectuar los procesos de adsorción.

4.3.3 Densidad Aparente.

Ecuación:

$$d_{ap} = \frac{m_1 x (100 - \%H)}{10000} \quad (9)$$

Donde:

d_{ap} : densidad aparente en $\frac{g}{cm^3}$

m_1 : masa del carbón en gramos

$\%H$: porcentaje de humedad

Muestra de carbón activo al 85%

Determinación de la densidad aparente de la muestra activada al 85%

$$d_{ap} = \frac{34.8 x (100 - 8.9259)}{10000} = 0.3169 \frac{g}{cm^3}$$

$$d_{ap} = 0.3169 \frac{g}{cm^3}$$

Muestra de carbón Activo al 40%

Determinación de la densidad aparente de la muestra activada al 40%

$$d_{ap} = \frac{39.7 x (100 - 10.2089)}{10000} = 0.3564 \frac{g}{cm^3}$$

$$d_{ap} = 0.3564 \frac{g}{cm^3}$$



La densidad aparente obtenida para los carbones activados al 85% y 40% fueron de 0.3169 g/cm^3 y 0.3564 g/cm^3 respectivamente, estos valores se encuentran dentro de la normativa INEN 1991 “Requisitos para Carbón Activado uso Industrial” que establece como valor mínimo densidad aparente de 0.20 g/cm^3 , aunque no establece un valor máximo como si lo hace la norma ASTM D-2854 “Método de prueba estándar para determinar la densidad aparente del carbón activado” la cual establece como rango para la densidad aparente de 0.26 g/cm^3 a 0.65 g/cm^3 .

La determinación de este parámetro permite conocer el volumen de cama necesario para albergar una determinada masa de carbón activado granular, así como para establecer el flujo de agua necesario para realizar un buen retrolavado del carbón activado.

4.3.4 Índice de Yodo.

Ecuaciones:

Mediante el cálculo de C se determina la normalidad del filtrado residual

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

Para los cálculos de las constantes A y B es necesario conocer las normalidades tanto de la solución estándar de yodo como de la solución de tiosulfato de sodio respectivamente

$$A = N_1 \times 12693$$

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

Muestra de carbón Activo al 85%

Tabla 10: Datos para el cálculo del índice de yodo

Datos	Cantidad
mc	1.4 g
Vt	11.5 ml
N_1	0.097 N
N_2	0.099 N



Cálculos del Índice de Yodo para el carbón activado al 85%

Cálculo del valor de C

$$C = \frac{0.099 \times 11.5 \text{ ml}}{50} = 0.0227$$

$$C = 0.0227$$

Cálculo de las constantes A y B

$$A = 0.0972N \times 12693 = 1233.7596$$

$$A = 1233.7596$$

$$B = 0.099N \times 126.93 = 12.5660$$

$$B = 12.5660$$

Cálculo de V/m

$$\frac{V}{m} = \frac{1233.7596 - (2.2 \times 12.5660 \times 11.5 \text{ ml})}{1.4 \text{ g}} = 654.1712 \frac{\text{mg}}{\text{g}}$$

$$\frac{V}{m} = 654.1712 \frac{\text{mg}}{\text{g}}$$

Muestra de carbón Activo al 40%

Tabla 11: Datos para el cálculo del índice de yodo

Datos	Cantidad
mc	1.4 g
Vt	15.3 ml
N ₁	0.097 N



N_2

0.099 N

Cálculos del Índice de Yodo para el carbón activado al 40%

Cálculo del valor de C

$$C = \frac{0.099 \times 15.3 \text{ ml}}{50} = 0.030294$$

$$C = 0.030294$$

Cálculo de las constantes A y B

$$A = 0.0972N \times 12693 = 1233.7596$$

$$A = 1233.7596$$

$$B = 0.099N \times 126.93 = 12.5660$$

$$B = 12.5660$$

Cálculo de V/m

$$\frac{V}{m} = \frac{1233.7596 - (2.2 \times 12.5660 \times 15.3 \text{ ml})}{1.4 \text{ g}} = 579.13 \frac{\text{mg}}{\text{g}}$$

$$\frac{V}{m} = 579.3 \frac{\text{mg}}{\text{g}}$$

Valores Obtenidos para la constante f

De los valores calculados para los carbones activados al 85% y 40% se obtuvo los valores de C igual 0.02277 y 0.030294 respectivamente, lo cual permite obtener el valor de la constante f de la tabla 12 de la norma NTE INEN 1988:2013 teniendo así 0.9800 y 0.9350 respectivamente.

Tabla 12: Resultados de la constante f

Parámetro	Valor
V/m de la muestra al 85% de H ₃ PO ₄	654.17
V/m de la muestra 40 % de H ₃ PO ₄	579.16
Factor f de la muestra 85% de H ₃ PO ₄	0.9800
Factor f de la muestra 40 % de H ₃ PO ₄	0.9350

Cálculo de los vales de V/m corregidos

Índice de Yodo del Carbón Activado al 85%

$$\text{Índice de Yodo} = 654.1712 \frac{mg}{g} \times 0.9800 = 641.08$$

$$\text{Índice de Yodo} = 641.08 \frac{mg}{g}$$

Índice de Yodo del Carbón Activado al 40%

$$\text{Índice de Yodo} = 579.16 \frac{mg}{g} \times 0.9350 = 541.19$$

$$\text{Índice de Yodo} = 541.19 \frac{mg}{g}$$

Los resultados obtenidos para la determinación del índice de Yodo de los carbones Activados indica que el carbón activado al 85% posee un índice de yodo del 641.08 mg/g y el carbón activado al 40% posee un índice de yodo de 541.17 mg/g, si se toma como referencia la norma INEN 1991 “Requisitos del carbón activado para uso industrial” sólo el carbón activado al 85% cumple con el mínimo requerido por la normativa el cual es de 600 mg/g. Y si se considera la norma ASTM D-4607 “Método de prueba estándar para la determinación del número de yodo de carbón activado” los dos carbones activados cumplen con los requisitos que establece para el número de yodo cuyo valor se encuentra en el rango de los 500 mg/g a 1200 mg/g.

La determinación del índice de yodo es uno de características más importantes a la hora

de determinar la calidad del carbón activado obtenido, esto se debe a que este valor está relacionado directamente con el valor de la área superficial, por lo que se lo puede considerar como un parámetro de control de calidad del carbón activado, además este valor permite establecer la vida útil del carbón activado, ya que cuando el índice de yodo supera el 50% de su valor original es necesario reemplazar el carbón activado.

4.3.5 Área superficial.

Resultados Obtenidos

Tabla 13: Resultados del Área Superficial

Muestra	Cantidad Analizada	Área Superficial
Carbón Activado H_3PO_4 85%	0.1078g	674.004 m ² /g

El resultado del análisis realizado de área superficial fue de un valor de 674.004 m²/g para la muestra de carbón activado con H₃PO₄ al 85%, para la muestra de carbón activo al 40% no se realizó este análisis debido a que los resultados de los análisis del índice de yodo el cual se encuentra directamente relacionado con el área superficial, presentó un valor inferior a la muestra de carbón activado al 85%, esto se pudo corroborar en los análisis posteriores de las muestras de agua residual de la fábrica de jeans.

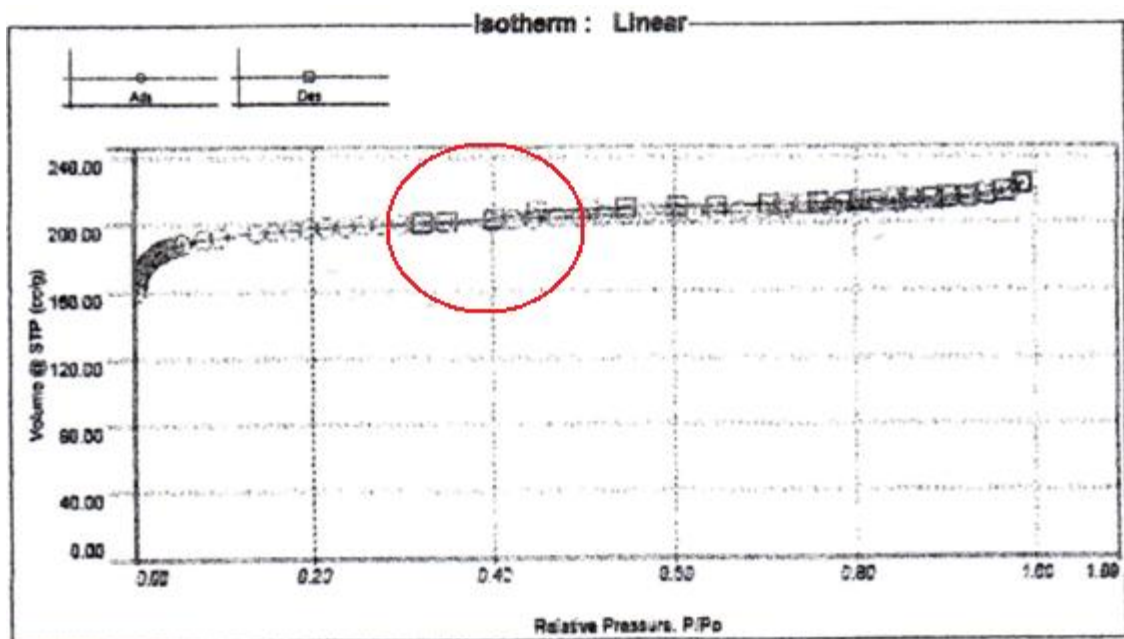


Ilustración 31: Gráfica del análisis de Área Superficial

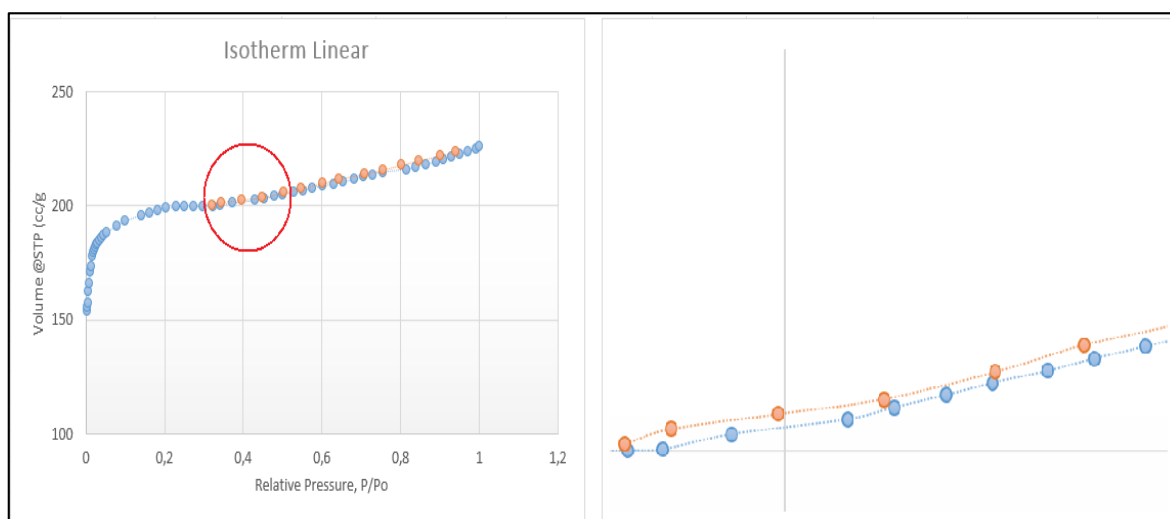


Ilustración 32: Ampliación de la Gráfica de Área Superficial

4.3.6 Isotermas de Adsorción de ácido Oxálico.

Carbón Activado al 85%

Tabla 14: Datos para la construcción de las isotermas de adsorción de la muestra activada al 85% H_3PO_4

Carbón Activado al 85%				
Número de Muestra	Cantidad de $H_2C_2O_4$	Cantidad de Agua destilada	Peso del carbón activado	Volumen de titulación
1	10 ml	40 ml	2.0743 g	3.8 ml
2	20 ml	30 ml	2.1247 g	8 ml
3	30 ml	20 ml	2.0024 g	11.7 ml
4	40 ml	10 ml	2.0438 g	16.8 ml
5	50 ml	0 ml	2.1187 g	20 ml

Con el valor de la normalidad del $H_2C_2O_4$ se obtiene el valor de su molaridad, este cálculo se lo realiza con la siguiente ecuación:

$$M = \frac{N}{\theta eq} \quad (18)$$



Donde:

M: se refiere a la molaridad de la muestra

N: se refiere normalidad de la muestra

θ_{eq} : se refiere al número de equivalentes

Determinación de la Normalidad de partida

Normalidad $H_2C_2O_4$: 0.1N

$$M = \frac{0.1N}{2} = 0.05$$

$$M = 0.05$$

Cálculo del número de moles iniciales de $H_2C_2O_4$ presentes en cada una de las muestras

Fórmula de cálculo de los moles iniciales

$$n(\text{iniciales}) = \frac{M}{1 \text{ litro de solución}} \times l \text{ de } H_2C_2O_4 \text{ en la muestra} \quad (19)$$

Cálculo del número de moles iniciales

Cálculo del número de moles iniciales para la primera disolución

$$n(\text{iniciales}) = \frac{0.05}{1000 \text{ ml}} \times 10 \text{ ml} = 0.0005$$

Cálculo del número de moles iniciales para cada una de las muestras de carbón activado al 85%

Tabla 15: Datos para el cálculo del número de moles iniciales para cada una de las muestras de carbón activado al 85%

Número de Muestra	$H_2C_2O_4$ presente en cada solución (L)	Moles iniciales de $H_2C_2O_4$ (n)
1	0.01	0.0005



2	0.02	0.001
3	0.03	0.002
4	0.04	0.002
5	0.05	0.003

Cálculo de la concentración en equilibrio para cada una de las muestras filtradas

$$C_{e_{Acid}} \times V_{sol} = C_{e_{KMnO_4}} \times V_{KMnO_4}$$

$$C_{e_{Acid}} = \frac{(C_{e_{KMnO_4}} \times V_{KMnO_4})}{V_{sol}} \quad (20)$$

Donde:

$C_{e_{Acid}}$: Se refiere a la concentración del $H_2C_2O_4$ cuando esté se encuentra en equilibrio

V_{sol} : Se refiere al volumen de aforo de las soluciones de $H_2C_2O_4$

$C_{e_{KMnO_4}}$: Se refiere a la concentración del $KMnO_4$

V_{KMnO_4} : Se refiere al volumen de $KMnO_4$ que fue consumido durante el proceso de titulación

Cálculo de la concentración del $H_2C_2O_4$ en equilibrio para la muestra número 1

Donde:

$$C_{e_{KMnO_4}}: 0.1N$$

$$V_{KMnO_4}: 3.8 \text{ ml}$$

$$V_{sol}: 50 \text{ ml}$$

$$C_{e_{Acid}} = \frac{0.1N \times 3.8 \text{ ml}}{50 \text{ ml}} = 0.0076 N$$



Determinación de la concentración del $H_2C_2O_4$ en equilibrio las muestras del carbón activo con H_3PO_4 al 85%

Tabla 16: Datos para la determinación de la concentración del $H_2C_2O_4$ en equilibrio para cada una de las muestras del carbón activado al 85%

# Muestra	V de $KMnO_4$ (ml)	Ce (N)	Ce (M)
1	3.8	0.008	0.004
2	8	0.016	0.008
3	11.7	0.023	0.012
4	16.8	0.034	0.017
5	20	0.04	0.02

Determinación de los moles en equilibrio, que han sido adsorbidos por el $H_2C_2O_4$ en los filtrados y número de moles de ácido/gramo de adsorbente

$$n(equil) = \frac{Ce}{1l \text{ de solución}} \times \text{vol de aforo de } H_2C_2O_4 \quad (19)$$

$$n_{adsorbidos} = n_0 - n_{equ}$$

$$x = \frac{n(\text{moles ads})}{g \text{ de adsorbente}} \quad (21)$$

Determinación del número de moles adsorbidos para las muestras de carbón activo con H_3PO_4 al 85%

Tabla 17: Valores para el cálculo del número de moles

Muestra	n_{equ}	n_{ads}	x (mol $H_2C_2O_4$ adsorbido/ g de adsorbente)
1	0.0002	0.0003	0.0001
2	0.0004	0.0006	0.0003
3	0.0006	0.0009	0.0005



4	0.0008	0.001	0.0006
5	0.001	0.001	0.0007

Gráficas

Tabla 18: Valores para la construcción de la isoterma para la muestra de Carbón Activado con H_3PO_4 al 85%

(M) C_e	(x) Mol $H_2C_2O_4$ g de adsorbente
0.004	0.0001
0.008	0.0003
0.012	0.0005
0.017	0.0006
0.02	0.0007

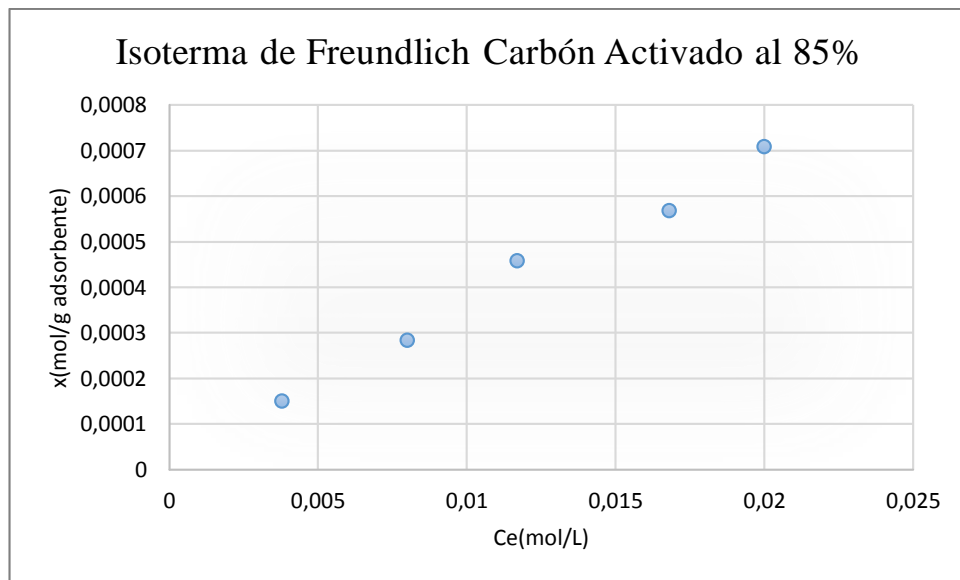


Ilustración 33: Isoterma de Freundlich del Carbón Activado al 85% con $H_2C_2O_4$

Tabla 19: Datos de los valores logarítmicos para la muestra activada al 85%

Log (C_e)	Log (x)
-2.4202	-3.8255
-2.0969	-3.5491
-1.9318	-3.3401
-1.7746	-3.2459
-1.6989	-3.1499

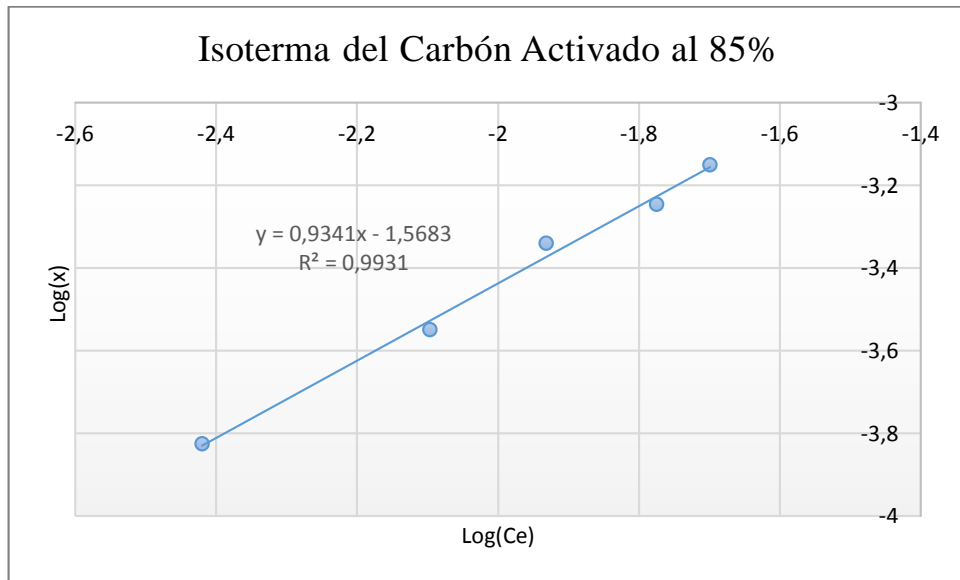


Ilustración 34: Isoterma de adsorción de $H_2C_2O_4$ en el Carbón Activado al 85%

Isoterma Empírica

$$x = kc^{1/n} \quad (22)$$

Donde:

x: Es el número de moles de $H_2C_2O_4$ adsorbido por cada unidad de masa de carbón activado

c: Es la concentración de $H_2C_2O_4$ que se encuentra la disolución en equilibrio

k y n: Son constantes empíricas, las cuales características de las sustancias que intervienen en el proceso de adsorción

Determinación de los constantes k y n

Para determinar los parámetros de las constantes k y n de la isoterma, se usa la siguiente ecuación:



$$\log x = \log k + \frac{1}{n} \log c \quad (23)$$

Donde:

n: la pendiente de la ecuación de la recta obtenida de la gráfica logarítmica

k: la ordenada al origen de la ecuación de la recta obtenida de la gráfica logarítmica

Ecuación de la recta obtenida de la gráfica logarítmica

$$y = 0.9341x - 1.5683$$

Cálculo de la constante k

$$\log \log (k) = -1.5683$$

$$k = 0.027$$

Cálculo de la constante n

$$\frac{1}{n} = 0.9341$$

$$n = 1.0705$$

Isoterma Empírica Carbón Activado al 85%

$$x = 0.027C^{1.07045}$$

Muestra de carbón activado con H₃PO₄ al 40%

Tabla 20: Datos para la construcción de las isotermas de adsorción de la muestra activada al 40% H₃PO₄

Carbón Activado al 40%				
Número de Muestra	Cantidad de H ₂ C ₂ O ₄	Cantidad de Agua destilada	Peso del carbón activado	Volumen de titulación
1	10 ml	40 ml	2.0462 g	5 ml



2	20 ml	30 ml	2.1894 g	9.6 ml
3	30 ml	20 ml	2.0072 g	14.1 ml
4	40 ml	10 ml	2.0354 g	18.6 ml
5	50 ml	0 ml	2.1369 g	22.6 ml

Fórmula para la conversión de Normalidad a Molaridad

$$M = \frac{N}{\theta eq}$$

Cálculo de la Normalidad de partida

Normalidad del $H_2C_2O_4$: 0.1N

$$M = \frac{0.1N}{2} = 0.05$$

$$M = 0.05$$

Cálculo del número de moles iniciales de $H_2C_2O_4$ presentes en cada una de las muestras

Fórmula de cálculo de los moles iniciales

$$n(\text{iniciales}) = \frac{M}{1 \text{ litro de solución}} \times \text{litros de } H_2C_2O_4 \text{ en cada muestra}$$

Cálculo del número de moles iniciales

Cálculo del número de moles iniciales para la primera disolución

$$n(\text{iniciales}) = \frac{0.05}{1000 \text{ ml}} \times 10 \text{ ml} = 0.0005$$

Cálculo del número de moles iniciales para cada una de las muestras de carbón activado al 40%

Tabla 21: cálculo del número de moles iniciales para muestras activadas al 40%

Número de Muestra	$H_2C_2O_4$ presente en cada solución (L)	Moles iniciales de $H_2C_2O_4$ (n)
1	0.01	0.0005
2	0.02	0.001



3	0.03	0.0015
4	0.04	0.002
5	0.05	0.0025

Cálculo de la concentración en equilibrio para cada una de las muestras filtradas

$$C_{e_{Acid}} \times V_{sol} = C_{e_{KMnO_4}} \times V_{KMnO_4}$$

$$C_{e_{Acid}} = \frac{(C_{e_{KMnO_4}} \times V_{KMnO_4})}{V_{sol}}$$

Cálculo de la concentración del $H_2C_2O_4$ en equilibrio para la muestra número 1

Donde:

$$C_{e_{KMnO_4}} : 0.1N$$

$$V_{KMnO_4} : 5 \text{ ml}$$

$$V_{sol} : 50 \text{ ml}$$

$$C_{e_{Acid}} = \frac{0.1N \times 5 \text{ ml}}{50 \text{ ml}} = 0.01 N$$

Determinación de la concentración de $H_2C_2O_4$ en equilibrio la muestra del carbón activado con H_3PO_4 al 40%

Tabla 22: Tabla para el cálculo de la concentración del $H_2C_2O_4$ en equilibrio para cada una de las muestras del carbón activado al 40%

Muestra	V de $KMnO_4$ (ml)	Ce (N)	Ce (M)
1	5	0.01	0.005
2	9.6	0.19	0.009
3	14.1	0.03	0.014
4	18.6	0.04	0.018
5	22.6	0.05	0.023



Determinación de los moles en equilibrio, adsorbidos del $H_2C_2O_4$ para los filtrados y los moles de ácido/gramo de adsorbente

$$n(equ) = \frac{C_e}{1 \text{ l de solución}} \times V \text{ de aforo } H_2C_2O_4$$

$$n_{ads} = n_0 - n_{equ}$$

$$x = \frac{n(\text{moles adsorbidos})}{g \text{ de adsorbente}}$$

Determinación de los moles adsorbidos para cada una de las muestras de carbón activado al 40%

Tabla 23: Datos para el cálculo del número de moles adsorbidos para las muestras activadas al 40%

Muestra	n_{equ}	n_{ads}	x (mol $H_2C_2O_4$ adsorbido/ g de adsorbente)
1	0.0002	0.0002	0.0001
2	0.0005	0.0005	0.0002
3	0.0007	0.0008	0.0004
4	0.0009	0.001	0.0005
5	0.001	0.001	0.0006

Gráficas

Tabla 24: Datos para la construcción de la gráfica de la isoterma de la muestra de Carbón Activado al 40% de H_3PO_4

(M) C_e	(x) Mol $H_2C_2O_4$ / g de adsorbente
0.005	0.0001
0.009	0.0002
0.014	0.0004
0.019	0.0005
0.023	0.0006

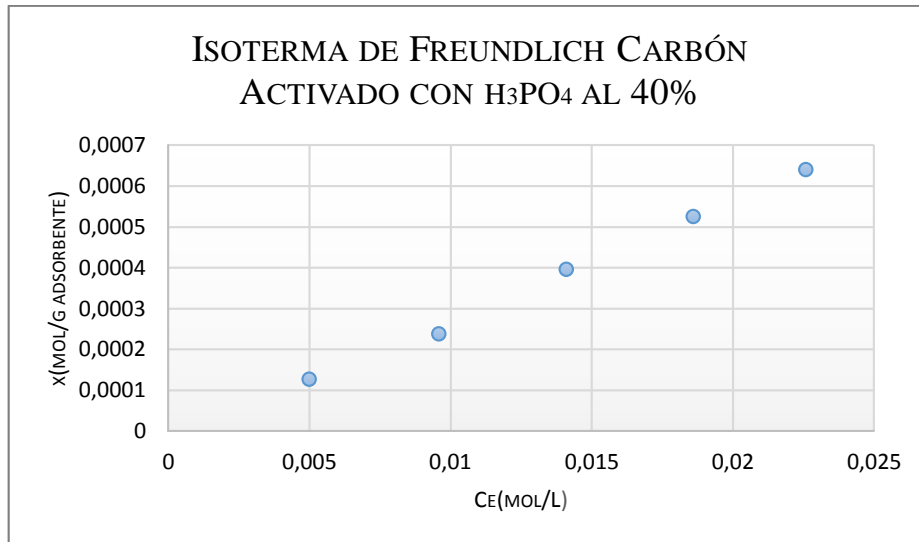


Ilustración 35: Isoterma de Freundlich del Carbón Activado al 40% con H₂C₂O₄

Tabla 25: Datos logarítmicos para la muestra activada al 40%

Log (Ce)	Log (x)
-2.3010	-3.9130
-2.0177	-3.6243
-1.8507	-3.4022
-1.7304	-3.2792
-1.6458	-3.1930

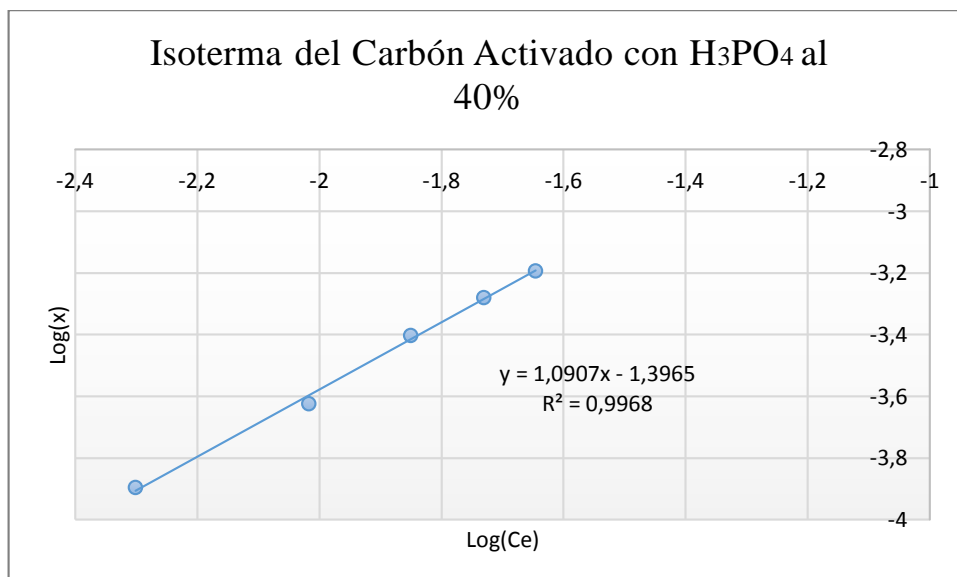


Ilustración 36: Isoterma de adsorción de H₂C₂O₄ en el Carbón Activado al 40%



Isoterma Empírica

$$x = kc^{1/n}$$

Determinación de los constantes k y n

Para determinar los parámetros de las constantes k y n de la isoterma, se usa la siguiente ecuación:

$$\log x = \log k + \frac{1}{n} \log c$$

Donde:

n: la pendiente de la ecuación de la recta obtenida de la gráfica logarítmica

k: la ordenada al origen de la ecuación de la recta obtenida de la gráfica logarítmica

Ecuación de la recta obtenida de la gráfica logarítmica

$$y = 1.0907x - 1.3965$$

Cálculo de la constante k

$$\log(k) = -1.3964$$

$$k = 0.04$$

Cálculo de la constante n

$$\frac{1}{n} = 1.0907$$

$$n = 0.9168$$

Isoterma Empírica Carbón Activado al 40%

$$x = 0.04 C^{0.9168}$$

Para elaborar las isotermas de adsorción de los carbones activados obtenidos se determinó su capacidad de adsorción de $H_2C_2O_4$, este proceso se realizó con diferentes disoluciones



a diferentes concentraciones. La ilustración 29 y 31 indican el comportamiento que tienen los carbones activados al 85% y 40% relacionado con la cantidad de $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ adsorbida por cada gramo de carbón activado.

En estas gráficas se puede evidenciar que el proceso de adsorción de $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ si ocurre en los carbones activados obtenidos, ya que el número de moles en equilibrio son menores al valor que inicial, esto sucede para los dos carbones activados

El ajuste realizado mediante la linealización de las isotermas de Freundlich, permitió obtener los valores de la gráfica, cuyos valores son cercanos a 1.

El valor de (n) obtenido de la ecuación de Freundlich indica la intensidad de adsorción de un carbón activado, por lo que si este valor es inferior a 1 indica que la isoterma es favorable para procesos de adsorción y si el valor es superior a 1 indica que la isoterma es desfavorable para procesos de adsorción (Ale Borja et al., 2015).

Para el carbón activado al 85% se obtuvo un valor de (n) igual a 1.07 por lo que se considera como una isoterma favorable para proceso de adsorción. Para el carbón activado al 40% se obtuvo un valor de 0.9168 por lo que también se considera como una isoterma favorable para procesos de adsorción.

Según la forma que posea la gráfica de la isoterma de adsorción, existen varios criterios que permiten clasificarlas y conocer las propiedades y comportamiento que tendrá el carbón activado, el criterio más usado es el de Giles (Giles et al., 2021) en donde el autor distingue cuatro tipos de isotermas para interacciones sólido-líquido.

Las isotermas obtenidas para los carbones activados al 85% y al 40% corresponden con la gráfica del tipo C del tipo 3, esta gráfica presenta una forma lineal hasta alcanzar una capacidad máxima de adsorción, es en este punto donde se produce un cambio horizontal. Los carbones activados que poseen este tipo de isotermas se caracterizan por un adsorbente con una elevada cantidad macroporos, además de una mayor afinidad en solución por el adsorbato que por disolvente, estas características permiten suponer que el carbón activado obtenido a partir del cuesco de nogal será óptimo para los procesos de remoción de contaminantes en el agua, procesos de adsorción de metales (Cu, Fe, Mn, Au) y en procesos de decoloración.



4.4 Aplicación del Carbón Activado para remoción de colorantes de una fábrica de jeans.

4.4.1 Resultados y comparación de los análisis de Color y turbiedad de las muestras de agua.

Datos Obtenidos

Tabla 26: Resultados de los análisis de color y turbiedad

Propiedades	Muestra de Agua fábrica de jeans	Muestra filtrada carbón activado al 85%	Muestra filtrada carbón activado al 40%	Límites establecidos por el Tulsma
Color (CU)	490	24	148	100
Turbiedad (NTU)	44.9	2.75	17.8	10

Cálculo del porcentaje de remoción de color

$$\% \text{ remo} = \left(\frac{\text{Color Muestra filtrada por el carbón activado} \times 100}{\text{Color Muestra de la fábrica de Jeans}} \right) - 100\% \quad (24)$$

Tabla 27: Tabla del porcentaje de remoción de color

Muestra	% de Remoción de color
Filtrada Carbón Activado al 85%	95%
Filtrada Carbón Activado al 40%	69.8%

Cálculo del porcentaje de turbiedad



$$\% \text{ remo} = \left(\frac{\text{Turbiedad Muestra filtrada carbon activado} \times 100}{\text{Turbiedad Muestra de la fábrica de Jeans}} \right) - 100\% \quad (25)$$

Tabla 28: Tabla del porcentaje de remoción de turbiedad

Muestra	% de Remoción de turbiedad
Filtrada Carbón Activado al 85%	94 %
Filtrada Carbón Activado al 40%	60.3%

Los resultados obtenidos de los análisis de color y turbiedad demuestran que la muestra de agua filtrada con el carbón activado al 85% es la única que cumple con las normativas establecidas por el Tulsma Libro VI anexo 1: “Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes : recurso agua”, lo que corrobora los resultados obtenidos en los porcentajes de remoción de color y turbiedad, donde la muestra de carbón activado al 85% presenta un porcentaje más elevado de remoción de estas propiedades.

4.4.2 Resultados de los Análisis Físico Químicos de las muestras de Agua.

Tabla 29: Tabla de los resultados de los análisis fisicoquímicos de las muestras de agua

Propiedades	Muestra de Agua fábrica de jeans	Muestra filtrada carbón activado al 85%	Muestra filtrada carbón activado al 40%	Límites establecidos por el Tulsma
pH	8.79	7.81	7.59	5-9
Sólidos Disueltos mg/l	-	259	674	500



DBO5 mg/L	2998.24	1959.7	2060.4	250
DQO mg/LO ₂	13330	12450	13090	500

Los resultados obtenidos de los análisis de pH de las muestras de agua analizadas cumplen con las normativas establecidas por Tulsma Libro VI anexo 1, en donde se observa una disminución del pH para las muestras tratadas con carbón activado, siendo el carbón activado al 40% el que proporciona un valor más cercano a la neutralidad. Para los análisis de sólidos disueltos la única muestra que cumple con las normativas establecidas por el Tulsma es la muestra filtrada con el carbón activado al 85%.

Para los análisis de DBO5 y DQO, pese a que las muestras filtradas con los carbones activados al 85% y al 40% demuestran una reducción de estas propiedades, los valores iniciales de la muestra de la fábrica de jeans son elevados, por lo que ninguno de los resultados obtenidos cumple con la normativa establecida por el Tulsma Libro VI anexo 1.

4.4.3 Comparación de los carbones activados obtenidos con un carbón activado comercial.

Se realizó la comparación de carbones obtenidos a partir del cuesco de nogal y un carbón activado comercial, de la empresa Erafi, el cual es elaborado a partir del coco de palma africana

Tabla 30: Tabla comparativa de las propiedades de los carbones activados obtenidos vs carbón activado comercial

Tabla comparativa de las propiedades de los carbones activados obtenidos vs carbón activado comercial			
Propiedades	Carbón Activado al 85%	Carbón activado al 40%	Carbón Activado comercial (Erafi)
Materia prima	Cuesco de Nogal	Cuesco de Nogal	Coco de palma africana



Densidad Aparente	0.3169 g/cm^3	0.3564 g/cm^3	0.45 g/cm^3
Área Superficial	674.004 m^2/g		700 m^2/g
% de humedad	8.92	10.20	6%
% Cenizas Totales	15.54	17.48	12%
Índice de yodo	641.08 mg/g	541.17 mg/g	700 mg/g

En la tabla 30 se evidencia que el carbón activado que presenta características semejantes a las del carbón activado comercial es el carbón activado al cual se le realizó la activación con H_3PO_4 con una concentración del 85%, propiedades como la densidad aparente, índice de yodo y superficie específica, son cercanos, lo que es una manifestación de que el carbón activado obtenido podría competir en el mercado industrial.

4.5 Análisis del costo de producción del carbón activado.

La tabla 31 muestra el costo total requerido para la elaboración del carbón activado, el cual tuvo un valor final de 3.60\$ para los 300g obtenidos, los costos más elevados en el proceso de elaboración fueron el de los reactivos: Ácido Fosfórico e Hidróxido de sodio los cuales fueron utilizados en los procesos de activación y lavado respectivamente.

Tabla 31: Tabla de los costos de materia prima

Materia Prima y/o reactivos	Cantidad	Precio Unitario por cada Kg o litro	Costo
Cusco de Nogal	0.8 kg	0.5 USD	0.4 USD
Ácido Fosfórico	1 litro	2.64 USD	2.64 USD
Hidróxido de Sodio	0.1 kg	5.45 USD	0.545 USD
Agua	64.35 litros	0.00031 USD	0.0199 USD
		Total	3.60 USD

Tabla 32: Tabla comparativa de los costos del carbón Activado elaborado y un carbón activado comercial

Muestra	Cantidad	Costo
Carbón Activado Comercial	300g	3 USD



Carbón Activado del cuesco de Nogal	300g	3.60 USD
--	------	----------

En la tabla 33 se muestra un costo aproximado por las horas laboradas en los diferentes estratos necesarios para la elaboración del carbón activado, para el costo de la hora de trabajo se tomó como referencia lo establecido por el Ministerio de Trabajo en el año 2021.

Tabla 33: Tabla del costo total de la mano de obra directa

Mano de Obra directa	Cantidad	Horas de Trabajo	Valor Unitario	Valor Total
	*	h	USD /h	USD
Técnico	1	6	2.5	15
Obrero	1	5	2.34	11.7
			Total	26.7

Los gastos de producción obtenidos para la elaboración del carbón activado se especifican en la tabla 34, se utilizaron los valores de Kwh establecidos por el ministerio de Industrias y productividad en el año 2018.

Tabla 34: Tabla del costo de los gastos de producción

Gastos Producción	de Horas de consumo	Valor Unitario	Valor Total
	h	USD /h	USD
Consumo Eléctrico	62.5 h	0.0678	4.237
		Total	4.237

El costo de producción del carbón activado se determinó aplicando la ecuación 34 según el método propuesto por (Vinza, 2012)

$$CP = M_p + M_{od} + G_p \quad (16)$$

$$CP = 3.60 \text{ USD} + 26.7 \text{ USD} + 4.237 \text{ USD} = 34.537$$



$$CP = 34.537 \text{ USD}$$

El costo de producción del carbón activado elaborado a partir del cuesco de nogal fue de 34.537 USD, no existen referencias de los costos de producción de carbones activados comerciales , pero basándonos únicamente en los valores obtenidos de los costos de elaboración de la materia prima de la tabla 31 , se estima que el carbón activado obtenido presenta una alternativa viable para tratamientos de aguas residuales y además permite el aprovechamiento de un residuo de una materia prima que no tiene ninguna aplicación industrial.



5 Conclusiones.

Mediante los procesos de activación química realizada con H_3PO_4 se obtuvo dos carbones activados granulares a partir del cuesco de Nogal Juglans Neotropica.

El proceso de caracterización de los carbones activados obtenidos permitió establecer que estos cumplen con los requisitos establecidos por las normativas NTE INEN para carbones activados de uso comercial, los resultados obtenidos en los análisis del Índice de Yodo y Área Superficial permite determinar que el carbón activado obtenido posee una área superficial óptima para procesos de decoloración, es decir el carbón activado al 85% en su superficie cuenta con la cantidad optima de macroporos y mesoporos, es decir que será este material el que tenga un mejor comportamiento para los procesos de adsorción.

El porcentaje de remoción de colorantes del agua residual de una fábrica de jeans fue alto, con porcentajes de remoción que van desde el 70% al 95%. El tratamiento que tuvo una mejor respuesta fue el realizado con el carbón activado al 85% ya que no solo obtuvo un porcentaje de remoción de color más elevado 95%, sino que también en otros análisis como turbiedad o solidos disueltos tuvo un mejor comportamiento.

Se realizó la comparación de las propiedades de los carbones activados obtenidos con una activado comercial, en donde los resultados de humedad, cenizas y densidad aparente son mayores a los del carbón activado comercial, pero estos todavía se encuentran de los rangos establecidos por las normativas NTE INEN para carbones activados de uso comercial, el carbón activado al 85% presenta los mejores resultados en los parámetros antes nombrados y en los valores de Área Superficial e Índice de Yodo es el que más se asemeja al carbón activado comercial, por lo que permite determinar que será este carbón el que poseen un mejor rendimiento en los procesos de adsorción.

Los resultados obtenidos de los análisis de las propiedades físicas y químicas de las muestras de agua residual de la fábrica jeans tratadas con los carbones activados al 85% y al 40% presentan una reducción en los de parámetros de color, turbiedad, pH y solidos disueltos, siendo estos valores: para el color una reducción del 95% en las muestras tratadas con el carbón al 85% y de un 70% para las muestras tratadas con el carbón al 40% , una reducción del 94% para turbiedad en las muestras tratadas con el carbón al 85% y de un 60% para las muestras tratadas con el carbón al 40%, para pH las muestras



en general presentan una reducción del 13% de su valor original para los dos carbones, el que presenta mejores resultados y permite que dicha muestra cumpla con los requisitos establecidos por el Tulsma Libro VI anexo 1 las tratadas con el carbón activado al 85%, los resultados de los Análisis de DBO5 y DQO también presentan una reducción en comparación con su concentración inicial, pero debido a que los valores obtenidos en el análisis de la muestra de la fábrica de jeans eran demasiado altos, no se cumplió con el límite máximo permitido por el Tulsma.

El costo de producción de las muestras de carbón activado fue de 34.53 USD para los 130.2 g obtenidos, de esta forma obteniendo un rendimiento del proceso de elaboración del carbón activado del 34.55% y 41.22% para los carbones activados al 85% y 40% respectivamente. Centrándonos únicamente en los valores obtenidos de los costos de las materias primas, para realizar una comparación directa con el carbón activado comercial, tenemos que el costo de elaboración de los carbones activados obtenidos del cuesco de Nogal tiene un valor de 3.60 USD en comparación con los 3 USD del costo del carbón activado comercial, podemos establecer que la elaboración del carbón activado podría tener interés económico.



6 bibliografía.

- Acevedo Corredor, S. A. (2014). *Preparación y caracterización de carbón activado granular obtenido a partir de cuesco de palma africana (Elaeis Guineensis) para la adsorción de CO₂* [Universidad Nacional de Colombia].
<https://core.ac.uk/download/pdf/77274699.pdf>
- Aktas, Ö., & ec-en, F. C. (2012). *Preparation of Activated Carbons. Activated Carbon for Water and Wastewater Treatment*.
- Alberto, J., Carmina, R., Carmen, M., Solís-fuentes, J. A., Morales-téllez, M., Ayala-tirado, R. C., & Durán-de-bazúa, M. C. (2012). Obtención de carbón activado a partir de residuos agroindustriales y su evaluación en la remoción de color del jugo de caña. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 27(1), 36–48.
- Ale Borja, N., García Villegas, V., Yipmantin Ojeda, A., Guzmán Lezama, E., & Maldonado García, H. (2015). *EQUILIBRIO DE BIOSORCIÓN DE PLOMO (II) Y CARACTERIZACIÓN MEDIANTE FT-IR Y SEM-EDAX EN ALGA Ascophyllum nodosum EQUILIBRIUM OF LEAD (II) BIOSORPTION AND CHARACTERIZATION THROUGH FT-IR AND SEM-EDAX ON Ascophyllum nodosum SEAWEED*. 81(3), 242–254.
<http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v81n3/a06v81n3.pdf>
- Arteaga Martínez, R. (2018). *Estudio tecno-económico de una planta de producción de carbón activo a partir de hueso de aceituna*.
<https://idus.us.es/xmlui/handle//11441/85354>
- Asimbaya C, Rosas, ;, Endara, ;, & Guerrero, ; (2015). Obtención de Carbón Activado a partir de Residuos Lignocelulósicos de Canelo, Laurel y Eucalipto. *Revista Politécnica-Septiembre*, 36(3), 24–24.
https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/537
- Bastidas, M., Buelvas, L. M., Márquez, M. I., & Rodríguez, K. (2010). Activated carbon production from carbonaceous precursors of the Department of Cesar, Colombia. *Informacion Tecnologica*, 21(3), 87–96.



<https://doi.org/10.1612/inf.tecnol.4289it.09>

- CALDERON, A. (2005). *Obtencion De Antecedentes Experimentales Para Un Tratamiento Avanzado De Adsorcion De Edta En Turba Magallanica*. 50.
- Caracela, P. (2017). Efecto de carbón activado de la lenteja de agua(Lemma sp.) en la remoción de cloro residual del agua en la industria de bebidas. *Universidad Nacional Del Altiplano*, 1–89.
- Carrasco Tito, B. S., & Londa Veletanga, E. G. (2018). *Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco “Cocos Nucífera L.”*
- Carriazo, J. G., Saavedra, M. J., & Molina, M. F. (2010). Propiedades adsorptivas de un carbón activado y determinación de la ecuación de Langmuir empleando materiales de bajo costo. *Educación Química*, 21(3), 224–229.
[https://doi.org/10.1016/s0187-893x\(18\)30087-9](https://doi.org/10.1016/s0187-893x(18)30087-9)
- Castro, L., Florez garcía, N., & Martinez, A. (2009). Química “ Elaboración de carbón activado a partir de cáscara de naranja .” PUMA2009. *Concurso, Xvii Feria, Universitario Ciencias, D E L a S*, 18.
- Colpas, F., Tarón, A., & Gónzales, R. (2017). Área superficial de carbones activados y modificados obtenidos del recurso agrícola Saccharum officinarum. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 34(2), 62–72.
- Da’na, E., & Awad, A. (2017). Regeneration of spent activated carbon obtained from home filtration system and applying it for heavy metals adsorption. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(4), 3091–3099.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.06.022>
- Filippín, A. J., Luna, N. S., Pozzi, M. T., & Pérez, J. D. (2017). Obtención Y Caracterización De Carbón Activado a Partir De Residuos Olivícolas Y Oleícolas Por Activacion Física. *Avances En Ciencias e Ingeniería*, 8(3), 59–71.
- García-Matamoros, J. B. (2008). *Catalizadores Carbonosos obtenidos mediante Activación Química de Residuos Lignocelulósicos*. 366.
- García, F. (2013). *Planta De Producción De Carbón Activo*. 1–272.
- García López, R. A., & Granillo Oporta, Y. A. (2017). Evaluación De Las Condiciones Operacionales En El Proceso De Preparación De Carbón Activado de Cáscara de



- Naranja Valencia (Citrus Sinensis Linn Osbeck). *Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua*, 92. <http://repositorio.unan.edu.ni/4275/1/96798.pdf>
- Giles, R., Oliver, G., Brown, P., Ratkowsky, D., Cumming, J., & Hingston, J. (2021). *The Tasmanian River Catchment Water Quality Initiative Report on pesticide fate and behaviour in Tasmanian environments*.
- Gonzales Mora H.E., T. C. R. (2004). *Estudio preliminar de carbón activado; situación en el Perú*. 82.
- Grijalva, R. (2008). ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA DE UN HORNO DE REGENERACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO GRANULAR. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952.
- GRISALES, L. (2016). *OBTENCION DE CARBON ACTIVADO A PARTIR DE ACTIVACIÓN QUIMICA DE PULPA DE CAFÉ Y SU APLICACIÓN EN LA REMOCIÓN DE COLORANTES EN AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALE*. 147, 11–40.
- Groso Cruzado, G. (1997). *El carbón activado granular en el tratamiento del agua* (Aconcagua).
- Groso Cruzado, G. (2021). *Reactivación de carbón activado granular*.
<https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/carbon-activado/reactivacion-de-carbon-activado-granular/>
- Gomez, L., & Toro, J. (2007). *BOLETÍN TÉCNICO BIODIVERSIDAD No . 1*. 72.
- Guanuche., F. A. P., Sares, L. A. C., Nieves, A. M. R., & Morales, M. A. M. (2017). Purificación de agua mediante carbón activo proveniente de la cáscara de arroz. *Utmach*, 1(1), 767–777.
<http://investigacion.utmachala.edu.ec/proceedings/index.php/utmach/article/view/148/125>
- Lapo, J. (2014). *Reactivación Química Del Carbón Activado Del Sociedad Minera “ Promine ” Para El Proceso De*. 1–69.
- Lazo, R. (2015). *Operaciones y procesos para la producción de carbón activado a partir de la cáscara de coco*. 1–126.
<http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/UNAC/1043/246.pdf?sequence=1&>



isAllowed=y

- Marín, A. (2014). *Carbón Activado*. 194.
- Martínez, M. C. (2012). *Universidad Autónoma de Madrid Facultad de Ciencias Sección de Ingeniería Química*. 280.
- Mero, K., & Bonifaz, J. (2017). “*Diseño de un prototipo para la fabricación de pellets a partir de biomasa residual forestal*.” 210.
- Muñoz Rivadeneira, G. (2010). Desarrollo de carbones activados magnéticos para la recuperación de oro en soluciones de cianuro. *ACI Avances En Ciencias e Ingenierías*, 2(2). <https://doi.org/10.18272/aci.v2i2.34>
- Navarro, P., & Vargas, C. (2010). Efecto de las propiedades físicas del carbón activado en la adsorción de oro desde medio cianuro. *Revista de Metalurgia (Madrid)*, 46(3), 227–239. <https://doi.org/10.3989/revmetalm.0929>
- Nidia, R. (2018). *Diagnóstico y propuestas de mejora de la planta de tratamiento de aguas residuales de una empresa textil ubicada en el distrito metropolitano de quito* ”. 1–34.
- Ortega-Montenegro, H. (2016). *Estudio del ataque de Gretchena garai Miller en Nogal (Juglans Neotropica Diels) en plantación sola y asociada con cuatro especies forestales de dos sitios*. 70.
- Palomino, J., José, Y., & Yamamoto, P. (2003). *Programa Selva Central Oxapampa*.
- Parra, T., Marin Sinche, F. A., Jácome, G., & Sinche, M. (2018). Clarificación de aceite de cocina usado y decoloración de aceite rojo de palma con el uso de ozono, carbón activado y peróxido de hidrógeno. *Enfoque UTE*, 9(2), 77–88. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n2.192>
- Pelaz Fernández, J. (2016). *Regeneración Con Fluidos Supercríticos De Fibras De Carbón Activadas Saturadas Con Fenol*. 191. Tabla #. RR (%25) y condiciones de regeneración de algunos métodos empleados en la regeneración térmica de materiales adsorbentes saturados con fenol
- Polo Peñalosa, Á. (2013). *Planta piloto de activación de carbón*.
- Recobert, M. (2015). *Carbón activado evaluación de nuevos precursores y del proceso*



de activación con dióxido de carbono. 248.

http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/47053/1/tesis_minerva_plaza_recobertL.pdf

Ricardo Castro, J., & Parravicini, A. (2009). Recuperación de disolventes en procesos de secado industrial. *Ingeniería Química (Madrid)*, 41(476), 96–99.

Ruiz Menendez, A. P. (2018). Obtención de carbon activado a partir de cascara de naranja (*Citrus sinensis* L. Obseck) y su aplicación como adsorbente de plomo (II) en disolución acuosa. *Universidad Nacional Agraria La Molina*, 116.

<http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/4043/ruiz-menendez-amparo-patricia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Salvador, F., Martín-Sánchez, N., Sánchez-Hernández, R., Sánchez-Montero, M. J., & Izquierdo, C. (2015). Regeneration of carbonaceous adsorbents. Part II: Chemical, Microbiological and Vacuum Regeneration. *Microporous and Mesoporous Materials*, 202, 277–296.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2014.08.019>

Sánchez Polo, M., Rivera Utrilla, J., Velo Gala, I., López Peñalver, J. J., & Ocampo Pérez, R. (2014). Participación del carbón activado en procesos de eliminación de fármacos presentes en las aguas. In *Desarrollo y aplicaciones de materiales avanzados de carbón*.

Serrano Guerrero, D. J. (2019). Síntesis de carbón activado a partir del endocarpio de Cocos nucifera y su aplicación en la adsorción de algunos metales pesados Trabajo de Investigación previo a la obtención del Título de Químico AUTOR : Danny Josué Serrano Guerrero. *Universidad Central Del Ecuador Carrera Química*, 97.

SEVILLA, U. (2011). Manual Del Carbón Activo. *Aula.Aguapedia.Org*, 1–89.

[http://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/10339/mod_resource/content/1/CARBON_ACTIVADO_DEFINITIVO tar.pdf](http://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/10339/mod_resource/content/1/CARBON_ACTIVADO_DEFINITIVO_tar.pdf)

Smisek, M., & Cerny, S. (1970). New books - Active carbon: Manufacture, properties, and applications. *Analytical Chemistry*, 42(14), 81A-81A.

<https://doi.org/10.1021/ac50160a026>

Tenezaca, J. (2016). *Evaluación de la calidad del jean posterior a la lavandería, en la pequeña industria de Cuenca*. 1–106.



- Toro Vanegas, E., & Roldán Rojas. (2018). *Estado del arte, propagación y conservación de*. 24(1), 1–42.
- Treybal, R. E., Francisco José Lozano, D., & Bogota Buenos Aires Caracas Guatemala Lisboa Madrid Nueva York Panama San Juan Santiago A O I Paulo Auckland Hamburgo Londres Milan Montreal Nueva Delhi Paris San Francisco Singapur St Louis Sidney Tokio Toronto, M. S. (n.d.). *Operaciones De Transferencia*.
- Ureña Gómez, D. (2017). *Diseño de un sistema de adsorción para la eliminación de contaminantes emergentes presentes en disoluciones*. 73.
[https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/97809/UREÑA - Diseño de un sistema de adsorción para la eliminación de contaminantes emergentes present....pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/97809/UREÑA-Diseño-de-un-sistema-de-adsorción-para-la-eliminación-de-contaminantes-emergentes-present...pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Valbuena, D., & Rodríguez, V. (2018). *Regeneración Química Del Carbón Activado Granular Agotado Por La Remoción De Tensoactivoscationicosde Aguas Residuales De La Industria Cárnica*. 1–112.
- Valladares, M. (2017). Adsorbentes no-convencionales, alternativas sustentables para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 16(31), 55–73. <https://doi.org/10.22395/riun.v16n31a3>
- Vanegas, E. T., & Rojas, I. C. R. (2018). State of the art, propagation and conservation of juglans neotropica diels., in andean zones. *Madera Bosques*, 24(1), 1–15.
<https://doi.org/10.21829/myb.2018.2411560>
- Vayas Torres, J. M. (2017). *Análisis del carbón activado de origen vegetal con las costras de coco como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la textilera “andelas” cia ltda., ubicada en el parque industrial de Ambato, provincia de Tungurahua*.
- Vilaseca, M. M. (2015). Eliminación del color de las aguas residuales procedentes de la tintura con colorantes reactivos. *TDX (Tesis Doctorals En Xarxa)*.
<http://www.tdx.cat/handle/10803/317959>
- Vinza Romero, S. A. (2012). *Propuesta para al aplicación del método de costeo por actividades ABC (Activity Based Costing) de la Industria “Gráficas Olmedo” de la Ciudad de Quito*. 211.
- Zaruma, P. E., Proal, J. B., Salas, H. I., & Chaires, I. (2018). Los Colorantes Textiles



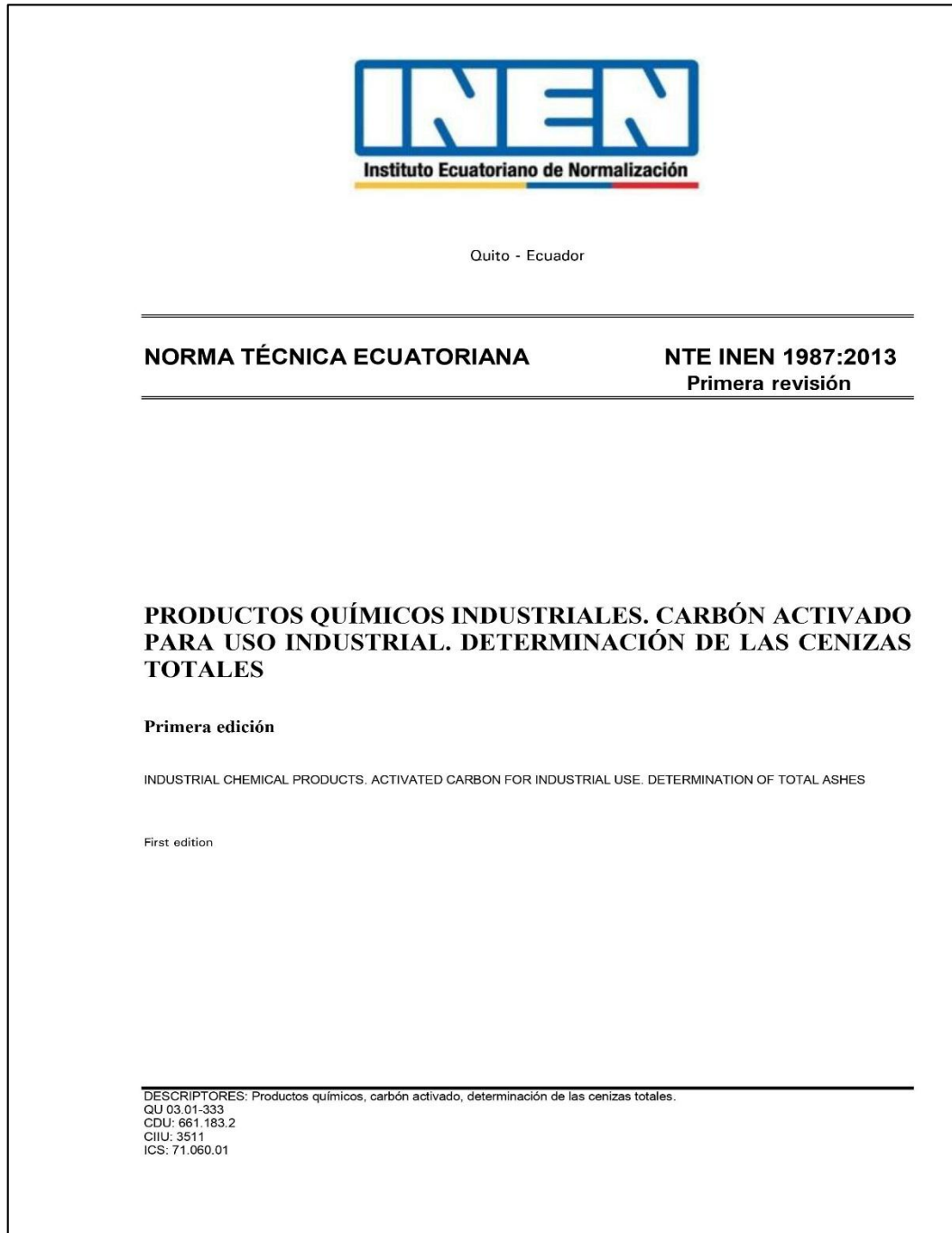
UNIVERSIDAD DE CUENCA

Industriales Y Tratamientos Óptimos De Sus Efluentes De Agua Residual : Una Breve Revisión. *Revista de La Facultad de Ciencias Químicas*, 19, 38–47.




Anexos

Anexo 1: Extraído del Instituto Ecuatoriano de Normalización (NORMA 1987:2013)



Fuente: Extraído de (NORMA NTE INEN 1987:2013)



CDU: 661.183.2 ICS: 71.080.01		CIU: 3511 QU 03.01-333
Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	PRODUCTOS QUÍMICOS INDUSTRIALES CARBÓN ACTIVADO PARA USO INDUSTRIAL DETERMINACIÓN DE LAS CENIZAS TOTALES	NTE INEN 1987:2013 Primera revisión 2013-06
1. OBJETO		
1.1 Esta norma establece el método para determinar el contenido de cenizas totales en el carbón activado para uso industrial.		
2. MÉTODO DE ENSAYO		
2.1 Resumen		
2.1.1 Consiste en incinerar una masa conocida de carbón activado seco, a una temperatura de 650 °C ± 25 °C hasta que todo el carbón haya sido oxidado, obteniendo las cenizas residuales. El contenido de las cenizas totales se expresa en porcentaje.		
2.2 Equipos		
2.2.1 Balanza analítica, sensibilidad 0,1 mg.		
2.2.2 Muffa con capacidad de calentamiento hasta 1 000 °C.		
2.2.3 Estufa de temperatura regulable 150 °C ± 5 °C.		
2.2.4 Desecador.		
2.2.5 Crisol para alta temperatura, de 30 cm ³ de capacidad o más.		
2.2.6 Cápsula de aluminio o similar.		
2.2.7 Pinzas para crisol.		
2.2.8 Material usual de laboratorio.		
2.2.9 Equipo de protección personal adecuado para laboratorio.		
2.3 Procedimiento		
2.3.1 Pesar en la cápsula 10 g ± 0,01 g de muestra; secar durante 3 h a 150 °C ± 5 °C, luego enfriar en el desecador.		
2.3.2 Pesar el crisol vacío, (m _c), previamente calcinado en la muffa a 650 °C ± 25 °C por 1 h y enfriado en el desecador.		
2.3.3 De la muestra procesada según 2.3.2, tomar 1,0 g ± 0,2 g de carbón seco (m), y pesar con exactitud de 0,1 mg en el crisol previamente tarado.		
<i>(Continúa)</i>		
DESCRIPTORES: Productos químicos, carbón activado, determinación de las cenizas totales.		
-1-		2013-1319

NTE INEN 1987	2013-06
2.3.4 Colocar el crisol con la muestra de carbón seco en la muffa y llevar a la temperatura de 650 °C ± 25 °C hasta incinerar el carbón. Colocar en el desecador y una vez que haya alcanzado temperatura ambiente, determinar su masa, (m ₁). El incinerado puede requerir de 3 h a 16 h, dependiendo del tamaño y el tipo de carbón activado. El incinerado puede considerarse terminado cuando se alcanza peso constante.	
2.3.5 Efectuar la determinación por duplicado.	
2.4 Cálculos	
2.4.1 El contenido de cenizas totales se calcula mediante la ecuación siguiente:	
$\%C = \frac{(m_1 - m_c) \times 100}{m}$	
%C = contenido de cenizas totales, porcentaje en masa, m = masa de la muestra, en g, m ₁ = masa del crisol con cenizas, en g, m _c = masa del crisol vacío, en g	
2.5 Errores de Método	
2.5.1 La diferencia entre los resultados de una determinación efectuada por duplicado no debe exceder del 5% del valor promedio; en caso contrario, debe repetirse la determinación.	
2.6 Informe de resultados	
2.6.1 Como resultado final, debe informarse la media aritmética de los dos resultados de la determinación.	
2.6.2 Debe indicarse el método usado y el resultado obtenido; debe incluirse, además, cualquier condición no especificada en esta norma o considerada como opcional; así como cualquier circunstancia que pueda haber influido sobre el resultado.	
2.6.3 Debe incluirse todos los detalles para la completa identificación de la muestra.	
<i>(Continúa)</i>	
-2-	2013-1319



Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 1986:2013
Primera revisión

**PRODUCTOS QUÍMICOS INDUSTRIALES. CARBÓN ACTIVADO
PARA USO INDUSTRIAL. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD
APARENTE**


Primera edición

INDUSTRIAL CHEMICAL PRODUCTS. ACTIVATED CARBON FOR INDUSTRIAL USE. DETERMINATION OF APPARENT DENSITY

First edition

DESCRIPTORES: Productos químicos, carbón activado, determinación de la densidad aparente.
QU 03.01-332
CDU: 661.183.2
CIU: 3511
ICS: 71.060.01



CDU: 661.183.2 ICS: 71.060.01	 Instituto Ecuatoriano de Normalización	CIU: 3511 QU 03.01-332
Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	PRODUCTOS QUÍMICOS INDUSTRIALES CARBÓN ACTIVADO PARA USO INDUSTRIAL DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE	NTE INEN 1986:2013 Primera revisión 2013-06
1. OBJETO		
<p>1.1 Esta norma establece el método para determinar la densidad aparente en el carbón activado para uso industrial.</p> <p>1.2 Para este método, el 90 % del carbón activado granular debe ser más grande que la malla N° 80.</p>		
2. DEFINICIONES		
<p>2.1 Para los efectos de esta norma, se adopta la siguiente definición.</p> <p>2.1.1 <i>Densidad aparente</i>. Es el peso en gramos de 1 cm³ de carbón en aire.</p>		
3. MÉTODO DE ENSAYO		
3.1 Resumen		
<p>3.1.1 Consiste en determinar la masa de una muestra de carbón contenida en un recipiente cilíndrico de volumen conocido, con la corrección hecha por el contenido de humedad.</p>		
3.2 Equipos		
<p>3.2.1 Balanza, sensibilidad 0,1 g.</p> <p>3.2.2 Aparato para determinar la densidad (ver anexo A, figura A.1).</p> <p>3.2.2.1 Embudo de recepción, fabricado de vidrio o metal (ver anexo A, figura A.2).</p> <p>3.2.2.2 Embudo de alimentación, fabricado de vidrio o metal (ver anexo A, figura A.3).</p> <p>3.2.3 Vibrador de metal (ver anexo A, figura A.4).</p> <p>3.2.4 Cilindro graduado, capacidad 100 cm³.</p> <p>3.2.5 Estufa de temperatura regulable 150 °C ± 5 °C.</p> <p>3.2.6 Termómetro con graduación de -10 °C a 110 °C.</p>		
3.3 Procedimiento		
<p>3.3.1 Secar la muestra que va analizarse hasta masa constante, a 150 °C ± 5°C.</p> <p>3.3.2 Cuidadosamente colocar la muestra en el embudo. Si el material prematuramente fluye al interior del cilindro graduado, retornar el material al depósito del embudo.</p> <p>3.3.3 Añadir la muestra al cilindro mediante el vibrador alimentador a un flujo uniforme entre 0,75 cm³/s y 1,00 cm³/s, hasta completar la marca a 100 cm³.</p>		
<i>(Continúa)</i>		
DESCRIPTORES: Productos químicos, carbón activado, determinación de la densidad aparente.		
-1-	2013-1318	

NTE INEN 1986	2013-06
<p>3.3.4 Ajustar el flujo cambiando la pendiente del vibrador aumentando o disminuyendo el depósito del embudo, o ambos a la vez.</p> <p>3.3.5 Transferir el contenido del cilindro a una balanza y pesar lo más cercano a 0,1 g.</p> <p>3.3.6 Efectuar la determinación por duplicado.</p>	
3.4. Cálculo	
<p>3.4.1 La densidad aparente (base seca) se calcula mediante la ecuación siguiente:</p>	
$d_{ap} = \frac{m_1 \times (100 - \%H)}{10000}$	
donde	
<p>d_{ap} = densidad aparente, en g/cm³.</p> <p>m_1 = masa del carbón, en gramos.</p> <p>$\%H$ = porcentaje de humedad (ver nota 1).</p>	
3.5 Errores de método	
<p>3.5.1 La diferencia entre los resultados de una determinación efectuada por duplicado no debe exceder del 5% del valor promedio, en caso contrario, debe repetirse la determinación.</p>	
3.6 Informe de resultados	
<p>3.6.1 Como resultado final, debe informarse la media aritmética de los resultados de la determinación.</p> <p>3.6.2 Debe indicarse el método usado y el resultado obtenido; debe incluirse, además, cualquier condición no especificada en esta norma o considerada como opcional, así como cualquier circunstancia que pueda haber influido sobre el resultado.</p> <p>3.6.3 Debe incluirse todos los detalles para la completa identificación de la muestra.</p>	
NOTA 1. Determinar el porcentaje de humedad en base a la Norma NTE INEN 1985.	
<i>(Continúa)</i>	
-2-	2013-1318



Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 1988:2013
Primera revisión

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

Primera edición


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

First edition

DESCRIPTORES: Productos químicos, carbón activado, determinación del índice de yodo.
QU 03.01-337
CDU: 661.183.2
CIU: 3511
ICS: 71.060.01



Fuente: Extraído del Instituto Ecuatoriano de Normalización (NORMA 1988:2013)

CDU: 661.183.2 ICS: 71.060.01		CIU: 3511 QU 03.01-337
Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	PRODUCTOS QUÍMICOS INDUSTRIALES CARBÓN ACTIVADO PARA USO INDUSTRIAL DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE YODO	NTE INEN 1988:2013 Primera revisión 2013-06
1. OBJETO		
1.1 Esta norma establece el método para determinar la capacidad de adsorción o número de yodo, en el carbón activado para uso industrial.		
2. DEFINICIONES		
2.1 Para los efectos de esta norma, se adopta la siguiente definición.		
2.1.1 <i>Número de yodo.</i> Se define como los mg de yodo adsorbidos por 1 g de carbón, cuando la concentración del yodo del filtrado residual es 0,02 N.		
3. MÉTODO DE ENSAYO		
3.1 Resumen		
3.1.1 Se somete una cantidad de muestra a la acción del ácido clorhídrico, luego se libera el yodo en exceso como yoduro de potasio y se titula con tiosulfato de sodio.		
3.2 Equipos		
3.2.1 <i>Balanza analítica,</i> sensibilidad 0,1 mg.		
3.2.2 <i>Estufa</i> de temperatura regulable 150 °C ± 5 °C.		
3.2.3 <i>Desecador,</i> cloruro de calcio anhidro u otro desecante apropiado.		
3.2.4 <i>Frascos volumétricos,</i> 500, 1 000 cm ³ .		
3.2.5 <i>Frascos Erlenmeyers,</i> 250, 500 cm ³ .		
3.2.6 <i>Papel filtro</i> Whatman N° 2V, o su equivalente.		
3.2.7 <i>Pipetas volumétricas</i> de 10, 25, 50, 100 cm ³ .		
3.2.8 <i>Bureta volumétrica</i> de precisión.		
3.2.9 <i>Plancha de calentamiento.</i>		
3.2.10 <i>Material usual de laboratorio.</i>		
3.2.11 <i>Equipo de protección personal adecuado para laboratorio.</i>		
(Continúa)		
DESCRIPTORES: Productos químicos, carbón activado, determinación del índice de yodo.		
-1-	2013-1320	

NTE INEN 1988	2013-06
3.3 Reactivos	
3.3.1 <i>Acido clorhídrico al 5% (m/v).</i> A 550 cm ³ de agua destilada, añadir 70 cm ³ de ácido clorhídrico concentrado, d = 1,19 (ver nota 1).	
3.3.2 <i>Solución estándar de Tiosulfato de sodio estándar 0,1 N.</i> Disolver 24,82 g de tiosulfato de sodio, para análisis, Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O, en 1 litro de agua destilada fresca y hervida. Añadir unas pocas gotas de cloroformo para minimizar la descomposición bacteriana de la solución de tiosulfato (ver anexo A).	
3.3.3 <i>Solución estándar de yodo 0,1 N.</i> Disolver 12,7 g de yodo, (I ₂) y 19,1 g de yoduro de potasio en aproximadamente 25 cm ³ de agua destilada. Dejar la solución en reposo durante 4 h, agitando ocasionalmente. Diluir a 1 litro en un frasco aforado con agua destilada. Colocar en una botella de vidrio de color oscuro con tapa; almacenar en un lugar oscuro (ver anexo B).	
3.3.4 <i>Solución de almidón.</i> Tomar 2,5 g de almidón, añadir una pequeña cantidad de agua destilada y moler en un mortero para formar una pasta delgada. Verter en una botella de 1 litro que contenga agua destilada hirviendo, enrasar. Preservar con 1,25 g de ácido salicílico por 1 litro de solución de almidón.	
3.4 Procedimiento	
3.4.1 Moler una muestra representativa hasta que el 95 % del carbón, pase el tamiz INEN de 45 µm. Se puede determinar la finura del carbón en base de un análisis por tamizado en húmedo.	
3.4.2 Secar una porción de muestra del carbón pulverizado, a 140 °C por 2 h o también 110 °C por 3 h.	
3.4.3 Dependiendo del carbón usado, pesar de 1,0 g a 1,6 g de carbón pulverizado seco y colocar en un matraz Erlenmeyer de 250 cm ³ .	
3.4.4 Añadir, 10 cm ³ de HCl al 5% (m/m) y dar vueltas al frasco Erlenmeyer, hasta que todo el carbón se haya humedecido.	
3.4.5 Colocar el frasco Erlenmeyer sobre una plancha de calentamiento, llevar el contenido a ebullición y mantener así durante 30 s exactamente.	
3.4.6 Dejar enfriar el Erlenmeyer y su contenido a temperatura ambiente y añadir mediante pipeta volumétrica, 100 cm ³ de solución estándar de yodo 0,1 N.	
3.4.7 Tapar inmediatamente el frasco Erlenmeyer y agitar vigorosamente el contenido durante 30 s, filtrar a través del papel filtro Whatman N° 2V o su equivalente.	
3.4.8 Descartar los primeros 20 cm ³ a 30 cm ³ de filtrado, y recoger el filtrado en un frasco Erlenmeyer limpio.	
3.4.9 Mezclar el filtrado en el frasco Erlenmeyer con una varilla de vidrio y pipetear 50 cm ³ del filtrado en un Erlenmeyer de 250 cm ³ .	
3.4.10 Titular los 50 cm ³ de muestra, con una solución estándar de tiosulfato de sodio 0,1 N, hasta que el color amarillo haya desaparecido. Añadir aproximadamente 1 cm ³ de solución de almidón y continuar la titulación hasta que el color azul del indicador desaparezca.	
NOTA 1. <i>Pureza de los reactivos.</i> Los reactivos utilizados en esta norma deben ser productos químicos con grado analítico.	
(Continúa)	
-2-	2013-1320



Fuente: Extraído del Instituto Ecuatoriano de Normalización (NORMA 1988:2013)

NTE INEN 1988 2013-06

ANEXO A

ESTANDARIZACIÓN DE SOLUCIÓN DE TIOSULFATO DE SODIO 0,1 N, MEDIANTE LA SOLUCIÓN DE BIYODATO DE POTASIO 0,1 N, [KI (IO₃)₂] (ver nota 3).

A.1 Pesar 3,249 g de biyodato de potasio 0,1N [KI (IO₃)₂] y llevar a un litro con agua destilada en un frasco volumétrico. Conservar en una botella de vidrio con tapa.

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

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

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

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

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

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

(Continúa)

-4- 2013-1320

NTE INEN 1988 2013-06

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

3.4.12 Efectuar la determinación por duplicado.

3.5 Cálculos

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

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

En donde

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

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

$$A = N_1 \times 12,693$$

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

V/m = mg de yodo absorbidos por g de carbón activado
 C = normalidad del filtrado residual (para calcular f)
 f = factor de corrección (ver Anexo C)
 V₁ = volumen utilizado de tiosulfato de sodio 0,1 N, en cm³
 N₁ = normalidad de la solución estándar de yodo 0,1 N
 N₂ = normalidad de la solución estándar de tiosulfato de sodio 0,1 N

3.6 Errores de Método

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

3.7 Informe de resultados

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

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

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

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

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

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

(Continúa)

-3- 2013-1320



Fuente: Extraído del Instituto Ecuatoriano de Normalización (NORMA 1988:2013)

NTE INEN 1988 2013-06

ANEXO B

ESTANDARIZACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE YODO 0,1 N

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

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

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

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

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

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

(Continúa)

-5- 2013-1320

NTE INEN 1988 2013-06

ANEXO C

FACTOR DE CORRECCIÓN f PARA LA DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE YODO

NORMALIDAD DEL FILTRADO RESIDUAL, c	0,0000	0,0001	0,0002	0,0003	0,0004	0,0005	0,0006	0,0007	0,0008	0,0009
0,0080	1,1625	1,1613	1,1600	1,1575	1,1550	1,1538	1,1513	1,1500	1,1475	1,1463
0,0090	1,1438	1,1425	1,1400	1,1375	1,1363	1,1350	1,1325	1,1300	1,1288	1,1275
0,0100	1,1250	1,1238	1,1225	1,1213	1,1200	1,1175	1,1163	1,1150	1,1138	1,1113
0,0110	1,1100	1,1088	1,1075	1,1063	1,1038	1,1025	1,1000	1,0988	1,0975	1,0963
0,0120	1,0950	1,0938	1,0925	1,0900	1,0888	1,0875	1,0863	1,0850	1,0838	1,0825
0,0130	1,0800	1,0788	1,0775	1,0763	1,0750	1,0738	1,0725	1,0713	1,0700	1,0688
0,0140	1,0675	1,0663	1,0650	1,0625	1,0613	1,0600	1,0588	1,0575	1,0563	1,0550
0,0150	1,0538	1,0525	1,0513	1,0500	1,0488	1,0475	1,0463	1,0450	1,0438	1,0425
0,0160	1,0413	1,0400	1,0388	1,0375	1,0375	1,0363	1,0350	1,0338	1,0325	1,0313
0,0170	1,0300	1,0288	1,0275	1,0263	1,0250	1,0245	1,0238	1,0225	1,0208	1,0200
0,0180	1,0200	1,0188	1,0175	1,0163	1,0150	1,0144	1,0138	1,0125	1,0125	1,0113
0,0190	1,0100	1,0088	1,0075	1,0075	1,0063	1,0050	1,0050	1,0038	1,0025	1,0025
0,0200	1,0013	1,0000	1,0000	0,9988	0,9975	0,9975	0,9963	0,9950	0,9950	0,9938
0,0210	0,9938	0,9925	0,9925	0,9913	0,9900	0,9900	0,9888	0,9875	0,9875	0,9863
0,0220	0,9863	0,9850	0,9850	0,9838	0,9825	0,9825	0,9813	0,9813	0,9800	0,9788
0,0230	0,9788	0,9775	0,9775	0,9763	0,9763	0,9750	0,9750	0,9738	0,9738	0,9725
0,0240	0,9725	0,9708	0,9700	0,9700	0,9688	0,9688	0,9675	0,9675	0,9663	0,9663
0,0250	0,9650	0,9650	0,9638	0,9638	0,9625	0,9625	0,9613	0,9613	0,9606	0,9600
0,0260	0,9600	0,9588	0,9588	0,9575	0,9575	0,9563	0,9563	0,9550	0,9550	0,9538
0,0270	0,9538	0,9525	0,9525	0,9519	0,9513	0,9513	0,9506	0,9500	0,9500	0,9488
0,0280	0,9488	0,9475	0,9475	0,9463	0,9463	0,9463	0,9450	0,9450	0,9438	0,9438
0,0290	0,9425	0,9425	0,9425	0,9413	0,9413	0,9400	0,9400	0,9394	0,9388	0,9388
0,0300	0,9375	0,9375	0,9375	0,9363	0,9363	0,9363	0,9363	0,9350	0,9350	0,9346
0,0310	0,9333	0,9333	0,9325	0,9325	0,9325	0,9319	0,9313	0,9213	0,9300	0,9300
0,0320	0,9300	0,9294	0,9288	0,9288	0,9280	0,9275	0,9275	0,9275	0,9270	0,9270
0,0330	0,9263	0,9263	0,9257	0,9250	0,9250	-	-	-	-	-

(Continúa)

-6- 2013-1320

Anexo 4: Resultados entregados por el laboratorio MSV para los análisis de DBO y DQO de la muestra de agua residual de la fábrica de jean

Análisis de alimentos, aguas y suelos **INFORME DE RESULTADOS**

Informe: MSV-IE-149-21
Orden de ingreso: OI-048-21
Cuenca, 30 de Enero del 2021

DATOS DEL CLIENTE

Cliente: JORGE VIDAL
Dirección: CALLE CUTUCHI VIA A PATAMARCA
Teléfono: 0983512792


DATOS DE LA MUESTRA

¹ NOMBRE DE LA MUESTRA: MUESTRA #1: AGUA RESIDUAL FABRICA DE JEANS			
² MARCA COMERCIAL: N/A		³ FABRICANTE: N/A	
PROCEDENCIA: FABRICA DE JEANS	TIPO DE MUESTRA: AGUA RESIDUAL	⁴ TIPO DE ENVASE: PLASTICO	
⁵ PRESENTACIONES: 1000 ml		⁶ FORMA DE CONSERVACION: REFRIGERACIÓN	
CODIGO MUESTRA: OI04821	⁷ LOTE: N/A	⁸ FECHA ELAB: 2021-01-18	⁹ FECHA CAD:
FECHA RECEPCION: 2021-01-20	FECHA ANALISIS: 2021-01-20 - 2021-01-30	FECHA ENTREGA: 2021-01-30	
ENSAYO EN: LABORATORIO	MUESTREO: CLIENTE	NUMERO DE MUESTRAS: UNO (1)	


ENSAYOS ANÁLISIS FISICO-QUIMICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO
*DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO DBO5	APHA 5210 B - COLORIMETRIA	mg/L	2998.24
*DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO DQO	APHA 5220 C - COLORIMETRIA	mg/LO2	13330

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado.



Dra. Sandra Guaraca
GERENTE DE LABORATORIO



Los resultados expresados en este informe tienen validez solo para la muestra recibida en el laboratorio. Este informe no será reproducido sin la aprobación de MSV. ¹Opciones e interpretaciones están fuera del alcance del SAE. ²Información proporcionada por el cliente, MSV se responsabiliza exclusivamente de los análisis realizados. Regla de decisión: •Pasa: el valor medido está por debajo del límite de tolerancia; •Falla: el valor medido está por encima del límite de tolerancia; se tomará en cuenta la incertidumbre asociada al resultado, riesgo < 50% de probabilidad de aceptación falsa, se aplicará solo en los ensayos dentro del alcance de la acreditación del SAE., MSV está comprometido con la imparcialidad y Confidencialidad de la información y los resultados (este informe representa la aceptación de la política declarada de MSV en relación al tema)

FMC2104-04 Avenida de las Américas y Turuhuaico, Edificio Miraflores, 3er piso. Cuenca-Ecuador
Teléfono: 074045127 Celular: 0995354172 msvlaboratorio@gmail.com Página 1 de 1

Anexo 5: Resultados entregados por el laboratorio MSV para los análisis de DBO y DQO de la muestra de agua residual de la fábrica de jeans filtrada en el carbón activado al 85%



DATOS DEL CLIENTE

Cliente: JORGE VIDAL
Dirección: CALLE CUTUCHI VIA A PATAMARCA
Teléfono: 0983512792

DATOS DE LA MUESTRA

¹NOMBRE DE LA MUESTRA: MUESTRA #2: AGUA FILTRADA CARBON ACTIVADO #1			
²MARCA COMERCIAL: N/A		²FABRICANTE: N/A	
PROCEDENCIA: FABRICA DE JEANS	TIPO DE MUESTRA: AGUA RESIDUAL	²TIPO DE ENVASE: PLASTICO	
²PRESENTACIONES: 1000 ml		²FORMA DE CONSERVACION: REFRIGERACIÓN	
CODIGO MUESTRA: OI04921	²LOTE: N/A°	²FECHA ELAB: 2021-01-18	²FECHA CAD:
FECHA RECEPCION: 2021-01-20	FECHA ANALISIS: 2021-01-20 - 2021-01-30	FECHA ENTREGA: 2021-01-30	
ENSAYO EN: LABORATORIO	MUESTREO: CLIENTE	NUMERO DE MUESTRAS: UNO (1)	

ENSAYOS ANÁLISIS FISICO-QUIMICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO
*DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO DBO5	APHA 5210 B - COLORIMETRIA	mg/L	1959.7
*DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO DQO	APHA 5220 C - COLORIMETRIA	mg/LO2	12450

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado.

Dra. Sandra Guaraca
GERENTE DE LABORATORIO



Los resultados expresados en este informe tienen validez solo para la muestra recibida en el laboratorio. Este informe no será reproducido sin la aprobación de MSV. ¹Opiones e interpretaciones están fuera del alcance del SAE. ²Información proporcionada por el cliente, MSV se responsabiliza exclusivamente de los análisis realizados. Regla de decisión: •Pasa: el valor medido está por debajo del límite de tolerancia. •Falla: el valor medido está por encima del límite de tolerancia; se tomará en cuenta la incertidumbre asociada al resultado, riesgo < 50% de probabilidad de aceptación falsa, se aplicará solo en los ensayos dentro del alcance de la acreditación del SAE. MSV está comprometido con la imparcialidad y Confidencialidad de la información y los resultados (este informe representa la aceptación de la política declarada de MSV en relación al tema)



Anexo 6: Resultados entregados por el laboratorio MSV para los análisis de DBO y DQO de la muestra de agua residual de la fábrica de jeans filtrada en el carbón activado al 40%

INFORME DE RESULTADOS

Informe: MSV-IE-151-21
Orden de ingreso: OI-050-21
Cuenca, 30 de Enero del 2021

DATOS DEL CLIENTE

Cliente: JORGE VIDAL
Dirección: CALLE CUTUCHI VIA A PATAMARCA
Teléfono: 0983512792


DATOS DE LA MUESTRA


*NOMBRE DE LA MUESTRA: MUESTRA #3: AGUA FILTRADA DE CARBON ACTIVADO #2			
*MARCA COMERCIAL: N/A		*FABRICANTE: N/A	
PROCEDENCIA: FABRICA DE JEANS	TIPO DE MUESTRA: AGUA RESIDUAL	*TIPO DE ENVASE: PLASTICO	
*PRESENTACIONES: 1000 ml		*FORMA DE CONSERVACION: REFRIGERACIÓN	
CODIGO MUESTRA: OI05021	*LOTE: N/A	*FECHA ELAB: 2021-01-18	*FECHA CAD:
FECHA RECEPCION: 2021-01-20	FECHA ANALISIS: 2021-01-20 - 2021-01-30		FECHA ENTREGA: 2021-01-30
ENSAYO EN: LABORATORIO	MUESTREO: CLIENTE	NUMERO DE MUESTRAS: UNO (1)	

ENSAYOS ANÁLISIS FISICO-QUIMICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO
*DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO DBO5	APHA 5210 B - COLORIMETRIA	mg/L	2060.46
*DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO DQO	APHA 5220 C - COLORIMETRIA	mg/LO2	13090

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado.


 Dra. Sandra Guaraca
 GERENTE DE LABORATORIO



Los resultados expresados en este informe tienen validez solo para la muestra recibida en el laboratorio. Este informe no será reproducido sin la aprobación de MSV. ¹Opciones e interpretaciones están fuera del alcance del SAE. ²Información proporcionada por el cliente, MSV se responsabiliza exclusivamente de los análisis realizados. Regla de decisión: •Pasa: el valor medido está por debajo del límite de tolerancia, •Falla: el valor medido está por encima del límite de tolerancia; se tomará en cuenta la incertidumbre asociada al resultado, riesgo < 50% de probabilidad de aceptación falsa, se aplicará solo en los ensayos dentro del alcance de la acreditación del SAE., MSV está comprometido con la imparcialidad y Confidencialidad de la información y los resultados (este informe representa la aceptación de la política declarada de MSV en relación al tema)

FMC2104-04 Avenida de las Américas y Turuhuaico, Edificio Miraflores, 3er piso. Cuenca-Ecuador Página 1 de 1
 Teléfono: 074045127 Celular: 0995354172 msvlaboratorio@gmail.com