

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO



Facultad Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención de Riesgos

**“REMOCIÓN DEL DODECILBENCENO SULFANATO DE SODIO EN EL AGUA
CON CARBÓN DE ANTRACITA GRANULAR ACTIVADO”.**

Autores:

Bach. Gonzáles Peregrino, Josué Eduardo.

Bach. Escobar Olivares, Estefani Lisbeth

Asesor:

Dr. Arango Llantoy, Miguel Ángel

Cajamarca – Perú

Marzo – 2022

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO



Facultad Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención de Riesgos.

**“REMOCIÓN DEL DODECILBENCENO SULFANATO DE SODIO EN EL AGUA
CON CARBÓN DE ANTRACITA GRANULAR ACTIVADO”.**

Tesis presentada en cumplimiento parcial de los requerimientos para optar el título profesional en Ingeniero Ambiental y Prevención de Riesgos.

Bach. Gonzáles Peregrino, Josué Eduardo.

Bach. Escobar Olivares, Estefani Lisbeth

Asesor: Dr. Arango Llantoy, Miguel Ángel

Cajamarca – Perú

Marzo – 2022

GONZALES PEREGRINO, JOSUÉ EDUARDO.
ESCOBAR OLIVARES, ESTEFANI LISBETH.

Todos los derechos reservados

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERÍA

*ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN
DE RIESGOS*

APROBACIÓN DE TESIS PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL

REMOCIÓN DEL DODECILBENCENO SULFANATO DE SODIO EN EL AGUA CON
CARBÓN DE ANTRACITA GRANULAR ACTIVADO.

Presidente: _____

Secretario: _____

Vocal: _____

Asesor: _____

DEDICATORIA

“Dedicamos este trabajo a nuestros padres, ya que ellos han sido nuestra guía para poder llegar a este punto de nuestra carrera, que, con su ejemplo, dedicación, y palabras de aliento nunca bajaron los brazos para nosotros aun cuando en ciertos casos se complicaba, en el cual a sus infinitas virtudes y su gran corazón nos llevan a admirarlos cada día más.

Josué Eduardo Gonzales Peregrino.

A mis padres, ya que son mi pilar fundamental y apoyo en mi formación académica, me han dado todo lo que soy como persona, valores, principios, perseverancia y empeño, y todo ello de una manera desinteresada y lleno de amor. A mis hermanos (Thalia y Wagner), que creyeron en mí y estuvieron conmigo en este trayecto de vida, también dedicó esta tesis a Mi esposo Dany y a mi hijo Stephano con mucho amor y cariño.

Escobar Olivares, Estefani Lisbeth

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios, por otorgarnos salud, sabiduría, y por tener una familia que nos da su apoyo día a día. Agradecemos a la universidad UPAGU por pertenecer a ella, así como también a los diferentes docentes que nos brindaron sus conocimientos.

Josué Eduardo Gonzales Peregrino.

En primer lugar, agradecer a Dios por este primer peldaño en mi carrera profesional, agradezco a mis padres que son la luz de mis ojos que guían mi sendero, a toda mi familia que me brindó su apoyo incondicional y también agradezco a mi esposo y a mi hijito que son mi fortaleza y serán el motor y motivo para seguir cumpliendo metas y retos.

Escobar Olivares, Estefani Lisbeth

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo evaluar la efectividad de remoción de dodecilbenceno sulfonato de sodio del agua con carbón de antracita granular activado, pues se busca nuevos medios de adsorción para el tratamiento de aguas residuales de origen doméstico, específicamente de lavandería. El adsorbente más utilizado en los tratamientos es el carbón activado de origen vegetal a diferencia del carbón activado de origen mineral (antracita); de ahí que, se ha investigado la efectividad del adsorbente con respecto a la concentración del SAAM.

Por ello se trabajó con una solución sintética de detergentes que contiene en su composición dodecilbenceno sulfonato de sodio (SDBS) a una concentración de 30 mg/L. Adicionalmente, el carbón que se utilizó es antracita en forma granular, es decir, se ha molido hasta tener partículas pequeñas; luego se activó físicamente (porosidad) sometiendo el carbón molido a una temperatura de 950 °C por un periodo de 60 minutos. Seguidamente, se añade a un recipiente de 2 L la muestra sintética; y 10 g de carbón antracita activado en dos diferentes tiempos 0, 50 y 150 min, y una revolución de 350 RPM. Ambos procesos se han repetido una vez.

Según los datos obtenidos se demostró que el carbón granular activado de la antracita tiene una baja efectividad con respecto a la remoción del SDBS de los detergentes, pues, el carbón remueve el 50 % del SAAM a un tiempo de 50 minutos y no cumple con los ECAs categoría B, puesto que, están sobre 0.5 mg/L. Finalmente, el modelo cinético que mayor ajuste tiene es el pseudo segundo orden (R^2 : 99.99%). En efecto, la hipótesis queda refutada.

Palabras claves: adsorción, dodecilbenceno sulfonato de sodio, carbón activado, antracita.

ABSTRACT

The present research aims to evaluate the effectiveness of removal of sodium dodecylbenzene sulphonate from water with activated granular anthracite carbon, as new adsorption media are being sought for the treatment of domestic wastewater, specifically laundry. The adsorbent most used in treatments is activated carbon of vegetable origin, as opposed to activated carbon of mineral origin (anthracite); hence, the effectiveness of the adsorbent with respect to SAAM concentration has been investigated.

For this reason, we worked with a synthetic detergent solution that contains sodium dodecylbenzene sulfonate (SDBS) at a concentration of 30 mg / L in its composition. Additionally, the coal that was used is anthracite in granular form, that is, it has been ground into small particles; then it was physically activated (porosity) by subjecting the ground carbon to a temperature of 950 ° C for a period of 60 minutes. Next, the synthetic sample is added to a 2 L container; and 10 g of activated anthracite carbon in two different times 0, 50 and 150 min, and a revolution of 350 RPM. Both processes have been repeated once.

According to the data obtained, it was demonstrated that the activated granular carbon of anthracite has a low effectiveness with respect to the removal of SDBS from detergents, since the carbon removes 50% of the SAAM at a time of 50 minutes and does not comply with the Category B RCTs, since they are above 0.5 mg / L. Finally, the kinetic model with the best fit is the pseudo-second order (R2: 99.99%). In effect, the hypothesis is disproved.

Keywords: adsorption, sodium dodecylbenzene sulfonate, activated carbon, anthracite.

ÍNDICE

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTO	II
RESUMEN	III
ABSTRACT	IV
ÍNDICE	V
LISTA DE TABLAS	VII
LISTA DE FIGURAS	VIII
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	9
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
1.1. <i>Descripción de la realidad problemática</i>	9
1.2. <i>Definición del problema</i>	10
1.3. <i>Objetivos</i>	11
1.3.1. Objetivo general	11
1.3.2. Objetivos específicos	11
1.4. <i>Justificación e importancia</i>	12
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	13
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN	13
2.1. <i>Antecedentes teóricos</i>	13
2.2. <i>Marco histórico</i>	18
2.3. <i>Marco teórico</i>	19
2.3.1. Sorción	19
2.3.2. Diferencias entre adsorción y absorción	19
2.3.3. Capacidad de adsorción de un carbón.....	20
2.3.4. Isotermas de adsorción.	21
2.3.5. Detergentes.....	23
2.3.6. Determinación de análisis del dodecibenceno sulfonato de sodio en agua.....	32
2.3.7. Adsorción del carbón de antracita mineral en los detergentes	33
2.3.8. Factores que afectan a la capacidad de adsorción	34
2.4. <i>Marco conceptual</i>	35
2.5. <i>Hipótesis</i>	37
2.5.1. Operacionalización de las variables	37
CAPÍTULO III: MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	38
3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	38
3.1. <i>Tipo de Investigación</i>	38
3.2. <i>Diseño de Investigación</i>	38
3.2.1. Experimental	38

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

3.2.2. Longitudinal	39
3.2.3. Analítico	39
3.3. <i>Área de Investigación</i>	39
3.4. <i>Población</i>	39
3.5. <i>Muestra</i>	39
3.6. <i>Técnicas e Instrumentos de recolección de datos</i>	39
3.6.1. Activación del carbón	39
3.6.2. Solución sintética.....	40
3.6.3. Análisis del detergente.....	40
3.6.4. Test de jarras.	40
3.6.5. Equipos de laboratorio.....	41
3.6.6. Reactivos e insumos.	42
3.7. <i>Técnicas para el procesamiento y análisis de datos</i>	42
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	43
4. PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	43
4.1. <i>Resultados</i>	43
4.1.1. Correlación de Pearson.....	44
4.1.2. ANOVA de un factor para el tiempo de agitación y la concentración del SAAM. ...	45
4.1.3. Cinética.....	48
4.1.4. Efectividad del carbón antracita.....	50
4.1.5. Evaluación legal del SAAM.	51
4.2. <i>Discusión</i>	52
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
5.1. <i>Conclusiones</i>	54
5.2. <i>Recomendaciones</i>	55
REFERENCIAS	56
LISTA DE ABREVIATURAS.....	61
GLOSARIO	62
ANEXOS.....	65

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables	37
Tabla 2 Resultados de la experimentación.....	43
Tabla 3 Correlación del tiempo vs el SAAM (mg MBAS/L)	44
Tabla 4 ANOVA del tiempo de agitación y la concentración del SAAM.....	45
Tabla 5 Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%	45
Tabla 6 Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%	45
Tabla 7 Resultados cinéticos del pseudo primer y segundo orden.	48
Tabla 8 Remoción de dodecibenceno sulfonato de sodio en diferentes tiempos de agitación con carbón antracita.	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representación del estudio de investigación.	35
Figura 2: Efecto de la concentración del SAAM en los diferentes tiempos.	46
Figura 3: Comparación de medias del SAAM según Tukey.	46
Figura 4: Comparación de medias del SAAM según Fisher.	47
Figura 5: Ajuste cinético de pseudo primer y segundo orden.	49
Figura 6: Porcentaje de remoción en diferentes tiempos de agitación.	50
Figura 7: Evaluación del SAAM vs la normatividad (ECAs)	51
Figura 8: Trituración del carbón antracita.	65
Figura 9: Tesistas triturando y moliendo el carbón antracita.	65
Figura 10: Pesaje del carbón antracita para su calcinación.	66
Figura 11: Calcinación del carbón antracita a una temperatura de 950 °C.	66
Figura 12: Pesaje del carbón antracita activado y el detergente.	67
Figura 13: Preparación de la solución sintética.	67
Figura 14: Preparación de la solución sintética con la tesista.	68
Figura 15: Preparación de la solución sintética con el tesista.	68
Figura 16: Agitación de la disolución con el carbón antracita activado.	69
Figura 17: Agitación a 30 RPM.	69

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1. Planteamiento del problema

1.1. Descripción de la realidad problemática

En los últimos años, el uso de los detergentes ha ido evolucionando, ya que, los pobladores prefieren “utilizar detergentes en polvo en lugar del jabón tradicional” (Jurado Falconí, Sáenz Yaya, Velásquez, Azáldegui Moscol, & Benavides Cavero, 2018, p. 1), lo que ha hecho que existan detergentes que contengan compuestos químicos complejos y en ocasiones difíciles de tratarlos adecuadamente.

Los detergentes son utilizados en la industria para el lavado de los diferentes procesos, desde la metalurgia hasta el transporte, pues se usa para el lavado de distintos materiales como automóviles y herramientas de trabajo, o en el caso de la industria de textil que utiliza grandes cantidades de surfactantes de limpieza para la humectación de los tejidos y también para el lavado “blanqueo” de las telas; así también Maldonado Páez, (2008), hace mención que en la “Industria agrícola: Se los utiliza para proporcionar fluidez y capacidad de humectación a productos químicos como: insecticidas, herbicidas y germicidas” (p. 9); en efecto, las personas e incluso algunas industrias desechan aguas residuales con altas concentraciones de detergentes de limpieza o SAAM, y la mayoría sin ningún tratamiento hacia los ríos.

El compuesto más usada en la fabricación de los detergente es el dodecibenceno sulfonato de sodio; dichos detergentes ayudan en las actividades diarias, sin embargo los residuos generados por estos productos son muy perjudiciales para el ambiente, puesto que, impide el ingreso de oxígeno y el dióxido de carbono al agua; también causa la

eutrofización - es decir el crecimiento de algas y plantas – además, la toxicidad en la vida acuática, matando o afectando a las especies que viven en este ecosistema. Otro impacto negativo es el efecto en la agricultura ya que si se hace el riego de su cultivo con aguas que contienen surfactantes se altera la permeabilidad y en consecuencia permite la penetración de microorganismos en las aguas del subsuelo.

Esto ha llevado a proponer diferentes procesos de tratamientos para las aguas residuales con detergentes, pues, las altas concentraciones del dodecibenceno sulfonato de sodio altera la vida acuática; “las tecnologías más propuestas son: electrocoagulación, tratamiento biológico aerobio, tratamiento con ozono, tratamiento por irradiación y tratamiento con carbón activo de origen vegetal o mineral” (Chávez Sumarriva, 2018).

Según Małgorzata y Nowicki (2020), describe que “los carbonos activados de bajo costo pueden usarse para la eliminación simultánea de polímeros y tensoactivos de bajo peso molecular no deseados de las aguas residuales” (p. 1); es decir, el carbón activado es utilizado como un adsorbente el cual sorbe los tensoactivos y/o contaminantes producidos por los detergentes. De ahí que, esta investigación tiene el propósito de evaluar la efectividad del carbón activado, pero de origen mineral (antracita), ya que, es un material de bajo costo, abundante y con pocos estudios que es necesario explorar, por ello nos preguntamos:

1.2. Definición del problema

¿Cuál es la efectividad del carbón de antracita granular activado en la remoción de dodecibenceno sulfonato de sodio del agua?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la efectividad del carbón de antracita granular activado en la remoción del dodecibenceno sulfonato de sodio del agua.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la relación máxima de remoción de SDBS con el carbón de antracita granular activado.
- Determinar el modelo cinético de adsorción que se ajusta en la adsorción entre el carbón de antracita granular activado y el dodecibenceno sulfonato de sodio del agua.
- Determinar el porcentaje más alto de remoción del dodecibenceno sulfonato de sodio que el carbón de antracita granular activado puede ocasionar.
- Determinar el tiempo mínimo requerido para la remoción del SDBS con el carbón de antracita granular para cumplir con los ECA categoría B.

1.4. Justificación e importancia

En la actualidad podemos notar que el consumo de detergentes sintéticos ha ido en aumento ya que son utilizados en todo momento del día por su gran eficiencia como artículos de limpieza, su aplicación se puede dar en casa e industrias de alto rango, sin embargo, muchas veces se pasa por alto el efecto que podría ocasionar si se utiliza en altas concentraciones, pues, la repercusiones se muestran en el ambiental, especialmente, en la vida acuática dado que el efecto más conocido es la eutrofización y el aumento de “los niveles de cloro y de compuestos organoclorados; algunos posiblemente de carácter tóxico y carcinógeno” (Jurado Falconí, Sáenz Yaya, Velásquez, Azáldegui Moscol, & Benavides Cavero, 2018, p. 4).

Por tal razón, se procede a demostrar la efectividad de un adsorbente de origen mineral para remover o adsorber los compuestos orgánicos como el dodecilbenceno sulfonato de sodio del agua residual, producido por las actividades domésticas e industriales. El estudio busca demostrar que:

- Los minerales pueden adsorber compuestos orgánicos (dodecilbenceno sulfonato de sodio) presentes en el agua residual con detergentes.
- Utilizar la antracita como adsorbente el cual se encuentra en el ambiente en grandes cantidades.
- Ofrecer una manera económica de tratar las aguas residuales con detergentes de algunas industrias que lo requiera.

Por lo tanto, la remoción del dodecilbenceno sulfonato de sodio con carbón antracita es un benefactor para el ambiental y la salud acuática y humana.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2. Fundamentos teóricos de la investigación

2.1. Antecedentes teóricos

En el artículo de Carriazo, Saavedra, y Molina, (2010), afirmó que elaboró “carbón activado usando cascaras de coco, haciendo su activación mediante el método químico, para la adsorción de cuatro soluciones de refresco de distintos sabores (uva, fresa, naranja y limón) teniendo 20 mL de la solución sintética de concentración 5 g/L que agrego 3 g de carbón activado a cada solución, agitándose por 30 minutos, teniendo como resultados satisfactorios el grado de adsorción por parte del carbón activado”. “También se elaboró una fase adicional para llegar la ecuación Langmuir. Se preparó una escala colorimétrica a partir de diferentes concentraciones solo utilizando una solución de uva, esta se preparó en columnas de vidrio de 15 cm de altura y 6 mm de diámetro cada tubo se empaca con carbón activado variando la altura del carbón, los resultados obtenidos determinaron que a mayor altura de carbón activado mayor es el grado de adsorción del carbón activado” (p. 225).

Por otro lado, Carrillo y Sánchez Muñoz (2013), en su investigación “detallan elaboración de tres tipos de filtros con carbón activado a base de endocarpios de coco, utilizando un total de diez muestras, los filtros serán utilizados a 25, 50 y 100 gramos de carbón activado” (p.18). “La muestra de agua potable se sometió a filtraciones, utilizando el filtro uno de 25 gramos de carbón activo para las muestras 1 a 3, en el filtro dos de 50 gramos de carbón activado para las muestras de 4 a 6 y las muestras 7 a la 10 utilizando 100 gramos de carbón activado, los resultados de la retención de dureza total fue de 85% a 89% para los tres filtros elaborados y de cloro residual total se obtuvieron

porcentaje de retención del 54% al 100% observándose que al aumentar la cantidad del carbón activado en el filtro aumenta la capacidad de adsorción de cloro residual libre” (p. 18).

Los investigadores Penedo Medina, Manals Cutiño, Vendrell, y Salas (2015), presentaron una investigación que tenía por objetivo ver “la capacidad y el porcentaje de adsorción de níquel y cobalto utilizando carbón activado a base del cascarón de coco, considerando como efectos primordiales la concentración inicial de la solución, pH y dosis de adsorbente” (p. 110). “La capacidad de adsorción del cobalto alcanzo valores entre 0.70 y 9.94 mg/g; para níquel alcanzo valores 2.62 y 98.21 mg/g. La concentración inicial de la solución y dosis de adsorbente tuvieron influencia significativa en el porcentaje de adsorción. La capacidad de adsorción se favoreció en el nivel superior de concentración inicial y nivel inferior de la dosis adsorbente, a pH 5; siendo el porcentaje de adsorción elevado (99.6% de cobalto y 98.21 % de níquel) se obtuvieron las isotermas de adsorción a pH 1, 2, 3 y 5; las isotermas de adsorción de cobalto tuvieron un buen ajuste al modelo de Langmuir, siendo la capacidad máxima de adsorción entre 33.33 y 71.43 mg/g; la adsorción resulto muy favorable con alta afinidad adsorbato – adsorbente. Las isotermas de adsorción de níquel tuvieron mejor ajuste al modelo de Freundlich, observándose una adsorción favorable, con capacidad de adsorción máxima de 15.86 y 17.60 mg/g a pH 3 y 5” (p. 110).

Ruiz Valles y Orbegoso Alvarez (2019), “la aplicación de carbón activado para la remoción DBO₅ en las aguas residuales, a partir del endocarpo de coco y semillas de aguaje”, los investigadores elaboraron los carbones activados a “diferentes temperaturas (500, 600 y 700 grados celsius) para la carbonización en un tiempo de

30 minutos, se produjo la activación del carbón por medio químico como agente activante se utilizó ácido fosfórico (H_3PO_4) a un 85% de concentración”. “Los resultados, se obtuvo que la eficiencia de la remoción del endocarpo de coco a temperatura de $500\text{ }^\circ\text{C}$ es de 97.69%, de $600\text{ }^\circ\text{C}$ es de 100% y de $700\text{ }^\circ\text{C}$ es de 97.69%. Mientras que la eficiencia de la remoción del carbón activado a base de las semillas del aguaje fue de 100.00% a temperatura de $500\text{ }^\circ\text{C}$, 90.77% a temperatura de $600\text{ }^\circ\text{C}$ y de 95.38% a temperatura de $700\text{ }^\circ\text{C}$, demostraron que la eficiencia de la remoción del carbón activado a base de endocarpio de coco es a temperatura de carbonización $600\text{ }^\circ\text{C}$, del mismo modo con una temperatura de carbonización de $500\text{ }^\circ\text{C}$ para un carbón activado a partir de la semilla de aguaje” (p. 12).

Siguiendo con la investigación, Ramírez Franco, Martínez Álva y Fernández Ospina (2013), realizo el estudio de sobre “el carbón activado a base de residuos de pino “pátula” para medir su capacidad de adsorción frente a metales pesados como el Cu, Mn, Fe y Zn”, así también como residuos orgánicos presentes en aguas residuales industriales, para la investigación se utilizó “isotermas de adsorción de Freundlich, se prepararon las soluciones con efluentes residuales industriales, el carbón activado de pino, permite una remoción cercana de 100% para hierro y cobre en concentraciones de carbón activado de 1.0 g/100mL, mientras que para el zinc manganeso y COT, dando con resultado una remoción máxima de 82%, 56% y 50 %, el tiempo establecido para la remoción fue de 4 horas pero buena parte de la remoción máxima se encuentra a los 120 minutos” (p. 42).

Manosalva Vásquez (2016), en su investigación describe los siguiente: ”Se utilizó tres tipos de carbón activado (tusa de maíz, madera de pino y cascaras de coco) con

cuatro concentraciones distintas (0.01gr/100ml, 0.02g/100ml, 0.03gr/100ml y 0.04gr/100ml) y temperatura distintas (25°C, 30°C, 35°C y 40°C) por cada tipo de carbón; posteriormente se le medirá la turbidez para ver si ha disminuido, teniendo como valor inicial de turbidez 11.27 NTU, como resultado se obtuvo los siguientes rangos de medidas de turbidez: 6.11 NTU - 0.93 NTU de disminución de la turbidez para el carbón activado de tusa de maíz, 3.13 NTU - 0.92 NTU de disminución de la turbidez para el carbón activado de madera de pino y 3.04 NTU - 0.57 NTU de disminución de turbidez para el carbón activado de cascara de coco” (p. 6).

Domingo (2018), elaboró un “Diseño de una instalación para el tratamiento terciario de un agua residual urbana mediante carbón activado y ultrafiltración (caudal de diseño= 1500 m³/d)”, teniendo como conclusiones:

“Tras los ensayos de adsorción, se ha observado la gran eficacia que presenta el carbón activado granular macro poroso EPIBON YM para la eliminación de proteína disueltas en agua (se obtiene un valor de mg de proteínas eliminadas por gramo de carbón activado de 0.31 mg.gr)” (p. 71).

“Para las concentraciones de EPIBON YM y BSA ensayadas no alcanza no se alcanza el equilibrio de adsorción. Es decir, incluso tras 240 minutos de ensayo no se alcanza la saturación del mismo. Esto indica elevada capacidad de adsorción que tiene el carbón activo” (p. 71).

“La adsorción es muy rápida en los primeros minutos, siendo más rápida cuando es menor la concentración inicial de la proteína y mayores la del carbón. de esta forma, a los 20 minutos ya se había eliminado el 13% de la proteína inicialmente presente en el

caso más desfavorables (máxima concentración de BSA y mínima de EPIBON) y del 85% en el caso más favorable (mínima concentración de BSA y máxima concentración de EPIBON)” (p. 71).

“Se ha observado que la adsorción de las proteínas es este carbón activado, se ajustan al modelo de adsorción de Langmuir, alcanzando un límite de saturación” (p. 71)

“Tras el estudio de la cinética del proceso de adsorción, se comprobó que el proceso se ajusta bastante bien a un modelo de pseudo-segundo orden (modelo de Ho y McKay), el cuál justifica la elevada velocidad de adsorción observada experimentalmente” (p. 71).

MR El-Aassar y F.M. Mohamed (2021) modificaron “la porosidad del carbón antracita por haz de microondas para adsorber manganeso (VII) a partir de una solución acuosa”, ellos concluyeron que el carbón modificado, “se estima como una mejor técnica alternativa para la eliminación de Mn (VII) debido a una baja cotización y alta eficacia en esta implementación” (p. 110).

Like Xu, Campos, Li, Karu, y Ciric (2021), eliminaron los antibióticos presentes en el agua con una serie de adsorbentes como: “Arena, carbón activado granular (GAC), sándwich GAC (una capa de GAC cargada en el medio del lecho de arena) y biofiltros duales de antracita-arena” (p. 130). Y concluyeron que los antibióticos diana se eliminaron sustancialmente (> 90%) mediante biofiltros asociados a GAC, y los biofiltros de arena y antracita-arena mostraron una eliminación de antibióticos limitada (<20%).

2.2. Marco histórico

“En la antigüedad (1500 a.C.) se utilizaba carbón activado para aplicaciones medicinales. Luego, Scheele descubrió la adsorción de carbón activado en 1773. La producción histórica y el uso de carbón activado” (Bubanale y Shivashankar, 2017, p. 495) se explica a continuación: “Scheele et al [1773] reconocieron el poder de adsorción del carbón vegetal mediante el uso de la adsorción de gases en la superficie del carbón.” (p. 495). “Lowitz et al [1785] estudiaron el uso de carbón vegetal en diversas decoloraciones de soluciones acuosas. Esta es la primera aplicación de carbón vegetal en fase líquida” (p. 495).

Tal como enseña Bubanale y Shivashankar, el carbón activado era utilizado principalmente en gases y no es hasta 1783 por Lowitz que se utilizó en las sustancias líquidas, adicionalmente, podemos deducir que el carbón activado era de origen vegetal, es decir, de la quema de los troncos y/o árboles. Este tipo de tratamiento ha ido evolucionando de tal manera que en la actualidad el carbón activado se lo puede reactivar dándole un tratamiento adecuado con sustancias ácidos o básicas.

Por otro lado, el carbón activado de origen mineral o de antracita ha tenido un uso en filtraciones “comparados con la arena y carbón activado” (López Guerrero & Sánchez Ortiz , 2015, p. 10), no obstante, a la fecha se ha empleado haciendo una reactivación del material de antracita con compuestos químicos (KOH) para mejorar su rendimiento y así remover mayor contaminates (Lozano-Castelló , Lillo-Ródenas , Cazorla-Amorós , & Linares-Solano, 2001, p. 741). En consecuencia, el carbón activado de antracita aún se sigue investigando.

2.3. Marco teórico

2.3.1. Sorción

Vega Quispe y Regalado Guerra (2018), definen como sorción “al proceso de interacción entre las faces líquidas y sólidas, compuestas por dos mecanismos: Uno, adsorción es donde se encapsula los átomos, iones o moléculas sobre un sólido. Esta teoría fue planteada por Langmuir, señala que el adsorbente cuenta con una superficie de cantidad fija de zonas de adsorción, donde cada una adsorbe solo una molécula, mediante enlace frágiles de Dipolares y Van der Waals” (p. 19). “Las partículas de adsorbido no se limitan a zonas específicas y al liberarse cubren la superficie total del adsorbente, producida por la atracción de dipolos. Dos, absorción el solvente absorbe la sustancia hacia su interior, ocasionando cambios dimensionales, pigmentación, entrada de microorganismos, y favoreciendo la liberación de compuestos muy solubles, de esta manera se afectan las condiciones de compatibilidad del material con el medio. La sorción requiere del suceso simultáneo de la adsorción y absorción. La cuantificación de la sorción de un material incluye el monitoreo de la variación de masa durante el tiempo de inmersión en un líquido” (p. 19).

2.3.2. Diferencias entre adsorción y absorción

“Cuando una sustancia se adhiere a una superficie se habla de adsorción, en este caso, la sustancia se adhiere a la superficie interna del carbón activo. Cuando la sustancia es absorbida es un medio diferente entonces se conoce como absorción. Cuando un gas es atraído dentro de una solución se habla de absorción”. (EPS, 2017).

2.3.3. Capacidad de adsorción de un carbón

La Escuela Politécnica Superior, 2017, indica que “la capacidad de adsorción de un determinado carbón se puede estimar a partir de los datos de la isoterma. Si se representan los datos de la isoterma, se obtiene una gráfica como la de la siguiente figura. A partir de esta gráfica la capacidad de adsorción del carbón se puede determinar prolongando la isoterma hasta la intersección con la línea vertical trazada por el punto correspondiente a la concentración inicial C_0 . El valor de $(x/m) C_0$ correspondiente a ese punto se puede entonces leer en el eje de ordenada en el gráfico. Este valor de $C_0 (x/m)$ representa la cantidad de materia adsorbida por unidad de peso de carbón activado una vez alcanzado el punto de equilibrio con la concentración inicial de constituyente. Esta condición se debe cumplir en la parte superior de un lecho de carbón correspondiente a un tratamiento en columna de contacto, por lo que representa la capacidad de adsorción última del carbón para un constituyente determinado” (p. 37). Finalmente, la capacidad de adsorción se calcula con la siguiente la expresión:

$$q = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{m} \quad (1)$$

Donde:

q (mg/g) = representa el valor de la capacidad de adsorción

C_0 (mg/L) = es la concentración inicial de la solución

C_e (mg/L) = es la concentración de equilibrio

V (L) = es el volumen de solución utilizado

m (g) = es la masa del adsorbente que se puso en contacto

2.3.4. Isotermas de adsorción.

“Una isoterma de adsorción es la relación entre la cantidad de sustancia adsorbida por un adsorbente y la presión o concentración de equilibrio” (Pilamonta Mañay, 2013, p. 18).

Las fórmulas más empleadas para analizar los datos experimentales son:

2.3.4.1. Isoterma de Freundlich.

En la investigación de Pilamonta Mañay (2013), describe “la isoterma de Freundlich es una de las fórmulas más usuales y empleadas para la síntesis de datos de una isoterma especialmente en datos obtenidos en la adsorción del carbón activado empleado en tratamiento de aguas residuales y potabilizadas de agua” (p. 20)

La isoterma de Freundlich es la siguiente:

$$\frac{X}{m} = Kf C_e^{\frac{1}{n}} \quad (2)$$

Donde:

X/m = es la cantidad adsorbida por la unidad de adsorbente (carbón activado).

C_e = es la concentración de equilibrio del adsorbido en solución después de la adsorción.

Kf, n = son constantes que se determinan al graficar la relación X/m y la concentración de equilibrio C_e .

Aplicando logaritmo de la siguiente manera:

$$\log \frac{X}{m} = \log Kf + \frac{1}{n} \log Ce \quad (3)$$

2.3.4.2. Isoterma de Langmuir

Siguiendo en la investigación de Pilamonta Mañay (2013) también menciona que “la Isoterma de Langmuir se define de la siguiente manera”:

$$\frac{X}{m} = \frac{ab Ce}{(1 + b.Ce)} \quad (4)$$

X/m = es la cantidad adsorbida por la unidad adsorbente (carbón activado).

Ce = es la concentración de equilibrio del adsorbato en solución después de la adsorción.

a, b = son constantes empíricas.

“La isoterma de adsorción de Langmuir se desarrolló adoptando varias hipótesis”:

- “Existe un número fijo de puntos accesible en la superficie del adsorbente, teniendo toda una misma energía” (p. 21).
- “No existe una interacción entre moléculas que y han sido adsorbidas” (p. 21).
- “El grado de adsorción es inferior a una capa mono molecular completa en superficie” (p. 21).
- “Siempre la adsorción será un proceso reversible” (p. 21).

“Se puede hablar de un estado de equilibrio cuando la velocidad en que las moléculas son retenidas en el adsorbente es decir velocidad de adsorción es la misma que la velocidad de desorción” (Pilamonta Mañay, 2013, p. 22).

“Las constantes de la ecuación de Langmuir se calculan al graficar X/m y la concentración de equilibrio C_e aplicando” (p. 22) la siguiente ecuación:

$$\frac{C_e}{\frac{X}{m}} = \frac{1}{ab} + \frac{1}{aC_e} \quad (5)$$

2.3.5. Cinética de adsorción

Los estudios cinéticos se realizan para entender “la dinámica de tiempo de estos procesos de adsorción, ya que ellos involucran el mecanismo de control, las reacciones químicas, transferencia de masa y control de difusión. El tiempo de la residencia del adsorbato juega un papel superior en la proporción de la adsorción debido a su efecto en la interfaz sólido-líquido. En la literatura se reportan varios modelos que describen el comportamiento cinético de procesos de adsorción, tales como pseudo primer orden, pseudo segundo orden, pseudo-primer orden modificado, pseudo-segundo orden modificado, Difusión Intrapartícula y Elovich, que se describen debajo” (Campos Ventura, 2016, p. 16)

2.3.5.1. Pseudo primer orden

$$\ln\left(1 - \frac{q_t}{q_e}\right) = -kt \quad (6)$$

Esta ecuación, “llamada de pseudo primer orden o ecuación de Lagergren, es probablemente la primera conocida describiendo el rango de sorción en los sistemas de fase líquida. Además, describe fenómenos de fisorción y ha sido hasta ahora una de las ecuaciones cinéticas más ampliamente utilizadas” (Campos Ventura, 2016, p. 17).

2.3.5.2. Pseudo segundo orden

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k \cdot q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (7)$$

“Las cinéticas de pseudo segundo orden son normalmente asociadas a cuando la proporción del proceso de adsorción/desorción (visto como un tipo de reacción química) controla las cinéticas de sorción globales. De hecho, la expresión matemática que corresponde a este modelo fue propuesta por Blanchard para describir las cinéticas de remoción de metales pesados por zeolitas naturales” (Campos Ventura, 2016, p. 17).

2.3.6. Detergentes

“Los detergentes son productos que se usan para la limpieza y están formados básicamente por un agente tensoactivo que actúa modificando la tensión superficial disminuyendo la fuerza de adhesión de las partículas (suciedad) a una superficie; por fosfatos que tiene un efecto ablandador del agua, floculan y emulsionan a las partículas de mugre” (David Casallas, 2008).

“El principal agente tensoactivo que se usa en los detergentes es un derivado del aquilbencensulfonato como, por ejemplo, el dodecibenceno sulfonato de sodio (C₁₂H₂₅- C₆H₄-SO₃Na) el cual puede hacer al detergente duro (no biodegradable,

contaminante persistente) o blando (contaminante biodegradable) dependiendo al tipo de ramificaciones que tenga” (David Casallas, 2008).

2.3.6.1. Estructura de los detergentes

“Los detergentes son compuestos orgánicos sintéticos, que disminuye la tensión superficial de los líquidos en que se hallan disueltos. El cambio en la tensión superficial se debe a la presencia de una sustancia activa llamada surfactante” (Maldonado Páez, 2008).

“Los surfactantes están formados por moléculas relativamente grandes; estas sustancias combinan en una sola molécula un grupo fuertemente hidrofóbico con uno fuertemente hidrofílico. El grupo hidrofóbico es un radical hidrocarburo que contiene de 10 a 20 átomos de carbono en una cadena recta o ligeramente ramificada. El grupo hidrofílico corresponde a la parte polar de la molécula, que puede ser: iónico o no iónico. La parte polar es soluble en agua; mientras que la cadena hidrocarbonada es soluble en aceites o grasas” (Romero, 2002).

“Las propiedades y el comportamiento de los surfactantes se deben al carácter dual de sus moléculas. El antagonismo entre las dos secciones de las moléculas y el equilibrio entre ellas es lo que le da a la sustancia sus propiedades activas de superficie”. “El grupo hidrofílico tiene un efecto solubilizante y tiende a llevar a la molécula a disolución completa; mientras que el grupo hidrofóbico es insoluble y tiende a contrarrestar el efecto del grupo hidrofílico”. “Si se logra el equilibrio adecuado entre los dos grupos

se ve que la molécula del surfactante no se disuelve entre los dos grupos, se ve que la molécula del surfactante no se disuelve por completo. La parte polar permanece en el agua; mientras que la cadena hidrocarbonada se proyecta fuera de ella. La concentración de moléculas en la superficie del líquido probaba que su tensión superficial disminuya” (Kirk, 1997).

“Las moléculas de los surfactantes están asociados en solución, a esto se llama micelas. El grupo hidrofóbico de la molécula se sitúa en el interior de la micela; mientras que el grupo hidrofílico se coloca en el exterior e interacciona con las moléculas de agua” (Fernández, 2004).

“Los detergentes tienen acción solubilizante, humectante, dispersante, emulsionante y de formación de espuma; todas ellas provocadas por el descenso en la tensión superficial del líquido en el que se encuentran. Gracias a la baja tensión superficial, los detergentes penetran en todas las concavidades y se combinan con los residuos, para luego atraerlos hacia la superficie y mantenerlos en suspensión” (Kirk, 1997)

2.3.6.2. Principales componentes de los detergentes

Las sustancias que se usan en las fórmulas de los detergentes son:

- “Surfactantes sustancias sintéticas de superficie activa, que proveen a los detergentes la capacidad de limpieza” (George, 1998)
- “Agentes suavizadores. - estas sustancias reducen la dureza del agua, suministran las condiciones óptimas para la remoción de

la suciedad, facilitan la solubilización de todos los componentes del detergente, promueven la dispersión de la suciedad y evitan que se vuelva a depositar en el tejido. Entre los principales agentes suavizadores tenemos: tripolifosfato de sodio, ácido etilendiaminotetracético (EDTA), carboximetilcelulosa, carbonatos, silicatos y citratos” (Kirk, 1997).

- “Agentes eliminadores de manchas: se encargan de degradar las grasas para que puedan ser removidas de los tejidos. Entre lo más importante tenemos: blanqueadores y enzimas” (Kirk, 1997)
- “Abrillantadores ópticos: sustancias fluorescentes que se encargan de que la ropa se vea más blanca o que los colores queden más vivos” (Kirk, 1997)
- “Reguladores de espuma: son necesarios para que los surfactantes realicen una limpieza eficiente. Entre los más importantes tenemos: jabones de ácidos grasos saturados y amidas de ácidos grasos superiores” (George, 1998).
- “Inhibidores de la corrosión: sustancias que se añaden para proteger los objetos que se lavan. El más utilizado es el silicato de sodio” (George, 1998).
- “Perfumes: dan olor a la ropa. (Fair, Geyer, y Okun, 1989).
- “Diluyente: no tienen ninguna función limpiadora, se los usa para aumentar el volumen del detergente. El más utilizado es el sulfato de sodio” (Fair, Geyer, y Okun, 1989).

2.3.6.3. Clasificación de los detergentes

2.3.6.3.1. Detergentes Aniónicos

“Son aquellos que las soluciones acuosas se disocian en un anión anfifilo y un catión, el cual es generalmente un metal alcalino o un amonio cuaternario. A este tipo pertenecen los surfactantes de mayor producción: detergentes como alquilbenceno sulfonato, jabones o sales de ácidos carboxílicos grasos, espumas como el lauril éster sulfato, etc” (Salager y Fernandez, 2004).

El surfactante mas comun que podemos encontrar en la industria es: “El dodecibenceno sulfonato de sodio (SDBS siglas en ingles) corresponden a una de las prestaciones comerciales de los sulfonatos de alquilbenceno lineales (LAS o LABS, siglas en inglés) y es un componente de los detergentes de lavandería y productos de limpieza, muy utilizados por sus propiedades como surfactantes y por ser biodegradable tanto aerobio como anaerobiamente. En estos compuestos el anión esta formado por tres partes; un anillo bencénico central, disustituido en los carbonos 1 y 4. Uno de los sustituyentes es un grupo sulfónico ionizado (SO_3^-). El otro sustituyente es una cadena alquímica lineal, de 10 a 13 átomos de carbono, que puede estar unida al benceno en distintas posiciones” (Salager y Fernandez, 2004).

“El dodecibenceno sulfonato de sodio es una mezcla de 4 homólogos diferentes (con cadenas lineales de 10, 11, 12, y 13

átomos de carbón) y hasta un total de 20 isómeros (que varían según en cual átomo de carbono está unido el benceno y a la cadena lineal), de los cuales 18 son de mezcla racémica” (Salager y Fernandez, 2004).

2.3.6.3.2. Surfactantes no iónicos

“Por orden de importancia industrial vienen justo después de los aniónicos, y hoy en día su producción está aumentando, en soluciones acuosas no forman iones, ya que su parte hidrofílica está formado por grupo polares no ionizados como: alcohol, tiol, éter o ésteres. Una gran parte de estos surfactantes son alcoholes o fenoles etoxilados (lavaplatos, champúes). Ciertos derivados del sorbitol producen surfactantes no tóxicos para uso farmacéuticos o alimenticios” (Salager y Fernandez, 2004).

2.3.6.3.3. Surfactantes catiónicos.

“Son aquellos que se disocian en un catión anfífilo y un anión generalmente de tipo halogenado. Estos surfactantes se usan solamente en aplicaciones especialmente donde la carga positiva del anfífilo produce ventajas como en enjuagues o emulsiones asfálticas. En la mayoría de estos casos corresponden a un grupo amonio cuaternario” (Salager y Fernandez, 2004).

2.3.6.3.4. Otros tipos de surfactantes.

“La combinación de la misma molécula de un grupo con tendencia aniónicos y de un grupo con tendencia catiónica produce un surfactante anfotérico, como por ejemplo los aminoácidos, las betainas o los fosfolípidos. Según el pH del medio una de las dos disociaciones prevalece. Este tipo de surfactantes se usa solo en casos particulares debido al alto costo” (Salager y Fernandez, 2004).

“Recientemente se ha producido surfactantes poliméricos al injertar sobre una macromolécula un cierto número de grupos hidrofílicos, o al producir la policondensación de grupos con ciertas características polares y apolares (óxido de etileno, oxido de propileno)” (Salager y Fernandez, 2004).

2.3.6.4. El impacto del dodecilbenceno sulfonato de sodio en el ambiente acuático.

Espuma: “la presencia de espuma en las aguas residuales inhibe los procesos de depuración natural, concentran las impurezas y pueden diseminar las bacterias o los virus. Se tiene problemas de operación en las plantas de tratamiento, ya que la espuma afecta la sedimentación primaria, dificulta la solubilidad del oxígeno, y recubre las superficies de trabajo con sedimentos que contienen altas concentraciones de surfactantes, grasas, proteínas y lodos” (Kirk, 1997).

Toxicidad en la agricultura: “si la irrigación se hace con aguas negras que contienen detergentes, se da la contaminación de los suelos y cultivos; además se altera la permeabilidad de los suelos y en consecuencia facilitan la penetración de microorganismos en las aguas subterráneas. El ABS inhibe en un 70% el crecimiento de las plantas” (Maldonado Páez, 2008).

Toxicidad en la vida acuática: “los detergentes perturban el transporte de oxígeno a través de las membranas de los organismos acuáticos. No es posible dar un valor límite de toxicidad debido a que la sensibilidad de cada organismo varía con relación a la especie, tipo de detergentes y otros factores físicos del medio ambiente” (Manahan, 1993).

Efectos de enzimas activadas: “algunos detergentes contienen enzimas para atacar sustratos orgánicos específicos. La presencia de estas enzimas en las aguas residuales, producen daños en los seres vivos y en los nutrientes que componen su dieta alimenticia” (Maldonado Páez, 2008).

Eutrofización: “el uso desmedido de fosfato en los detergentes ocasiona el desperdicio de uno de los recursos más importantes en la naturaleza y una fuente de contaminación significativa. Cuando hay una gran cantidad de estos compuestos en el agua, se da el crecimiento excesivo de algas y plantas acuáticas, las cuales tienden a cubrir la superficie del líquido e impiden el libre intercambio de oxígeno y bióxido de carbono”. “Se produce un desbalance en el equilibrio ambiental, lo que provoca la muerte de otros seres vivos, como los peces. Una de las consecuencias de la

eutrofización es el agotamiento del oxígeno disuelto, por lo que la descomposición tiene que hacerse de forma anaerobio, dando como productos secundarios metano, amoniaco, sulfuro de hidrogeno y otros compuestos que le confieren al agua un olor desagradable” (Romero, 2002).

Alteración de la transferencia y disolución del oxígeno: “los detergentes disminuyen la solubilidad del oxígeno en el agua, por la formación de una película superficial protectora que dificulta la renovación del oxígeno disuelto; con lo que se inhibe la autodepuración de los ríos” (Romero, 2002).

2.3.7. Determinación de análisis del dodecilbenceno sulfonato de sodio en agua.

Para descubrir la concentración de los detergentes presentes en el agua se utiliza el Método de Sustancias Activas Azul de Metileno (SAAM).

“Las SAAM lleva acabo la transferencia del azul de metileno, un tinte catiónico, desde una solución acuosa a un líquido orgánico inmiscible, hasta el equilibrio. Esto ocurre a través de la formación de un par iónico entre el anión SAAM y el catión azul de metileno. La intensidad del color azul resultante en la fase orgánica es una medida de las SAAM, el método azul de metileno nos permite determinar y cuantificar detergentes en aguas naturales como también en aguas residuales” (Monge Carbajal y Poma Fierro, 2012).

“Un efluente de agua natural o de contaminada con detergente, constituye una fase acuosa, cuando le agregamos azul de metileno se genera el par iónico azul

de metileno – SAAM. Hasta ahora solo tenemos la fase acuosa, pero si le agregamos una porción del cloroformo, observamos la formación de dos fases, ya que este último es inmiscible con la fase acuosa” (Monge Carbajal y Poma Fierro, 2012).

“Agitando el sistema se produce la transferencia del par iónico desde la fase acuosa a la fase clorofórmica, tiñéndose esta última de color azul. La intensidad de color de azul resulta proporcional a la concentración de detergente aniónicos; las SAAM en la fase clorofórmica se valora por medio de determinar de absorbancia mediante espectrofotometría. Alternativamente se puede realizar la valoración por medio de comparación visual en escala cromática” (Monge Carbajal y Poma Fierro, 2012).

2.3.8. Adsorción del carbón de antracita mineral en los detergentes

En el artículo de carbotécnica (2004) describe: “El carbón activado es utilizado en tratamiento terciario, en esta etapa se busca mejorar la calidad del agua. Es decir, se busca llevar a mejores niveles de pureza de los que se puede alcanzar con los métodos tradicionales fisicoquímicos y biológicos. Esto se requiere cuando un contaminante específico, con un color o un olor, no está cumpliendo con lo que el usuario requiere. El carbón activado es capaz de retener contaminantes poco polares, covalentes y no disociados que suelen ser de origen orgánico en cualquier concentración.”

2.3.9. Factores que afectan a la capacidad de adsorción

Tamaño de partícula. – “la tasa de adsorción y la pérdida de energía aumentan a medida que el tamaño de partícula disminuye” Romero (2002).

Solubilidad del soluto. – “es un factor que termina su grado de adsorción. Los compuestos solubles tienen una fuerte afinidad por el solvente, por lo que son más difíciles de adsorber que los compuestos insolubles” (Jenkins y Benefield, 1993)

Peso molecular. – “la adsorción usualmente se incrementa a medida que el tamaño de la molécula llega a ser más grande, esto puede ser en parte explicado debido que las fuerzas de atracción entre el carbón y el adsorbato son más grandes cuando el tamaño de la molécula es más cercano al tamaño de los poros” (Jenkins y Benefield, 1993).

pH. – “es muy importante el efecto combinado del pH de la solución con la carga superficial del carbón activado, ya que esto determina la fuerza de las fuerzas existentes entre el adsorbato y la superficie del carbón. La influencia del pH en la capacidad de adsorción se atribuye a su efecto sobre la solubilidad del soluto. La carga superficial negativa de las partículas de carbón decrece al disminuir el pH, esto influye en la efectividad con que el carbón adsorbe las especies cargadas, especialmente aniones” (Jenkins y Benefield, 1993).

Agitación. – “si se produce poca agitación en el sistema, la película que forma la solución alrededor de la película de carbón será gruesa, por lo que la

difusión a través de la capa de contorno puede constituirse en la etapa limitante de la tasa de adsorción aumenta” Romero (2002).

Temperatura. – “la adsorción es un proceso exotérmico, por lo que la capacidad de adsorción disminuye con el incremento de la temperatura”

“la presencia de solidos suspendidos, de aceites y grasas en la solución a tratar, puede reducir la capacidad de adsorción del carbón activo. Por lo general, se recomienda realizar un pretratamiento para evitar este problema”.

2.4. Marco conceptual

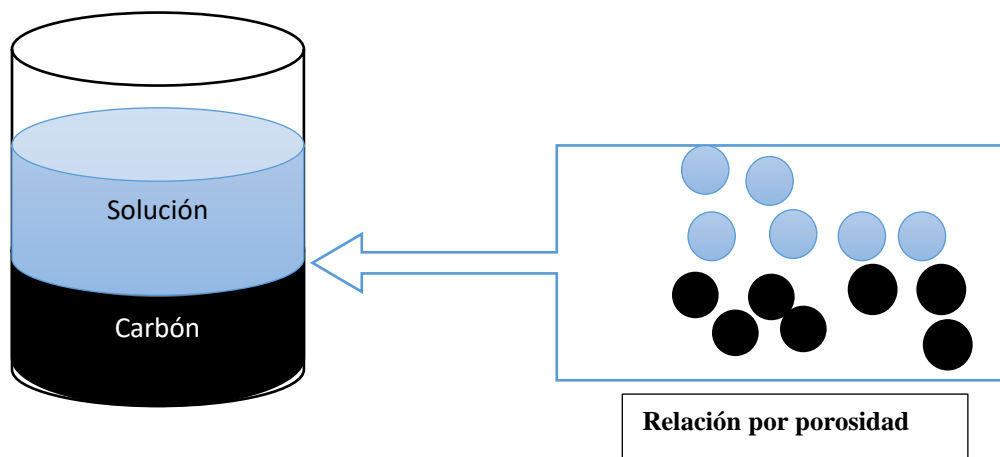


Figura 1: Representación del estudio de investigación.

El propósito de esta investigación se muestra en la figura 1 en donde se visualiza el esquema general del tratamiento del agua con detergentes que contiene dodecibenceno sulfonato de sodio, es decir, la interfaz disolución-porosidad del carbón granular antracita debe equilibrarse; esta relación se le conoce como equilibrio de adsorción del adsorbente y se mide mediante la cinética y las isotermas.

Tal como se mencionó anteriormente el carbón pasa por una activación, esta puede ser química, física o fisicoquímica; en esta ocasión se ha aplicado la activación física el cual consiste en someter a altas temperaturas el material (900 – 1000 °C), principalmente de origen mineral, dado que, el carbón activado de origen vegetal sufre mayores modificaciones a altas temperaturas; por tal razón, el carbón de antracita se ha carbonizado a una temperatura de 950 °C.

Otra característica para mencionar es el tipo de sistema en el cual la efectividad del carbono es probada, nos referimos, al tipo de flujo que el agua pueda tener, tal como, el continuo o el discontinuo, en otras palabras, son sistemas no estacionarios y estacionarios. Para nuestro caso, el sistema requerido es el estacionario o el discontinuo o también llamado batch, pues, se buscó determinar el tipo de sorción que el carbón antracita puede proporcionarnos como por ejemplo la fisisorción o la quimisorción.

Finalmente, se ha utilizado como contaminante el dodecibenceno sulfonato de sodio presente en los detergentes; la forma de medirlo es mediante el método de las sustancias activas al azul de metileno (SAAM), esto quiere decir que “ocurre durante la formación de un par iónico entre el anión (SAAM) y el catión azul de metileno. La intensidad del color resultante es una medida de las sustancias activas al azul de metileno. Los tensoactivos aniónicos se encuentran entre las muchas sustancias naturales y sintéticas activas al azul de metileno” (RODRIGUEZ, 2007, p. 2). Por lo tanto, el dodecibenceno sulfonato de sodio es un tensoactivos aniónicos que reacciona con el azul de metileno y por ende se puede medir con tal parámetro.

2.5. Hipótesis

Si el carbón de antracita granular activado remueve el dodecibenceno sulfonato de sodio del agua por encima del 90% como mínimo y que cumpla el valor de SAAM para ECA categoría B, entonces el carbón de antracita granular activado es efectivo para la remoción de dodecibenceno sulfonato de sodio.

Planteado la proposición lógica establecemos como hipótesis los siguiente:

*El carbón de antracita granular activado es **efectivo** para la remoción de dodecibenceno sulfonato de sodio del agua.*

2.5.1. Operacionalización de las variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

Tipo de variable	Definición	Dimensión	Indicador	Instrumento
Variable independiente: Carbón activado granular (antracita).	Son ricos en carbono, tiene una estructura muy porosa con grandes capacidades en adsorción.	Capacidad de adsorción	Isotermas Cinética (mg/t) Tiempo (t)	Balanza. Mufla. Termómetro Cronómetro
Variable Dependiente: Remoción de dodecibenceno sulfonato de sodio.	Concentración del compuesto químico removida del agua.	Porcentaje de remoción (%)	Concentración inicial y final (mg/L)	Equipo de test de jarras. Colorímetro. Análisis de Laboratorio

CAPÍTULO III: MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

3. Método de investigación

3.1. Tipo de Investigación

La presente investigación es del tipo aplicativo o tecnológico, cual dice: “Este tipo de investigaciones están orientadas a mejorar, perfeccionar u optimizar el funcionamiento de los sistemas, los procedimientos, normas, reglas tecnológicas actuales a la luz de los avances de la ciencia y la tecnología; por tanto, este tipo de investigación no se presta a la calificación de verdadero, falso o probable sino a la de eficiente, deficiente, ineficiente, eficaz o ineficaz” (Esteban Nieto, p. 2).

3.2. Diseño de Investigación

3.2.1. Experimental

“En la investigación de enfoque experimental el investigador manipula una o más variables de estudio, para controlar el aumento o disminución de esas variables y su efecto en las conductas observadas” (Robles., s.f.)

Dicho de otra forma, “un experimento consiste en hacer un cambio en el valor de una variable (variable independiente) y observar su efecto en otra variable (variable dependiente). Esto se lleva a cabo en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular. Los métodos experimentales son los adecuados para poner a prueba hipótesis de relaciones causales” (Robles., s.f.)

3.2.2. Longitudinal

Este tipo de diseño se “fundamenta de diferencias de grupos, la recolección de datos está basada en categorías, variables, comunidades, contextos, sucesos o sus relaciones en dos o más momentos para hacer inferencias sobre su evolución” (Robles., s.f.).

3.2.3. Analítico

Consiste en “la desmembración de un todo, descomponiéndolo en sus partes o elementos para observar las causas, la naturaleza y los efectos, Se identifica cada una de las partes que constituyen las variables así mismo se establecerá” (Robles, s.f.)

3.3. Área de Investigación

Esta investigación se desarrolla a nivel de laboratorio.

3.4. Población

Disolución del dodecibenceno sulfonato de sodio y Activación del carbón mineral (antracita).

3.5. Muestra

La evaluación se realizó a la solución sintética de SDBS de 2 L de muestra por cada 6 pruebas.

3.6. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Activación del carbón

Activación del carbón mineral (antracita). Para activar lo haremos por el método físico - térmico, para ello pesaremos 3 kg de carbón, luego utilizaremos

una mufla llevando a temperaturas entre 800°C – 950°C en un tiempo de 60 minutos para que el carbón adopte ciertas características físicas como es la dureza, a la abrasión, tamaño de poros, pH entre otras características.

3.6.2. Solución sintética.

“Pesamos 10 g de dodecibenceno sulfonato de sodio y disolvemos en un litro de agua teniendo una concentración madre inicial de 1000mg/L, de acá separamos una probeta 360 ml y mezclamos con 12 litros de agua destilada teniendo una concentración de 30 mg/L”.

3.6.3. Análisis del detergente.

“La concentración del detergente aniónicos SDBS, se analizó en laboratorio externo (el método de Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM) esta técnica es aplicable para la determinación de tensoactivos aniónicos en aguas contaminadas con detergentes)”.

3.6.4. Test de jarras.

“Las pruebas se realizarán en un equipo para pruebas de jarras que consta de 6 jarras cada jarra tiene una capacidad de 2 litros a una velocidad de 180 rpm, vamos a trabajar con la solución de 4 mg/L”.

3.6.4.1. Cinética de la adsorción.

Se determina “el tiempo requerido para alcanzar el equilibrio en el sistema de adsorción”.

Procedimiento:

“Se lleva a cabo el siguiente procedimiento para la determinación de la cinética de adsorción de dodecibenceno sulfonato de sodio”:

- Preparar 12 litros de solución sintética de dodecibenceno sulfonato de sodio de 10 mg/L.
- Colocar 2 litros de esta solución en cada una de las jarras. En un tiempo $t = 0$, añadir 10 g de carbón activo por jarra, agitamos las jarras a 180 RPM.
- Tomar una muestra de cada una de las jarras, aproximadamente 150 mL, sacando la primera muestra a los 50 min y la segunda muestra a los 150 min consecutivamente. Luego, se filtran las muestras antes de ser analizadas y enviadas al laboratorio.

3.6.5. Equipos de laboratorio

- Equipo test de jarras. Agitador magnético
- Soporte Universal.
- Balanza analítica.
- Mufla.
- Embudos de 500 mL.
- Vaso de precipitado.
- Cronometro.
- Pipetas.
- Fiolas de 100 ml.

- Papel filtro.

3.6.6. Reactivos e insumos.

- Ácido clorhídrico HCl al 5%
- Agua destilada

3.7. Técnicas para el procesamiento y análisis de datos

Esta investigación recurrió al coeficiente de Pearson y Análisis de ANOVA para demostrar la influencia del carbón activado (antracita) hacia el dodecibenceno sulfonato de sodio presente en el agua; luego se evaluó la cinética de adsorción de pseudo primer y segundo orden y finalmente, la comparación con los ECAs.

“ANOVA de un factor es una técnica estadística que señala si dos variables (una independiente y otra dependiente) están relacionadas en base a si las medias de la variable dependiente son diferentes en las categorías o grupos de la variable independiente. Es decir, señala si las medias entre dos o más grupos son similares o diferentes” Cardenas (2015).

El coeficiente de correlación de Pearson es “una prueba que mide la relación estadística entre dos variables continuas. Si la asociación entre los elementos no es lineal, entonces el coeficiente no se encuentra representado adecuadamente” (QuestionPro, 2021). “Método de Tukey: Se le conoce como método de la diferencia honestamente significativa de Tukey. Equivale a utilizar el método de Student-Newman-Keuls con $r = p$, por tanto, todas las comparaciones se refieren a una misma diferencia mínima, o sea utiliza un sólo valor con el cual se comparan todos los posibles pares de medias” (Casas Cardoso y Veitía, 2008, p. 69). El método de Fisher “Se basa en la distribución t de

Student. Fue propuesto por Fisher en 1935. No ejerce ningún control sobre la tasa de error, es decir, cada comparación se lleva a cabo utilizando el nivel de significación establecido (generalmente 0.05), por lo que la tasa de error para el conjunto de comparaciones puede llegar a, siendo el nivel de significación y el número de comparaciones realizadas” (Casas Cardoso y Veitía, 2008, p. 69)

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.1. Resultados

La efectividad del carbón de antracita granular activado depende de dos condiciones para lograr su cumplimiento: el primero, la remoción del dodecibenceno sulfonato de sodio del agua por encima del 90%; y segundo, cumplir el valor de SAAM establecido en el ECA categoría B.

Tabla 2

Resultados de la experimentación

CÓDIGO	ENSAYO	PESO (g)	TIEMPO DE AGITACIÓN (min)	TIEMPO DE REPOSO (min)	REVOLUCIÓN (RPM)	PARÁMETROS	RESULTADOS
DT0-001	PRUEBA	0	0	0	180	SAAM (mg MBAS/L)	23.689
DT0-002	RÉPLICA	0	0	30	180	SAAM (mg MBAS/L)	23.165
DT50-001	PRUEBA	10	50	30	180	SAAM (mg MBAS/L)	11.921
DT50-002	RÉPLICA	10	50	30	180	SAAM (mg MBAS/L)	11.434
DT180-001	PRUEBA	10	150	30	180	SAAM (mg MBAS/L)	11.415
DT180-002	RÉPLICA	10	150	30	180	SAAM (mg MBAS/L)	11.400

4.1.1. Correlación de Pearson

Tabla 3

Correlación del tiempo vs el SAAM (mg MBAS/L)

Coeficientes	SAAM (mg MBAS/L)
Correlación de Pearson	-0.768
Valor p	0.074

Interpretación:

La correlación del tiempo de agitación y la concentración del SAAM (mg MBAS/L) es alto, pues, tiene una relación del 76.8 % a una confianza del 95% (valor p 0.074). Esto indica, que el tiempo de agitación influye en la concentración del SAAM (tabla 3); adicionalmente, tiene un signo (-) el cual indica que la relación es negativa o inversa, es decir, que mientras una variable aumenta la otra disminuye, de ahí que, conforme aumenta el tiempo la concentración del SAAM disminuye. En consecuencia, el coeficiente nos indica que existe una influencia inversa o negativa de tiempo de agitación hacia la concentración del SAAM.

4.1.2. ANOVA de un factor para el tiempo de agitación y la concentración del SAAM.

Tabla 4

ANOVA del tiempo de agitación y la concentración del SAAM

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	188.39	2	94.197	1103.94	0.00004998	9.55
Dentro de los grupos	0.26	3	0.085			
Total	188.65	5				

Tabla 5

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

TIEMPO DE AGITACIÓN (min)	N	Media	Agrupación
0	2	23.427	A
50	2	11.677	B
150	2	11.4075	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Tabla 6

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

TIEMPO DE AGITACIÓN (min)	N	Media	Agrupación
0	2	23.427	A
50	2	11.677	B
150	2	11.4075	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

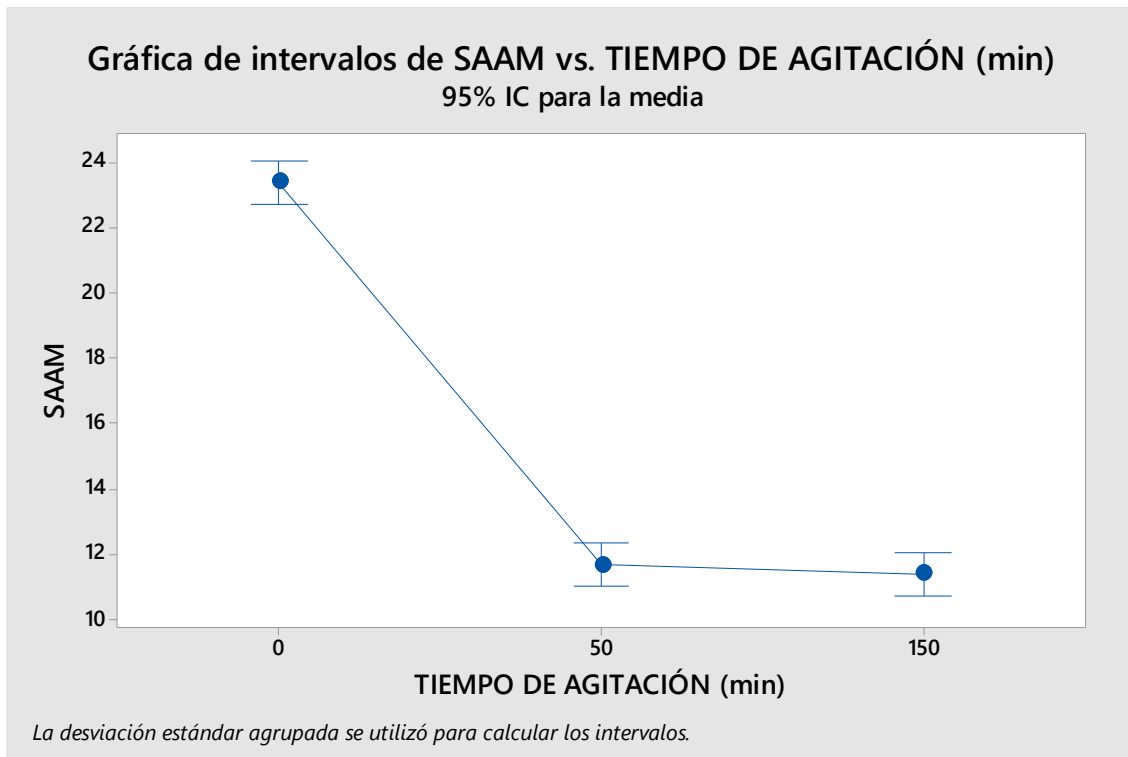


Figura 2: Efecto de la concentración del SAAM en los diferentes tiempos.

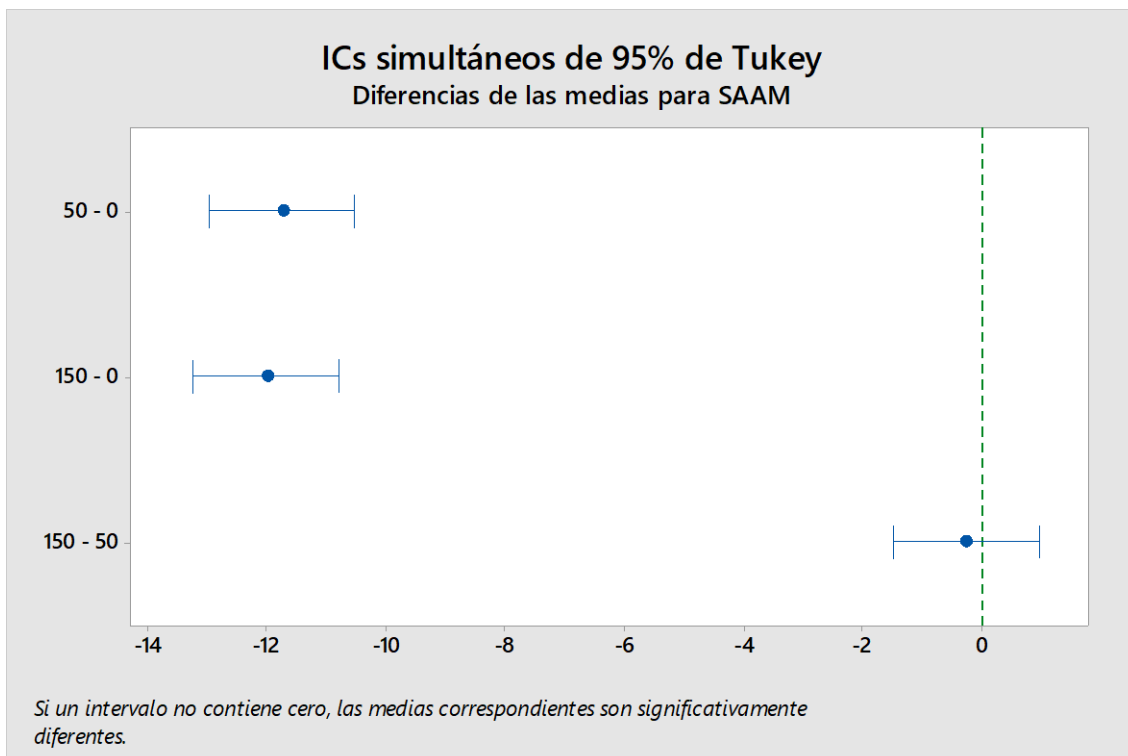


Figura 3: Comparación de medias del SAAM según Tukey.

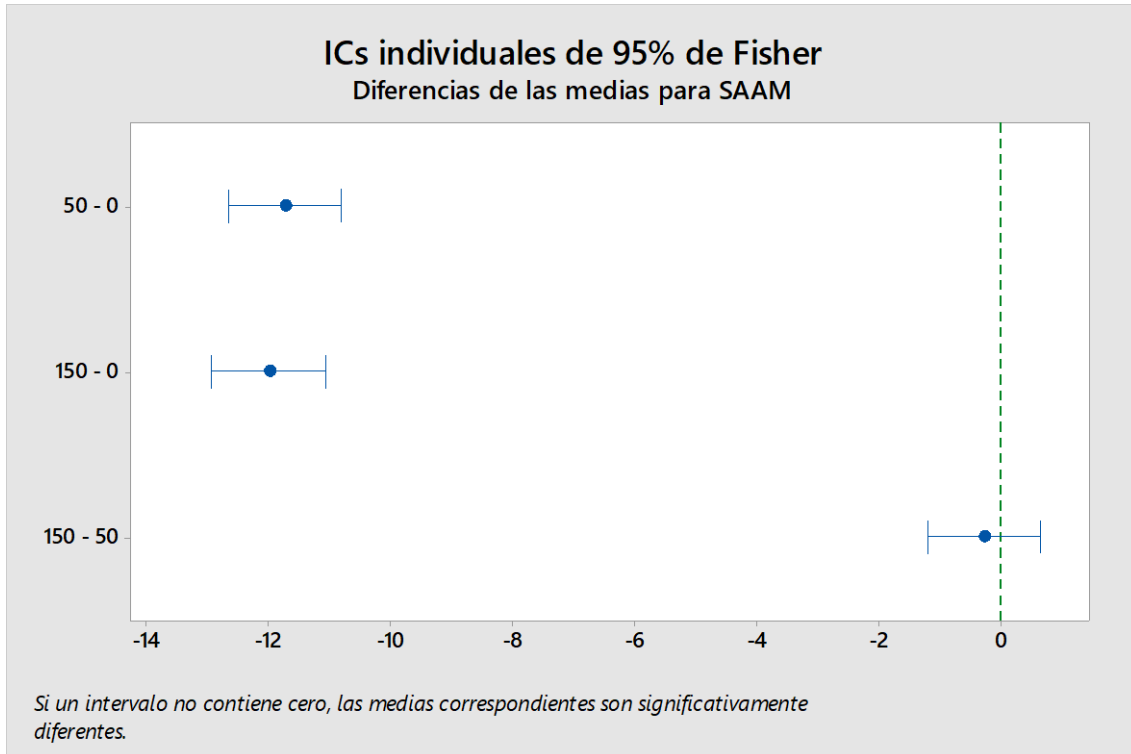


Figura 4: Comparación de medias del SAAM según Fisher.

Interpretación:

El tiempo de agitación influye considerablemente en la concentración del SAAM, esta premisa general se corrobora por el valor $F_{\text{calculado}}$ 1103.94 y se reafirma por el valor $p_{\text{calculado}}$ 0.00004998, pues el valor F_{tabla} es 9.55 y el valor $p_{\text{establecido}}$ 0.05 (tabla 4); ambas remarcan la diferencia significativa que existe entre los resultados en los distintos tiempos de agitación (figura 2). En consecuencia, se afirma que el carbón antracita retiene o adsorbe dodecibenceno sulfonato de sodio del agua. Por otro lado, ANOVA nos indicó que existe diferencia, sin embargo, no nos indica cuales son los puntos que difieren, de ahí que, la comparación de Tukey y Fisher nos proporciona esta identificación (tabla 5 y 6). Las figuras 3 y 4, nos indica que existe diferencia entre los valores de 50 – 0 y 150 – 0 dado que se alejan

de cero, no así los valores 150 – 50 que tienen resultados similares. En efecto, el tiempo de agitación con carbón remueve SAAM en un tiempo de 50 minutos (figura 2).

Por lo tanto, se demuestra que el carbón antracita agitado a un tiempo de 50 min disminuye la concentración de SAAM. Ahora se analiza la cinética y efectividad del carbón antracita.

4.1.3. Cinética

Tabla 7

Resultados cinéticos del pseudo primer y segundo orden.

Tiempo (min)	SAAM (mg MBAS/L)	X (mg/L)	q_{SAAM} (mg/g)	Ln SAAM	t/q_{SAAM}
0	23.43	0.00	0.00	3.15	0.00
50	11.68	11.75	2.35	2.46	21.28
150	11.41	12.02	2.40	2.43	62.40

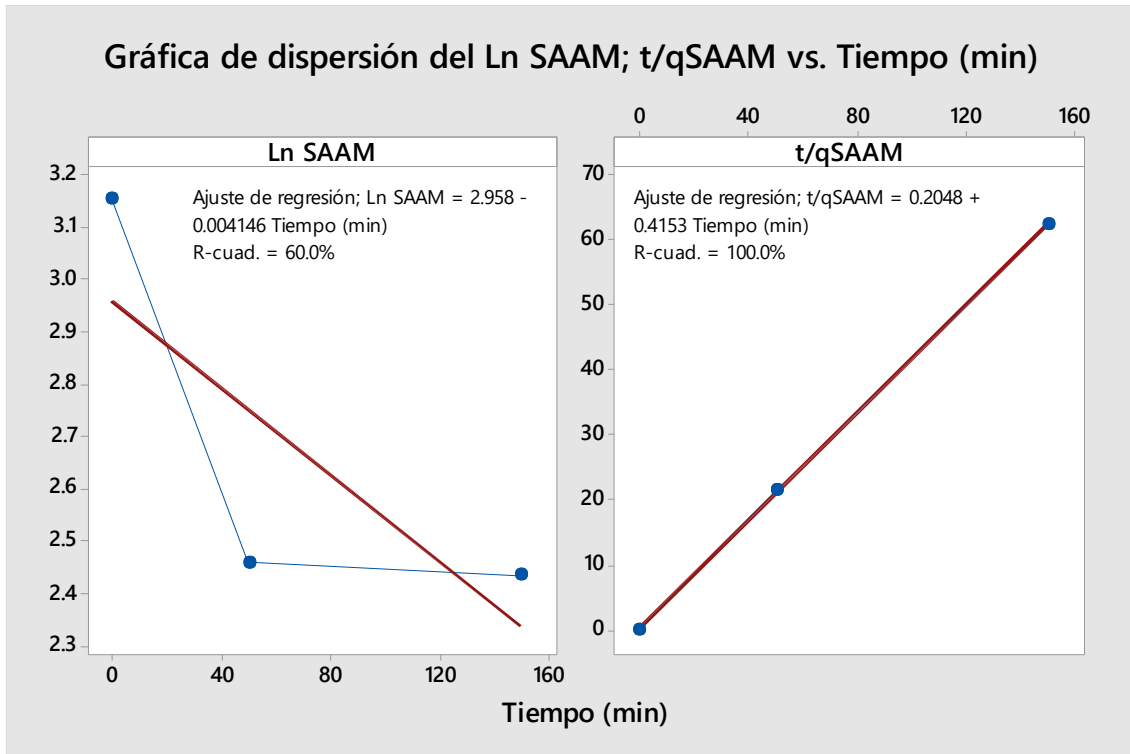


Figura 5: Ajuste cinético de pseudo primer y segundo orden.

Interpretación:

Según el ajuste cinéticos (tabla 7) nos muestra que el modelo cinético que mejor se adecua al carbón antracita es el pseudo segundo orden (t/q_{SAAM}) con una relación lineal o linealidad del 100 % a una pendiente de 0.4153; por otro lado, la linealidad para un pseudo primer orden (Ln SAAM) es del 60 % a una pendiente de 0.004146 (figura 5). Esto quiere decir que en las predicciones la ecuación de pseudo segundo orden tiene mayor aproximación que la ecuación de pseudo primer orden.

4.1.4. Efectividad del carbón antracita

Tabla 8

Remoción de dodecilbenceno sulfonato de sodio en diferentes tiempos de agitación con carbón antracita.

Tiempo (min)	Remoción (%)
0	0.00%
50	50.15%
150	51.31%

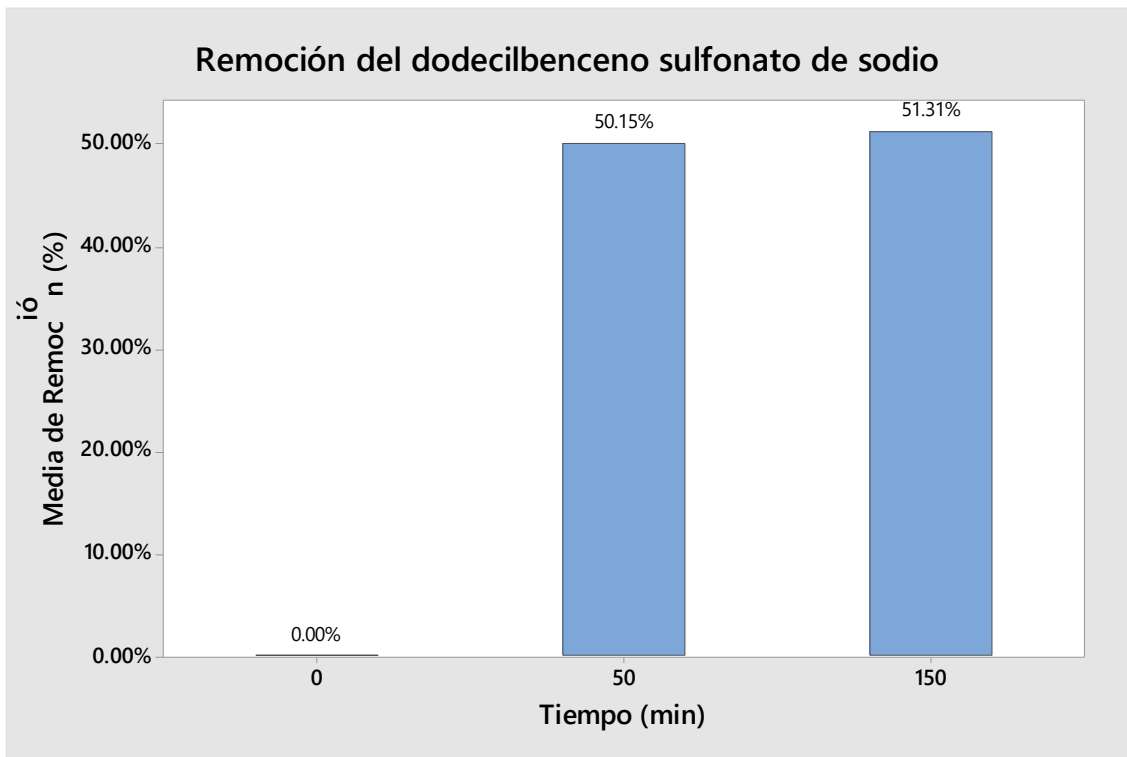


Figura 6: Porcentaje de remoción en diferentes tiempos de agitación.

Interpretación:

Según se visualiza en la tabla 8 y figura 6, el carbón antracita activado elimina el 51.31% del dodecilbenceno sulfonato de sodio a un tiempo de 150 min equivalente a 2 horas y media, sin embargo, el valor no se diferencia al del 50 min,

eso quiere decir que el carbón actúa en los 50 primeros minutos y luego se mantiene. En efecto, el tiempo optimo es a 50 min.

4.1.5. Evaluación legal del SAAM.

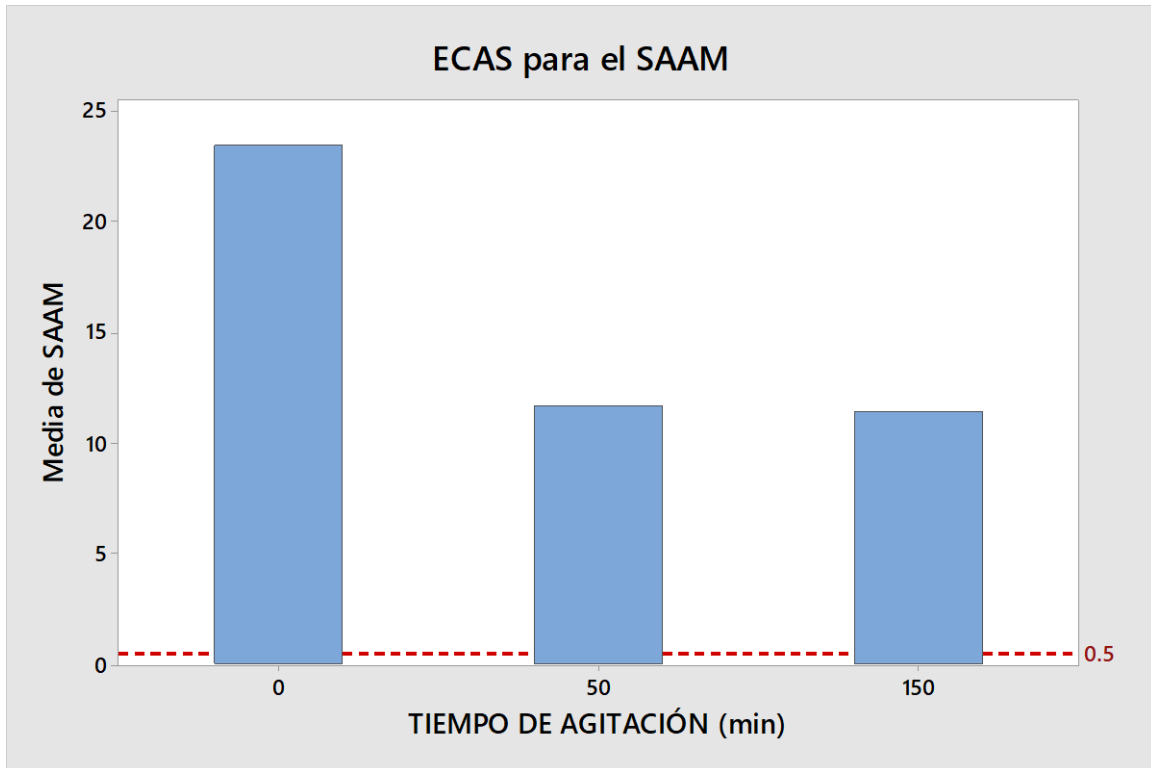


Figura 7: Evaluación del SAAM vs la normatividad (ECAs)

Interpretación:

Según la figura 7, la adsorción del carbón antracita activado no logró disminuir la concentración del SAAM a niveles de la normatividad, es decir, existe una disminución, pero no un cumplimiento legal, pues, según el ECAs es 0.5 mg/L y la adsorción solo llega a disminuir el 50%, es decir, 11 mg/L en promedio. En consecuencia, la adsorción no es efectivo ya que no disminuye el SAAM a niveles de la normatividad (ECAs).

4.2. Discusión

El análisis de los resultados presenta las siguientes implicaciones: 1) la antracita es un mineral que es utilizado como adsorbente pero que tiene una baja efectividad, 2) el modelo cinético que mejor se ajusta a los datos es el de pseudo segundo orden, y 3) la antracita adsorbe el dodecibenceno sulfonato de sodio del SAAM, pero no logra los niveles de los estándares de calidad ambiental -ECAs.

En los últimos años, la antracita tiene una importancia tal que se está utilizando como un adsorbente para retener o sorber contaminantes peligrosos desde metales pesados hasta antibióticos presentes en el agua. (MR El-Aassar y F.M. Mohamed, 2021, p. 1; Like Xu, Campos, Li, Karu, y Ciric, 2021). En consecuencia, se demostró que la antracita es un mineral que puede ser esgrimido para el tratamiento de agua contaminadas, en nuestro caso, el dodecibenceno sulfonato de sodio. En otras palabras, según la tabla 3, existe una correlación del 76.8 % de que la antracita influye en la concentración del SAAM. No obstante, eso no lo hace eficaz.

La efectividad de la antracita depende principalmente de su porosidad, pues, según S.B. Lyubchik, R. Benoit, & F. Beguin (2002) realizaron una activación del carbón antracita con diferentes componentes y reactivos para aumentar la porosidad de la textura y concluyeron: “El aumento paso a paso de la temperatura del tratamiento con antracita por HClO₄ hasta 160 ° C parece ser la mejor manera de obtener un precursor de carbón altamente activado con micro y meso porosidad bien equilibrada” (p. 1287). Por ende, se deriva que el carbón actúa como un fisisorbente, es decir, adsorbe por porosidad y no por intercambio iónico. Por lo tanto, la antracita adsorbe el dodecibenceno sulfonato de sodio a niveles de fisisorción.

El modelo cinético de la antracita es el pseudo segundo orden, pues, según Like Xu, Campos, Li, Karu, y Ciric (2021) demostraron que la antracita en dualidad con la arena, se ajusta a una cinética de pseudo segundo orden, así mismo, Ribeiro de Mattos, Rodrigues de Oliveira, Brogliato Camargo, Rochada Silva, Lassarote Lavallb (2019) demostró que “La antracita muestra grandes grupos de láminas de carbono amorfo apilada [] y que “la cinética de adsorción se explica mejor mediante el modelo de pseudo-segundo orden” (p. 806). En consecuencia, la cinética de la antracita se explica mejor en un modelo de pseudo segundo orden (99.99%).

Por último, la antracita no logra remover el dodecibenceno sulfonato de sodio (SAAM) a niveles de los ECAs, aquí, es un aporte nuevo con respecto al tratamiento de los detergentes, ya que, hasta donde hemos investigado no se ha aplicado el carbón antracita en la sorción del dodecibenceno sulfonato de sodio. En resumen, la antracita logra remover el 50 % del contaminante en un tiempo de 50 minutos por fisisorción y no logra alcanzar los ECAs, en consecuencia, no es efectivo.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

- La adsorción del dodecibenceno sulfonato de sodio con carbón antracita activado no es efectivo ya que remueve el 50 % del contaminante (menor al 90%) y no logra alcanzar los niveles estipulados por los ECAs; en efecto se rechaza la hipótesis.
- La relación del carbón antracita activado en mezcla con el dodecibenceno sulfonato de sodio presente en el SAAM es del 76.8 %, con una dirección negativa o inversa.
- Se demostró que el carbón antracita activado en el tiempo influye en la concentración del dodecibenceno sulfonato de sodio presente en el SAAM, es decir, existe una diferencia significativa con un valor p de 0.00004998.
- Se identificó que el carbón activado antracita actúa en los primeros 50 min, ya que, a un tiempo de 150 min no existe diferencia con respecto al de 50, según Tukey y Fisher.
- El modelo cinético que más se adecua a la adsorción del dodecibenceno sulfonato de sodio presente en el SAAM es el pseudo segundo orden ($R^2 = 99.99\%$).
- La eficacia del carbón antracita activado es del 51.31% a tiempo de 150 min, sin embargo, se logra un porcentaje similar (50.15%) a un tiempo de 50 min.

- Finalmente, el carbón de antracita activado no logra adsorber el dodecibenceno sulfonato de sodio presente en el SAAM a niveles de los ECAs.

5.2. Recomendaciones

- Realizar el mismo experimento, pero con un flujo continuo o en un filtro con ingreso y salida de agua.
- Utilizar el carbón antracita activado para adsorber algún tipo de metal en flujo continuo y discontinuo.
- Estudiar otros tipos de modelos cinéticos e isotérmico para el carbón antracita activado.
- Estudiar el carbón antracita buscando nuevos medios de activación para incrementar su capacidad de adsorción.

REFERENCIAS

- Bubanale, S., & Shivashankar, M. (2017). History, Method of Production, Structure and Applications of Activated Carbon. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) Vol. 6 Issue 06, June - 2017*, <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/60822315/history-method-of-production-structure-and-applications-of-activated-carbon-IJERTV6IS06027720191007-82075-1312gn0-with-cover-page.pdf?Expires=1622519987&Signature=KS5LqKtJrqNXtAanLKTDDeCuQuWn~N14PWbt25EU7bRotO>.
- Campos Ventura, J. L. (2016). *Evaluación de la capacidad del MIL-101(Cr) para la remoción de Ni (II) y Co (II) en solución acuosa*. Repositorio de la Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas.
- Cardenas, J. (2015). *networkianos*.
- Carriazo, J., Saavedra, M., & Molina, M. (2010). Propiedades adsorptivas de un carbón activado y determinación de la ecuación de Langmuir empleando materiales de bajo costo. *Educ. quím vol.21 no.3 Ciudad de México.*, 224-229. ISSN 1870-8404.
- Carrillo, V. Y., & Sánchez Muñoz, N. E. (2013). *Elaboración de un filtro a base de carbón activado obtenido del endocarpo de coco con el propósito de reducir la dureza en el agua potable*. Obtenido de Repositorio de la UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR: <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/5307/1/16103409.pdf>
- Chávez Sumarriva, I. J. (2018). *Adsorción del dodecibenceno sulfonato sódico usando grafenos*. Lima - Perú, <https://hdl.handle.net/20.500.12672/8640>: Repositorio Universidad Nacional Mayor de San Marcos .
- David Casallas, N. (2008). *Diseño de un sistema a nivel piloto para la remoción de detergentes aniónicos de una solución preparada con características de una lavandería tipo con el fin de reducir la concentración media (CL50-48) para daphnia pulex*. Bogota.: Universidad de La Salle Ciencia Unisalle.
- Díaz Batalla, M., Gonzales Asencios, A., Sifuentes Yepes, D., & Conzales Mora, E. (2010). *El Carbón Vegetal: alternativa de energía y sus productos químicos* . Lima: XILEMA.

- DOMINGO TORNER , C. (2017). *Diseño de una instalación para el tratamiento terciario de un agua residual urbana mediante carbón activo y ultrafiltración.* . València : Universidad Politécnica de València .
- Escuela Politecnica Superior. (2017). *Manual de carbon activo.* Sevilla - España, <http://www.elaguapotable.com/Manual%20del%20carb%C3%B3n%20activo.pdf>.
- España, G. d. (08 de 06 de 2021). *Valorización energética / tratamiento térmico* . Obtenido de <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/gestion/sistema-tratamiento/Pirolisis.aspx>
- Esteban Nieto, N. T. (s.f.). TIPOS DE INVESTIGACIÓN. <http://repositorio.usdg.edu.pe/bitstream/USDG/34/1/Tipos-de-Investigacion.pdf>.
- Fair, Geyer, & Okun. (1989). *Ingenieria Sanitaria y de aguas residuales* . Mexico DF: Limusa Noriega.
- Fernández. (2004). *"Surfactantes: generalidades y materias primas"*. Venezuela: Ministerio de Ciencia y Tecnología PPGEA - FONACIT.
- Gámez , S., & De la Torre , E. (2005). *Recuperación de oro a partir de minerales refractorios polisulfurados.* Quito-Ecuador.
- George, A. (1998). *Manual de procesos químicos en la industria.* Mexico DF: McGraw Hill.
- Jurado Falconí, E., Sáenz Yaya, D., Velásquez, M., Azáldegui Moscol, A., & Benavides Cavero, O. (2018). Riesgos del uso de detergentes domésticos en la calidad del agua en poblaciones en transición de lo rural a lo urbano: Churín 2017. *Alternativa Financiera*, <https://www.aulavirtualusmp.pe/ojs/index.php/AF/article/view/1763>.
- Kirk, O. (1997). *Enciclopedia de tecnología química.* México.
- Like Xu, Campos, L., Li, J., Karu, K., & Ciric, L. (2021). Removal of antibiotics in sand, GAC, GAC sandwich and anthracite/sand biofiltration systems. *Chemosphere, Volume 275*, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130004>.
- López Guerrero , A., & Sánchez Ortiz , I. (2015). Postratamiento en escala piloto del lixiviado del relleno sanitario Antanas (Pasto-Nariño) por filtración-adsorción con arena,

- antracita y carbón activado. *Revista de Ingeniería, Número 43 | jul. 01, 2015*, 10-15.
<https://doi.org/10.16924/riua.v0i43.840>.
- Lozano-Castelló , D., Lillo-Ródenas , M., Cazorla-Amorós , D., & Linares-Solano, A. (2001). Preparation of activated carbons from Spanish anthracite: I. Activation by KOH. *Carbon Volume 39, Issue 5, April 2001* , Pages 741-749,
[https://doi.org/10.1016/S0008-6223\(00\)00185-8](https://doi.org/10.1016/S0008-6223(00)00185-8).
- Maldonado Páez, S. L. (2008). *Estudio la remocion de detergentes aniónicos tipo ulfato con carbón activado*. Quito : Escuela Politecnica Nacional.
- Małgorzata, W., & Nowicki, P. (2020). Peat-based activated carbons as adsorbents for simultaneous separation of organic molecules from mixed solution of poly(acrylic acid) polymer and sodium dodecyl sulfate surfactant. *Colloids and Surfaces*, 1-10.
- Manahan, S. (1993). *Environmental Chemistry*. Mishawaka, IN, Estados Unidos de America: CRC-Press, ISBN 10: 1566700884ISBN 13: 9781566700887.
- MANOSALVA VÁSQUEZ, K. C. (2016). *Efecto del carbón activado en la turbidez del agua del río sector puente Moche – 2016*. Trujillo, https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/6798/manosalva_vk.pdf?sequence=1&isAllo wed=y: Repositorio Universidad César Vallejo.
- MONGE CARBAJAL, R. R., & POMA FIERRO, M. M. (2012). *Degradación del surfactante aniónico dodecylbencensulfonato sódico en medio acuoso a nivel laboratorio mediante ozonización*. huancayo: universidad nacional del centro del Perú.
- MR El-Aassar, & F.M. Mohamed. (2021). Characterization valorized anthracite and its application in manganese (VII) adsorption from aqueous solution; batch and column studies. *Microporous and Mesoporous Materials, Volumen 310*, 110-641,
<https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2020.110641>.
- Penedo Medina , M., Manals Cutiño, E. M., Vendrell Calzadilla , F., & Salas Tort, D. (2015). Adsorción de níquel y cobalto sobre carbón activado de cascarón de coco. *Tecnología*

Química, 35(1), 110-124, http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852015000100010&lng=es&tlng=es.

Pilamonta Mañay, J. V. (2013). *Mejoramiento del carbón activado contaminado en el tratamiento del agua potable*. Quito, <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2286>: Repositorio de la UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.

Ramírez Franco, J. H., Martínez Ávila, Ó. M., & Fernández Ospina³, L. M. (2013). Remoción de contaminantes en aguas residuales industriales empleando carbón activado de pino pátula. *AVANCES Investigación en Ingeniería Vol. 10 - No. 1 (2013)*, 42-49, file:///C:/Users/InnoDevel%2002/Downloads/Dialnet-RemocionDeContaminantesEnAguasResidualesIndustrial-6684860.pdf.

Ribeirode Mattos, N., Rodriguesde Oliveira, C., BrogliatoCamargo, L. G., Rochada Silva, R. S., & Lassarote Lavallb, R. (2019). *Azo dye adsorption on anthracite: A view of thermodynamics, kinetics and cosmotropic effects*. Separation and Purification Technology, Volume 209, 806-814, <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.09.027>.

Robles., F. (s.f.). *Lifeder.con*. Obtenido de Los 15 tipos de investigacion y sus características.: https://www.lifeder.com/tipos-investigacion-cientifica/#Investigacion_transversal

RODRIGUEZ, C. H. (2007). *Tensoactivos aniónicos en agua – método SAAM*. Colombia, <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Tensoactivos+en+agua%2C+m%C3%A9todo+SAAM..pdf/d0859c8f-b5c4-4125-98eb-f157a72cf830>: Subdirección de hidrología - grupo laboratorio de calidad ambiental.

Romero, J. (2002). *Calidad de agua*. Bogota: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Ruiz Valles, L., & Orbegoso Alvarez, K. Y. (2019). *Eficiencia del carbón activado obtenido a partir del endocarpo de “coco” (Cocos nucifera) y semilla de “aguaje” (Mauritia flexuosa), en la remoción de la DBO5 de las aguas residuales domésticas en el distrito de Habana – Moyobamba, 2018*. Tarapoto, <http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3345/SANITARIA%20->

%20Lenin%20Ruiz%20Valles%20%26%20Kristill%20Yliany%20Orbegoso%20Alvarez.pdf?sequence=1&isAllowed=y: Repositorio UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO.

S.B. Lyubchik, R. Benoit, & F. Beguin. (2002). *Influence of chemical modification of anthracite on the porosity of the resulting activated carbons*. Carbon 40, 1287–1294, [https://doi.org/10.1016/S0008-6223\(01\)00288-3](https://doi.org/10.1016/S0008-6223(01)00288-3).

Salager, J. L., & Fernandez, A. (2004.). *Surfactantes*. Mérida.: Universidad los Andes .

Sarmiento, C., Sánchez, J., García , C., Rincón, Y., Benítez, A., & Ramírez, J. (2004). *Preparación de carbón activado mediante la activación química de carbón mineral*. Maracaíbo: Posgrado de la Facultad de Ingeniería.

Support. (2018). *Support*.

Uribe, L. M., López, M. E., & Gonzáles, A. G. (2013). *Activación de carbón mineral mediante proceso físico en horno tubular horizontal y atmosfera inerte*. Medellín. Medellín: Revista Colombiana de materiales .

VEGA QUISPE, N., & REGALADO GUERRA, S. (2019). “*Efecto de sorción y solubilidad en diferentes ionómeros de vidrio utilizados en la clinica dental especializada, de la utea-2018*”. Apurímac - Perú, <http://repositorio.utea.edu.pe/handle/utea/229>: Repositorio UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES.

LISTA DE ABREVIATURAS

°C	: Grados Celsius.
DBO ₅	: Demanda bioquímica de oxígeno.
ECA	: Estándares de Calidad Ambiental.
H ₃ PO ₄	: Ácido fosfórico.
mg/L	: Unidad de concentración en miligramos por litro.
mg/g	: Unidad de concentración en miligramos por gramo.
mL	: Unidad de mililitros.
NTU	: Unidad nefelométrica de turbidez
g	: Unidad de gramos.
pH	: Potencial de hidrógeno.
SDBS	: Dodecibenceno sulfonato de sodio.
SAAM	: Las sustancias activas al azul de metileno.

GLOSARIO

Carbón activado

“El carbón activado puede ser considerado como un polímero orgánico complejo, que posee una estructura altamente porosa, una gran superficie específica y una alta capacidad de adsorción” (Gámez & De la Torre , 2005).

Carbón activado vegetal

“El carbón vegetal es un producto forestal que viene diversificando sus usos con grandes potencialidades. Es así como ahora se le puede encontrar como pigmento en la industria alimentaria, en la producción de acero debido a su baja reactividad, como purificador de aguas y en la industria médica como fármaco para tratar problemas digestivos. Gracias a estas nuevas utilidades, el horizonte del carbón vegetal está tomando revuelo sobre su tradicional uso energético y se inserta cada vez más en la industria mundial” (Díaz Batalla, Gonzales Asencios, Sifuentes Yepes, y Conzales Mora, 2010).

Carbón activado mineral

“La capacidad que tiene el carbón activado para la remoción de sustancias se debe a la alta superficie interna que posee si bien la porosidad y la distribución de tamaño de poros juegan un papel bien importante. Actualmente el 60% de los carbones activados producidos a nivel mundial se obtienen a partir de carbón mineral. La cantidad de carbón utilizado para producir carbones activados se estima para 1998 en 2.105 t/año. Una parte de este carbón activado se destina a la eliminación de contaminantes procedentes de sectores muy variados, tanto en gases (sulfuro de

hidrógeno. dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno. vapores de gasolina), como en líquidos (aguas industriales. aguas residuales, tintorerías)” (Sarmiento, y otros, 2004).

Proceso de activación del carbón mineral

“Generalmente, consiste en dos pasos consecutivos. El primer paso es la carbonización térmica de la materia prima, donde hay volatilización, este proceso se lleva a cabo a altas temperaturas, para producir un carbón de carácter rico. El segundo paso es la activación, donde el carbón restante es parcialmente gasificado con un agente oxidante (comúnmente vapor de agua o CO₂). Si ambos pasos se realizan simultáneamente, el proceso es llamado activación directa” (Uribe, López, y Gonzáles, 2013).

“En el proceso de carbonización consta en someter la muestra de carbón en una atmósfera inactivo de nitrógeno a una temperatura de 900° C. El tiempo que la muestra de carbón este será de 90 minutos” (Uribe, López, y Gonzáles, 2013).

Proceso de Activación Físicamente (Carbón mineral)

“El proceso de activación, es en presencia de N₂ gaseoso hasta una temperatura de 800 y 950 °C, alcanzada esta temperatura pasa un flujo de vapor nitrógeno. La muestra se mantuvo bajo esas condiciones durante un tiempo de 60 minutos, al finalizar este tiempo reacción, se pasaba nuevamente a atmosfera de nitrógeno hasta que la muestra llegue a un a temperatura ambiente.” (Uribe, López y Gonzáles, 2013).

Proceso de Activación Químicamente

“Este proceso se desarrolla en una sola etapa, calentando en atmósfera inerte una mezcla del agente activante con el material de partida. Las sustancias más usadas son: ácido fosfórico (H_3PO_4), Cloruro de cinc ($ZnCl_2$), ácido sulfúrico (H_2SO_4), aunque también se han usado sulfuros y tiocianato de potasio, cloruros de calcio y magnesio, hidróxidos de metales alcalinos, entre otras sustancias, siempre en dependencia de la materia prima original a utilizar y el mayor o menor volumen de poros de un tipo o de otro que se quiera obtener” (Manual de carbón activo, 2017).

Pirólisis

La pirolisis “es una degradación térmica de una sustancia en ausencia de oxígeno, por lo que dichas sustancias se descomponen mediante calor, sin que se produzcan las reacciones de combustión” (España, 2021)

ANEXOS

ANEXO 1: PANEL FOTOGRÁFICO



Figura 8: Trituración del carbón antracita.



Figura 9: Tesistas triturando y moliendo el carbón antracita.



Figura 10: Pesaje del carbón antracita para su calcinación.



Figura 11: Calcinación del carbón antracita a una temperatura de 950 °C.



Figura 12: Pesaje del carbón antracita activado y el detergente.



Figura 13: Preparación de la solución sintética.

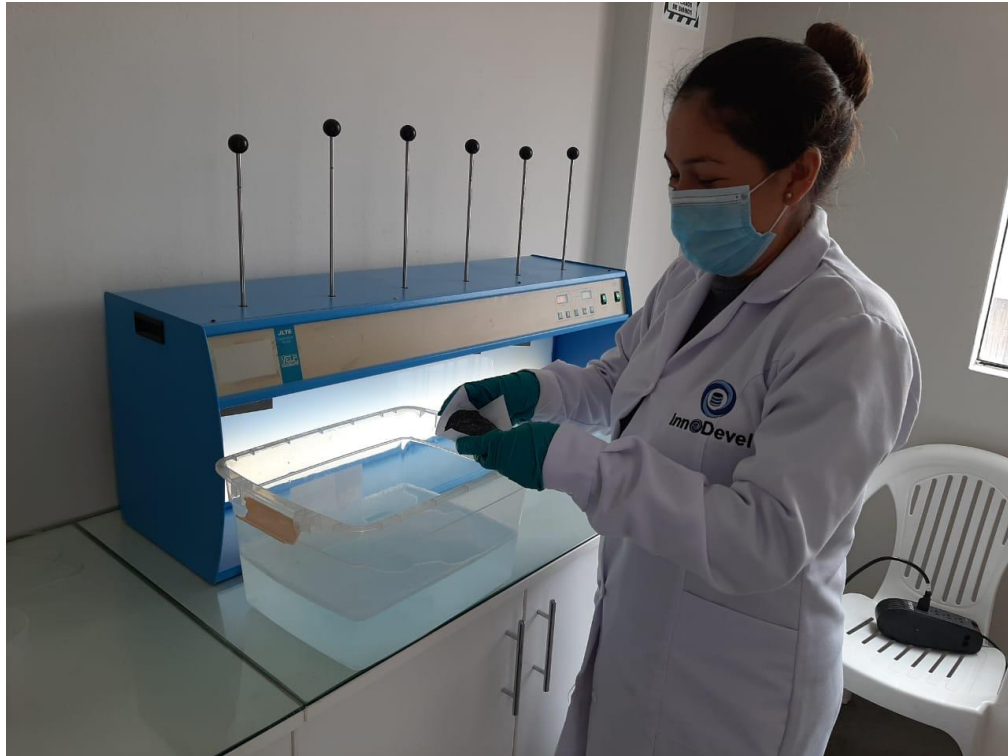


Figura 14: Preparación de la solución sintética con la tesista.



Figura 15: Preparación de la solución sintética con el tesista.

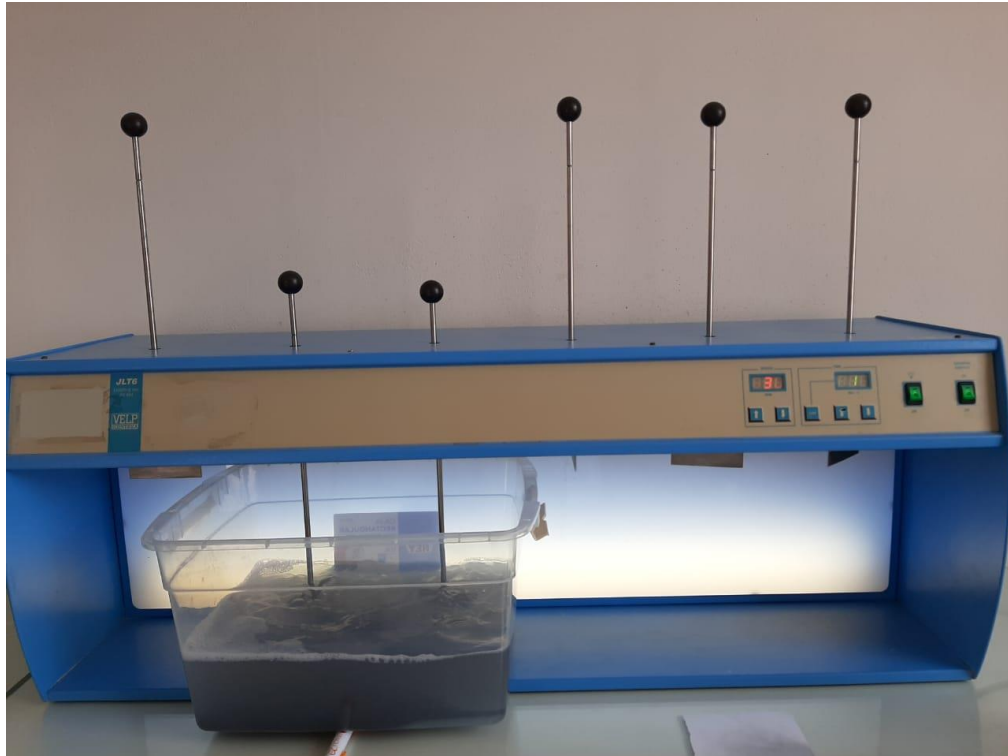


Figura 16: Agitación de la disolución con el carbón antracita activado.

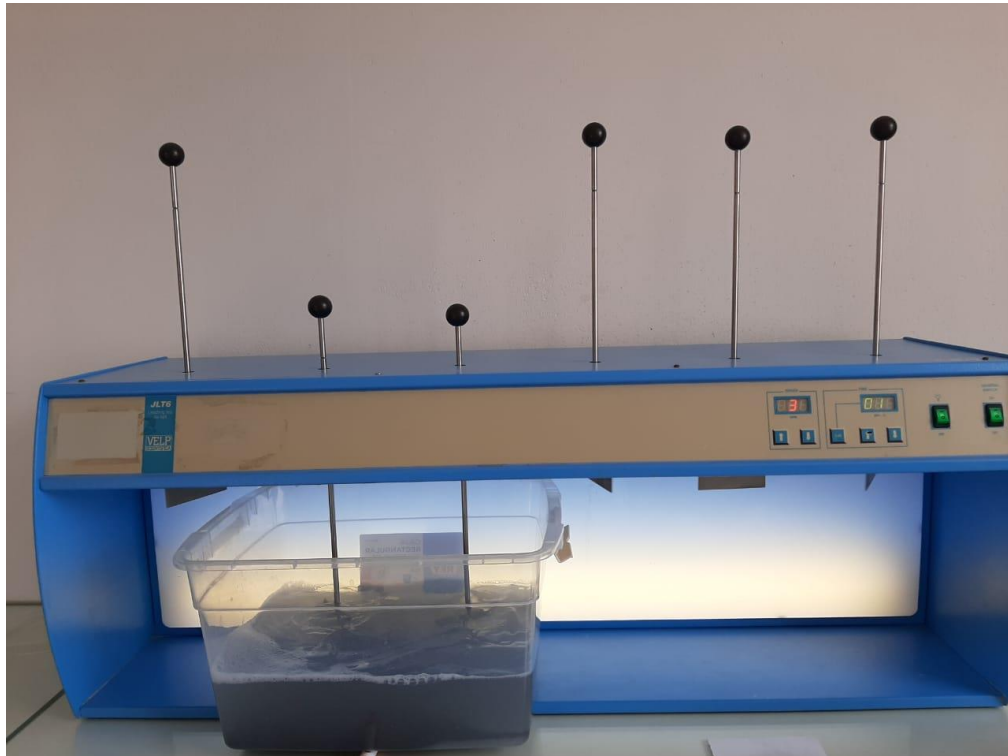


Figura 17: Agitación a 30 RPM.

ANEXO 2: INFORME DE LABORATORIO



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA2017765 Rev. 0

INNODEVEL S.A.C

JR. LOS LEONES NRO. 464 URB. SANTA MERCEDE CAJAMARCA - CAJAMARCA - CAJAMARCA

ENV / LB-347214-010

PROCEDENCIA : FISCAL

Fecha de Recepción SGS : 09-10-2020

Fecha de Ejecución : Del 09-10-2020 al 13-10-2020

Muestreo Realizado Por : CLIENTE

Estación de Muestreo
DT-00-001
DT30-001
DT60-001
DT120-001
DT180-001

Emitado por SGS del Perú S.A.C.

Impreso el 13/10/2020

Jade C. Huarcaya Soto
C.B.P. 8471
Jefe de Oficina

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
 EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION
 INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
 MA2017765 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					DT180-001	DT180-001
FECHA DE MUESTREO					06/10/2020	06/10/2020
HORA DE MUESTREO					10:40:00	11:15:00
CATEGORÍA					AGUA NATURAL	AGUA NATURAL
SUB CATEGORÍA					AGUA SUPERFICIAL	AGUA SUPERFICIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Cloruros (Cloruros)						
D.A.A.M. (Detegentes)	ISO 4545-2:2003, Cl.	mg/litro	0,225	0,281	11,413 ± 2,854	11,821 ± 2,882

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					DT180-001	DT180-001
FECHA DE MUESTREO					06/10/2020	06/10/2020
HORA DE MUESTREO					12:00:00	13:00:00
CATEGORÍA					AGUA NATURAL	AGUA NATURAL
SUB CATEGORÍA					AGUA SUPERFICIAL	AGUA SUPERFICIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Cloruros (Detegentes)						
D.A.A.M. (Detegentes)	ISO 4545-2:2003, Cl.	mg/litro	0,225	0,281	11,424 ± 2,854	20,185 ± 5,191

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					DT180-001
FECHA DE MUESTREO					06/10/2020
HORA DE MUESTREO					15:00:00
CATEGORÍA					AGUA NATURAL
SUB CATEGORÍA					AGUA SUPERFICIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre
Cloruros (Detegentes)					
D.A.A.M. (Detegentes)	ISO 4545-2:2003, Cl.	mg/litro	0,225	0,281	20,899 ± 5,000

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
 EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
 INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
 MA2017765 Rev. 0**

CONTROL DE CALIDAD

LC: Límite de cuantificación RE: Ramo del proceso LCR %Recovery: Porcentaje de recuperación del patrón de proceso. MR %Recovery: Porcentaje de recuperación de la muestra estandarizada. MRD %RPD: Diferencia Percentual Relativa entre los duplicados de la muestra estandarizada. Dup %RPD: Diferencia Percentual Relativa entre los duplicados del proceso.						
Parametro	Límite	LC	RE	LCR %Recovery	MR %Recovery	MRD %RPD
DCAAM (Estrategias)	mg MPASAL	0.051	-0.001	93%	93%	2%



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA2017765 Rev. 0**

REFERENCIAS DE MÉTODOS DE ENSAYO

Referencia	Sede	Parámetro	Método de Ensayo
DN_APHAS-HC_CX	Cajamarca	S.A.A.M. (Detergentes)	SM2011-APHA-AWWA-WEP Part 5540 C; 2da Ed: 2017. Surfactante Aniónic Surfactante no MBAS

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página http://www.sgs.com.pe/SGS/Files/SGS_Condiciones_Servicio.pdf. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definidas en dichas Condiciones Generales de Servicio. Si alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, total o modificación escrita de SGS de Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayada(s) y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Última Revisión Julio 2013