

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, MANAGUA
RECINTO UNIVERSITARIO RUBÉN DARÍO
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

TESIS MONOGRAFICA PARA OPTAR AL TITULO DE LICENCIATURA EN
QUÍMICA



TITULO: EVALUACIÓN DE CAPACIDAD ADSORTIVA DEL CARBÓN ACTIVADO INDUSTRIAL DARCO EN AGENTE SURFACTANTE DODECIL BENCENO SULFONATO DE SODIO LINEAL, PRESENTES EN DETERGENTES, REALIZADOS EN LOS LABORATORIOS DE QUÍMICA UNAN-MANAGUA, DE MARZO A NOVIEMBRE DEL 2012.

Autores:

Br. Angel R. Baltodano Cárdenas

Br. Karol P. Moreno Kuan.

Tutor:

PhD. Danilo López Valerio.

Managua, febrero, 2013

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, MANAGUA
RECINTO UNIVERSITARIO RUBÉN DARÍO
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

TESIS MONOGRAFICA PARA OPTAR AL TITULO DE LICENCIATURA EN
QUÍMICA



TITULO: EVALUACIÓN DE CAPACIDAD ADSORTIVA DEL CARBÓN ACTIVADO INDUSTRIAL DARCO EN AGENTE SURFACTANTE DODECIL BENCENO SULFONATO DE SODIO LINEAL, PRESENTES EN DETERGENTES, REALIZADOS EN LOS LABORATORIOS DE QUÍMICA UNAN-MANAGUA, DE MARZO A NOVIEMBRE DEL 2012.

Autores:

Br. Angel R. Baltodano Cárdenas

Br. Karol P. Moreno Kuan.

Tutor:

PhD. Danilo López Valerio.

Managua, febrero, 2013

Dedicatoria

Dedicamos este trabajo a Nuestro Padre Celestial por darnos el gozo de la vida, el entendimiento y la fortaleza. "Doy Gracias a Dios que siempre nos hace participar en las victorias de Cristo y por nuestro medio difunde en todas partes el aroma de su conocimiento". 2Corintios 2:14

A nuestros padres por ser los pilares de nuestras vidas, con sus sabios consejos, palabras de aliento, apoyo incondicional y el amor dedicado, nos dieron la fuerza para culminar nuestra carrera, brindándonos un futuro prospero. Gracias por creer en nosotros este trabajo no hubiera sido posible sin ustedes.

Agradecimiento

A nuestros hermanos Rafael Moreno y Javier Baltodano porque siempre hemos contado con ellos para todo, gracias a por su ayuda y ejemplo.

A nuestro tutor Dr: Danilo Lopez por habernos brindado su apoyo incondicional, su mano amiga y habernos guiado en el desarrollo de este trabajo y llegar a la culminación del mismo.

A nuestros maestros y personal del departamento de química de la UNAN-Managua por su tiempo, por su apoyo así como la sabiduría y excelentes valores que transmitieron en el desarrollo de nuestra formación profesional, en especial a directora de la carrera Msc. Rosa González que brindo su gran apoyo, al Msc Ramón Cáceres por su tiempo compartido y por impulsar el desarrollo de nuestra formación profesional.

A nuestros amigos que gracias al equipo que formamos logramos llegar hasta el final del camino: Irving Aleman, Rene Morales y a todas aquellas amistades del CIRA y UNI.

RESUMEN

Se realizó un estudio experimental evaluando la capacidad adsorptiva del carbón activado industrial DARCO, en presencia de agentes surfactantes, Dodecil benceno sulfonato de sodio lineal, presente en la marca de detergente FAB, disuelto en 250 mL de agua. El carbón fue sometido a un proceso de pruebas con el fin de conocer sus propiedades físico-químicas (%ceniza, % de humedad, densidad aparente y porosidad) según las normas de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, así como la determinación del porcentaje de remoción y la cuantificación de su capacidad adsorptiva.

Se realizaron ensayos de adsorción en fase líquida con dos tipos de concentraciones una de 80,000 ppm y 40,000 ppm con distintos tiempos de agitación de 30-60 min a una temperatura de 25°C, el indicador que se empleó para este análisis fue azul de metileno, donde la variable dependiente es la capacidad adsorptiva del carbón activado DARCO y las independientes son el tiempo de retención y concentración. Para el orden aleatorio de las pruebas fue ajustado por el programa Statgraphs Plus 5.1 empleando el método multinivel.

Para la calibración del Espectrofotómetro Espectrónico Termo de 20 GENESYS serial RS-232-C de UV se realizaron las lecturas de adsorbancia del azul de metileno en una longitud de onda de 652 nm, con el fin de obtener la curva de calibración, lo cual permitió obtener un rango de respuesta lineal para la cuantificación de la adsorbancia del Dodecil benceno sulfonato de sodio lineal.

En la adsorción del Dodecil benceno sulfonato de sodio lineal, se determinó que en los dos tiempos de contacto estipulados, el carbón activado presentó una gran adsorción ante los dos tipos de concentraciones, el porcentaje de remoción con respecto a los tiempos versus concentración osciló entre el 60% y 99%, presente en las muestras. El análisis estadístico que se empleó para comprobar la eficiencia de remoción fue el método de prueba de igualdad de varianzas empleando el programa estadístico SPSS, ratificando que no hay diferencia significativa en base a las concentraciones de las muestras de aguas.

Palabras claves: Adsorción, carbón activado industrial DARCO, Dodecil Benceno Sulfonato de Sodio, Tiempo de Retención

ABSTRACT

An experimental study was conducted evaluating the adsorptive capacity of activated carbon DARCO industry, in the presence of surfactants, sodium dodecyl benzene sulfonate linear mark present in the detergent FAB, dissolved in 250 mL of water. The coal was subjected to a testing process in order to know their physicochemical properties (% ash,% moisture, bulk density and porosity) by the standards of the American Society for Testing and Materials, as well as determining the percentage removal and quantification of adsorptive capacity.

Adsorption assays were performed in liquid phase with two different concentrations of 80.000 and 40.000 ppm ppm with different stirring times of 30-60 minutes at a temperature of 25 ° C, use the indicator for this analysis was methylene blue, where the dependent variable is the adsorptive capacity of the activated carbon DARCO and independents are the retention time and concentration. For the random order of the tests was adjusted Statgraphcs Plus 5.1 program using the multilevel method.

To calibrate the spectrophotometer 20 GENESYS Thermo Espectrónico serial RS-232-C of UV absorbance readings performed methylene blue at a wavelength of 652 nm, in order to obtain the calibration curve, allowing obtain a linear response range for quantifying the absorbance of sodium dodecyl benzene sulfonate linear.

In the adsorption of sodium dodecyl benzene sulfonate linear, it was determined that the two mixing times stipulated activated carbon adsorption to present a large two types of concentrations, the removal percentage relative concentration versus time ranged from 60 % and 99%, present in the sample. The statistical analysis was used to test the efficiency of the method of removal was equal variance test using SPSS, confirming that there is no significant difference based on the concentrations of the water samples.

Keywords: Adsorption, DARCO activated carbon industry, sodium dodecyl benzene sulfonate, retention time.

ÍNDICE	Pág.
I. CAPITULO	
1. ASPECTOS GENERALES	1
1.1. <i>Introducción</i>	2
1.2. <i>Planteamiento del problema</i>	4
1.3. <i>Justificación</i>	5
1.4. <i>Objetivos</i>	6
1.5. <i>Antecedente</i>	7
II. CAPITULO	
2. FUNDAMENTO TEORÍCO	8
2.1. <i>Detergentes</i>	9
2.1.1. <i>Composición de Detergentes</i>	9
2.1.2. <i>Surfactantes</i>	10
2.1.3. <i>Clasificación de Surfactantes</i>	10
2.1.4. <i>Mecanismo de Acción de Surfactantes</i>	14
2.1.5. <i>Biodegradación del SDBS</i>	15
2.1.6. <i>Comportamiento Medio Ambiental</i>	17
2.2. <i>Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense</i>	19
2.3. <i>Sustancias Reaccionantes al azul de Metileno</i>	23
2.4. <i>Adsorción</i>	24
2.5. <i>Carbón Activado</i>	25
2.5.1. <i>Obtención de Carbón Activado</i>	28
2.5.2. <i>Estructura del Carbón Activado</i>	30
2.5.3. <i>Aplicaciones de Carbón Activado</i>	34
2.5.4. <i>Adsorción del Carbón Activado</i>	35
2.5.5. <i>Modelo de adsorción de CA</i>	36
III. CAPITULO	
3. DISEÑO METODOLÓGICO	39
3.1. <i>Tipo de Estudio</i>	40
3.2. <i>Ámbito de Estudio</i>	40
3.3. <i>Variables</i>	40
3.4. <i>Diseño Experimental</i>	41
3.5. <i>Materiales y Métodos</i>	43

3.6.	<i>Parte Experimental</i>	46
IV. CAPITULO		
4.	ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	52
4.1.	<i>Resultados</i>	53
4.1.1.	<i>Resultados químicos-físicos de CA DARCO</i>	53
4.1.2.	<i>Determinación de la capacidad adsortiva del CA DARCO</i>	54
4.1.3.	<i>Curva de calibración para lectura de adsorción del SDBS</i>	57
4.1.4.	<i>Lectura de adsorbancia en Espectrofotómetro</i>	58
4.1.5.	<i>Curva de decaimiento de la concentración del SDBS</i>	59
4.1.6.	<i>Determinación de porcentaje de remoción del CA DARCO</i>	60
4.2.	<i>Análisis de Resultados</i>	62
4.2.1.	<i>Análisis químico-físicos del CA DARCO</i>	62
4.2.2.	<i>Análisis de porosidad de CA DARCO</i>	62
4.2.3.	<i>Análisis del porcentaje de remoción del CA DARCO</i>	62
4.2.4.	<i>Análisis Estadístico</i>	64
5.	CONCLUSIÓN	65
6.	RECOMENDACIONES	67
7.	BIBLIOGRAFÍA	69
ABREVIATURA		72
ANEXOS		

ÍNDICE DE ESQUEMAS, FIGURAS Y FOTOGRAFÍAS	Pág.
Esquema 3.1. Procedimiento para la determinación de porosidad de CA. DARCO mediante el método de CH ₃ COOH.	49
Esquema 3.2. Procedimiento para la determinación de la capacidad adsortiva del CA. DARCO empleando el método SAAM.	51
Figura 2.1. Gráfica de ecuación de la recta del modelo de Freundlich.	38
Figura 3.1. Caratula de presentación de programa Statgraphics Plus 5.1.	41
Figura 3.2. Opciones para creación de Diseño de Experimento.	42
Figura 3.3. Definición de variable Dependiente de concentraciones Altas y Bajas.	42
Figura 3.4. Definición de variable Dependiente de Tiempo de retención 30-60 minutos.	42
Figura 3.5. Diseño Factorial Multinivel de 8 ejecuciones.	43
Fotografía 3.1. Curva de diluciones de azul de metileno.	41



ÍNDICE DE GRÁFICOS Y TABLAS

Grafico 4.1. Regresión lineal para sustancias que reaccionan con el azul metileno.	57 de
Tabla 2.1. Componentes Principales presente en los Detergentes.	9
Tabla 2.2. Marcas de Detergentes distribuidas en supermercados que presentan Alquilbencenosulfanato de sodio lineal SABS.	12
Tabla 2.3. Marcas de Detergentes distribuidas en supermercados que presentan Dodecil Benceno Sulfanato de sodio SDBS.	13
Tabla 3.1. Disolución de acido acético glacial.	47
Tabla 3.2. Alícuotas de muestras a titular.	47
Tabla 4.1. Características químico-físicas del Carbón Activado DARCO.	52
Tabla 4.2. Pesajes de gramos de CA DARCO.	53
Tabla 4.3. Moles adsorbidos de CH ₃ COOH por CA. DARCO.	54
Tabla 4.4. Gramos adsorbidos de CH ₃ COOH por CA DARCO.	55
Tabla 4.5. Forma logarítmica de la ecuación de Freundlich.	55
Tabla 4.6. Constantes de Freundlich para la interface CA-CH ₃ COOH.	56
Tabla 4.7. Lecturas de concentración de muestras iniciales y finales.	58
Tabla 4.8. Determinación de porcentaje de remoción en los adsorbatos.	60



ASPECTOS GENERALES



1.1. INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de agua dulce surge como uno de los graves problemas que enfrenta la población Nicaragüense, dado que los suministros de agua potable se encuentran contaminados, debido a que los lagos y ríos son empleados como cuerpo receptores de residuos domésticos, industriales y agrícolas.

Entre los residuos más comunes derivados del uso doméstico e industrial, se encuentran los detergentes, los cuales están conformado por surfactantes (materia activa) y por un conjunto de componentes complementarios. La presencia de estos compuestos se manifiestan en la espuma que se forma en el recurso acuático, inhibiendo la oxidación, alterando la transferencia y disolución del oxígeno entre la superficie y el aire, dificultando la auto depuración de las corrientes de agua, provocando olor, color y sabor desagradable, causando efectos tóxicos en la flora y fauna del medio acuático.

Esta problemática ha hecho necesario el establecimiento de medidas de control, empleando sistemas capaces de acondicionar las aguas de modo que sus descargas no produzcan riesgos a la biota acuática. Pero los métodos empleados por los sistemas de tratamiento de aguas residuales del país, no poseen un sistema de remoción para sustancias surfactantes, por ende es necesario desarrollar un proceso eficaz, de bajos costos y que permita proteger los cuerpos de agua.

La adsorción con carbón activado es uno de los métodos conocido por su efectiva solución a problemas medioambientales, dado que es un material de bajo costo y abundante disponibilidad. El mecanismo de adsorción de los carbones activos se debe a las propiedades que poseen los materiales carbonosos, donde permiten atrapar materia orgánica en sus poros dada a la acción de las “Fuerzas de Van der Waals”, las cuales se basan en la atracción de los átomos que se llevan a cabo en la superficie del carbón activado. La alta porosidad que posee el carbón

Evaluación de capacidad adsortiva de Carbón Activado DARCO



activado y la cinética que ocurre en los procesos de adsorción lo convierten en depurador de sustancias no deseables.

Este trabajo se basa en evaluar la capacidad adsortiva del carbón activado industrial DARCO sobre un tipo de surfactante, presente en la marca de detergente FAB, el dodecil benceno sulfonato de sodio lineal, eliminar las sustancias surfactantes de los distintos cuerpos de agua. Se caracterizo sobre el carbón activado los parámetros tales como, ceniza, humedad, densidad aparente y porosidad, así mismo se realizó el análisis de remoción del adsorbato mencionado, mediante una agitación mecánica con el adsorbente.



1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las distintas giras de campo realizadas a las plantas de tratamiento de aguas residuales, Augusto Cesar Sandino, Jinotepe y León, realizadas en la asignatura de Química Ambiental, se observó en los afluentes manifestación de espuma, indicativa de presencia de detergente, a causa del no tratamiento efectivo de remoción para este tipo de sustancias.

La Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense estipula que todos los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales se deben de encontrar libre o en concentraciones mínimas de 10 mg/L de sustancias activas al azul de metileno, con el fin de evitar la contaminación del cuerpo receptor (Decreto 33-95, art 19). Cabe mencionar que por la presencia de espuma en los sistemas de tratamiento se puede intuir, que la normativa no se cumple.

Por lo tanto, las plantas de tratamiento deben de contar con un procedimiento terciario que sea económico, viable y práctico para la remoción de los detergentes, con el fin de evitar la continua contaminación de los distintos cuerpos receptores. Dentro de la normativa se mencionan varios métodos donde el uso del carbón activado es uno de los recomendados para la remoción de sustancias difíciles.

En virtud de lo anterior se formulan las siguientes preguntas:

- ¿El carbón activado DARCO es capaz de remover el detergente mediante un proceso de adsorción?
- ¿El tiempo de contacto del carbón activado DARCO es un factor influyente en la adsorción del detergente?
- ¿La concentración del detergente afecta el proceso de adsorción del carbón activado DARCO?



1.3. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad el uso de detergente no biodegradable utilizado por la población nicaragüense, contribuye a la contaminación de los recursos hídricos, no obstante existen plantas de tratamientos de agua distribuidas en las distintas zonas del país que procesan el 39.4% de las aguas domésticas e industriales a nivel Nacional. *ENACAL, Taller Regional de Tratamiento Sostenible de Aguas Residuales, Honduras, 2006.*

El detergente provoca un efecto indeseable en los recursos hídricos como lo es la eutrofización, fenómeno que ocurre por el crecimiento excesivo de plantas acuáticas en el fondo y superficie en los depósitos de agua precedido por afectaciones de las propiedades físico-químicas del agua, extinción de la biota y formación de lodos.

Por esta razón es necesaria la eliminación de estas sustancias antes de salir del sistema de tratamiento. El método de eliminación más adecuado es la adsorción de carbón activado, el cual se caracteriza por su eficiente capacidad de adsorber olor, color, sabores y cualquier sustancia indeseable.

Este estudio de evaluación de la capacidad adsortiva del carbón activado DARCO en sustancias surfactantes como el SDBS, se justifica con el fin de determinar la cantidad de sustancias surfactante removida de aguas contaminadas, causante de espuma y eutrofización, lo cual podría beneficiar a los recursos hídricos como fuente de agua potable o en la disminución de este contaminante a los cuerpos receptores de agua.



1.4. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

- Evaluar la capacidad adsorptiva del carbón activado Industrial DARCO en agentes surfactantes Dodecil Benceno Sulfonato de Sodio Lineal (SDBS), presentes en Detergentes, empleando un método de colorimetría, en los laboratorios de química de la unan-managua.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar las propiedades Químicas-Físicas del Carbón Activado Industrial DARCO tales como: Humedad, Ceniza, y Densidad aparente. En los laboratorios de química de la unan-managua.

- Calcular la porosidad del Carbón Activado Industrial DARCO a través del índice de ácido acético glacial. En los laboratorios de química de la unan-managua.

- Cuantificar la capacidad adsorptiva del Carbón Activado Industrial DARCO por el porcentaje de remoción con agentes surfactantes Dodecil Benceno Sulfato de Sodio Lineal (SDBS) utilizando el método SAAM con espectrofotometría. En los laboratorios de química de la unan-managua.



1.5. ANTECEDENTES.

La investigación de Evaluación de Capacidad Adsorptiva del Carbón Activado Industrial DARCO en Agente Surfactante Dodecil Benceno Sulfato de Sodio Lineal, Presentes en Detergentes; no presentó ningún tipo de antecedente a nivel nacional, ya que no se ha realizado ningún estudio sobre la adsorptividad en sustancias surfactantes como el Dodecil Benceno Sulfonato de sodio Lineal utilizando carbón activado.

En cambio en España en la Universidad de Granada de la Facultad de Calidad de Agua se realizó el estudio sobre sustancias surfactantes tal como:

◆ Granada, junio, 2008. Eliminación del surfactante dodecibencensulfonato sódico de las aguas mediante adsorción en carbones activados, ozonización catalizada y fotooxidación. Dr. José Diego Méndez Díaz.

En el cual concluye: Los carbones activados presentan una elevada capacidad de adsorción de SDBS. En general, los valores de las muestras aumentan; 1) al incrementar el volumen de microporos de mayor tamaño del carbón activado; 2) el pH del medio no afecta considerablemente, al proceso de adsorción del SDBS; 3) La capacidad de adsorción de los carbonos para adsorber el SDBS aumenta cuando el proceso se lleva a cabo en presencia de bacterias; 4) La toxicidad del SDBS es nula cuando su concentración no supera los 5mg/L



FUNDAMENTO TEÓRICO



2.1. Detergentes

Según la Norma Internacional ISO 2870-2009, “Un detergente es un producto especialmente para limpieza mediante un proceso que desarrolle fenómenos de *detergencia*”, entendiéndose por *detergencia* el proceso por el cual las suciedades son separadas del sustrato en que estaban retenidas y puestas en estado de disolución o dispersión.

Para que una sustancia sea considerada un detergente debe actuar de manera efectiva en la eliminación de grasas y suciedad de los tejidos, sin afectar apreciablemente el tejido mismo. Para lograr este propósito, el detergente debe ser capaz de ser soluble en agua, tener afinidad por las grasas, no afectar los tejidos, no ser tóxico, ni producir alergia, tener capacidad para eliminar las manchas y no tener olor desagradable. Todas estas características deben estar presentes en la producción de un detergente, lo que hace su formulación variada en las distintas marcas de distribución.

2.1.1. *Composición de Detergente*

La efectividad de remoción que generan los detergentes se debe a la reducción drástica de la tensión superficial del agua, de manera que las moléculas de agua no se sienten tan atraídas mutuamente, y así penetran la superficie del líquido, por los componentes que conforman a los detergentes.

En la tabla 2.1. Se presenta una perspectiva general de los componentes principales presentes en la mayoría de los detergentes comercializados a nivel global y su función en el proceso global de lavado¹. Existen marcas de detergentes que agregan más compuestos como agentes quelantes, suavizantes y diluyentes pero estos van en dependencia de la marca del detergente (Anexo No 1, figura 1). Todas son sustancias contaminantes del medio ambiente, principalmente las sustancias surfactantes.

¹Domínguez J.J.G., *Tensoactivo y Detergencia*. Ed. Dosset S.A. Madrid, España. 1986 Pág. 166



Tabla 2.1. Componentes Principales presente en los Detergentes

Surfactantes o Tensoactivos	Es la materia prima fundamental del detergente ya que su funcionamiento es disminuir la tensión superficial entre las fases de una emulsión; por ejemplo fases como: aire-agua, aceite-agua y sólido-líquido.
Potenciadores o constructores	Se encargan de retener el calcio y el magnesio que puede haber en el agua y evitan que la suciedad se vuelva a depositar en el tejido.
Enzimas	Rompen las moléculas de las manchas proteínicas (Huevo, leche, sangre).
Blanqueadores	Dejan la ropa más blanca y eliminan las manchas más difíciles.
Abrillantadores ópticos	Son colorantes que absorben luz y re-emiten a luz.
Perfumes	Dan olor agradable a la ropa
Reguladores de Espuma	Son necesarios para que los surfactantes realicen una limpieza eficiente.

Fuente: Domínguez J.J.G., Tensoactivo y Detergencia. Ed. Dosset S.A. Madrid, España. 1986

2.1.2. Surfactantes

“Agente de actividad superficial” es el término que ha sido aceptado para describir sustancias orgánicas con ciertas características en su estructura capaces de modificar las propiedades físicas (mecánicas, eléctricas, etc.) de una superficie o de una interface, reduciendo la tensión superficial.

Los surfactantes presentan una estructura anfipática, es decir, en su composición hay dos zonas distintas: hidrofílica, la cual es la parte soluble (atraen al solvente) y otra insoluble que es hidrofóbica (repelen al solvente) estos nombres se denominan si el surfactante es disueltos en agua u otro medio acuoso. (Anexo 2, figura 2).

2.1.3. Clasificación de Surfactantes

Los surfactantes se clasifican, por su estructura molecular o según la forma de disociación en el agua. La clasificación de los agentes surfactantes con respecto a su disolución se debe a la parte hidrofílica ya que esta se puede agrupar en tres grupos:



1. Surfactantes Iónicos^{2,3}. Estos se subdividen en: 1) Aniónicos los cuales se componen de hidrocarburos saturados y grupos sulfatos. 2) Catiónicos son compuestos cuaternarios que generalmente poseen carga negativa. Estos tipos de surfactantes se emplean en la fabricación de detergentes (Laurilsulfonato de sodio) y jabones. (Anexo No 2, figura 3)

2. Surfactantes No-iónicos². Estos carecen de carga, en soluciones acuosas no forman iones, ya que su parte hidrofílica está formado por grupos polares no ionizados como alcohol, tiol, éter o éster. Se emplean en fabricación de champú y jabones de lava vajilla.

3. Surfactante Anfotérico^{2,3}. Este tipo de surfactante presenta una molécula con tendencias aniónicas y catiónicas, su comportamiento va en dependencia del pH del medio de disolución, los tensoactivos que son anfóteros poseen una carga positiva en ambientes fuertemente ácidos, carga negativa en ambientes fuertemente básicos. Este tipo de surfactante se usa en casos particulares, como espumantes, en otros casos como cosméticos. (Anexo No 2, figura 4).

El detergente presenta dos tipos de estructuras, ramificadas como Alquilbenceno Sulfonato de cadena ramificada (ABS) por sus siglas en inglés (Alkylbencen Branched Sulfates), estas estructuras fueron las pioneras en la formulación del detergente, sus usos iniciales fueron en los años 50, donde se dejó de emplear por los grandes impactos de eutrofización que causaba a los medios acuáticos, dado que su estructura molecular era tan ramificada que no permitía ser descompuesta por los microorganismos, bajo estas problemáticas se inicio la reformulación del detergente, dando origen a las estructuras lineales⁴.

² Jean L. SALAGER, Cuaderno FIRP S300-A, Modulo de enseñanza en Fenómenos Interfaciales, Surfactantes, Tipos y Usos, Universidad de los Andes, Merida-Venezuela, Versión #2, 2002, pág. 17-42.

³ Morales Q. Luis A. (2007). Estudio del Proceso de Transferencia de calor convectivo en nanofluidos, Universidad del Norte. Barrquilla, Colombia. Pág. 14-28.

⁴ José D. Méndez D., (2008). Eliminación del Surfactante dodecilsulfonato sódico de las aguas mediante adsorción en carbones activados, ozonización catalizada y fotooxidación. Tesis Doctoral Universidad de Granada, España, pág 36-38.



Estas estructuras llamadas Alquilbenceno Sulfonato Lineal (LAS) por sus siglas en inglés (Linear Alkylbenzene Sulphonate) están conformadas por tres partes, un anillo bencénico central disustituido en los carbonos 1 y 4 optando una posición “*para*”, uno de los sustituyentes es un grupo sulfónico ionizado (SO_3^-) y el otro sustituyente es una cadena alquílica lineal, que puede variar en su número de carbono los rangos estimados son 10-14 átomos de carbono (Anexo No 3, figura 5). Pero de igual manera estos compuestos siguen siendo tóxicos para peces y la toxicidad para las algas varía ampliamente⁵.

Entre el elevado número de marcas de detergentes comercializadas en los distintos supermercados de la ciudad de Managua (La Colonia, PALI Y UNION) se encontraron dos tipos de LAS, alquilbencenosulfonato de sodio lineal (SABS) por sus siglas en inglés y dodecil benceno sulfonato de sodio lineal (SDBS) por sus siglas en inglés, ambos surfactantes aniónicos⁶. Este último será el objeto de estudio.

El SABS es el nombre comercial de varias marcas de detergentes donde no se muestra la cantidad exacta de carbono en la cadena alquílica lineal, mientras que SDBS brinda información específica con respecto a su estructura molecular. Posee una cadena alquílica de 12 carbonos, enlazada con orientación “*para*” con el sulfonato de sodio en el anillo bencénico, su fórmula general es $(\text{C}_{12}\text{H}_{25})\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_3\text{Na}$ (Anexo No 3, figura 6)⁵. Se clasificaron las marcas de detergentes que emplean SABS y SDBS indicadas en las tablas 2.2. y 2. 3.

El SDBS es ampliamente utilizado en todo el mundo por su fácil síntesis, por su alta biodegradabilidad y buenas propiedades deterativas. Sus principales propiedades físico-químicas son⁷:

⁵ José D. Méndez D., (2008). *Eliminación del Surfactante dodecilbencenosulfonato sódico de las aguas mediante adsorción en carbones activados, ozonización catalizada y fotooxidación. Tesis Doctoral Universidad de Granada, España, pág 36-38.*

⁶ *Visitas realizadas a supermercado por Equipo de Trabajo.*

⁷ Marco Nimar L. (2007). *Estudio del comportamiento ambiental del Sulfonato de Alquilbenceno lineal, en parcela agrícola de la vega, Granada, Universidad de Granada, España. pág. 33.*



- **Peso molecular:** 342.4 g/mol.
- **Presión de vapor a 25°C:** Este valor varía entre $(3-7) \times 10^{-13}$ Pa.
- **Punto de fusión:** La mezcla comercial del SDBS funde a 277°C.
- **Punto de ebullición:** 637°C
- **Coeficiente de partición en octanol-agua (K_{ow}):** 3.32.
- **Densidad:** Se deriva de la pasta de ácido sulfónico el cual posee una densidad de 1.06 Kg/L.
- **Viscosidad:** El valor de este parámetro es similar a los ácido sulfónico que componen el SDBS, oscilando sobre los 1000 centipoises a una temperatura de 25°C.
- **Solubilidad en agua:** Para el SDBS es de 250 g·/L a una temperatura de 20°C.
- **Equilibrio químico:** 3.08
- **Concentración micelar crítica:** La cantidad necesaria para la formación micelar para el SDBS es de 1100 mg/L.

Tabla 2.2. : Marcas de Detergentes distribuidas en supermercados que presentan Alquilbencenosulfanato de sodio lineal SABS.

Súper Mercado La UNION	Súper Mercado PALI	Súper Mercado La Colonia
XEDEX	XEDEX	XEDEX
Surf	Surf	Surf
123	123	123
Rendidor	Rendidor	Rendidor
ESPUMIL	ESPUMIL	
SULI	SULI	
6 Marcas de Detergentes		

Fuente: *Visitas realizadas a supermercado por Equipo de Trabajo*



Tabla 2.3. : Marcas de Detergentes distribuidas en supermercados que presentan Dodecil Benceno Sulfonato de sodio SDBS.

Súper Mercado La UNION	Súper Mercado PALI	Súper Mercado La Colonia
Fab	Fab	Fab
SuperMax	SuperMax	Ariel
		Irex
		EcoMax
5 Marcas de Detergentes		

Fuente: Visitas realizadas a supermercado por Equipo de Trabajo

2.1.4. Mecanismo de acción de Surfactante

Al colocarse en la superficie del agua los tensoactivos rompen los puentes de hidrógeno, donde la parte polar (hidrofílica) es fuertemente atraída por las moléculas del agua quedando retenida, mientras la parte hidrocarbonada (hidrofóbica) se proyecta fuera de ella disminuyendo la tensión superficial de la misma. Para que este funcionamiento se lleve a cabo los tensoactivos deben cumplir⁸:

- ❖ La cadena hidrofóbica debe de tener al menos 8 átomos de carbono (cuanto más larga mayor carácter hidrófobo). La presencia de dobles enlaces o ciclos disminuye la hidrofobicidad.
- ❖ Una polaridad mínima, que está relacionada entre el carácter hidrófobo e hidrófilo.
- ❖ Formar agregados micelares. Las micelas son estructuras ordenadas con diferentes geometrías y con capacidad de secuestrar a los agentes de suciedad (clave de la limpieza).

⁸ José D. Méndez D., (2008). *Eliminación del Surfactante dodecibencensulfonato sódico de las aguas mediante adsorción en carbones activados, ozonización catalizada y fotooxidación. Tesis Doctoral Universidad de Granada, España, pág. 33*



Una vez cumplido estos parámetros la acción detergente del SDBS se da en un mecanismo conocido como “Mecanismo de *rolling-up*”⁹ que consiste en la eliminación de la suciedad del tejido. Se produce inicialmente con la disminución de la tensión superficial, como consecuencia se observa un incremento en el ángulo de contacto que forma el borde de la película de grasa o suciedad formando gotas y así provocando el desprendimiento del tejido. Este proceso se da en cuatro fases:

- En la primera fase el SDBS es orientado, donde la parte hidrofílica sobresale del nivel del agua encarándose al aire y la parte hidrófoba quedan fuera o bien es adsorbido por el compuesto a remover o por el sustrato. (Anexo No 4, figura 7).
- En la segunda, la película de suciedad se reduce hasta adquirir forma de gotas, formación de micelas, bajo la influencia del SDBS, manteniéndose su adsorción tanto en la superficie del tejido como sobre las gotas así formadas. (Anexo No 4, figura 8).
- En la tercera fase, las fuerzas de repulsión entre las gotas de grasa y el sustrato, ambas cargadas con tensioactivos, comienzan a ser tan intensa que se produce la remoción de la suciedad del tejido.
- Por último, las propiedades emulsificantes del SDBS comienza a actuar para que las gotas de suciedad cargadas de tensoactivo sean emulsionadas y puedan así ser arrastradas por la disolución de lavado.

La descripción del mecanismo se presenta en Anexo No 5, figura 9.

2.1.5. Biodegradación del SDBS

Se entiende por biodegradación la ruptura molecular de un sustrato orgánico, reflejando la acción enzimática de los microorganismos que utilizan este sustrato como alimento. Para que esto se lleve a cabo se debe de cumplir un orden de biodegradación¹⁰.

⁹ Berth P. Jaschke P., *Consumption and fields of application of LAS Tenside Surf. Det.* 26; 1989. Pág.75-79.

¹⁰ José D. Méndez D., (2008). *Eliminación del Surfactante dodecilsulfonato sódico de las aguas mediante adsorción en carbones activados, ozonización catalizada y fotooxidación. Tesis Doctoral Universidad de Granada, España, Pág. 51.*



a) Biodegradación primaria, es la parte donde el sustrato pierde propiedades características. En el caso de los surfactantes, es pérdida de formación de espumas o la reducción de la tensión superficial.

b) Biodegradabilidad avanzada, se alcanza cuando la molécula de sustrato se divide en segmentos más pequeños.

c) Biodegradación final o mineralización, es la secuencia de ataques enzimáticos, que reduce el sustrato a una estructura más simple.

Estudios realizados por científicos alemanes Swisher¹⁰ y Schöberl¹¹, determinaron la biodegradabilidad del SDBS, e indican que su degradación en el agua, inicia con la oxigenación de un grupo metilo terminal de la cadena alquílica y la conversión del alcohol a un grupo carboxílico, originando el sulfofenilcarboxilato como intermediario de biodegradación. Estos compuestos intermedios poseen una toxicidad mucho menor que la molécula madre.

La degradación del SDBS, inicia con una ω -oxidación que es provocada por la interacción de los microorganismos y enzimas presentes en el agua, subsecuentemente ocurren sucesivas etapas de oxidación que van promoviendo la fragmentación de la cadena alquílica eliminando dos carbonos a la vez, proceso conocido como β -oxidación, hasta que esta cadena queda muy corta. Con el resultado de un sulfofenilcarboxilato de cadena muy corta, ocurriendo la ruptura del anillo bencénico, siendo ésta la etapa limitante de todo el proceso de degradación. El mecanismo más aceptado de esta ruptura es por formación del 4-sulfocatecol a causa que muchos microorganismos degradan el SDBS presentan altos niveles de la enzima 4-sulfocatecol-2-diosigenasa¹².

¹⁰Swisher R.D., *Surfactantes biodegradación*, 2ª Ed. Marcella Dekker, N.Y. U.S.A 1987

¹¹Schöberl P. *Basic principales of LAS biodegradación. Tensida Surf Det.* 26, Pág. 86-94

¹²Márcio Nimer L., (2007). *Estudio del Comportamiento Ambiental del Sulfonato de Alquilbenceno Lineal (LAS) en una Parcela Agrícola de la Vega Granada. Tesis Doctoral Universidad de Granada, España, Pág. 55-57.*



La biodegradación completa del SDBS concluye con la desulfonación de la molécula con total mineralización del compuesto en CO₂, H₂O, Na₂SO₄ y la incorporación de estas sustancias a la biomasa del ecosistema. (Anexo No 6, figura 10).

Los estudios realizados¹³, determinaron que la biodegradabilidad del SDBS en condiciones aeróbicas, y su resistencia a la actividad bacteriana anaerobia es de un 90%, pero este dato porcentual depende de su estructura molecular ya que, la longitud de la cadena alquílica está directamente relacionada con la tasa de degradación primaria (a mayor longitud, más rápido se degrada), los fenilo-isómeros en las posiciones centrales son degradados más lentamente que los isómeros situados en las extremidades y tener un control operacional con las descargas al medio acuático, ya que la velocidad de biodegradación del SDBS comprende entre 1-12 h ($t_{1/2}$), con unas constantes de velocidades de degradación en condiciones reales entre $k = 0.06 - 0.7 \text{ h}^{-1}$.

2.1.6. Comportamiento Medioambiental

Como se ha indicado anteriormente, los (LAS) fueron desarrollados debido a la necesidad de sustituir a los (ABS), por las acumulaciones de espumas y el impacto visual, lo cual impedía el intercambio de oxígeno entre la atmosfera y el medio acuático, produciendo un empobrecimiento en el nivel de oxígeno, provocando la muerte de diversas especies y acabando completamente con el ecosistema.

Otro problema era la acumulación excesiva de espumas en las plantas de aguas residuales, la cual provocaba la muerte de los microorganismos que actúan en los lodos activos, bajo condiciones aeróbicas, disminuyendo considerablemente la eficiencia de degradación de las plantas de tratamientos¹⁴. (ANEXOS No 21, 22, Fotografías 2 y 6).

¹³ Márcio Nimer L., (2007). *Estudio del Comportamiento Ambiental del Sulfonato de Alquilbenceno Lineal (LAS) en una Parcela Agrícola de la Vega Granada. Tesis Doctoral Universidad de Granada, España, Pág. 58.*

¹⁴ Platzer Michael, *Investigación y Experiencias con biofiltros en Nicaragua, Centro América XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Cancún, México, 27 al 31 de octubre 2002.*



Se espera que el uso de los detergentes que contengan una cadena lineal no contamine tanto como los ramificados, pero los compuestos del que están conformados los detergentes siguen siendo una fuente de contaminación para el agua por sus propiedades químicas. Sin embargo a pesar de que el SDBS es altamente biodegradable en condiciones aeróbicas, se presentan problemáticas ambientales ocasionadas por el uso desmedido de los detergentes sintéticos, entre los principales tenemos:

- **Espuma.** La presencia excesiva de espuma en las aguas residuales inhibe los procesos de depuración natural, concentran las impurezas y diseminan las bacterias. La principal problemática en las plantas de tratamientos es la presencia de espuma afectando la sedimentación primaria, dificulta la solubilidad del oxígeno y recubriendo la superficie con sedimentos que poseen altas concentraciones como surfactantes, grasas y lodos. (ANEXO No 21, fotografía 1).
- **Toxicidad en la vida acuática.** La presencia de detergente en las aguas no permite la entrada de oxígeno a los distintos organismos acuáticos.
- **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 la fauna y los nutrientes.
- **Alteraciones de la transferencia y disolución del oxígeno.** Los detergentes disminuyen la solubilidad del oxígeno en el agua, por la formación de una película superficial, que dificulta la renovación del oxígeno disuelto, inhibiendo la autodepuración de los ríos. (ANEXOS No 21, 23, Fotografías 3 y 7).
- **Eutrofización.** Se da por la aplicación de compuestos fosfatados en los detergentes, dado a los grandes impactos ambientales que causó el uso de estos compuestos, ya no se producen detergentes fosfatados, por ende los problemas de eutrofización se verán disminuidos, donde el crecimiento de algas y plantas



acuáticas no se producirá de manera tan excesiva y no habrá recubrimientos superficiales que impidan el intercambio entre el oxígeno y dióxido de carbono. (ANEXO 22 Fotografía 5).

2.2. Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense (NTON)¹⁵.

La regulación que brinda la normativa nicaragüense en lo referido a sistema de tratamientos de aguas residuales, por disposición del Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARENA) contamos con la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense NTON 05-027-05. Su principal objetivo se encuentra orientado a establecer disposiciones y regulaciones tanto técnicas como ambientales con el objetivo de ubicar, operar y mantener un buen manejo de desechos sólidos y líquidos que hayan sido generados por sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias.

Partiendo de esta premisa es importante destacar que el ámbito de aplicación de NTON es extensivo a todo el territorio nacional y de obligatorio cumplimiento para todas las personas naturales y jurídicas, públicas y privadas que realicen actividades de las cuales se deriven, utilicen y dispongan los efluentes líquidos o aguas residuales tratadas en cualquiera de sus denominaciones.

Al tenor de la normativa deberá entenderse como aguas residuales en virtud del acápite 3.1¹⁶ a todas aquellas aguas procedentes de actividades domésticas, comerciales, industriales y agropecuarias que presenten características físicas, químicas o biológicas que causen daño a la calidad del agua, suelo, biota y a la salud humana. De igual manera en el acápite 4.40¹⁷ se denomina como Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR) al conjunto de procesos físicos, químicos o biológicos, que se aplican al agua residual con el fin de mejorar su calidad.

¹⁵ Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense 05027-05, para regular los sistemas de tratamientos de aguas residuales y su reuso.

¹⁶ Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense 05027-05, para regular los sistemas de tratamientos de aguas residuales y su reuso. Art. 3, pág. 3520

¹⁷ Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense 05027-05, para regular los sistemas de tratamientos de aguas residuales y su reuso. Art. 4, Acp. 4.40 pág. 3522)



La normativa indica los tipos de tratamientos que deben ser desarrollados en el proceso:

1. Tratamiento preliminar el cual prepara las aguas residuales con el objetivo de vigilar la calidad previa de estas aguas, evitando el daño a equipos mecánicos, obstrucción de tuberías, control de entrada de caudal, etc.¹⁸
2. Tratamiento primario basado en procesos físico-químicos que reducen la DBO de las aguas residuales.¹⁹
3. Tratamiento secundario consiste en desarrollar microorganismos capaces de eliminar la materia orgánica biodegradable.²⁰
4. Tratamiento terciario considerado como un tratamiento adicional para la eliminación de compuestos orgánicos y sintéticos muy complejos.²¹

Dentro de los procesos y sistemas de tratamiento el análisis del trabajo, seguirá bajo el concepto que aporta la normativa en el sub-acápite 9.1.3.²² considerado como métodos de tratamiento secundarios: Lodos activados, zanjas de oxidación, filtros percoladores, filtros anaeróbicos, reactor UASB, filtros biológicos, lagunas facultativas y aeróbicas, lagunas aireadas, lagunas macrofitas, filtros verdes, biofiltros, lechos de carbón activado y biodiscos.

Y dentro del acápite 9.3.²³ señala que los contaminantes de materia orgánica refractaria deben de ser tratadas por adsorción de carbón, ozonización terciaria o sistemas de tratamientos para evacuación del terreno. En estos artículos se señala al carbón activado como tratamiento a tomar en cuenta en el proceso de los STAR demostrando el nivel de utilidad que presenta este método.

¹⁸ Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense 05027-05, para regular los sistemas de tratamientos de aguas residuales y su reuso. Art. 4, Acápites 4-45 pág. 3522.

¹⁹ Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense 05027-05, para regular los sistemas de tratamientos de aguas residuales y su reuso Art. 4, Acápites 4-46 pág. 3522

²⁰ Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense 05027-05, para regular los sistemas de tratamientos de aguas residuales y su reuso Art. 4, Acápites 4-47 pág. 3523

²¹ Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense 05027-05, para regular los sistemas de tratamientos de aguas residuales y su reuso Art. 4, Acápites 4-48 pág. 3523.

²² Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense 05027-05, para regular los sistemas de tratamientos de aguas residuales y su reuso Art 9. Acp. 9.1. pág. 3525.

²³ Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense 05027-05, para regular los sistemas de tratamientos de aguas residuales y su reuso Art 9, pág. 3525.



En el acápite 12.1²⁴ se encuentra establecido el funcionamiento para el monitoreo de las aguas residuales siendo determinante que para la vigilancia y el control de efluentes se deberá cumplir con los parámetros establecidos en los Decretos 33-95²⁵ y 77-2003.²⁶

En concordancia con el acápite 5.2²⁷ los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas industriales y agropecuarias deberán ajustarse a los límites máximos permisibles establecidos para los efluentes antes de ser descargados al alcantarillado y cuerpos receptores.

A la vez señala en su artículo 19²⁵ que las sustancias Tensoactivas que reaccionan al azul de metileno no deben de propasar 10mg/l. En la práctica no se cumple con este criterio, ya que no se cuenta con plantas de tratamientos equipadas con un sistema de remoción eficaz ante sustancias Tensoactivas lo cual genera alteraciones en las propiedades físico-químicas del agua.²⁸

Arto.19 Los parámetros de calidad de vertidos líquidos que sean descargados en las redes de alcantarillado sanitario del país, provenientes de vertidos domésticos y actividades industriales y agropecuarias autorizadas deberán cumplir, los rangos y límites máximos permisibles siguientes:²⁵

²⁴ Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense 05027-05, para regular los sistemas de tratamientos de aguas residuales y su reuso Art. 12, pág. 3527.

²⁵ Decreto 33-95 “Disposiciones para el control de la contaminación proveniente de las descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias”.

²⁶ Decreto 77-2003 “De establecimiento de las Disposiciones que regulan las descargas de Aguas Residuales Domésticas provenientes de los sistemas de tratamientos en el Lago Xolotlán”.

²⁷ Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense 05027-05, para regular los sistemas de tratamientos de aguas residuales y su reuso Art. 5, pág. 3523.

²⁸ ENACAL. Taller Regional de Tratamiento Sostenible de Aguas Residuales, Honduras, 2006.

Evaluación de capacidad adsortiva de Carbón Activado DARCO



Parámetros Físicos Químicos	Límites Máximos
Temperatura °C	50
pH	6-10
Conductividad Eléctrica (Micromhos/cm)	5,000
Aceites y Grasas Totales (mg/L)	150
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) (DBO a 20°C)	400
Demanda Química de Oxígeno (DQO) (mg/L)	900
Fósforo total (mg /L)	*
Nitrógeno Total (mg /L)	*
Sólidos Flotantes	Ausente
Sólidos Suspendedos (mg /L)	400
Sólidos Totales (mg /L)	1,500
Mercurio (mg /L)	0.02
Arsénico (mg /L)	1.0
Cadmio (mg /L)	1.0
Cromo Hexavalente (mg /L)	0.5
Cromo Trivalente (mg /L)	3
Cianuro (mg /L)	2
Cobre (mg /L)	3
Plomo (mg /L)	1
Fenoles (mg /L)	1
Níquel (mg /L)	3
Zinc (mg /L)	3
Plata (mg /L)	5
Selenio (mg /L)	5
Sulfuros (mg /L)	5
Sustancias Tensoactivas reaccionantes al azul metileno (mg /L)	10
Hierro (mg /L)	50
Cloruro (mg /L)	1,500
Sulfatos (mg /L)	1,500

Fuente: Decreto 33-95 "Disposiciones para el control de la contaminación proveniente de las descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias". Art 19.



2.3. Sustancias reaccionantes al azul de metileno²⁹

Existen una gran variedad de métodos que permiten determinar la cantidad de surfactante presente en una muestra de agua, el parámetro más empleado para análisis de aguas potables y residuales es el de “Sustancias Activas para el Azul de Metileno” (SAAM). Este método se emplea para valorar el contenido de surfactantes específicamente de carácter aniónicos tales como sulfonatos $[\text{RSO}_3]^- \text{Na}^+$, del tipo éster de sulfonato $[\text{ROSO}_3]^- \text{Na}^+$, y no iónicos de sulfatados $[\text{RE}_n\text{OSO}_3]^- \text{Na}^+$.

El método SAAM se basa en la transferencia del azul de metileno (tinta catiónica) de una solución acuosa a un líquido orgánico inmisible, hasta llegar a equilibrio. Esto ocurre a través de la formación de un par iónico entre el anión SAAM y el catión azul de metileno, se debe a la activación que promueven los surfactantes aniónicos, permitiendo la medición del SAAM, entre más intenso es el color mayor presencia de SAAM.

Cabe señalar que este método no es eficaz en surfactantes catiónicos y otros materiales catiónicos como las aminas, dado que compiten con el azul de metileno en la formación de pares iónicos produciendo interferencia en la adsorción del SAAM.

El método SAAM ha sido aplicado con éxito a muestras de agua potable, residuales, residuos industriales y lodos, por los distintos laboratorios de análisis de agua más reconocidos en Nicaragua, CIRA³⁰ y ENACAL.³¹

²⁹ *Métodos Normalizados para Análisis de aguas potables y residuales. Publicado por America Public Health Association American WATER WORKS Association Water Pollutions Control Federation. Edición en español Díaz de Santos S.A. 1992. Cap. 5, Pág. 69-73*

³⁰ CIRA: empleado desde 1995

³¹ ENACAL: empleado desde 1990



2.4. Adsorción

La adsorción se define como un proceso superficial de transferencia de masa, en el cual las moléculas dispersas presentes en una fase (líquida o gaseosa) y se adhieren a la superficie de un sólido, en cuya superficie se produce la adsorción denominándolo adsorbente y la sustancia que es adsorbida recibe el nombre de adsorbato. Entre los principales adsorbentes de uso general, el más común es el carbón activado.³²

La adsorción es distinta de la absorción y entre ellas debe establecerse una clara diferencia. La absorción se basa es un proceso físico o químico en el cual átomos, moléculas o iones pasan de una primera fase a otra incorporándose al volumen de la segunda fase. Mientras que la adsorción, la sustancia es retenida en la superficie, pasando hacia el interior del sólido, mediante los canales (rellenado de poros) y se distribuye por todo el cuerpo del sólido.³³

La superficie virgen de un sólido, provoca un campo de fuerza concentrando en los alrededores de las moléculas, llenando el espacio que circunda al sólido de referencia. Este proceso es espontáneo ($\Delta G < 0$) y durante su transcurso pasan moléculas de un estado a otro, disminuyendo la entropía del sistema adsorbato-adsorbente ($\Delta S < 0$).³⁴

El balance energético del proceso vendrá dado por la combinación de la espontaneidad del proceso y el correspondiente ordenamiento molecular definiéndose la variación de energía como.³⁴ (Ecuación 1.)

$$\Delta H = \Delta G + T \Delta S \quad (1)$$

³² Mendieta N. Eduardo (2008). *Estudio de la capacidad adsorción del carbón activado a partir de la semilla de nancite para la remoción de arsénico en aguas de pozo. Tesis de Ingeniería. Universidad de Ingeniería, Nicaragua. Pág. 23*

³³ Colina a. Gilberto (2010). *Estudio del carbón activado elaborado a partir de material agroindustrial para la adsorción de contaminantes. Tesis Doctoral, Universidad del Zulia, Maracaibo Venezuela. Pág. 57-58.*

³⁴ Contreras O. Jefferson R. (2006). *Estudio de la capacidad adsorptiva del carbón activado obtenido a partir del bagazo de la caña de azúcar para la adsorción de compuestos fenolicos en agua. Tesis de Grado en Licenciatura, Universidad de Zulia, Maracaibo Venezuela. Pág. 8.*



La ecuación (1) describe un proceso exotérmico, donde la disminución de la temperatura favorece la adsorción. Por tanto se describe que al disminuir la temperatura el adsorbato será adsorbido espontáneamente.

En general, casi todos excluyendo el fluido en que se suspende el material de interés, están unido a la superficie del sólido. Con frecuencia los componentes que contienen grupos cromóforos, son adsorbidos con mayor fuerza por sólidos porosos como el carbón activado. La adsorción es un fenómeno de gran importancia tecnológica. Es así como algunos de estos adsorbentes son utilizados a gran escala como desecantes o soportes para catalizadores; otros son usados para la separación de gases, para la purificación de líquidos, el control de contaminantes o para la protección respiratoria.³⁵

De igual forma existen factores que afectan el proceso de adsorción tales como:³⁵

- Las características físicas y químicas del adsorbente, entre estas se encuentra; el área superficial, el tamaño de poros, la composición química, etc.
- Las características físicas y químicas del adsorbato por ejemplo el tamaño molecular, la polaridad molecular, la composición química, etc.
- La temperatura.
- La concentración del adsorbato en la fase líquida.
- Grado de ionización del soluto

2.5. Carbón Activado

El funcionamiento básico del carbón activado (CA) es principalmente por su adsorptividad, la cual una sustancia se adhiere a la superficie del CA, al ser atraídas por fuerzas débiles del tipo Van der Waals. Los átomos de carbono existentes en la superficie interna del CA ejercen una atracción sobre las moléculas de los líquidos o gases circundantes.³⁶

³⁵ Contreras O. Jefferson R. (2006). *Estudio de la capacidad adsorptiva del carbón activado obtenido a partir del bagazo de la caña de azúcar para la adsorción de compuestos fenólicos en agua. Tesis de Grado en Licenciatura, Universidad de Zulia, Maracaibo Venezuela. Pág. 10.*

³⁶ Castells Xavier E. (2012). *Tecnologías Aplicables al Tratamiento de Residuos. Monografía basada en el libro Reciclaje de Residuos Industriales, España: Editorial Díaz Santos. Pág. 101.*



Mediante las fuerzas de Van der Waals forman enlaces no covalentes por combinación de fuerzas de atracción y de repulsión. Los átomos forman pequeños dipolos donde la presencia de estos dipolos transitorios, hacen que los átomos contiguos también se polaricen produciendo pequeñas fuerzas de atracción.³⁷

Estas fuerzas de atracción entre átomos se contraponen a la repulsión electrostática entre capas electrónicas de dos átomos contiguos, resultando de estas dos fuerzas opuestas una distancia mínima entre los núcleos de dos átomos próximos. Esta es la base del mecanismo que permite al CA separar uno o más componentes de una mezcla.³⁷

Por tanto la superficie interna del CA es de importancia para que se lleve a cabo la adsorción, el cual se caracteriza por ser un material poroso preparado por la carbonización y activación de materiales orgánicos, especialmente de origen vegetal, (hullas, lignitos y turbas) con el fin de obtener un alto grado de porosidad y una importante superficie interna.³⁸

La materia prima del CA es fundamental en los procesos de activación, es favorecida por la estructura porosa y la interacción con adsorbatos polares y no polares, dada su estructura química, además las reacciones químicas en la superficie del CA, están influenciadas por centros activos, dislocaciones y discontinuidades, donde poseen electrones desapareados y valencias insaturadas presentando mayor energía potencial.³⁹

³⁷ Castells Xavier E. (2012). *Tecnologías Aplicables al Tratamiento de Residuos. Monografía basada en el libro Reciclaje de Residuos Industriales, España: Editorial Díaz Santos. Pág. 101-102.*

³⁸ Contreras O. Jefferson R. (2006). *Estudio de la capacidad adsorptiva del carbón activado obtenido a partir del bagazo de la caña de azúcar para la adsorción de compuestos fenólicos en agua. Tesis de Grado en Licenciatura, Universidad de Zulia, Maracaibo Venezuela. Pág. 31-32.*

³⁹ Colina a. Gilberto (2010). *Estudio del carbón activado elaborado a partir de material agroindustrial para la adsorción de contaminantes. Tesis Doctoral, Universidad del Zulia, Maracaibo Venezuela. Pág. 31-32.*



El CA tiene una gran variedad de tamaños de poros de acuerdo a su función, en poros de adsorción y poros de transporte. Estos consisten en espacios entre placas gráficas con una separación de entre una y cinco veces el diámetro de la molécula que va a retenerse. Las placas de carbón están lo suficientemente cerca como para ejercer atracción sobre el adsorbato y retenerlo con mayor fuerza.⁴⁰

Los poros de transporte, tienen un rango muy amplio de tamaños, que van desde las grietas que están en el límite detectable por la vista, corresponde a 0.1 mm. En esta clase de poros, solo una placa ejecuta atracción sobre el adsorbato ejerciendo una fuerza menor, o insuficiente para retenerlo. Actúan como caminos de difusión por los que circula la molécula hacia los poros de adsorción en los que hay una atracción mayor. Por lo tanto, aunque tienen poca influencia en la capacidad del CA, afectan la cinética con que se lleva a cabo la adsorción.⁴⁰ (Anexo 7, figura11)

Desde el punto de vista de la composición química, el CA es prácticamente puro, al igual que lo es el diamante, el grafito, el negro de humo, y los diversos carbones minerales, o de leña. La diferencia fundamental entre uno y otro tipo de carbón radica en la estructura o arreglo de sus átomos.

En el caso del carbón activado, estos se encuentran combinados en forma de placas gráficas (Anexo 7, figura12). Las placas están separadas y tienen distintas orientaciones, por lo que existen espacios entre ellas (poros), que brindando al CA una gran área superficial y una alta capacidad adsorbente. El área de la mayoría de los carbones activados comerciales está entre 500 m²/g y 1,500 m²/g.⁴⁰

Por otro lado se considera la geometría del poro y del adsorbato, dado que existen poros de rendija y cilíndricos, de igual forma las moléculas pueden presentar distintos tipos de geometría y no penetrar en los poros, por lo tanto la superficie no es accesible a todas las moléculas del adsorbato.⁴⁰ (Anexo 8, figura 13)

⁴⁰ Chira M. Reysond R. (Feb., 12, 2010). Utilización de carbón activado en columnas en tratamientos de agua industrial. Extraído de <http://www.slideshare.net/renatolachira/carbn-activado> Pág. 13-14, 8, 15.



Las formas más comunes en que se comercializan estos adsorbentes para el tratamiento de aguas son carbones activados en polvo (CAP) y carbones activados granulares (CAG), siendo estos últimos los de mayor demanda en la actualidad, puesto que permiten un proceso continuo mediante su utilización en columnas por lo que la operación de retención y elución se realiza en forma continua y alternada.

Los CAP presentan tamaños menores de 100 μm , siendo los tamaños típicos entre 15 y 25 μm (Anexos 9, figura 14). Los CAG presentan un tamaño de partícula entre 1 y 5 mm. Estos pueden dividirse en otras dos categorías:⁴¹

- **Carbón activado troceado** (o sin forma) estos se obtienen por molienda y tamizado. (Anexos 9, figura 15)
- **Carbón activado conformado** (o con una forma específica que puede ser cilíndrica, disca, etc.) estos pueden obtenerse por extrusión de carbón en polvo mezclado con distintos tipos de aglomerantes. (Anexos 9, figura 16)

El CA adsorbe todo tipo de moléculas orgánicas, no así las inorgánicas, excepto algunas como: molibdatos, cianuros de oro, dicianuro de cobre, cloruro de mercurio, yodo y sales de plata, entre otros. La mayoría de las moléculas orgánicas que tienen ligado átomos de cloro, bromo o yodo se adsorben con mayor facilidad por que tiene la capacidad de formar cadenas muy estables de carbono entre sí con enlaces simples, dobles o triples.⁴²

2.5.1. Obtención del carbono activado

El CA se obtiene a partir de diversas sustancias carbonosas de origen animal, vegetal y mineral. Normalmente, se emplea antracita, carbones grasos o bituminosos, coque de petróleo, turba, madera, cáscara de nuez, coco o almendra, huesos, así como otros productos residuales de la naturaleza.

⁴¹ Colina a. Gilberto (2010). *Estudio del carbón activado elaborado a partir de material agroindustrial para la adsorción de contaminantes. Tesis Doctoral, Universidad del Zulia, Maracaibo Venezuela. Pág. 31*

⁴² Chira M. Reysond R. (Feb., 12, 2010). *Utilización de carbón activado en columnas en tratamientos de agua industrial. Extraído de <http://www.slideshare.net/renatolachira/carbn-activado> Pág. 10.*



Por lo tanto hay dos tipos de activación para cada materia prima la cuales son: activación térmica y activación química. La activación térmica o llamada también activación física, consta de varias etapas, donde son necesarios realizar pre-tratamientos, como la molienda y el tamizado para obtener un tamaño adecuado. Si la materia prima es coquizable será necesaria una etapa de oxidación donde se eliminarán las propiedades coquizables.⁴³

En otras ocasiones el material de partida será molido hasta formar un polvo fino, que después se compactará con algún aglomerante en forma de briquetas y luego vuelto a moler hasta obtener el tamaño deseado. De esta manera se conseguirá una mejor difusión del agente activante dando una mejor porosidad en el CA resultante. Otra etapa previa a la activación es la carbonización, en la cual el precursor es sometido a elevadas temperaturas (800 °C) en ausencia de aire, con el objetivo de eliminar las sustancias volátiles y dejar un residuo carbonoso que será sometido a la activación.⁴³

La activación es un proceso independiente de la carbonización donde consiste en hacer reaccionar al agente activante con los átomos de carbono; de forma que se produzca, poros y aumentando la porosidad hasta transformarlo en un CA⁴³. (Anexos 10, figura 17).

La activación química es un tipo de activación donde la materia prima se hace reaccionar con un agente químico activante, los más usados industrialmente son el ácido fosfórico (H_3PO_4) y hidróxido de potasio (KOH). La materia prima que se emplea para ser activado con H_3PO_4 es la proveniente de residuos forestales (madera, cáscara de coco, hueso de aceituna, etc.), los cuales pasan por cuatro etapas. (1) Molienda y clasificación del material de partida, (2) tratamiento térmico entre 100 y 200 °C, por 1h, (3) mezcla del precursor con ácido fosfórico (H_3PO_4), seguido de un nuevo tratamiento térmico hasta 400 – 500 °C, manteniendo esta temperatura por 1h, (4) lavado, secado y clasificación del carbón activado.⁴³

⁴³Chira M. Reysond R. (Feb., 12, 2010). Utilización de carbón activado en columnas en tratamientos de agua industrial. Extraído de <http://www.slideshare.net/renatolachira/carbn-activado> Pág. 19, 21.



La materia prima preferibles par la activación con hidróxido de potasio (KOH) son aquellos de bajo contenido volátil y alto contenido de carbono, por ejemplo los carbones minerales de alto rango, carbonizados, coque de petróleo, etc. En esta activación el hidróxido de potasio (KOH) se mezcla con el precursor, en una suspensión acuosa o mediante una simple mezcla física. Cuando la impregnación tiene lugar en medio acuoso, la activación se lleva a cabo en dos tratamientos térmicos consecutivos. El primero a temperaturas bajas, pero superiores a los 200 °C la cual se utiliza solo para evaporar el agua y dispersar el hidróxido de potasio (KOH) y el segundo entre 700 y 900 °C.⁴⁴ (Anexos 11 figura 18).

2.5.2. Estructura del carbono activado

Desde el punto de vista estructural, el CA se puede definir como un material carbonoso poroso, presentando una estructura irregular de capas, presenta en su estructura átomos con valencia insaturada y grupos funcionales principalmente de nitrógeno, oxígeno y compuestos inorgánicos (cenizas), todos ellos son fundamentales en el funcionamiento de la adsorción.

Los grupos funcionales se forman durante el proceso de activación entre los radicales libres y la superficie lo que hace que el carbono se vuelva químicamente reactivo. Esto le brinda la característica de adsorber sustancia con cierto carácter polar, debido a su poca afinada al agua lo que es muy importante en aplicaciones de especies en disolución acuosa, la presencia de grupos funcionales en su superficie hacen que puedan reaccionar con el agua, haciendo que la superficie sea más hidrofílica.⁴⁵

La oxidación de un carbón, produce la formación de grupos OH^- , RCHO , RCOOH , etc. (Anexos 12 figura 19) que le dan al carbón un carácter anfótero. Esto influye en la adsorción de muchas moléculas. Por ello la capacidad adsorptiva del CA está ligado a su estructura y activación.⁴⁵

⁴⁴ Chira M. Reysond R. (Feb., 12, 2010). Utilización de carbón activado en columnas en tratamientos de agua industrial. Extraído de <http://www.slideshare.net/renatolachira/carbn-activado> Pág. 21.

⁴⁵ Colina a. Gilberto (2010). Estudio del carbón activado elaborado a partir de material agroindustrial para la adsorción de contaminantes. Tesis Doctoral, Universidad del Zulia, Maracaibo Venezuela. Pág. 32-34



Otra característica estructural del CA es la alta capacidad de eliminación de sustancias, dado por la superficie interna que posee, si bien se conoce que la porosidad y distribución de tamaño de poros juegan un papel sumamente importante. Esta característica se debe que los microporos le confieren la elevada superficie y capacidad de retención. En cambio que los mesoporos y macroporos son necesarios para retener moléculas de gran tamaño, y para favorecer el acceso y la rápida difusión de las moléculas a la superficie interna del sólido.⁴⁶

La naturaleza apolar y las fuerzas de Van Der Waals en el proceso de adsorción, retendrá preferentemente moléculas apolares y de alto volumen molecular (hidrocarburos, fenoles, colorantes), mientras que sustancias como el nitrógeno, oxígeno y agua prácticamente no se retienen por el CA a temperatura ambiente.⁴⁷

En particular, las sustancias polares se retienen débilmente sobre la superficie del CA. En estas situaciones, la fijación al carbono de heteroátomos, como de oxígeno e hidrógeno, formando estructuras o grupos funcionales tipo ácido carboxílico, carbonilo, etc. Esto permite aumentar la afinidad de las sustancias polares por la superficie del adsorbente brindándole una característica más al CA.⁴⁷

La retención de las moléculas por el CA no es eficaz sólo si se impregna con reactivos específicos o se aprovechan las propiedades catalíticas del carbón. De esta manera, tras la adsorción se producen unas reacciones químicas que transforman los productos. La superficie del carbón, en particular los átomos de carbono de los bordes de los planos basales, pueden encontrarse combinados en mayor o menor proporción con otros átomos distintos al carbono (heteroátomos), dando lugar a diferentes grupos superficiales.⁴⁷

⁴⁶ Colina a. Gilberto (2010). *Estudio del carbón activado elaborado a partir de material agroindustrial para la adsorción de contaminantes. Tesis Doctoral, Universidad del Zulia, Maracaibo Venezuela. Pág. 32*

⁴⁷ Chira M. Reysond R. (Feb., 12, 2010). *Utilización de carbón activado en columnas en tratamientos de agua industrial. Extraído de <http://www.slideshare.net/renatolachira/carbn-activado> Pág. 16.*



Por otro lado, los átomos de carbono de los planos basales, poseen orbitales π que contienen electrones más o menos des-localizados dentro de estos planos basales. La presencia o ausencia de los grupos superficiales, así como el mayor o menor grado de deslocalización de los electrones afecta a las interacciones del carbón con otros elementos o compuestos.⁴⁸ (Anexos 12, figura 20)

Las propiedades del CA al final dependen tanto de la materia prima como del método de activación. Por ejemplo, los CA obtenidos a partir de cascara de coco tienen mayor densidad y presentan distribución de tamaño de poro más estrecha, lo que hace que estos carbones sean utilizados para la adsorción de moléculas pequeñas, como en las aplicaciones de purificación de gases.⁴⁹

Esto se debe a la variedad de poros que posee el CA (poros de transporte y poros de adsorción), según la IUPAC son clasificados por su diámetro, de acuerdo a lo siguiente: microporos menores a 2 nm, mesoporos entre 2 y 50 nm, macroporos mayores de 50 nm (típicamente 200 a 2000 nm).⁴⁹

Por lo tanto hay que comprender como es el proceso de adsorción según la clasificación de poros por la IUPAC. Los microporos tienen un tamaño apropiado para retener moléculas pequeñas, que aproximadamente corresponden a compuestos más volátiles que el agua, tales como olores, sabores y muchos solventes. Los mesoporos son apropiados para moléculas intermedias.⁴⁹

Los macroporos atrapan todas moléculas grandes, tales como las que son coloreadas o las sustancias húmicas (ácidos húmicos y fúlvicos) que se generan al descomponerse la materia orgánica. En anexo, fotografía 8, se observa la diferencia entre un CA macroporos y uno carbón no activado.⁴⁹

⁴⁸ Chira M. Reysond R. (Feb., 12, 2010). Utilización de carbón activado en columnas en tratamientos de agua industrial. Extraído de <http://www.slidshare.net/renatolachira/carbn-activado> Pág. 16.

⁴⁹ Colina a. Gilberto (2010). Estudio del carbón activado elaborado a partir de material agroindustrial para la adsorción de contaminantes. Tesis Doctoral, Universidad del Zulia, Maracaibo Venezuela. Pág. 32



Por lo tanto, la capacidad de un CA para retener una sustancia, no depende específicamente del área superficial, sino de la proporción de poros cuyo tamaño debe de ser adecuado de uno a cinco veces el diámetro de la molécula de dicha sustancia.⁵⁰

La función del CA, es adsorber sustancias no deseables, en medio acuoso o en un medio gaseoso, todo esto depende según de las condiciones porosa que derivan del tipo de activación o precursor. Esta propiedad de adsorción, que proviene de su porosidad y su área superficial se relaciona con el tipo de CA y adsorbato, hay propiedades que influyen en la adsorción⁵¹ tales como:

- El área Superficial: La capacidad de adsorción es proporcional al área superficial la cual se vincula con el grado de activación del carbón.
- El tamaño del Poro: La correcta distribución del tamaño de poros es necesario para facilitar el proceso de adsorción.
- El tamaño de las Partículas: La incorrecta distribución entre el diámetro del poro y el adsorbato ocasiona saturación e ineficiencia en la adsorción
 - La temperatura: Las temperaturas bajas aumentan la capacidad de adsorción.
 - La concentración del adsorbato: La capacidad de adsorción es proporcional a la concentración del adsorbato esto quiere decir que altas concentraciones generan grandes fuerzas de empuje en el proceso de adsorción.
- El pH: aumenta la capacidad de adsorción, en aquellas condiciones que el pH aumentan la solubilidad del adsorbato.
- El tiempo de contacto: Para alcanzar el equilibrio en la adsorción y maximizar su eficiencia, es necesario de un suficiente tiempo de contacto.
- El tipo de adsorbato: Los compuestos orgánicos son adsorbido con facilidad. Las moléculas orgánicas no polares se adsorben con mayor fuerza que las polares.

⁵⁰ Colina a. Gilberto (2010). *Estudio del carbón activado elaborado a partir de material agroindustrial para la adsorción de contaminantes. Tesis Doctoral, Universidad del Zulia, Maracaibo Venezuela. Pág.32.*

⁵¹ Chira M. Reysond R. (Feb, 12, 2010). *Utilización de carbón activado en columnas en tratamientos de agua industrial. Extraído de <http://www.slideshare.net/renatolachira/carbn-activado> Pág.12.*



Cabe destacar que las moléculas orgánicas ramificadas se adsorben con mayor fuerza que las lineales. Esto significa que la adsorción de sustancias orgánicas es más fuerte al aumentar su peso molecular, cuando el tamaño de la molécula no rebase al del poro.

2.5.3. Aplicaciones del carbono activado (CA)

Como se menciono los tipos de CA más empleados son carbón activado en polvo (CAP) y carbón activado granulado donde (CAG), la versión de CAG es el más empleado a nivel mundial, sus usos son de gran variedad; por ejemplo se utiliza sobre en el tratamiento de aguas, ya que puede fijar sustancias solubles por adsorción de sustancias no polares y sustancias halogenadas.

Entre las sustancias no polares que puede adsorber son: aceite mineral, BTEX, Poli-hidrocarburos aromáticos y fenol. Entre las sustancias halogenadas en forma gaseosa o iónica tenemos: I, Br, Cl, y F. También elimina sustancias como: detergentes, colorantes de síntesis solubles, disolventes clorados, derivados hidroxilados, derivados aromáticos (sustituidos o no), pesticidas como atrazina, clordano, dinoseb, endrin, heptaclor, lindano, picloram, simazina y toxafeno.

Por lo cual el CA puede ser utilizado en diversos procesos como depuración de agua subterránea, potabilización de agua, decoloración del agua, purificación de aguas para piscinas y refinamiento de las aguas residuales tratadas.⁵²

En medio líquido abarca la decoloración de licores de azúcar, eliminación de olor, color, bacterias, eliminación de cloro de aguas para su uso en la fabricación de bebidas, mejora de bebidas alcohólicas (vinos, rones), purificación de grasas y aceites comestibles, como medicamento en la desintoxicación de personas, purificación de plasma sanguíneo, separación de elementos metálicos (oro, plata), entre otras.⁵²

⁵² Colina a. Gilberto (2010). *Estudio del carbón activado elaborado a partir de material agroindustrial para la adsorción de contaminantes. Tesis Doctoral, Universidad del Zulia, Maracaibo Venezuela. Pág.32.*



Por otra parte en medio gaseoso encuentra sus aplicaciones en el almacenamiento y separación de gases, en máscaras antigás, protección anti-radiactiva en plantas nucleares, desodorizante de productos alimenticios, además tiene amplia perspectiva de aplicación como soporte catalítico y como catalizador.⁵³

2.5.4. Adsorción del carbón activado.

La adsorción es el fenómeno en el cual la área superficial del CA, retiene componentes que se encuentran diluidos en mezclas líquidas o gaseosas. Para utilizar este fenómeno en la eliminación de sustancias diluidas en agua, se emplea un carbón activado que posea una gran porosidad y una gran superficie. La adsorción se puede realizar por dos vías: por contacto, a base de mezcla y agitación o por percolación, en columna.

Por contacto, el adsorbente CA se pulveriza, para que el adsorbato sea eficaz. Por percolación el CA deberá de ser granulado, para percolar en columna. En este caso solo se activa una parte, es decir la zona de transferencia de materia, donde la longitud depende de la velocidad de entrada del flujo a través del CA y de la velocidad de proceso. La desventaja de este último caso es que llega un momento en que la adsorción no es eficaz, debido a que sus poros se saturan por el exceso del adsorbato, esto se conoce como punto de ruptura, por tanto el CA deberá de ser cambiado constantemente.

El fenómeno de la adsorción, es una transferencia de una fase líquida a una fase sólida, que se lleva en varias etapas sobre la superficie del CA. La primera etapa consiste en una transferencia muy rápida de la partícula que entra en contacto con la capa externa de hidratación y pasa a la capa interna. La segunda etapa es el desplazamiento del líquido hasta entrar en contacto con el CA. En la tercera ocurre una difusión lenta dentro del CA bajo la influencia del gradiente de concentración, por último la cuarta etapa que es la adsorción rápida en los poros.⁵⁴

⁵³ Colina a. Gilberto (2010). *Estudio del carbón activado elaborado a partir de material agroindustrial para la adsorción de contaminantes. Tesis Doctoral, Universidad del Zulia, Maracaibo Venezuela. Pág.32.*

⁵⁴ Seoáñez C. Mariano, (2005). *La Adsorción del Carbón Activado. En: Depuración de las aguas residuales por Tecnologías ecológica y de bajo costo, Pág. España: Mundi-Prensa. Cap. 23.*



2.4.5. Modelo de adsorción del Carbón Activado

La adsorción es la acumulación de una sustancia en una interface, se conoce que ocurre en todos los tipos de interface, tales como el gas sólido, solución sólida, solución gas. Por tanto existen dos tipos principales de adsorción: física y química.

La adsorción física es no-específica, rápida y reversible. El adsorbato se une a la superficie solamente por fuerzas de Van Der Waals (fuerzas dipolo-dipolo y las fuerzas de la polarización, con la participación de dipolos inducidos). Se crean entre el soluto y la estructura cristalina hidrofóbica del CA. El fenómeno es reversible, y en ciertas condiciones se pueden desprender las moléculas que se han adherido al CA.

La adsorción química es específica e implica la formación de un compuesto de dos dimensiones, por ejemplo, cuando los gases entran en contacto con la superficie sólida interactuando con algunos compuestos ionizables y los grupos funcionales presentes en los bordes de los poros del CA, ocurriendo un intercambio de electrones.

Teóricamente como experimentalmente, la descripción cuantitativa más conveniente de un fenómeno de adsorción en equilibrio hace uso en relaciones de temperatura constante, donde la cantidad adsorbida y la concentración de equilibrio a una temperatura constante es conocida como isoterma de adsorción. Estas son la característica más usada del estado de equilibrio de un sistema de adsorción.⁵⁵ Generalmente se presentan seis tipos de isotermas, las cuales pueden apreciarse en ANEXOS No 13, Figura 21.

Las isotermas de adsorción generalmente siguen una de las seis formas:⁵⁵

- Isoterma I, son características de adsorbentes que tienen poros extremadamente pequeños; la adsorción se produce a bajas presiones relativas.

⁵⁵ Colina a. Gilberto (2010). *Estudio del carbón activado elaborado a partir de material agroindustrial para la adsorción de contaminantes. Tesis Doctoral, Universidad del Zulia, Maracaibo Venezuela. Pág.58-60.*



- Isoterma II y IV indican cualquier adsorbente no poroso o que tienen poros relativamente grandes; presenta un incremento de la cantidad adsorbida a presiones relativas intermedias y ocurre mediante un mecanismo de llenado de multicapas.

- Isoterma III al igual que las del tipo V son características de interacciones adsorbato-adsorbente débiles. Las del tipo III ocurren cuando la interacción adsorbato-adsorbente es baja, pero se diferencian de la anterior en que el tramo final es asintótico.

- Isoterma VI son poco frecuentes. Este tipo de adsorción en escalones ocurre solo para sólidos con una superficie no porosa muy uniforme

De ellas se obtiene la información sobre el volumen de adsorción, el área superficial del adsorbente, volumen de poros y su distribución, la magnitud del calor de adsorción y otras informaciones. Teorías como las de Freundlich, Henry, Volmer, Hill de Boer, Langmuir, BET, Teoría del Potencial de Polanyi, Teoría del Llenado del volumen de Microporos de Dubinin y Teoría Fractal tratan de explicar este fenómeno y constituyen métodos para la obtención de las isothermas correspondientes.⁵⁶

La isoterma de Freundlich,⁵⁷ es el sistema que se acopla a la investigación del trabajo, dado que relaciona la cantidad adsorbida con la concentración del adsorbato. Este modelo supone que la superficie del sólido es cubierta por un gran número de sitios, considerando que cada sitio puede ser ocupado por una molécula adsorbida. Los sitios son equivalentes y se considera que las moléculas adsorbidas no interactúan unas con otras. El sistema es descrito en su expresión general en la ecuación 2.

$$q = K C_f^{(1/n)} \quad (2)$$

⁵⁶ José D. Méndez D., (2008). *Eliminación del Surfactante dodecilsulfonato sódico de las aguas mediante adsorción en carbones activados, ozonización catalizada y fotooxidación. Tesis Doctoral Universidad de Granada, España, Pág. 207-210.*

⁵⁷ Contreras O. Jefferson R. (2006). *Estudio de la capacidad adsorptiva del carbón activado obtenido a partir del bagazo de la caña de azúcar para la adsorción de compuestos fenólicos en agua. Tesis de Grado en Licenciatura, Universidad de Zulia, Maracaibo Venezuela. Pág. 31-32.*



Donde q es la capacidad de adsorbato adsorbido la cual se puede expresar en unidades de (mg/g ó ppm), K es la constante de Freundlich la cual es un indicador de la capacidad de adsorción (L/g), C_f es la concentración en equilibrio de la fase líquida (mg/L) y n es la constante de heterogeneidad de los sitios de energía. La forma lineal de la ecuación se expresa de la siguiente manera.⁵⁸

$$\log(q) = \log K + (1/n) \cdot \log(C_f) \quad (3)$$

Obteniendo una ecuación de la recta, cuya pendiente es igual $1/n$ donde su valores menor que uno, y se relaciona con la intensidad de la adsorción. Y la ordenada en el origen es el $\log K$ (Figura 2.1). Esto permite indicar que el sistema sigue la isoterma de Freundlich, la adsorción ocurre con la formación de multicapas, en lugar de sólo una monocapa.⁵⁸

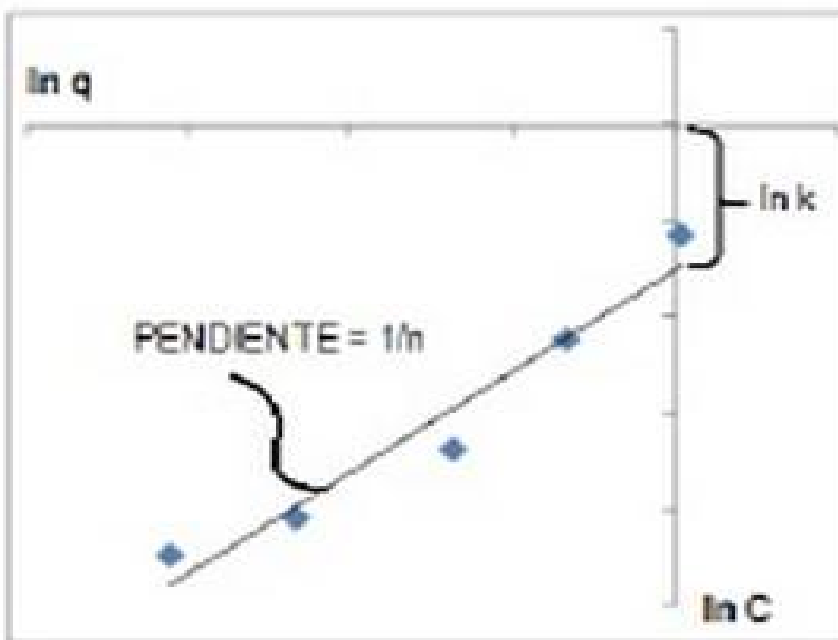


Figura 2.1. Gráfica de ecuación de la recta del modelo de Freundlich

⁵⁸ Contreras O. Jefferson R. (2006). Estudio de la capacidad adsortiva del carbón activado obtenido a partir del bagazo de la caña de azúcar para la adsorción de compuestos fenólicos en agua. Tesis de Grado en Licenciatura, Universidad de Zulia, Maracaibo Venezuela. Pág. 31-32.



DISEÑO METODOLOGICO



3.1. Tipo de Estudio

El estudio realizado en este trabajo fue experimental, con el fin de obtener información sobre la capacidad adsorptiva que posee el Carbón Activado (CA) industrial DARCO ante sustancias surfactantes como el Dodecil Benceno Sulfonato de Sodio Lineal (SDBS).

Según su aplicabilidad se pueden clasificar como documental, interpretativa, y de aplicación tecnológica, ya que establece las propiedades químico-físicas del SDBS y el mecanismo de adsorción de CA DARCO. Así mismo como la proporción de CA necesaria para remover cierta cantidad del adsorbato.

3.2. Ámbito de Estudio

Este estudio se basa en la remoción de sustancias surfactantes como el SDBS en muestras de agua mediante adsorción con CA DARCO, está encaminado a servir como material teórico de consulta; por lo cual la población está constituida por estudiantes y cuerpo docente de la Facultad de Ciencias e Ingenieras. Una muestra de esta población serán estudiantes que en su pensum académico contemplen Química Ambiental e Investigación Aplicada, de igual forma para futuros proyectos que relacionen el uso del SDBS y CA o temas relacionados con el impacto ambiental que causan las sustancias surfactantes.

3.3. Variables

En este trabajo se realizarán un conjunto de pruebas experimentales con el objetivo de analizar la variación de dos factores que se cree tendrán influencia sobre el carbón activado DARCO.

A continuación se definen las variables, factores y niveles que se analizarán.



1. Unidad experimental: Son las distintas muestras de aguas con diferentes concentraciones de SDBS.
2. Variable respuesta: La variable respuesta para el trabajo será la capacidad adsorptiva del carbón activado en la adsorción de SDBS.
3. Factores a analizar: Los factores o variables de estudio serán dos con distintos niveles de estudio los cuales son:
 - Concentración de SDBS de la muestra
 - Tiempo de contacto del adsorbente (CA DARCO) con la muestra.

3.4. Diseño Experimental

Para el desarrollo del diseño experimental se empleó el programa Statgraphics Plus 5.1., este programa facilita el análisis estadístico, tales como análisis de varianza, regresión lineal, estimaciones de intervalos de confianza, contrastes de hipótesis, entre otros. (Figura 3.1. abajo)

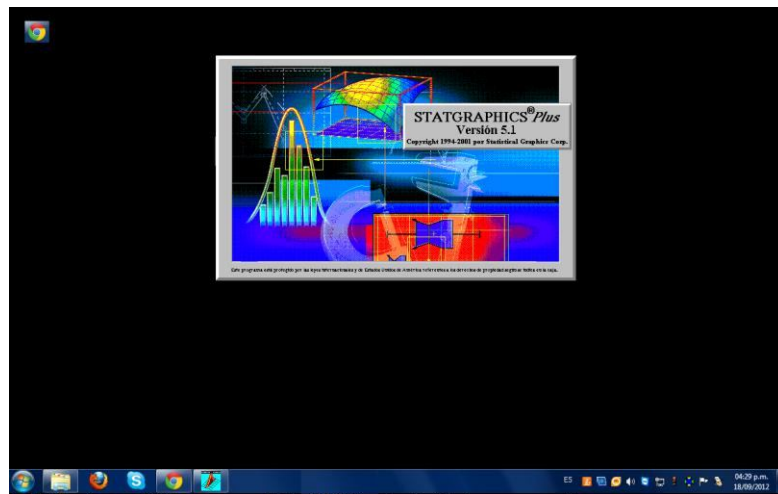


Figura 3.1. Caratula de presentación de programa Statgraphics Plus 5.1.

El programa nos permite analizar distintos tipos de diseños, el de interés para el desarrollo de la tesis monográfica es “Multi Nivel Factorial”, dado que este permite emplear dos variables respuestas y dos factores experimentales. (Figura 3.2 de abajo)

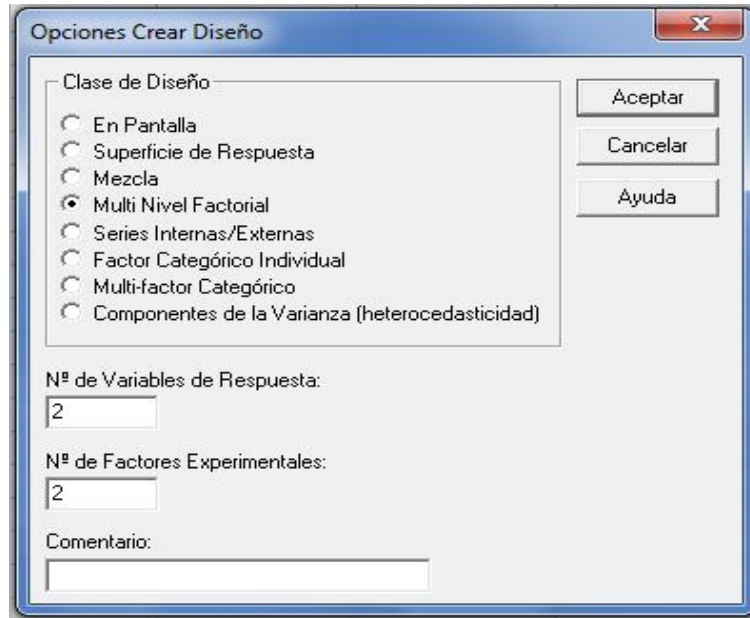


Figura 3.2. Opciones para creación de Diseño de Experimento

Se definieron las variables dependientes, (concentraciones y tiempo de retención), para el desarrollo de esta tesis se establecieron dos concentraciones, una alta (C_A) y una baja (C_B), el valor de la C_A es de 20g/250mL (80,000 ppm) y de C_B es de 10g/250mL (40.000 ppm) y dos tiempos de retención de 60 minutos y de 30 minutos. Mostrado en las figuras 3.3. y 3.4.

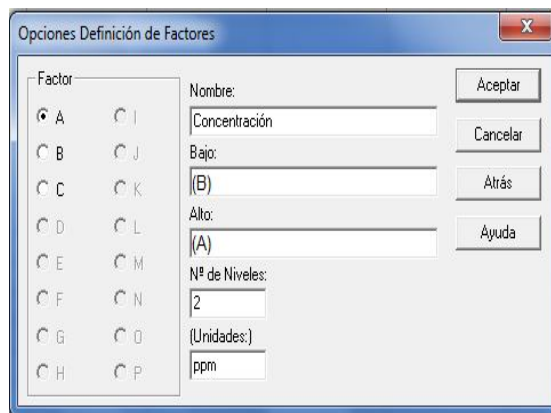


Figura 3.3. Definición de variable Dependiente de concentraciones Altas y Bajas

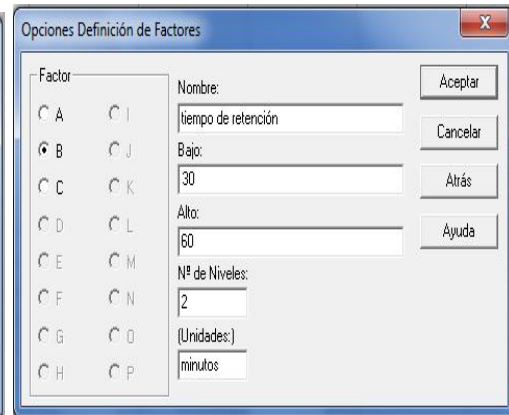


Figura 3.4. Definición de variable Dependiente de Tiempo de retención 30-60 minutos



Definidas las variables dependientes el programa Statgraphics Plus 5.1., presenta el número de pruebas a realizar para la fase experimental (ver figura 3.5.), en base a esto se realizaron las pruebas para determinar la capacidad adsorptiva y el porcentaje de remoción que posee el CA ante el SDBS.

La imagen muestra una ventana de software con el título "Diseño Factorial KKK". Dentro de la ventana hay una tabla con los siguientes datos:

	BLOQUE	Concentración	Tiempo de
1	1	A	60.0
2	1	B	30.0
3	1	B	60.0
4	1	A	30.0
5	2	A	30.0
6	2	A	60.0
7	2	B	60.0
8	2	B	30.0

Figura 3.5. Diseño Factorial Multinivel de 8 ejecuciones. El diseño ejecutado en 2 bloques. El orden de los experimentos es totalmente aleatorio, con el fin de proteger los efectos de variables ocultas, los errores de grado de libertad son 3.

3.5. Materiales y Métodos

En el desarrollo del trabajo se estudió la capacidad adsorptiva del Carbón Activado DARCO para la adsorción del SDBS disuelto en agua, se utilizaron los siguientes materiales y métodos:



3.5.1. Carbón Activado Industrial DARCO

Se empleó el CA. DARCO (ver ficha técnica en ANEXOS No 14) con el fin de analizar su capacidad adsorptiva mediante agitación, donde se pesaron 3 g de Carbón DARCO se utilizó, erlenmeyer de 250 mL, agitadores magnéticos, imanes, balanza analítica y espátula.

3.5.2. Detergente FAB

Se utilizó para realizar las concentraciones (80,000 ppm y 40,000 ppm) para determinar la capacidad adsorptiva del CA. (ANEXOS No 15, hoja de contenido y ANEXO No 24, fotografía 9) se pesaron 20 g y 10 g de detergente y diluyeron en 250 mL de agua destilada, se emplearon balones de aforo de 250 mL, espátula, balanza analítica y agua destilada.

3.5.3. Determinación de Humedad: ASTM D-2867

Se emplea para determinar la cantidad de agua presente en el CA. DARCO. Para realizar la determinación se necesitó un crisol, balanza graduada de 0.05 kg y un horno. El contenido de humedad en los agregados se calcula mediante la ecuación 6.

$$P = \frac{W - D}{W} \times 100\% \quad (6)$$

Donde *P*: contenido de humedad, *W*: masa inicial de la muestra, *D*: masa de muestra seca.



3.5.4. Cenizas ASTM D-2866

El término cenizas está definido por el porcentaje en base seca, del cociente de la muestra calcinada y la muestra seca. Para llevar a cabo esta prueba se empleó una mufla de alcance hasta 1000 C, crisoles, pinzas y guantes de asbesto. El porcentaje de ceniza se determina mediante la ecuación 7.

$$C = \frac{P_2 - P_3}{P_1 - P_2} \times 100\% \quad (7)$$

Donde *C*: Porcentaje de Ceniza, *P1*: peso de crisol seco, *P2*: peso de muestra seca, *P3*: peso de muestra calcinada.

3.5.5. Densidad Aparente ASTM D-2854

Consiste en determinar la densidad de un sólido a partir de la medida del empuje que realiza al sumergir dicho cuerpo de peso conocido, en un cilindro con volumen conocido. Para llevar a cabo esto se utilizó una probeta de 500 mL, agua destilada, espátula y balanza analítica. El cálculo de la densidad aparente se obtiene mediante la ecuación 8

$$\rho = \frac{P_M}{V_M} \quad (8)$$

Donde ρ : es la Densidad aparente, P_M : Peso conocido, V_M : Volumen conocido donde $V_M = V_f - V_o$



3.5.6. Determinación de porosidad por índice de ácido acético.

Para determinar el tamaño del poro del CA DARCO se realizó una prueba de isoterma de adsorción con el ácido acético glacial, básicamente trata de una disolución de ácido acético glacial en distintas concentraciones el cual se sometió a un tiempo de agitación de una hora con el CA DARCO y se tituló con hidróxido de sodio (NaOH) a una concentración de 0.4 M para conocer las nuevas concentraciones de ácido acético (CH₃COOH), para llevar en práctica este método se empleó, erlenmeyer de 250 mL, balón de aforo de 1L, buretas, balanza analítica, espátula, agitadores magnéticos, los reactivos empleados fueron: ácido acético glacial, hidróxido de sodio y agua destilada.

3.5.7. Método de Azul de metileno DGN F - 279

Este método es aplicable para la medición de las sustancias activas al azul de metileno en aguas potables, aguas superficiales, en aguas de desechos domésticos e industriales. El tinte de azul de metileno, en solución acuosa reacciona con el material activo de la superficie aniónicas formando una sal de color azul. Para la realización de este método se ocuparan embudos de separación de 500 mL, balones de 250 mL, embudo, filtro, matraces, pipetas con distintas graduaciones, probetas, espectrofotómetro visible, los reactivos empleados para el desarrollo de la prueba fueron: como solución indicadora de fenolftaleína, hidróxido de sodio (NaOH) al 1N, ácido acético (H₂SO₄) al 1N, cloroformo (CHCl₃), Reactivo de Azul de metileno, solución lavadora (Acido sulfúrico 6N y fosfato diácido de sodio).

3.6. Parte experimental

3.6.1. Elaboración de concentraciones de detergente FAB

Se prepararon dos muestras a distintas concentraciones, una concentración alta de 80,000 ppm y una baja de 40,000 ppm. Se pesó 10 y 20 gramos de detergente



FAB y se diluyeron sin la formación de espuma en 250mL. (ANEXO No 24, Fotografías 10 y 11).

3.6.2. Procedimiento para determinación de Humedad en CA.

Se pesó el crisol sin la muestra de CA DARCO y con la muestra de CA DARCO (3g), consecutivamente se agregó 3 mL de agua destilada dejándolo en reposo por 20 minutos, antes de la introducción al horno por una hora a una temperatura de 120°C, una vez culminado el tiempo se colocó la muestra en el desecador y posteriormente se pesó. (ANEXO No 25, Fotografía 12).

3.6.3. Procedimiento para la determinación de Cenizas en CA DARCO

Se introdujo el crisol sin la muestra de CA DARCO en la mufla por una hora, transcurrido el tiempo se colocó en el desecador, hasta estar a una temperatura asequible y pesarlo, seguidamente se agregó la muestra de CA DARCO (3g) repitiendo el proceso antes descrito. (ANEXO No 25, Fotografía13).

3.6.4. Procedimiento para la determinación de Densidad Aparenteen CA DARCO

Se midieron 200 mL de agua destilada en una probeta de 500 mL pesandó diez gramos de muestra de CA DARCO, se introdujo en la probeta y se midió el desplazamiento de agua. (ANEXO No 25, Fotografías 14).

3.6.5. Procedimiento para la determinar la porosidad del CA DARCO a través del índice de acido acético.

Se rotularon cinco erlenmeyer a los cuales se les introdujo 3 gr. de CA DARCO, posteriormente se agregó las cantidades de acido acético glacial y agua, indicadas en la tabla 3.1., obteniendo una curva de distintas concentraciones.



Tabla 3.1. Disolución de ácido acético glacial

Muestra	CH ₃ COOH	H ₂ O
M1	100	-
M2	80	20
M3	60	40
M4	40	60
M5	20	80

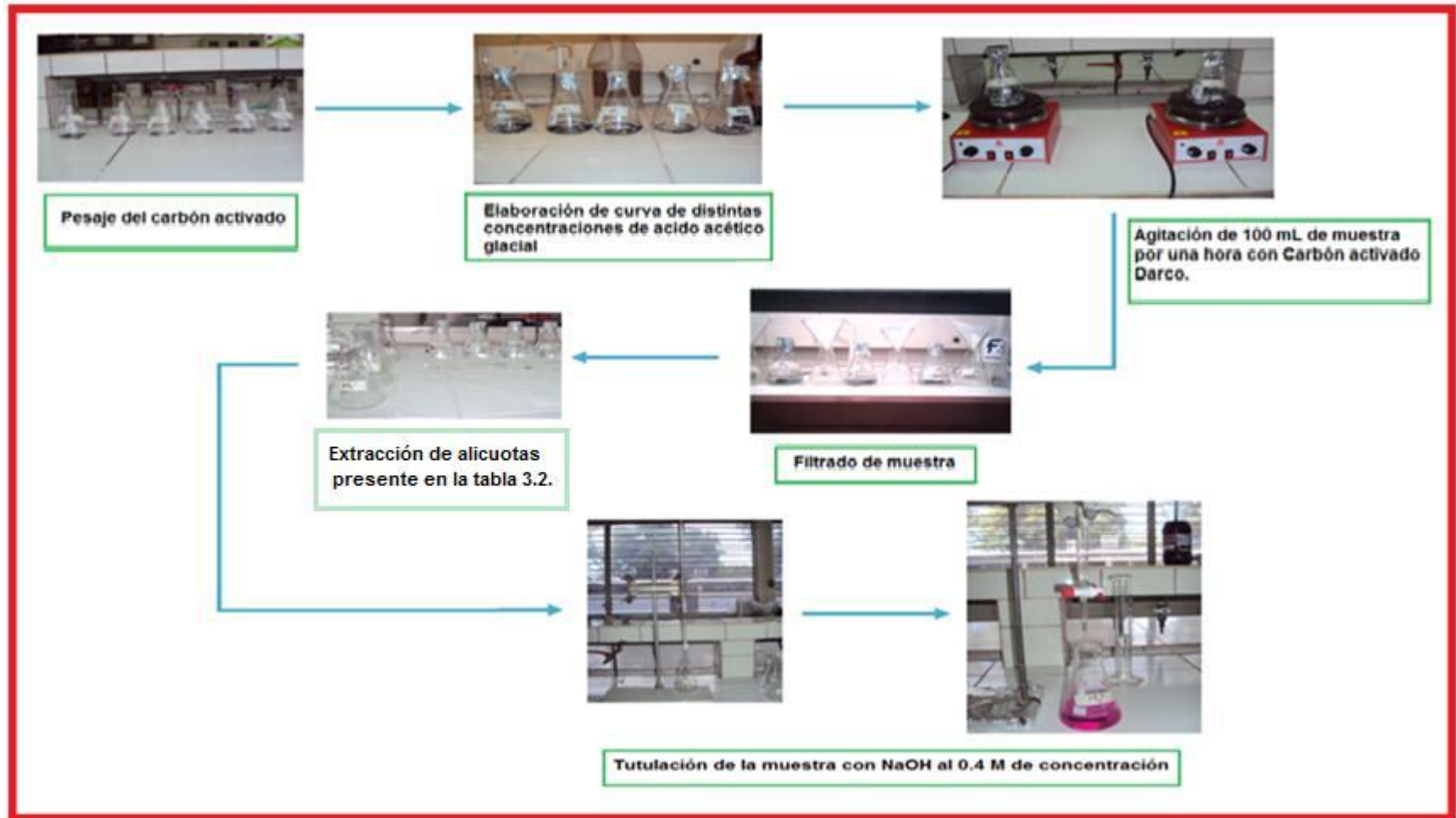
Seguidamente se realizó una agitación por una hora, culminado el tiempo se filtraron las muestras, y se hicieron extracciones de las muestras descrita en la tabla 3.2.

Tabla 3.2. Alícuotas de muestras a titular

Muestra	Alícuota de CH ₃ COOH (mL)
M1	2.5
M2	2.5
M3	5
M4	5
M5	10



Una vez hechas las extracciones se titularon con hidróxido de sodio a una concentración de 0.4M. En el esquema 3.1. se detalla el procedimiento.



Esquema 3.1. Procedimiento para la determinación de porosidad de CA. DARCO mediante el método de CH_3COOH



Evaluación de capacidad adsortiva de Carbón Activado DARCO

3.6.6. Procedimiento para la determinación de la capacidad adsortiva del CA. DARCO Mediante el método SAAM.

Para la calibración del Espectrofotómetro Espectrónico Termo de 20 GENESYS serial RS-232-C se realizaron distintas diluciones de azul de metileno. En la fotografía 3.1. se presentan la curva de diluciones.



Fotografía 3.1. Curva de diluciones de azul de metileno. **Fuente:** Tomada por Equipo de trabajo.

Desarrollando el Método de Azul de metileno DGN F-279 empleado para la determinación de agentes surfactantes en aguas residuales, se procedió a someter las muestras de detergente a un proceso de agitación de 60 y 30 minutos con CA DARCO, posteriormente se filtro y se realizaron las lecturas de adsorbancia de las muestra de detergente en el espectrofotómetro.



En el esquema 3.2. se detalla el procedimiento.



Esquema 3.2. Procedimiento para la determinación de la capacidad adsortiva del CA. DARCO empleando el método SAAM.



ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS



4.1. Resultados.

4.1.1. Resultados químico-físicos del Carbón Activado industrial DARCO

Los resultados obtenidos de las características químicas-físicas del CA. DARCO fueron realizados después de las pruebas de ácido acético y SAAM, con el fin de evaluar los posibles cambios en las propiedades (CA DARCO). Los valores se muestra en la tabla 4.1. El resto de de las propiedades se muestran en la ficha técnica brindada por GRUPO CLARIMEX en ANEXO No 14.

Tabla 4.1. Características químico-físicas del Carbón Activado DARCO.

CARBON ACTIVADO	% Humedad	% ceniza	Densidad aparente g/ml
CA DARCO usado	4.8	8	0.52
CA DARCO nuevo	4	4	0.49

El porcentaje de ceniza refleja la cantidad de compuesto inorgánicos formados por la adición del agente activante (H_3PO_4), en este caso el contenido del CA DARCO nuevo, en su ficha técnica muestra un 4% de ceniza, por otro lado el CA DARCO usado presento un 8% de ceniza en las pruebas realizadas, este valor señala un incremento en la presencia de compuestos inorgánicos.

El porcentaje de humedad representa la evaporación de las partículas de agua después de una operación de secado, el dato brindado por la ficha técnica indica un 4% de humedad en el CA DARCO sin usar, mientras que el CA DARCO usado, presentó en los resultados un 4.8 %, mostrando un incremento de 0.8% de humedad.

El dato de densidad aparente brindado por la ficha técnica es de 0.49 g/mL, mientras que el obtenido fue de 0.52 g/mL muy cercano al valor inicial.



4.1.2. Determinación de la capacidad adsortiva de CA DARCO.

En la tabla 4.2. se muestran las tres replicas de pesajes hechas y el promedio obtenido del CA DARCO empleados para cada matraz, con el fin de reducir los márgenes de error.

Tabla 4.2. Pesajes de gramos de CA DARCO

Erlenmeyer	Primer pesaje (gr)	Segundo pesaje (gr)	Tercer pesaje (gr)	Promedio de gramos de CA DARCO
1	3.45	3.32	2.40	3.05
2	3.00	3.10	2.92	3.00
3	3.05	2.92	3.04	3.00
4	3.00	3.00	3.10	3.03
5	3.05	3.12	3.01	3.06
6	2.98	3.06	3.09	3.04

En la tabla 4.3. se presentan las concentraciones iniciales del ácido acético y el volumen empleado de hidróxido de sodio para las estandarizaciones de las extracciones hechas de la tabla 3.2, determinando la cantidad adsorbida de CH₃COOH por el CA DARCO. Las ecuaciones que se emplearon para la determinación de estas concentraciones fueron:

Para la concentración inicial de CH₃COOH:

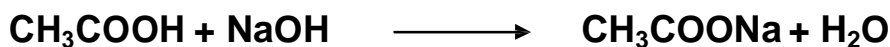
$$CH_3COOH = \frac{V_{Ac} \times N_{Ac}}{100 \times V} \quad 9$$

Para la concentración final de CH₃COOH:

$$CH_3COOH = \frac{V_{CH_3COOH}}{V_{Extracción}} \quad 10$$



Donde n es el número de moles de ácido CH_3COOH ocupados en la reacción:



Y se determino estequiometricamente:

$$n_{\text{CH}_3\text{COOH}} = V_{\text{NaOH}} \times \frac{M_{\text{NaOH}}}{1000} \times \frac{1 \text{ mol CH}_3\text{COOH}}{1 \text{ mol NaOH}} \quad 11$$

Tabla 4.3. Moles adsorbidos de CH_3COOH por CA. DARCO

Erlenmeyer	$[\text{CH}_3\text{COOH}]_o$ (M)	$[\text{CH}_3\text{COOH}]_f$ (M)	Moles adsorbidos (C_i)
1	0.4	0.017008	0.3830
2	0.32	0.013536	0.3065
3	0.24	0.010072	0.2299
4	0.16	0.006592	0.1534
5	0.08	0.003104	0.0769

Para la determinación de gramos de ácido acético adsorbidos por gramos de carbón activado DARCO (Q) se emplea los siguientes cálculos:

$$n_{\text{CH}_3\text{COOH}} = 100 \times \frac{CH_3COOH}{1000} \times \frac{CH_3COOH}{CH_3} \quad 12$$

$$n_{\text{CH}_3\text{COOH}} = 100 \times \frac{CH_3COOH}{1000} \times \frac{CH_3COOH}{CH_3} \quad 13$$

$$Q = n_{\text{CH}_3\text{COOH}} - n_{\text{CH}_3\text{COOH}} \quad 14$$



$$Q = \frac{C_0 - C_e}{C_0 - C_e} \cdot 15$$

CA



Los cálculos obtenidos se muestran en la tabla 4.4.

Tabla 4.4. Gramos adsorbidos de CH₃COOH por CA DARCO.

g iniciales	g finales	g adsorbidos	Q
2.40	0.102	2.299	0.7523
1.92	0.081	1.840	0.6120
1.44	0.060	1.380	0.4597
0.96	0.039	0.921	0.3036
0.48	0.018	0.461	0.1508

Una vez determinado la concentración del ácido en equilibrio (C_f) y la capacidad de adsorción del CH₃COOH por gramo de adsorbente. Esto permite determinar la isoterma de adsorción mediante la ecuación de Freundlich (ecuación 3). Los resultados se resumen en la tabla 4.5.

Tabla 4.5. Forma logarítmica de la ecuación de Freundlich.

Erlenmeyer	Q	C _f	logQ	logC _f
1	0.7523	0.0170	-0.1235	-1.7693
2	0.6120	0.0135	-0.2132	-1.8685
3	0.4597	0.0100	-0.3375	-1.9968
4	0.3036	0.0065	-0.5175	-2.1809
5	0.1508	0.0031	-0.8213	-2.5080

Con los datos obtenidos de la tabla 4.5. Se grafica logQ vs logC_f obteniéndose la gráfica 1 presentada en ANEXO No 15 que se ajusta en una línea recta empleando la ecuación 3.

Empleando la ecuación obtenida de la gráfica 1 de los Anexos, se determinan los valores de **n**, **k** donde **n** es la pendiente y **k** es la ordenada en la tabla 4.6. se muestran los valores.



Tabla 4.6. Constantes de Freundlich para la interface CA-CH₃COOH

ECUACIÓN DE LA RECTA	
LOG Q = 0.948 LOG Cf + 1.556	
PENDIENTE (1/n)	0.948
ORDENADA (LOGk)	1.556
n	1.054741061
k	4.749313114

Por tanto la ecuación general de Freundlich será:

$$q = 4.749313114 C_f^{(1.054741061)}$$

Dada la importancia de la isoterma para la determinación de la interacción entre los adsorbato y adsorbente, su operación permite describir en este trabajo la eficiencia de la capacidad adsortiva del carbón activado industrial DARCO, referido al resultado obtenido por la ecuación de la grafica 1 de los Anexos.

4.1.3. Curva de calibración para lectura de adsorción del SDBS

Se realizaron 5 diluciones a partir de la solución madre que fue de 1g de azul de metileno disuelto en 250 mL obteniendo la tabla 1 en ANEXO No 19 y su regresión lineal se muestra en el grafico 4.1.

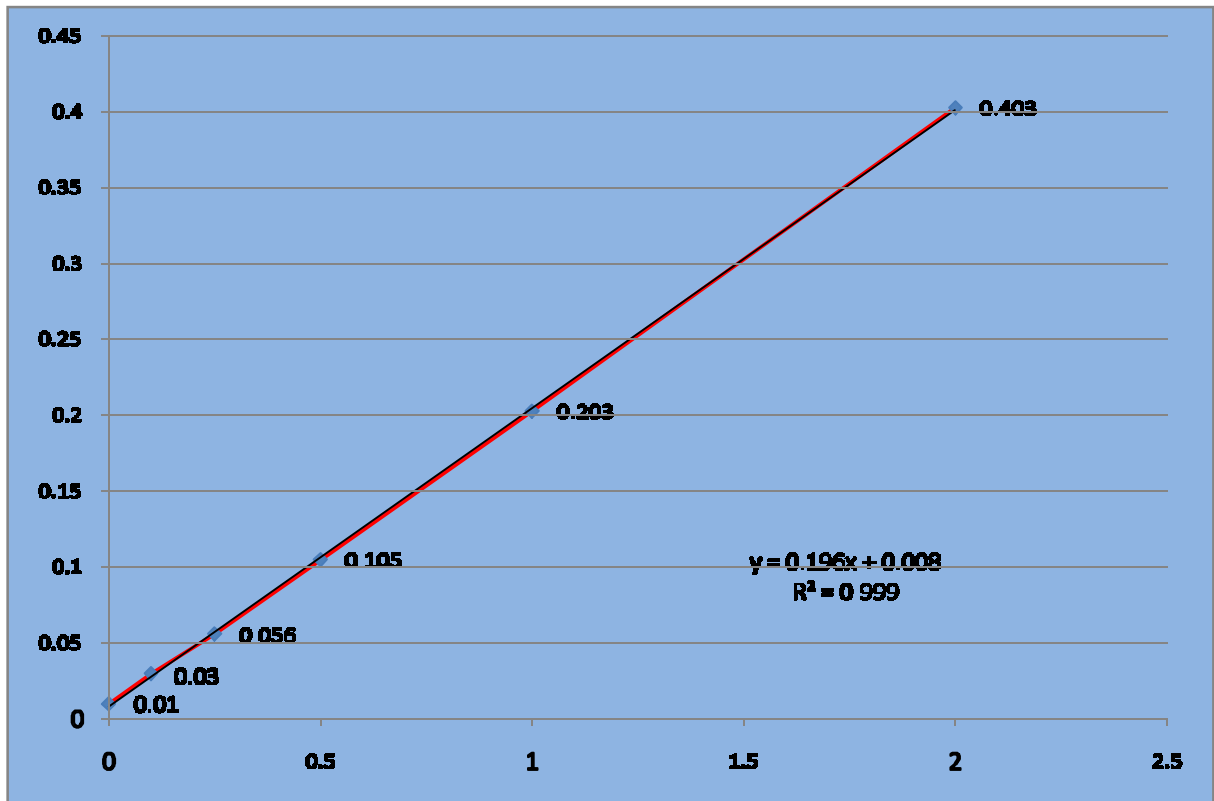
La ecuación resultante (16) para el cálculo de las concentraciones finales de las muestras de teñido con azul de metileno es:

$$Y = 0.000000000 X + 0.000000000$$

Donde Y: Adsorbancia, X: Concentración



Grafico 4.1. Regresión lineal para sustancias que reaccionan con el azul de metileno



Donde despejando la ecuación 16 obtenemos la ecuación 17, la cual permite determina las concentraciones iniciales de las muestras sin tratar con CA DARCO y las concentraciones finales de las muestras tratadas con CA DARCO. Los resultados se muestran en la tabla 4.7.

$$x = \frac{y - 0.008}{0.196}$$

4.1.4. Lecturas de adsorbancia en Espectrofotómetro

Los experimentos (A) y (B) de la tabla 4.7. representan las concentraciones de SDBS presente en el detergente FAB. Para la Dilución de 20g/250mL (A), la concentración de SDBS fue 0.556 ppm, para la segunda dilución de 10g/250mL (B), la concentración obtenida fue de 0.464 ppm de SDBS.



Tabla 4.7. Lecturas de concentración de muestras iniciales y finales.

Experimento	Adsorbancia	Concentración (ppm)
(A) Inicial	0.117	0.556134
(B) Inicial	0.099	0.464298
1A-60	0.012	0.020424
1B-30	0.044	0.183688
1B-60	0.037	0.147974
1A-30	0.117	0.556134
2A-30	0.012	0.020424
2A-60	0.010	0.010220
2B-60	0.040	0.163280
2B-30	0.010	0.010220

4.1.5. Curvas de decaimiento de la concentración del SDBS

Para la optimización del tiempo de agitación se realizaron curvas de decaimiento de concentración del SDBS. En el grafico 2 del ANEXO No 16, se presenta el comportamiento del carbón activado DARCO con respecto al tiempo de retención, presentando una disminución en las concentraciones del SDBS. En las pruebas 1A se observó un cambio drástico con respecto a la concentración inicial a los 30 minutos de retención, en 1B se observó mayor cambio en la concentración a los 60 minutos de retención, en el caso de las replicas, la que demostró un buen decaimiento en la concentración, es la muestra 2A.

En los gráficos del 3 al 6 de los ANEXOS No 17-18, se muestra los experimentos de las curvas de decaimiento de concentración. El eje de las ordenadas está representado como la concentración reducida por el carbón activado y viene expresada en unidades de mg/L, y las coordenadas del eje X simbolizan la



comparación entre las replicas de la fase experimental clasificadas en los distintos tiempo de retención.

En los gráficos 3 y 4 de los ANEXOS No 17, se observa un decaimiento significativo en ambas gráficas, exceptuando la muestra 1A-30 donde no ocurrió cambio en la concentración, cabe destacar que la concentración disminuyo radicalmente en las segundas replicas (2A-60) y se observa que las muestras 1A-60 y 2A-30 poseen la misma concentración en distintos tiempos de retención.

En las gráficas 5 y 6 de los ANEXOS No 18 ambas graficas presentan un decaimiento considerable en las concentraciones de cada muestra, comparativamente la muestra 1B-60 disminuyo más su concentración que la 2B-60 y 1B-30, pero la muestra 2B-30 fue la que presento una baja de concentración drástica.

4.1.6. Determinación del porcentaje de remoción del CA DARCO

El porcentaje de remoción mide la disminución de la concentración del SDBS luego de ser tratadas con CA DARCO, basándose en las lecturas de adsorbancia obtenidas. La ecuación 18 muestra la expresión matemática.

$$\%R = \frac{C_o - C_f}{C_o} \times 100\% \quad (18)$$

Donde C_o es la concentración inicial del adsorbato y C_f es la concentración final, esta ecuación permite determinar el porcentaje removido por el CA. DARCO. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4.8.



Tabla 4.8. Determinación de porcentaje de remoción en los adsorbatos

% de remoción de concentraciones altas en tiempos de retención altos		% de remoción de concentraciones altas en tiempos de retención bajos	
A1-60	93%	A1-30	0
A2-60	99%	A2-30	91%
% de remoción de concentraciones bajas en tiempos de retención altos		% de remoción de concentraciones bajas en tiempos de retención bajos	
B1-60	63%	B1-30	56%
B2-60	60%	B2-30	97%

En los resultados obtenidos por la ecuación 18, se observó mejor remoción del SDBS, pero no indica que la concentración sea un factor que afecte directamente la capacidad adsorptiva del CA DARCO, tal como se muestra en A2-30 y B2-30 estos fueron sometidos bajo el mismo tiempo de retención y distintas concentraciones, así mismo se observó que la remoción fue más efectiva en la prueba B2-30, sin embargo la concentración puede afectar indirectamente cuando el CA se encuentra saturado como ocurrió en las muestras A1-30 y B1-30.

Mientras que el tiempo de retención si es un factor influyente en la capacidad adsorptiva del CA como se muestra en las pruebas A2-60 y A2-30, sin embargo se observa el grado de saturación que presenta el CA observado en las muestras B2-60 y B2-30, por tal cosa se puntualiza que el porcentaje de remoción que presentó la prueba B2-60 es aceptable dado al tiempo retención sometido.



4.2. Análisis de Resultados

4.2.1. Análisis químico-físicos del Carbón Activado industrial DARCO

Basados en los resultados obtenidos en el análisis de porcentaje de ceniza, se determinó que hubo un incremento en compuestos inorgánicos, esto deduce que, se produjo una adición de compuestos en el área superficial del carbono, muestra que ocurrió una adsorción después de los análisis de ácido acético, SAAM y procesos de lavado del CA DARCO. Donde los posibles grupos funcionales que posee el CA DARCO presentan afinidad con el ácido acético y SDBS.

Referente al porcentaje de humedad que presentó el análisis, el incremento de 0.8% demuestra la poca afinidad que posee el CA DARCO con las moléculas de agua, ya que no presentó un incremento significativo, demostrando la eficiencia del CA DARCO en disoluciones acuosas sin provocar alteraciones en los resultados.

Los valores obtenidos de densidad aparente, indicó que el CA DARCO no sufrió un deterioro significativo en su superficie (dado a la similitud de los valores con respecto a la ficha técnica), de igual forma el incremento de esta, demuestra que ocurrió una retención de materia inorgánica.

4.2.2. Análisis de porosidad del Carbón Activado Industrial DARCO

La isoterma de adsorción obtenida por las pruebas de ácido acético se cataloga como tipo III según la clasificación IUPAC, donde la linealidad de la ecuación describe que el valor de $1/n$ es menor que uno, dado por la calidad del coeficiente de regresión R^2 igual a 0.999. Dando por acentuado que el modelo de Freundlich se ajusta bien a los datos experimentales en los ensayos de adsorción. Por tanto dada la afinidad de interacción del CH_3COOH y el CA, indicando la existencia de poros micro y mesoporos; de igual forma se puede considerar la existencia mínima de macroporos.



4.2.3. Análisis de porcentaje de remoción del Carbón Activado Industrial DARCO

Como se explico en la sección 2.1 los detergentes no solo están conformados de SDBS poseen otros compuestos alternos, por esta razón se determino la concentración de SDBS presente en las muestras diluidas de detergente FAB.

De acuerdo con las dimensiones de la molécula del SDBS (ANEXO No 3, figura 6), y la información brindada por la ficha técnica, el diámetro promedio del poro del CA DARCO es de 31 Å. Comparando el diámetro de la molécula del SDBS (23 Å), se puede observar la diferencia en el tamaño del diámetro, el cual favorece la adsorción ya que es una cadena alquílica en forma lineal, siendo simétrica con el tipo de poro que posee el CA DARCO.

Basados en los resultados obtenidos de las curvas de decaimiento del SDBS, indicaron que existe cierta afinidad del adsorbato hacia los sitios de adsorción de la superficie del CA DARCO. De igual forma se determino que la reducción en la concentración del SDBS ocurre en un tiempo de 60 minutos aproximadamente una vez alcanzado el equilibrio sólido-líquido, esto se observo a medida que la tendencia de la concentración se reducía y se convertía constante basado en los valores obtenidos en la tabla 4.7.

El tipo de adsorción realizada durante la práctica fue del tipo fisisorción, dado que no hubieron reacciones químicas entre los reactivos utilizados, (no hubo formación de enlaces) así mismo los resultados obtenidos con el índice de acido acético con los valores de ***k*: 4.749** y ***n*: 1.556** indicativo que el CA DARCO posee alta microporocidad y mesoporocidad, los cuales se cubren con mayor rapidez que los poros más pequeños. Posteriormente el proceso de difusión hacia el interior de los poros continúan hasta llenarse la totalidad de los poros alcanzado la saturación del adsorbente (tal como el caso de la muestra 1A-30).



4.2.4. Análisis Estadístico

Analizando los valores estadísticamente se plantearon las siguientes hipótesis:

1. **Hipótesis Nula:** Concentraciones iguales afectan la capacidad adsorptiva del CA DARCO sin incluir un tiempo de retención a las que fueron sometidas las muestras.

Hipótesis Alternativa: Concentraciones distintas afectan la capacidad de adsorptiva del CA DARCO sin incluir un tiempo de retención a las que fueron sometidas las muestras.

2. **Hipótesis Nula:** El tiempo de retención no afecta la capacidad adsorptiva del CA DARCO sin importar el tipo de concentraciones en las que se encuentran las muestras.

Hipótesis Alternativa: El tiempo de retención afecta la capacidad adsorptiva del CA DARCO sin importar el tipo de concentraciones en las que se encuentran las muestras.

Empleando el programa estadístico SPSS., con un intervalo de confianza de 95% se obtuvieron las tablas 2 y 3 de ANEXOS No 19-20 determinando las medias de la hipótesis nula (1) se acepta dado que su valor de significancia es de 0.03 menor que 0.05 indicando que ambas concentraciones fueron adsorbidas por el CA DARCO de igual manera, por tanto la concentración no es un factor que afecte la capacidad adsorptiva del CA DARCO.

En el caso de la hipótesis nula (2) esta es rechazada dado que su valor de significancia es de 0.279 mayor que 0.05, por tanto se acepta su hipótesis alternativa donde puede decirse que el tiempo de retención es un factor que influye en la capacidad adsorptiva del CA DARCO. Por ende entre mayor es el tiempo de retención mayor será el porcentaje de remoción del CA DARCO*.

* Se debe de aclarar que las pruebas estadísticas realizadas en la hipótesis dos fueron planteadas en base a una misma concentración (concentración alta).



CONCLUSIÓN



1. En la determinación de las propiedades químico-físicas se dictaminó la calidad del CA DARCO, los valores obtenidos en las distintas pruebas presentaron similitud al ser comparadas con los valores postulados en la ficha técnica. Por tanto se puede concluir que la textura del CA DARCO lo convierte en un adsorbente adecuado para lograr la eliminación rápida y efectiva del SDBS.

2. De acuerdo a los análisis de la isoterma de adsorción del ácido acético glacial (CH_3COOH), se encontró que el CA DARCO posee una considerable proporción de micro y mesoporosidad. Donde los datos experimentales de la isoterma fueron ajustados al modelo de Freundlich donde describe una interacción entre el adsorbato y el adsorbente. De igual forma se concluye que la geometría del SDBS es simétrica con los tipos de poros de CA DARCO.

3. Mediante el porcentaje de remoción se determinó que el CA DARCO posee una alta capacidad adsorptiva ante sustancias surfactantes como el SDBS, dada la área superficial que presenta el CA DARCO, siendo un buen adsorbente para eliminar estas sustancias. Dado que el proceso de adsorción fue físico, se considera que las principales fuerzas implicadas en el proceso de adsorción del SDBS fueron de Van der Waals, por donde se puede concluir que las principales interacciones fueron entre la cadena alquílica del SDBS y la superficie del carbón, presentando una afinidad entre el SDBS y el CA DARCO.



RECOMENDACIONES



❖ En base al segundo objetivo planteado se refieren dos recomendaciones:

1. Ampliar el número de replicas, para determinar si existe diferencia significativa en la saturación carbón activado DARCO, en concentraciones y tiempos de retención distintos.

2. Realizar un análisis donde las variables sean temperatura versus concentración y temperatura versus tiempo de retención, para cuantificar la eficiencia de remoción del SDBS aplicando el carbón activado DARCO.

❖ En base al tercer objetivo planteado se recomienda, realizar una isoterma de adsorción del carbón activado DARCO con respecto al SDBS, con el objetivo de fijar la cantidad de carbón activado DARCO necesario, para elaborar un diseño de tratamiento terciario aplicable en plantas de tratamientos de aguas residuales.



BIBLIOGRAFÍA



1. **Castells Xavier E.** Tecnologías Aplicables al Tratamiento de Residuos. Monografía basada en el libro Reciclaje de Residuos Industriales, España: Editorial Díaz Santos (2012).
2. **Chira M. Reysond R.** Utilización de carbón activado en columnas en tratamientos de agua industrial. (2008). Extraído de <http://www.slideshare.net/renatolachira/carbn-activado>
3. **Colina Andrade Gilberto.** Estudio del carbón activado elaborado a partir de material agroindustrial para la adsorción de contaminantes. Maracaibo, Venezuela, Julio de 2010.
4. **Contreras O. Jefferson R.** Estudio de la capacidad adsorptiva del carbón activado obtenido a partir del bagazo de la caña de azúcar para la adsorción de compuestos fenolicos en agua, Maracaibo, Venezuela, Febrero de 2006.
5. **Cristian cervantes V.,** Practica de Isotherma de adsorción de sustancias en interface sólido-líquido. Universidad Central del Ecuador (Enero 2010).
6. **Decreto No 33-95;** Disposiciones para el control de la Contaminación proveniente de las Descargas de Agua Residual Domestica, Industrial y Agropecuaria.
7. **Decreto No 77.2003;** De establecimientos de las Disposiciones que regulan las descargas de Aguas residuales Domésticas provenientes de los sistemas de tratamiento en el lago Xolotlan.
8. **García Domínguez J.J., en:** Tensioactivos y detergencia, Ed. Dossat, Madrid (1986.)
9. **Jean Louis SALAGER,** Cuaderno FIRP S300-A, Modulo de enseñanza en Fenómenos Interfaciales, Surfactantes, Tipos y Usos, Laboratorio de Formulación, Interfaces Reologia y Procesos, Universidad de los Andes, Mérida-Venezuela, Versión #2, (2002).
10. **José O. Valderrama,** Información Tecnología Vol. 8 N°2.
11. **Maldonado P. Sofía L.,** Estudio de la Remoción de detergentes aniónicos tipo sulfato con Carbón Activado, Universidad Politécnica Nacional, Quito, Ecuador (2008).



12. **Méndez Díaz José D.**, Eliminación del surfactante dodecilbencensulfonato sódico de las aguas mediante adsorción en carbones activados, ozonización catalizada y fotooxidación, Universidad de Granada (2008).
13. **Mendieta N. Eduardo.** Estudio de la capacidad adsorción del carbón activado a partir de la semilla de nancite para la remoción de arsénico en aguas de pozo. Tesis de Ingeniería. Universidad de Ingeniería, Nicaragua junio 2008.
14. **Métodos Normalizados para Análisis de aguas potables y residuales.** Publicado por America Public Health Association American WATER WORKS Association Water Pollutions Control Federation. Edición en español Díaz de Santos S.A. 1992.
15. **Morales Q. Luis A.**, Estudio del Proceso de transferencia de calor convectivo en nanofluidos. Tesis Doctoral, Barraquilla, Colombia.
16. **Nimer L. Marcio**, Estudio del Comportamiento Ambiental del Sulfonato de AlquilBenceno Lineal (LAS) en parcela agrícola de la Vega de Granada; Universidad de Granada (2007).
17. **Norma UNE-EN ISO/IEC 17025-2009 (CGA-ENAC-LEC)**, Acreditación n° 24/LE028, Anexo Técnico Rev. 9, Fecha 30/07/11.
18. **Normas Técnicas Obligatorias Nicaragüenses 05027-05**, para Regular los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales y su Reuso. Aprobada por el Comité técnico, el día 28 de febrero de 2005, publicado en la Gaceta el diario Oficial miércoles 10 de mayo de 2006.
19. **Platzer Michael**, investigaciones y experiencias con biofiltros en Nicaragua, centro América xxviii congreso interamericano de ingeniería sanitaria y ambiental. Cancún, México, 27 al 31 de octubre (2002).
20. **Schöberl P.** Basic principales of LAS biodegradación. Tensida Surf Det.
21. **Seoánez C. Mariano**, Depuración de las aguas residuales por Tecnologías ecológica y de bajo costo, Madrid (2004).
22. **Swisher R.D.**, Surfactantes biodegradation, 2°Ed. Marcella Dekker, N.Y. U.S.A 1987
23. **Taller Regional de Tratamiento Sostenible de Aguas Residuales**, Brindado por ENACAL, Honduras, 2006.



ABREVIATURAS

1. **A.C:** Ante de Cristo
2. **A:** Concentración Alta (20g / 250 mL)
3. **A-30:** Muestra de Concentración alta en un tiempo de retención de 30 minutos.
4. **A-60:** Muestra de Concentración alta en un tiempo de retención de 60 minutos.
5. **ABS:** Alquilbencenosulfonato ramificado
6. **ASTM:** American Society for Testing and Materials
7. **B:** Concentración Baja (10g / 250 mL)
8. **B-30:** Muestra de Concentración alta en un tiempo de retención de 30 minutos.
9. **B-60:** Muestra de Concentración alta en un tiempo de retención de 60 minutos.
10. **CA:** Carbono activado
11. **DBO:** Demanda Biológica de Oxígeno.
12. **GAC:** Carbono activado granular
13. **IUPAC:** Unión Internacional de Química pura y Aplicada
14. **LAS:** AlquilbencenoSulfonato Lineal
15. **MARENA:** Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales
16. **NTON:** Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense
17. **OSHA:** Administración se Seguridad y Salud Ocupacional.
18. **PAC:** Carbono activado en polvo
19. **SAAM:** Sustancias Activas al Azul de Metileno
20. **SABS:** Alquilbencenosulfanato de sodio.
21. **SBDS:** Dodecil Benceno Sulfonato de Sodio Lineal
22. **STAR:** Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales
23. **UV:** Ultravioleta
24. **WLS:** Mínimos Cuadrados ponderados



ANEXOS



Figura 1. Esquema de componentes básicos que presenta la formulación de los detergentes, donde se presenta como principal materia prima tensoactivos o surfactantes.

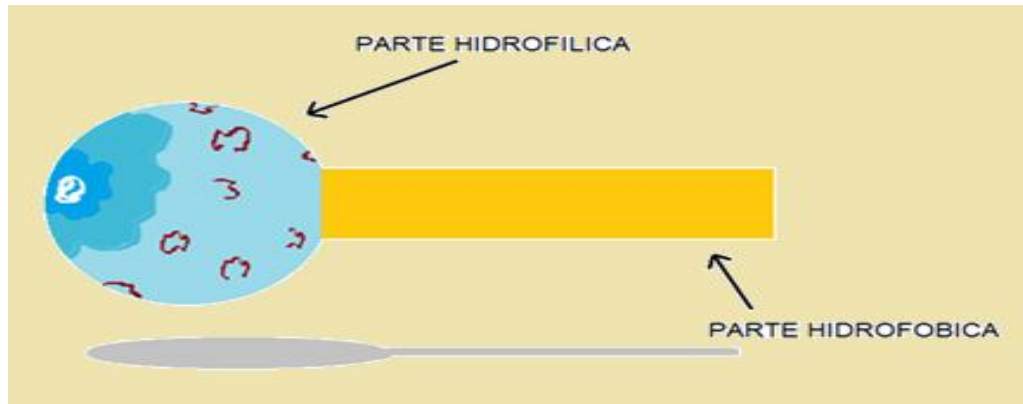


Figura 2. Estructura básica para un surfactante.



Figura 3. Estructura básica para un surfactante catiónico.

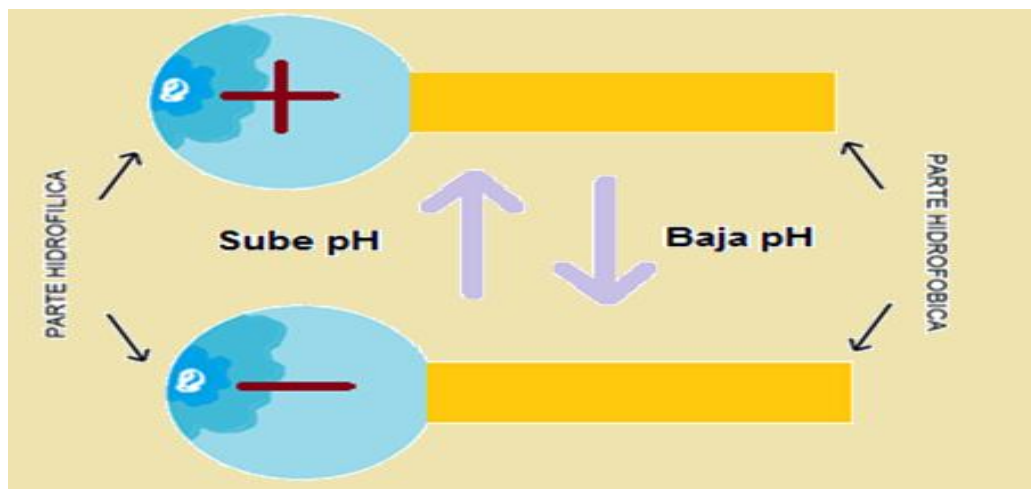


Figura 4. Comportamiento para un surfactante anfótero

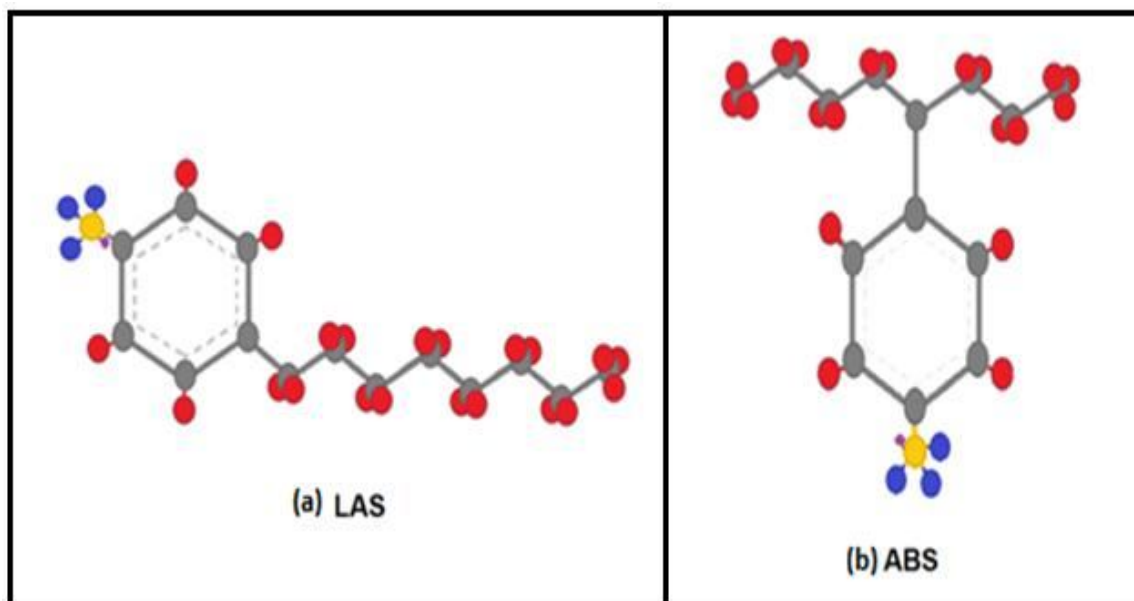


Figura 5. Clasificación de estructuras moleculares del AlquilbencenoSulfonato (a) estructura molecular Lineal (LAS), (b) estructura molecular Ramificada (ABS).

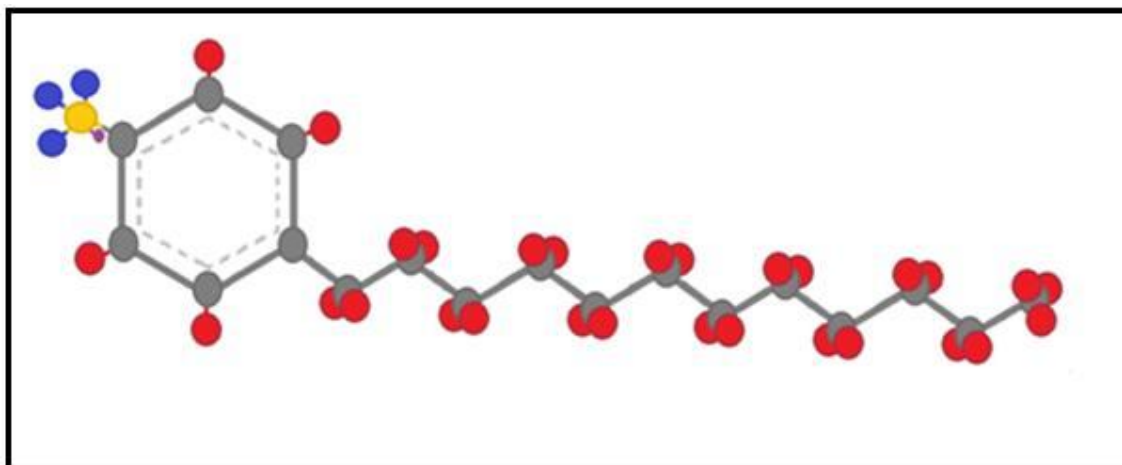


Figura 6. Estructura molecular del SDBS, conformado por un anillo bencénico enlazado con orientación *para* a una cadena alquílica de 12 átomos de carbono y un sulfonato de sodio, a) altura 3 Å, b) anchura 5 Å, c) longitud 23 Å. Fuente: Jose diego Mendez Eliminación del surfactante SDBS mediante en Carbón Activado, Ozonización catalizada y Fotooxidación pag 146

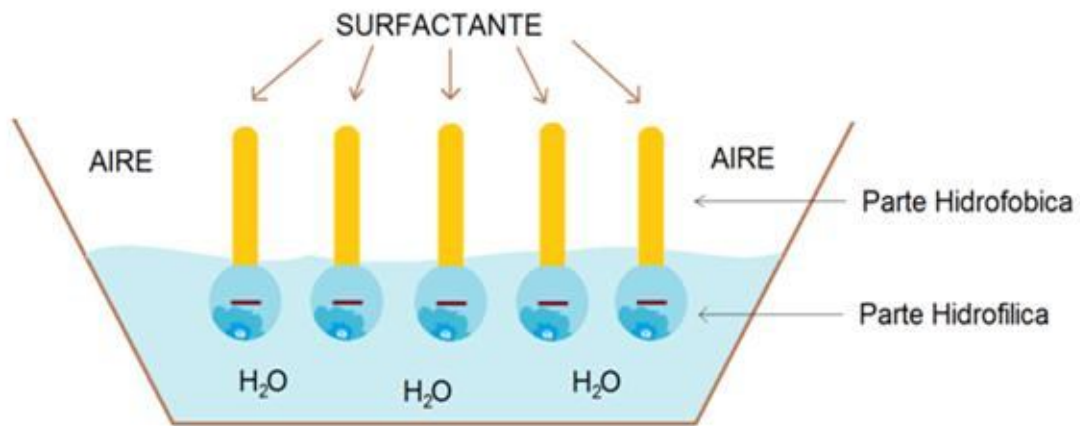


Figura 7. Representación de la orientación del SDBS en la fase del mecanismo de acción en un medio acuoso. La fase hidrofílica es atraída fuertemente por las moléculas de agua, mientras que la fase hidrofóbica se atrae levemente, en consecuencia las moléculas del surfactante se alinean en la superficie.

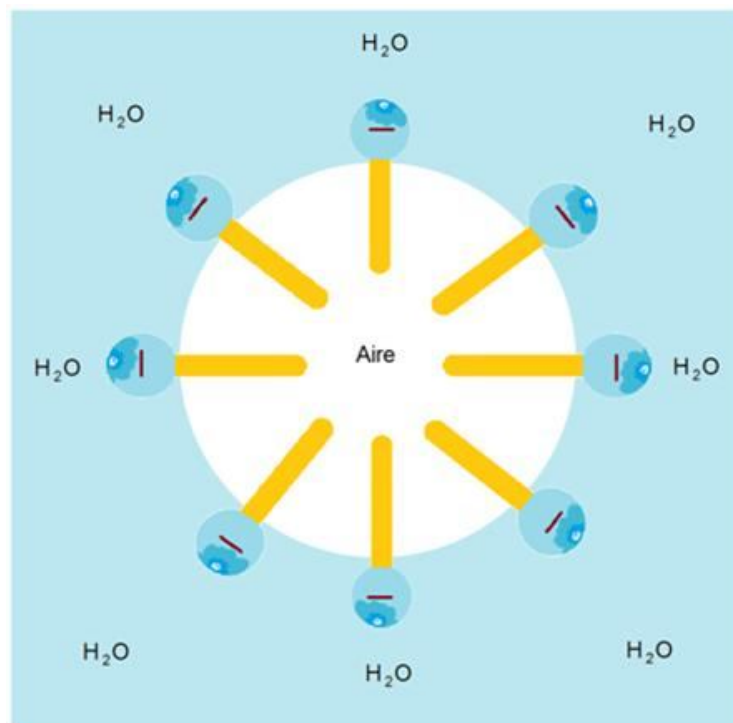


Figura 8. Formación de micelas en un medio acuoso.

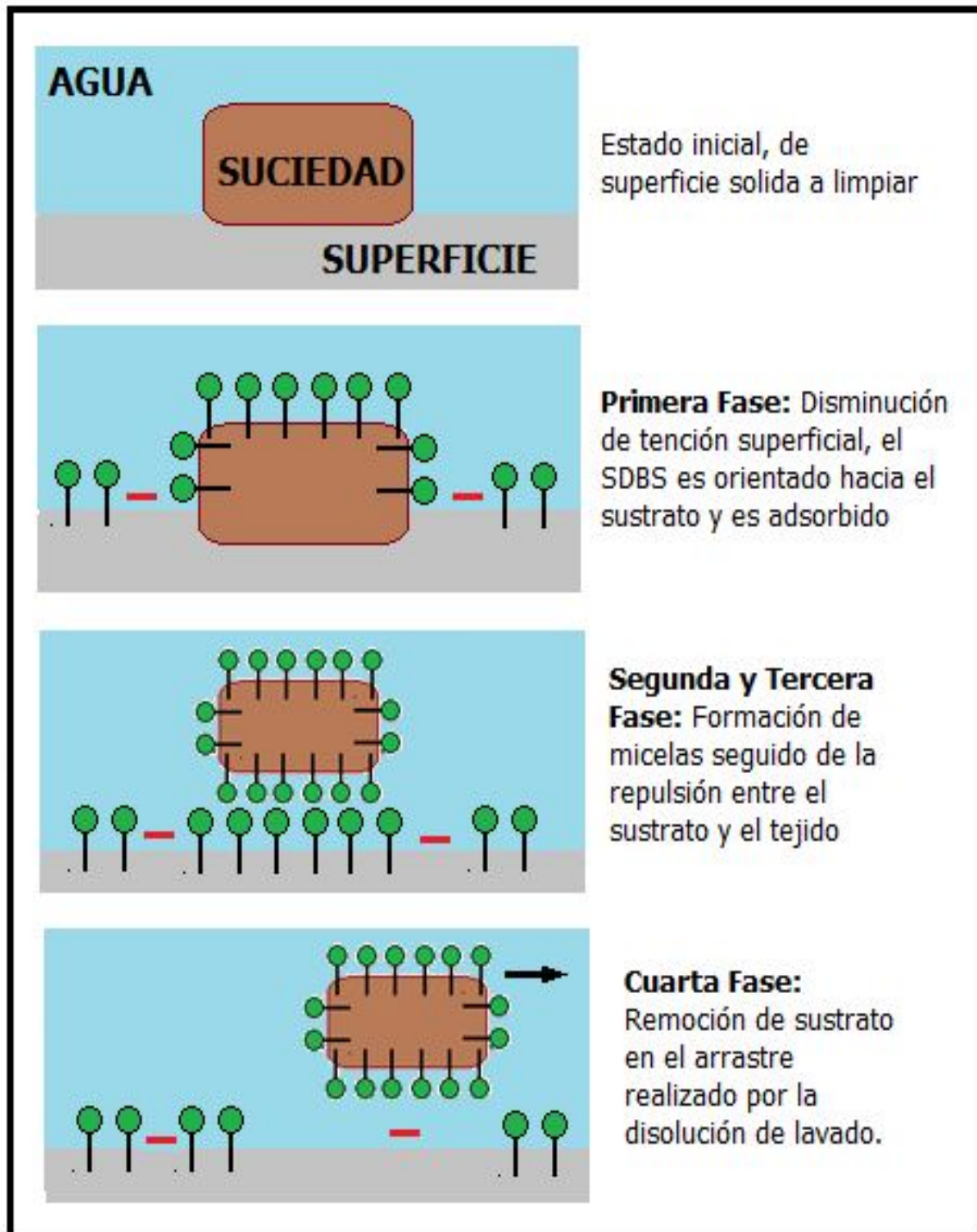


Figura 9. Esquema del fenómeno de “rolling-up” en diferentes fases del proceso de eliminación de un residuo depositado sobre una fibra textil.

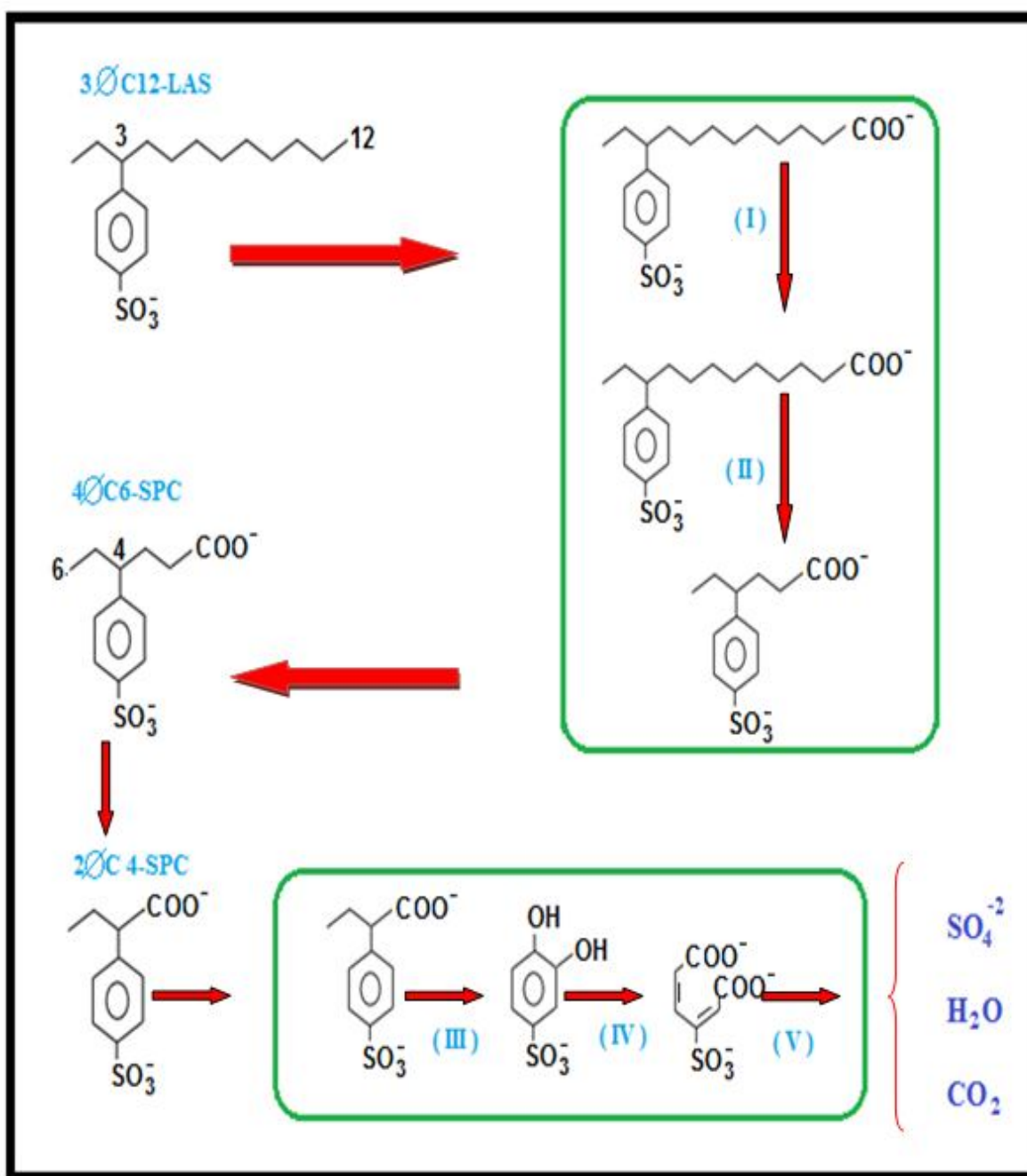


Figura 10. Proceso de biodegradación aeróbica del LAS, donde se puede observar una posible ruta de degradación. Para que esto ocurra es necesario distintas etapas y/o reacciones como: (I) ω -oxidación; (II) β -oxidación; (III) remoción de la cadena alquílica con dioxigenasa formando el 4-sulfocatecol; (IV) apertura del anillo bencénico; (V) desulfonación.

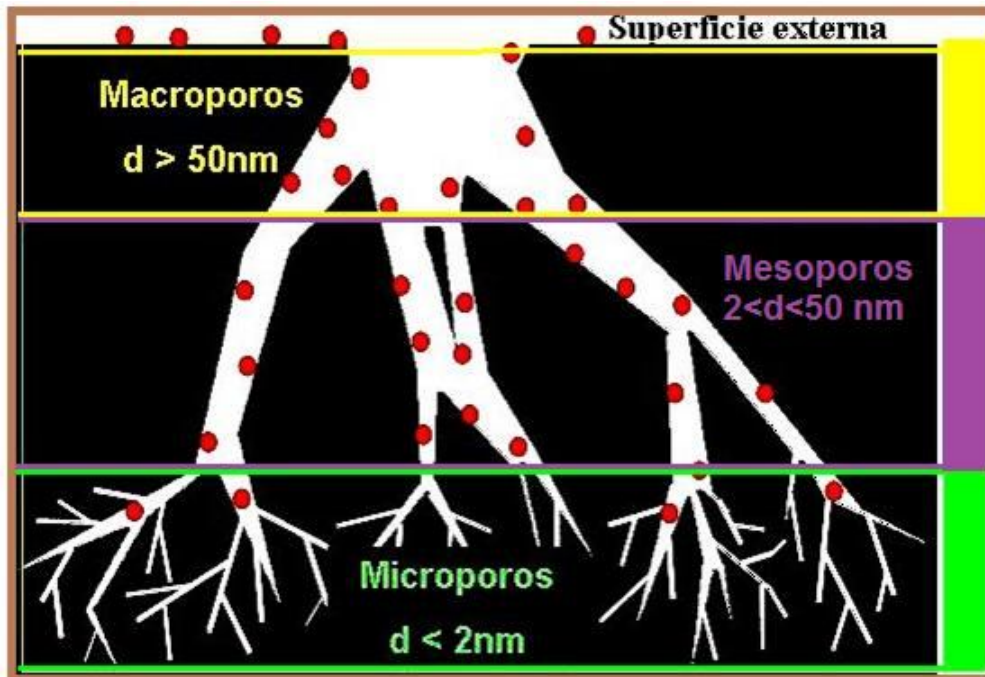


Figura 11. Estructura interna de carbón activado; sección amarilla presencia de macroporos, sección morada presencia de mesoporos, sección verde presencia de microporos; las sustancias recorren los caminos de difusión hasta ser adsorbidos.

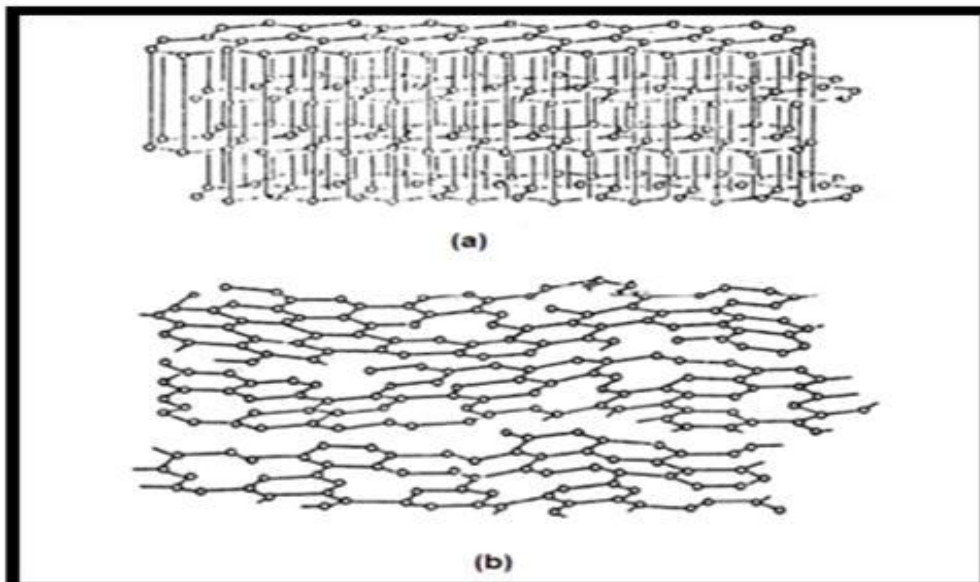


Figura 12. (a) Arreglo estructural de las capas planas del grafito, (b) Estructura propuesta de las capas de carbón activado.

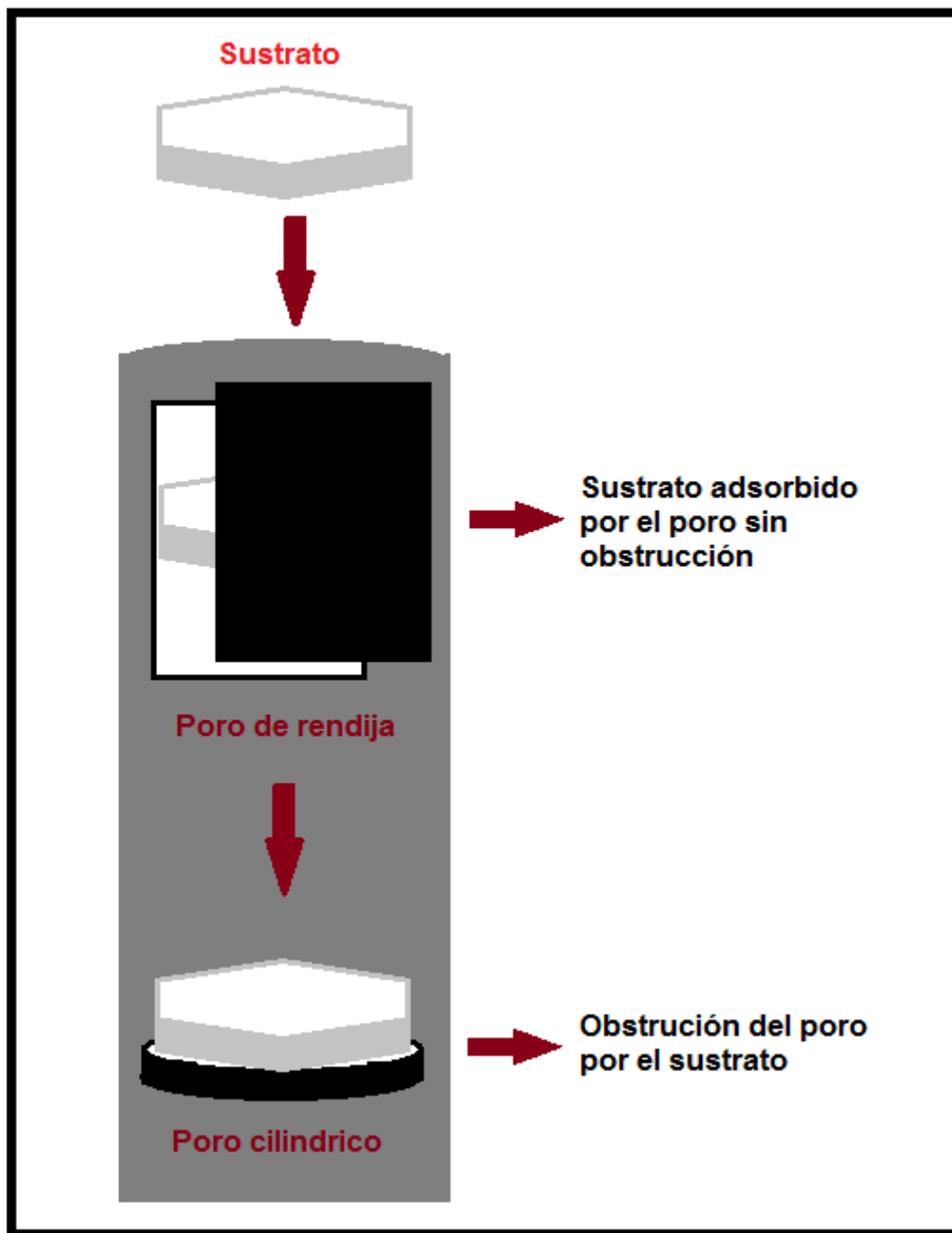


Figura 13. Representación de adsorción de un sustrato referente a la geometría del poro.

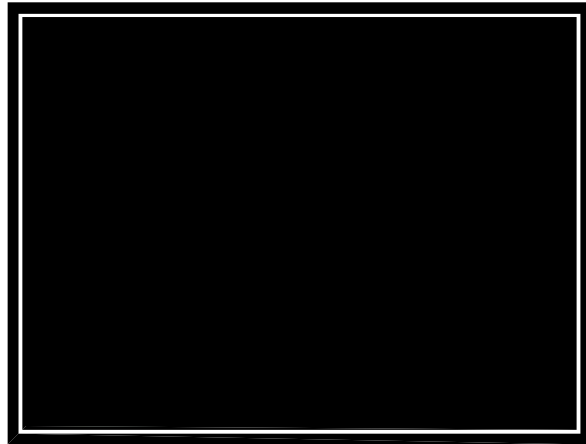


Figura 14. Fotografía de carbón activado en polvo (CAP)

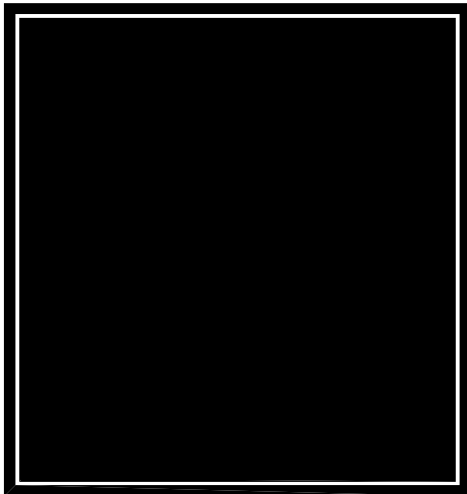
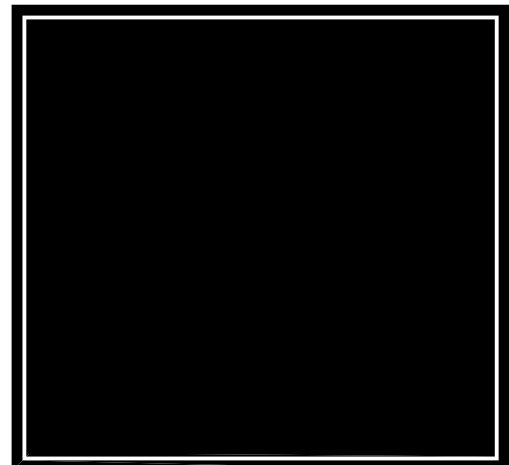


Figura 15. Fotografía de carbón activado troceado (GAP)

Figura 16. Fotografía de carbón activado conformado



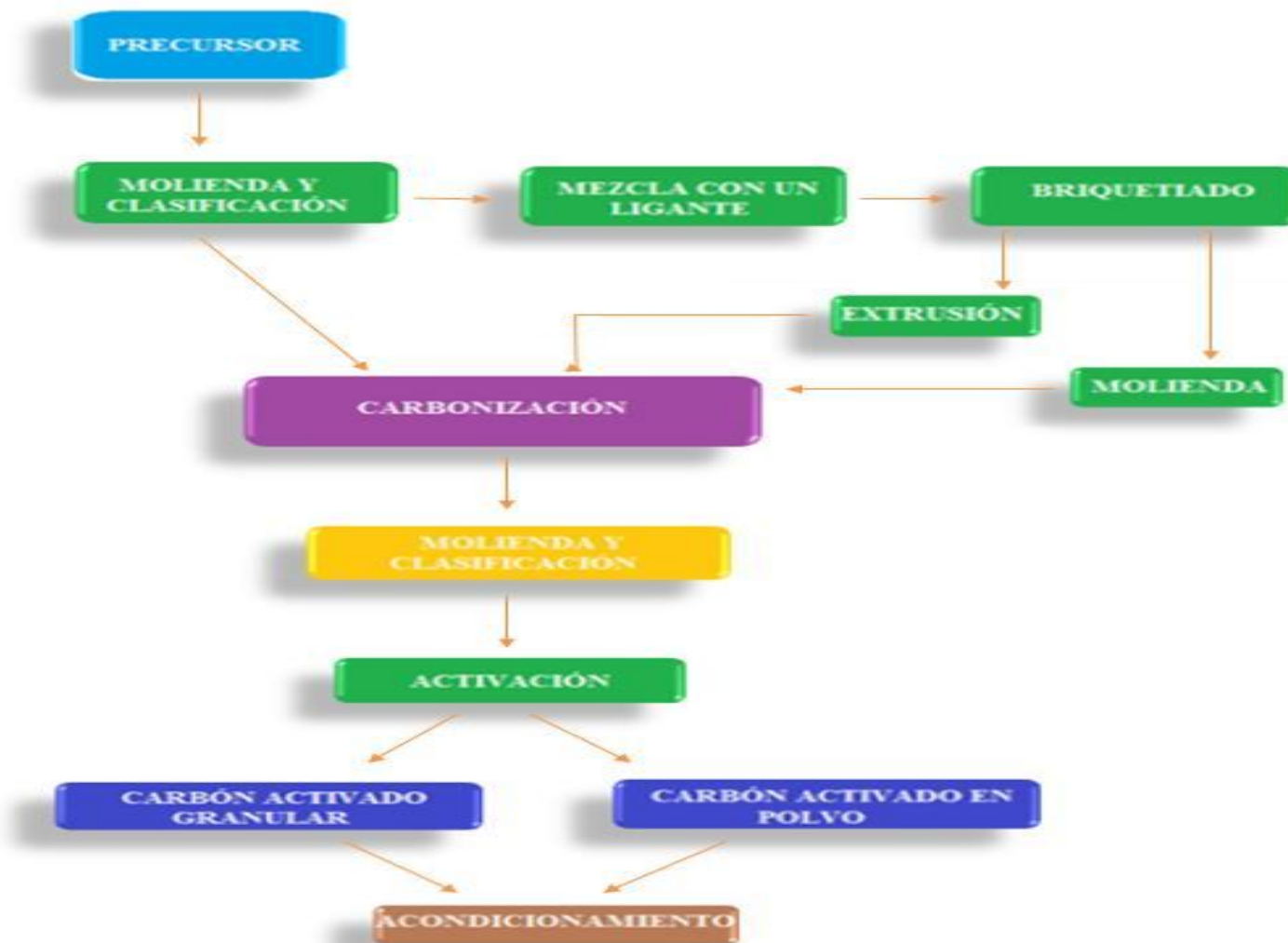


Figura 17. Diagrama de proceso de activación térmica para el carbón activado industrial.



Figura 18. Diagrama de proceso de activación química para el carbón activado industrial.

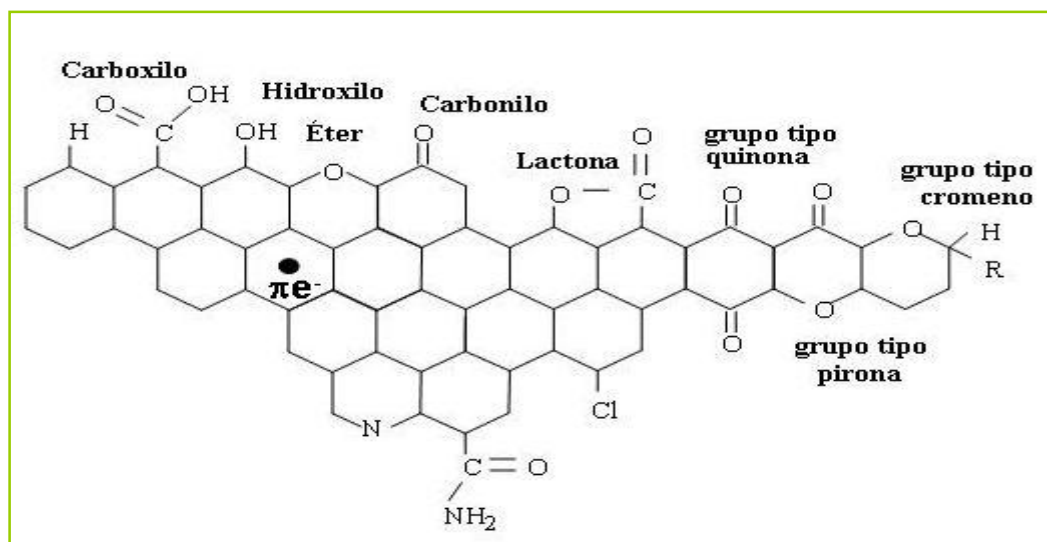


Figura 19. Representación esquemática de los principales grupos superficiales que pueden encontrarse en un carbón. La mayoría de estos grupos son grupos oxigenados, debido a la tendencia de los carbonos a oxidarse incluso a temperatura ambiente. Los electrones deslocalizados de los orbitales π juegan un papel muy importante en la química superficial de los carbonos.

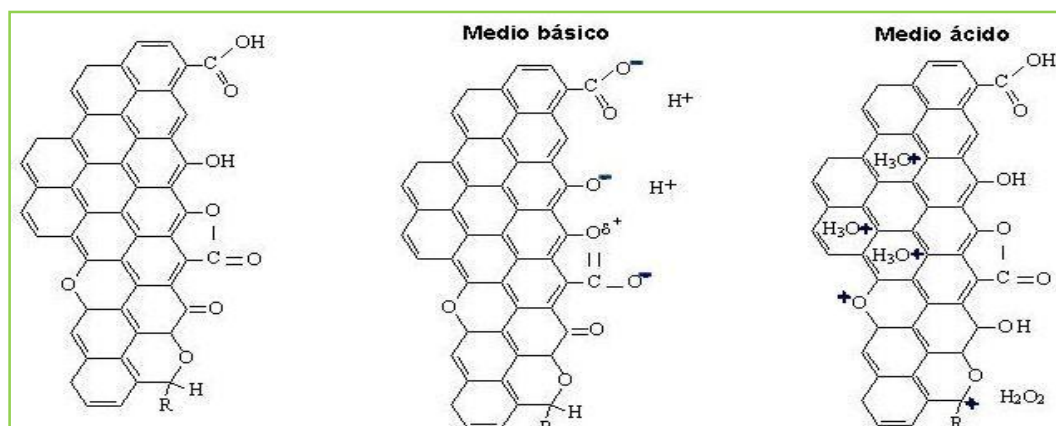


Figura 20. Representación esquemática del carácter ácido de algunos grupos oxigenados (carboxilos, hidroxilos y lactonas) y del carácter básico de los electrones deslocalizados del plano basal y de grupos oxigenados (tipo pirona, tipo quinona y tipo cromeno)

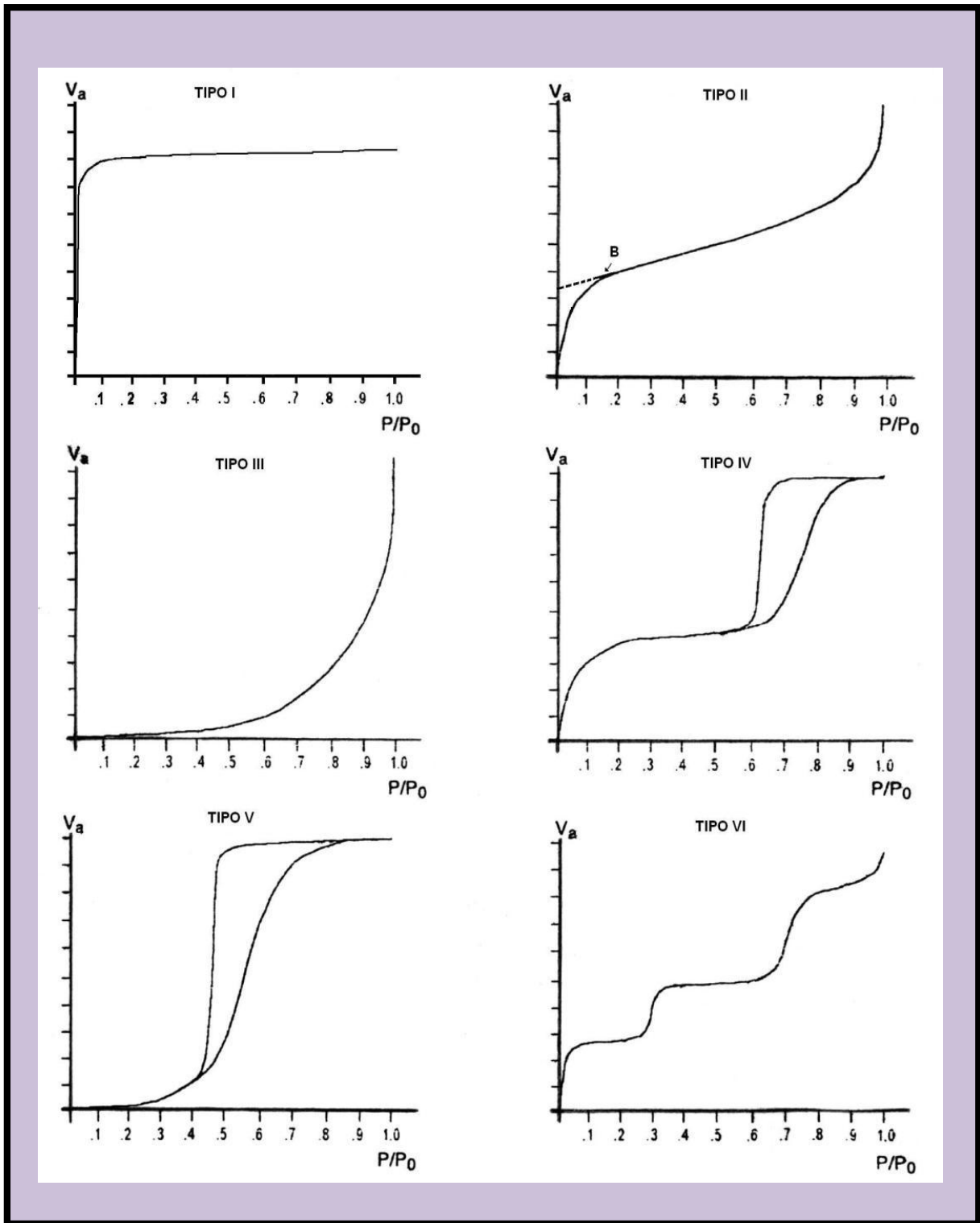


Figura 21. Tipos de Isothermas de adsorción según IUPAC



CARBON ACTIVADO DARCO FICHA TECNICA DE PRODUCTO.

Darco es un carbón activado granular lavado con ácido, producido por activación de vapor lignito. Este carbón activado se fabrica específicamente para aplicaciones que requieren una rápida velocidad de adsorción en columnas de presión. Es utilizado en una variedad de aplicaciones, incluyendo la purificación de productos químicos y en alimentos.

Darco se utiliza con frecuencia para la purificación del agua debido a su eficiencia en decoloración y excelente capacidad de adsorción de sabores y olores. Darco es certificado y cumple con las normas estándar de ANSI y ASTM.

INFORMACIÓN CARBON ACTIVADO DARCO			
Datos Técnicos	Valor		Norma que cumple
Número de Iodo (mg I/g de CAG)	900		ASTMD-4607
PH	7		ASTMD-3838
Granulometría	8 x 30	12 x 40	ANSI/AWWA B604-90
Mayor que malla	8 5%	12 5%	
Menor que malla	30 5%	40 5%	
Dureza	83		ASTMD-3802
Cenizas Totales	4%		ASTMD-2866
Densidad aparente (g/cm ³)	0.49		ASTMD-2854
Humedad al empacar	4% max.		ASTMD-2867
Número de melazas	220 min.		
Área superficial (método N.Bet. M/gr)	1000		ASTMD-3037
Diámetro promedio del poro (Amstrong)	31		ASTMD-3037
Volumen del poro (ml/g de CAG)	0.80		ASTMD-3037

Etiqueta de contenido de detergente FAB Naturals, Manzanilla, 150g.

Ingredientes principales: Dodecibencenosulfonato de sodio, Ablandador de agua, Agentes de limpieza, Perfume con extractos naturales de manzanilla, Agente antirrepositable, Abrillantadores ópticos y colorantes. **Ingredientes peligrosos definidos por la OSHA:** Carbonato de sodio 1-10%, Dodecibencenosulfonato de sodio 10-20%, Tripolifosfato de sodio 5-10%, Silicato de sodio 1-10%. **Biodegradabilidad mínima de tensoactivos 90%. NO CONTIENE CLORO. PRECAUCIONES:** **MANTENGASE FUERA DEL ALCANCE DE LOS NIÑOS, EN CASO DE INTOXICACIÓN CONSULTE AL MÉDICO Y APORTE ESTA ETIQUETA.** Mantenga el producto en un lugar fresco y seco. En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua. Enjuague y seque las manos después de usar este producto. En caso que presente irritación use guantes y consulte a su médico. En caso de ingestión accidental, beba abundante agua, no provoque el vomito y consulte inmediatamente a su médico llevando esta etiqueta. En Costa Rica llame al número de emergencias 911, Bomberos 118, Centro Nacional de Intoxicaciones 2223-1028. Guatemala: 18010029832/22300807. En Nicaragua: 22897150/22893328. En Honduras (504)232-2322. En El Salvador: (503)2231-9262. Producto Centro Americano hecho en Guatemala por: Procter & Gamble Interaméricas de Guatemala, Ltda., Kilometro 54.5 CA-9, Escultia Guatemala. Distribuido, Importado y/o representado por: Guatemala Procter & Gamble Interaméricas de Guatemala, Ltda., Diag. 6, 10-65, Zona 10, Guatemala, R.S.; Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua: PH-4274, Costa Rica: Q-37331-9, Costa Rica por Procter & Gamble Interaméricas de Costa Rica, Ltda., Parque Empresarial FORUM, Pozos de santa Ana, edificio B, tercer piso, San José Costa Rica; Panamá por Procter & Gamble Interaméricas de Panamá, S. de RL., Edificio Business Park, Torre Oeste 1er piso, Avenida la Rotonda, costado este, corregimiento de Juan Diaz, Ciudad de Panamá. **CENTROS DE ATENCION AL CONSUMIDOR:**
Guatemala: 1-800-999-5296
Costa Rica: 0-800-054-2048

Fuente: Información presentada al reverso del empaque del detergente FAB Naturals, Vainilla de 150 gr.

Grafica 1. Isotherma de adsorción de CH_3COOH por la ecuación de Freundlich con CA. DARCO

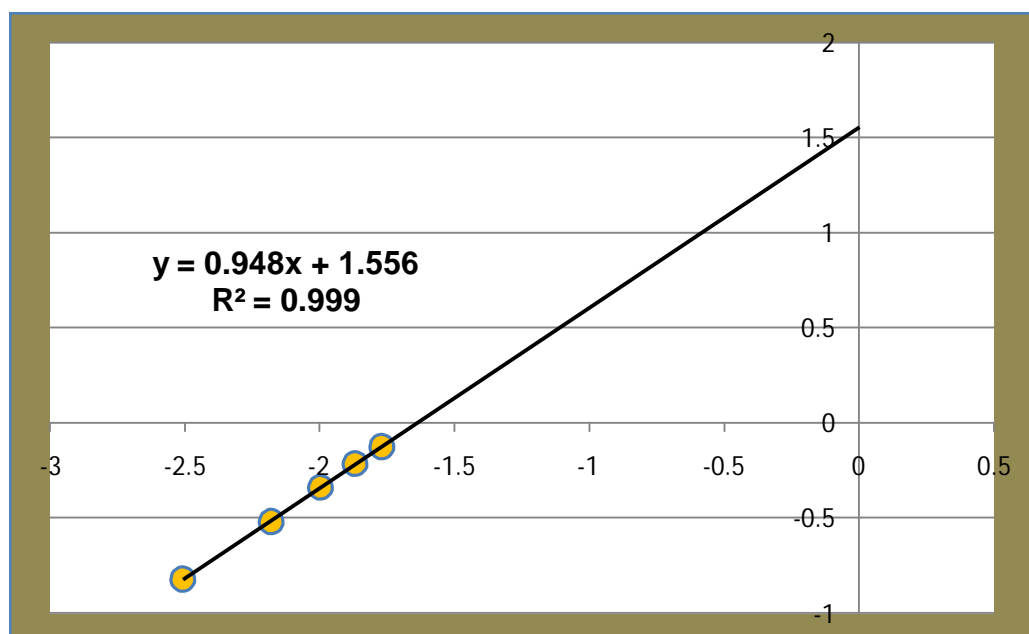


Grafico 2. Comportamiento de Carbón activado DARCO comparando ambos tiempos de retención con el SDBS

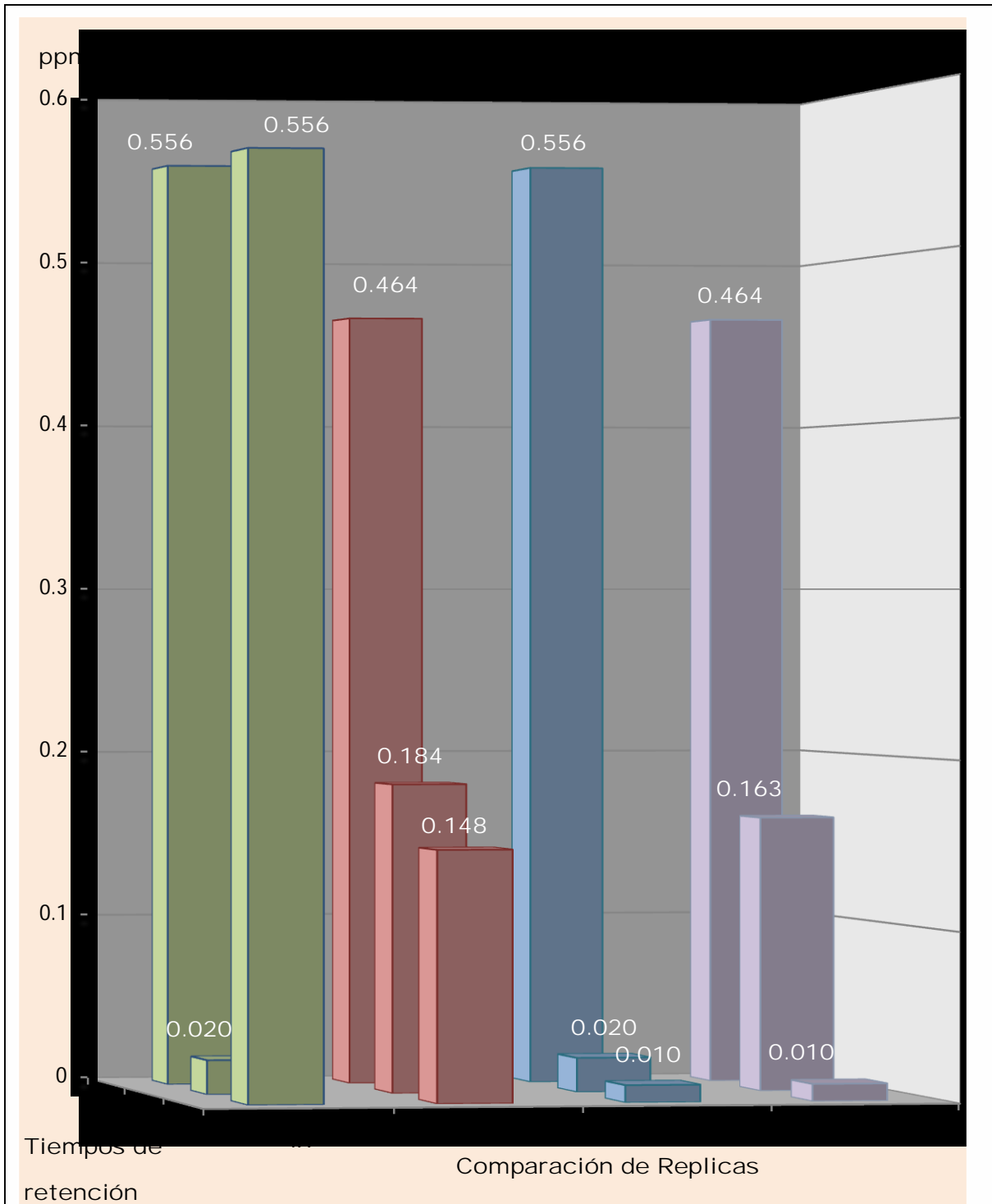


Gráfico 3. Curva de decaimiento de concentraciones alta en tiempos de retención alto.

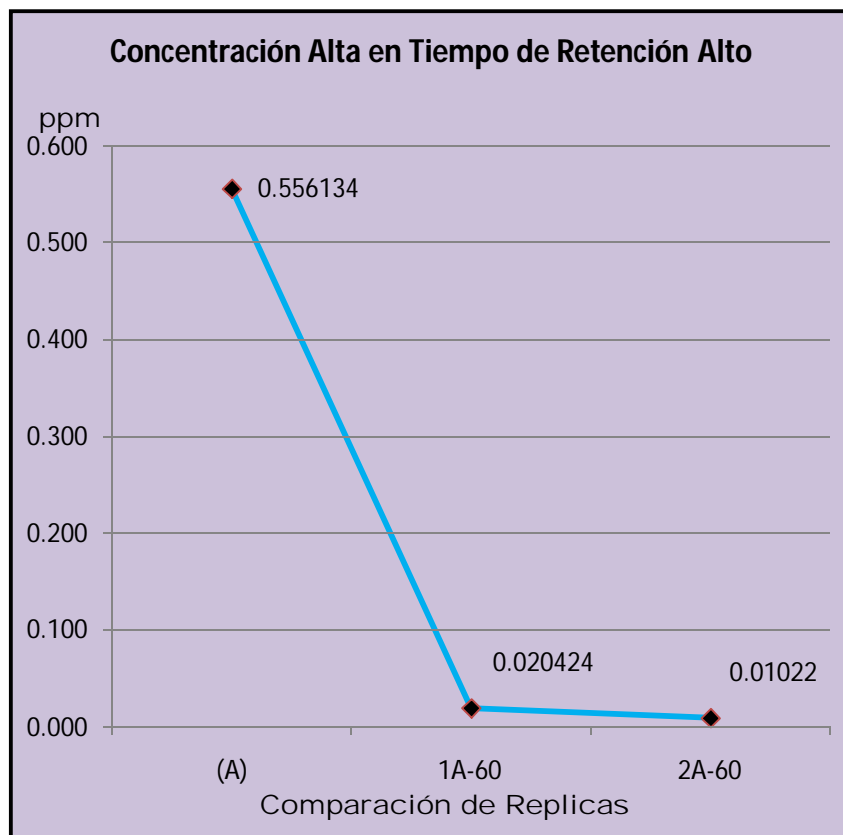


Gráfico 4. Curva de decaimiento de concentraciones alta en tiempos de retención bajo.

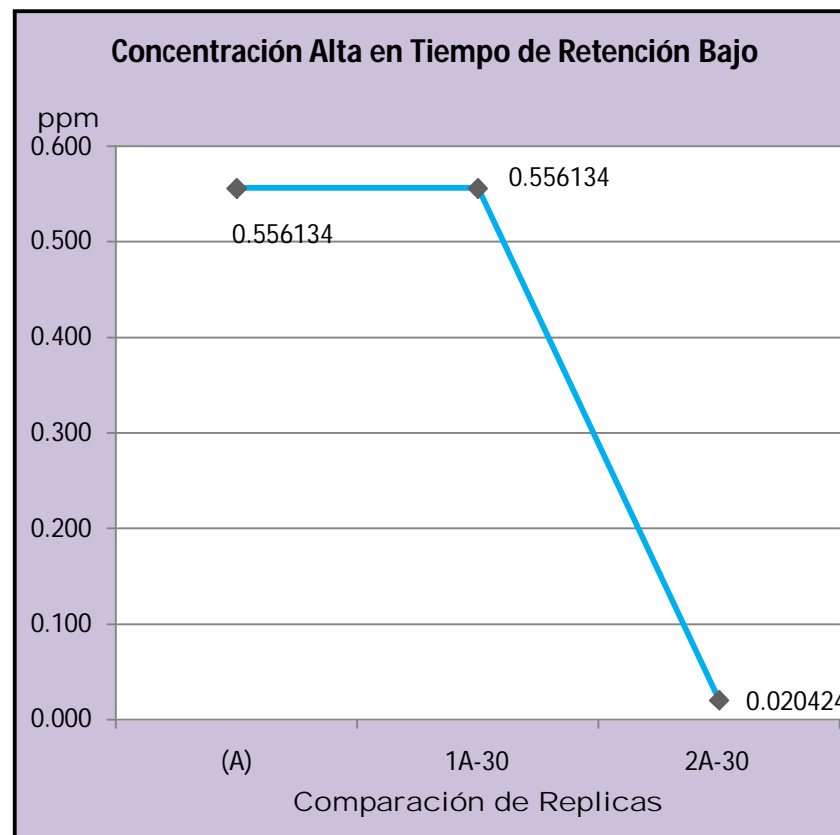


Grafico 5. Curva de decaimiento de concentraciones baja en tiempos de retención alto

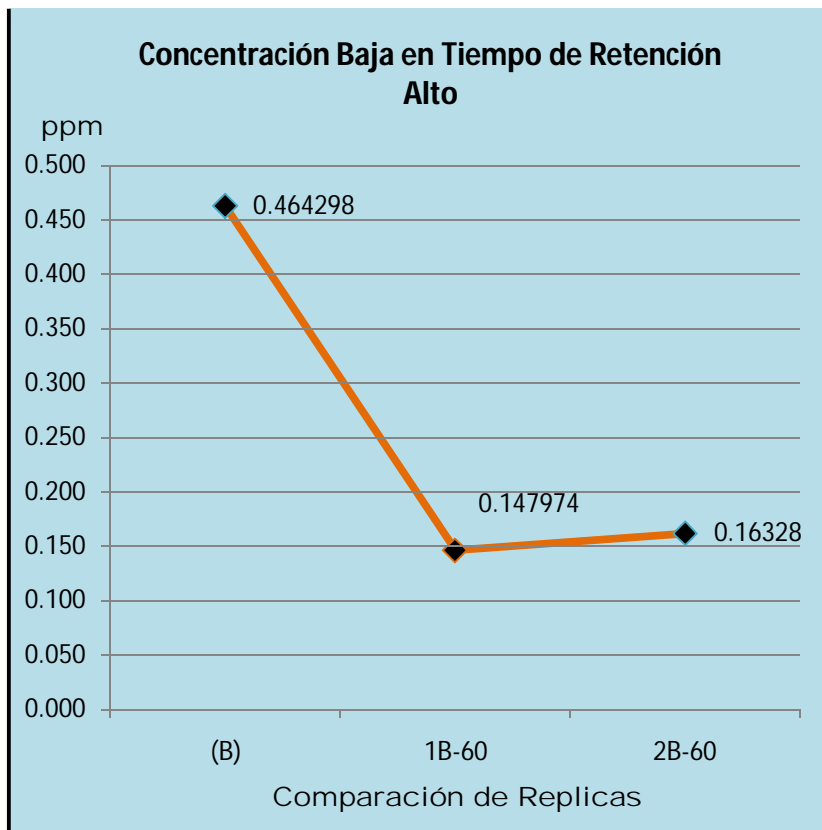


Grafico 6. Curva de decaimiento de concentraciones baja en tiempos de retención bajo

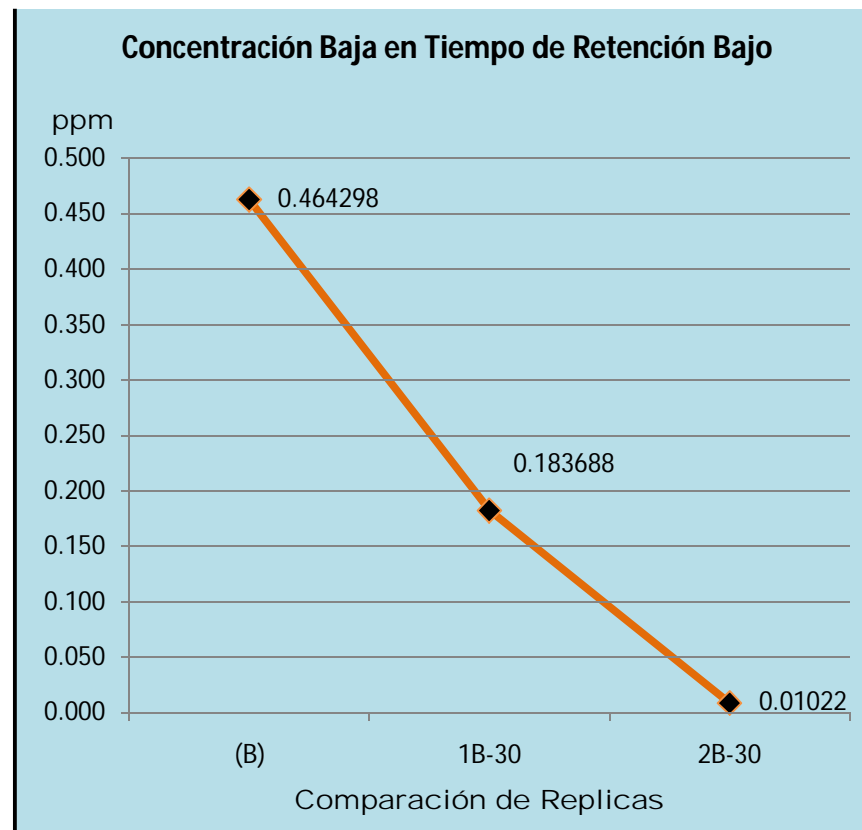


Tabla 1. Curva de Calibración para las sustancias que reaccionan al azul de metileno

	Concentración (ppm)	Adsorbancia
M1	0	0.01
M2	0.1	0.03
M3	0.25	0.056
M4	0.5	0.105
M5	1	0.203
M6	2	0.403

Tabla 2. Prueba de Hipótesis para medias de concentraciones distintas.

	Prueba de nivel para la igualdad de varianzas		t-test para igualdad de medias						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2tailed)	Diferencias de medias	Std.Error de Diferencia	Intervalo de confianza 95%	
								Minimo	Maximo
Concentración	6.923	.030	.256	8	.804	.038775	.15146	-.31050	.38805
			.256	6.295	.806	.038775	.15146	-.32768	.40523

Tabla 3. Prueba de Hipótesis para medias de concentraciones para distintos tiempos de retención.

	Prueba de nivel para la igualdad de varianzas		t-test para igualdad de medias							
	F	Sig.	t	df	Sig. (2tailed)	Diferencias de medias	Std. Error de diferencia	Intervalo de confianza 95%		
								Minimo	Maximo	
Concentración	Varianzas iguales Asumido	1.562	.279	-1.643	4	.176	-.31759	.19333	-.85439	.21919
	Varianzas iguales no asumidas			-2.343	3.645	.085	-.31759	.13553	-.70883	.07363

Fotografía 1. Planta de tratamiento de aguas residuales de Managua Augusto Cesar Sandino. Donde muestra claramente la presencia de espuma **Fuente:** LA PRENSA/ ARCHIVO.



Fotografía 2. Vertedero de agua tratadas por Planta de Tratamiento San Carlos hacia ríos Chiquito y Pochote Departamento de León; **Fuente:** *El Nuevo Diario*

Fotografía 3. Recorrido de río Chiquito del departamento de León con presencia de espuma, en su superficie; **Fuente:** *El Nuevo Diario*



Fotografía 4. Planta de tratamiento de agua residuales del Departamento de Granada; **Fuente:** *El Nuevo Diario*



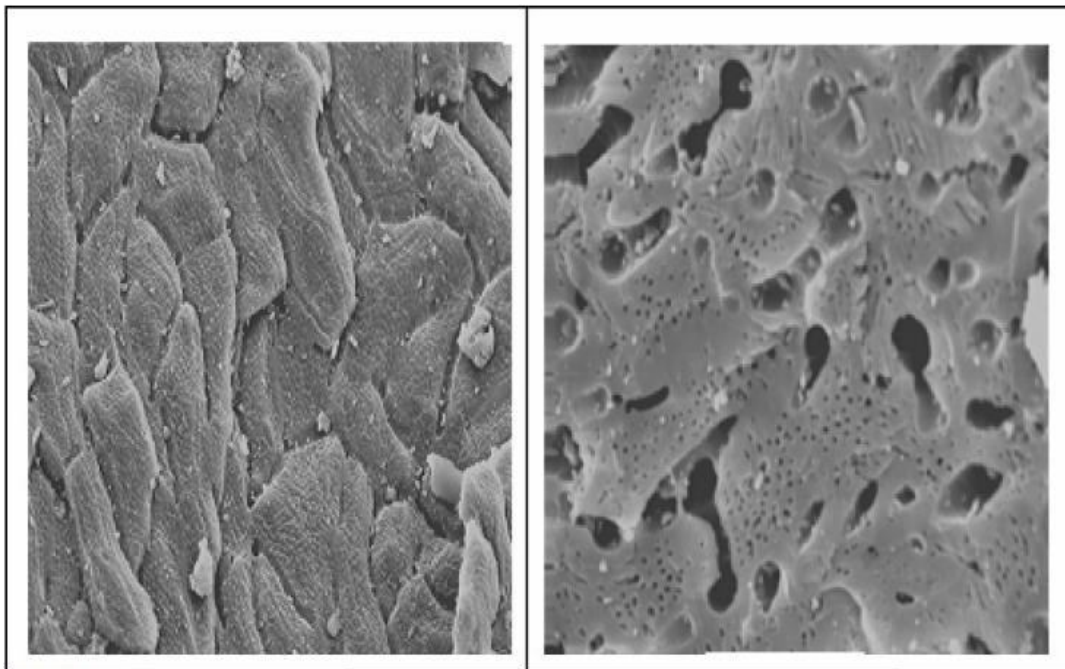
Fotografía 5. Orillas del lago Cocibolca departamento de granada, con indicios de Eutrofización por las descargas recibidas por la planta de tratamiento **Fuente:** LA PRENSA/ CORTESIA DE CONEXIONES.

Fotografía 6. Efluente de aguas tratadas por planta de tratamiento de Jinotepe vertidas en la quebrada del río El Tigre. **Fuente:** *Gira de Campo Realizada el 3 /octubre/ 2010, en visita a la planta de tratamiento por Br. Karol Pahola Moreno Kuan*



Fotografía 7. Caudal del río El Tigre en Jinotepe departamento de Carazo.

Fuente: *La brújula digital.*



Fotografía 8. Se muestran las imágenes de dos carbonos X (carbono no activado) izquierda, Y (carbono activado con macroporos) derecha. **Fuente:** Mendieta N. Eduardo (2008). Estudio de la capacidad adsorción del carbón activado a partir de la semilla de nancite para la remoción de arsénico en aguas de pozo. Tesis de Ingeniería. Universidad de Ingeniería, Nicaragua.



Fotografía 9. Caratula de Detergente FabNaturals contenido neto 150g, empleado para el desarrollo de análisis del presente trabajo. **Fuente:** Tomada por Equipo de Trabajo.

Fotografía 10. Pesaje de Detergente marca FAB. **Fuente:** Tomada por Equipo de Trabajo.



Fotografía 11. Muestras a analizar ya preparadas izq 80,000 ppm der. 40,000 ppm. **Fuente:** Tomada por Equipo de Trabajo.



Fotografía 12. Pesaje de crisol con CA. DARCO una vez extraída del horno para determinación de humedad. **Fuente:**

Tomada por Equipo de

Trabajo.

Fotografía 13. Pesaje de crisol con CA. DARCO una vez extraída de la mufla para determinación de ceniza.

Fuente: *Tomada por*

Equipo de Trabajo.



Fotografía 14. Practica para determinas aparente de

CA. DARCO. **Fuente:** *Tomada por Equipo de Trabajo.*