



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE CIENCIAS DE LA TIERRA

Remoción del colorante Azul Remazol sobre
carbón activo

Trabajo Recepcional

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTA:

ALEJANDRA DEL CARMEN LARA ZAMORA

Asesor:

Dr. Luis Armando Bernal Jácome



San Luis Potosí, S.L.P.,

Marzo del 2014



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ÁREA CIENCIAS DE LA TIERRA

Remoción del colorante Azul Remazol sobre carbón
activado

Trabajo Recepcional

Que para obtener el grado de:

INGENIERO AMBIENTAL

Presenta:

Alejandra del Carmen Lara Zamora

Asesor:

Dr. Luis Armando Bernal Jácome





16 de agosto de 2012

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE SAN LUIS POTOSÍ

A LA PASANTE ALEJANDRA DEL CARMEN LARA ZAMORA
P R E S E N T E.-

En atención a su solicitud de autorización de Temario, presentada por el Dr. Luis Armando Bernal Jácome Asesor del Trabajo Recepcional que desarrollará usted, con el objeto de sustentar su Examen Profesional en la Licenciatura de Ingeniero Ambiental. Me es grato comunicarle que en la Sesión de Consejo Técnico Consultivo celebrada el día 16 de agosto del presente año, fue aprobado el Temario propuesto:

TEMARIO:

"REMOCIÓN DEL COLORANTE AZUL REMAZOL SOBRE CARBÓN ACTIVADO"

INTRODUCCIÓN.

- I. ANTECEDENTES DE LOS COLORANTES Y SU APLICACIÓN TEXTIL.
- II. ESTIMACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DEL COLORANTE EN AGUA SUPERFICIALES.
- III. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL PARA LA REMOCIÓN DEL AZUL REMAZOL DE SOLUCIONES ACUOSAS.
- IV. EVALUACIÓN DEL PH DE LA SOLUCIÓN DEL COLORANTE EN LA ISOTERMA DE ADSORCIÓN.
- V. EFICIENCIA DEL SISTEMA DE REMOCIÓN DEL CALOR AZUL REMAZOL.

CONCLUSIONES.

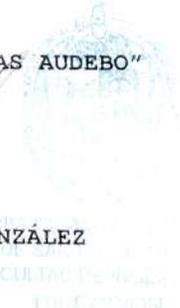
BIBLIOGRAFÍA.

Ruego a Usted tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, debe presentar Constancia de Servicio Social como requisito indispensable para sustentar su Examen Profesional.

"MODOS ET CUNCTARUM RERUM MENSURAS AUDEBO"

A T E N T A M E N T E

M. I. JORGE ALBERTO PÉREZ GONZÁLEZ
DIRECTOR



FACULTAD
DE INGENIERÍA
Av. Manuel Neri 446
Carr. San Andrés Bello
C.P. 76500 San Luis Potosí, S.L.P.
Tel. 462 41 10 00
www.unslp.mx

C.P. Archivo

*bcb

Índice	Página
Introducción	3
Capítulo 1.- Antecedentes de los colorantes y su aplicación textil	
1.1 Proceso de la Industria Textil.	5
1.2 Importancia del Colorante en la Industria Textil.	7
1.2.1 Tipos de Colorantes utilizados dentro de la industria Textil.	9
Capítulo 2.- Estimación del Impacto Ambiental del Colorante en Aguas Superficiales.	
2.1 Antecedentes.	10
2.2 Aguas Residuales.	11
2.2.1 Fuente de Aguas Residuales.	11
2.2.2 Características del Agua Residual.	11
2.2.3 Agua Residual de la Industria Textil	14
2.2.4 Características de los Colorantes.	14
2.3 Problemas Generados por la Descarga de Aguas Residuales sobre Aguas Superficiales.	15
2.4 Tratamiento y Uso de Agua.	16
2.4.1 Adsorción.	17
2.4.2 Adsorbentes.	18
2.4.3 Carbón Activado.	19
2.5 Justificación.	19
2.6 Objetivo.	20
Capítulo 3.- Metodología Experimental para la Remoción del Azul Remazol de Soluciones Acuosas.	
3.1 Sustancias y Equipos.	21
3.1.1 Preparación de Soluciones.	22
3.2 Metodología Experimental.	23
3.2.1 Adsorbedor Experimental de Lote para Medir la Isoterma de Adsorción	23
3.3 Tratamiento.	24
3.3.1 Determinación del Punto de Carga Cero.	24
Capítulo 4.- Evaluación de pH de la Solución del Colorante en la Isoterma de Adsorción.	
4.1 Experimentación.	25
4.2 Resultados.	27
4.2.1 Isotermas de Adsorción.	29
4.2.2 Parámetros de Isotermas.	31

Capitulo 5.- Eficiencia del Sistema de Remoción del Color Azul Remazol	
5.1 Punto de Carga Cero.	32
5.2 Efecto de pH de la Solución en la Isotherma de Adsorción.	32
5.3 Efecto de la Temperatura de la Solución en la Isotherma de Adsorción	33
Conclusiones.	35
Anexo 1	36
Anexo 2	42
Bibliografía.	45

Gracias a esas personas importantes en mi vida, que siempre estuvieron apoyándome a lo largo de mi carrera, ahora me toca regresar algo de lo mucho que me han otorgado. Con todo mi cariño este Trabajo Recepcional se los dedico a mi papá Fidencio Lara a mi mamá Rosa Ma. Del Carme Zamora y a mi hermana Karen Mayela Lara Zamora

Gracias a mi Asesor Luis Armando Bernal Jácome por todo el apoyo brindado a lo largo de la elaboración de este Trabajo Recepcional.

Introducción

La industria textil mexicana juega un papel importante, tanto en el mercado nacional como en el estadounidense. Su aportación económica a diversas entidades del país la ubican como una actividad productiva dinámica y relevante. En la década de los noventa la industria textil se favoreció con la apertura comercial y aprovechó las ventajas arancelarias, en especial las del Tratado de Libre Comercio con América del Norte.

Dentro de su proceso esta industria utiliza diversas materias primas y como uno de sus principales componentes se encuentran los colorantes, los cuales son requeridos para el teñido de las diversas fibras durante esta etapa, que involucra grandes cantidades de agua debido a que es necesaria durante todo el proceso generando aguas residuales presentando un problema ambiental grave, no sólo debido al peligro potencial que es para la salud humana y animal, sino también por el cambio de color, muy notorio. En la tintura ordinaria se logra una fijación de más del 90 % del tinte, pero en la estampación con tintes reactivos es habitual alcanzar sólo un valor del 60 % o menos. Esto significa que más de una tercera parte del tinte reactivo entra en las aguas residuales cuando se lava el tejido una vez teñido. Igualmente entran más tintes en las aguas residuales durante el lavado de los tamices, los paños de estampación y los tambores.

En el proceso de teñido y estampado de telas se genera la mayor fuente de contaminación por el consumo de colorantes y agua; la concentración de colorantes en el agua residual de las empresas textiles puede variar de 100 a 300 mg/L. Es aquí cuando se genera uno de los principales problemas ambientales sobre aguas superficiales, la eutrofización, la cual consiste en un aporte masivo de nutrientes inorgánicos en un sistema acuático (eutrofo se llama a un ecosistema o un ambiente caracterizado por una abundancia anormalmente alta de nutrientes), lo cual conllevará a la muerte de especies dentro del ecosistema. Este problema se presenta debido a que el agua residual contiene color, con una gran cantidad de materia orgánica, con compuestos químicamente estables y con estructuras aromáticas.

Por este motivo se han implementado diversos métodos para llevar a cabo el tratamiento de aguas residuales industriales entre los cuales se encuentran:

- Métodos no destructivos:
 - Adsorción
 - Desorción
 - Extracción en fase líquida con disolventes.
 - Membranas (ultrafiltración, nanofiltración).

- Métodos Destructivos.
 - Tratamientos Biológicos (aerobio y anaerobio).
 - Oxidación química.
 - Oxidación húmeda catalítica y no catalítica.
 - Procesos avanzados de oxidación.
 - Oxidación húmeda supercrítica.

Para el tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria textil se ha recurrido a tratamientos duales utilizando métodos biológicos complementados también con carbón activado para la eliminación de los colorantes que se encuentran en éstas obteniendo muy buenos resultados. En este trabajo, solamente se realizaron diversos experimentos con diferentes tipos de carbón activado comercial para determinar su capacidad de adsorción sobre el color azul remazol utilizado en la industria textil.

La decisión de elegir el carbón activado se debió a que poseen una red interna de poros altamente desarrollada y una gran superficie específica, lo que los hace especialmente aptos en su aplicación como adsorbentes, siendo económicamente fiable para ser implementado en el tratamiento de aguas residuales.

Capítulo 1-. Antecedentes de los colorantes y su aplicación textil

1.1 Proceso de la industria textil

El proceso textil abarca desde las fibras hasta el acabado del tejido el cual está conformado de las siguientes etapas:

1. Cardado, estirado, peinado, hilado y enconado.

El cardado es la transformación de las fibras textiles a mechas con un ancho de cuatro centímetros de diámetro y una longitud de 5 000 metros aproximadamente. Durante el estirado las mechas se separan las largas de las cortas o rotas. Las mechas generadas en este paso son dirigidas a prensas de rodillos, las cuales las presionan y estiran para darle volumen al material.

Posteriormente pasan al peinado donde se presionan y limpian las nuevas mechas con un diámetro más pequeño, se estiran nuevamente, se unen y tuercen entre sí para la formación de una mecha a partir de cuatro.

Sigue el proceso de torsión y tensión donde las mechas son convertidas en pabilo y son encarretadas en bobinas de plástico o carretes metálicos. Para dar mayor resistencia a los pabilos, en el proceso de hilado son sometidas a un último estiraje y torsión, donde se obtiene el hilo que es enrollado en canillas.

Se lleva una purificación del hilo en el paso del enconado de las impurezas tales como: hilos gruesos, cortos, sucios y rotos. El hilado final es analizado por control calidad. Posteriormente es empacado para su entrega.

2. Urdido y tejido.

La etapa de tejido consiste en enlazar los hilos de la urdimbre y tramar con otros, para transformar los hilos en telas. El diseño, la porción de la fibra y la estructura de la tela es dependiendo del artículo que se desea.

En el proceso de urdido los hilos son transferidos a otro carrete para el tejido. Esto se realiza para reunir en un carrete una longitud y número determinado de hilos. En esta etapa las condiciones que se controlan son: la humedad y temperatura, basándose en vapor de agua, dependiendo de las especificaciones de su elaboración.

3. Blanqueo

La mayoría de los tejidos crudos presenta suciedad que no fue eliminada totalmente del proceso de lavado. La mayoría de las empresas utilizan en el proceso de blanqueado el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) que es el de mayor importancia, también se utiliza el hipoclorito de sodio ($NaClO$) o el clorito de sodio ($NaClO_2$), su potencial redox depende del pH. En el caso de H_2O_2 su potencial redox favorece las condiciones para ser empleado en proceso en frío o en caliente y además ofrece ventajas técnicas y ecológicas sobre el $NaClO$ y el $NaClO_2$.

El agente blanqueador de reducción más utilizado es el ditionito de sodio ($Na_2S_2O_4$) y el dióxido de thiourea. El empleo de estos agentes requiere de sustancias auxiliares dentro de los que se incluye activadores, estabilizadores, sistemas buffer y surfactantes, estos controlan el proceso de blanqueo con la finalidad de evitar daño al tejido crudo tratado y además de mejorar la absorbencia.

4. Teñido

Es el proceso al que se le asocia la mayor contaminación de efluentes, debido a que requiere el uso de colorantes, químicos y de varios productos especiales conocidos como auxiliares de teñido. Estos materiales constituyen una parte integral de los procesos de teñido (agentes reductores para el teñido con colorantes de tina) ya que incrementan las propiedades de los productos terminados y mejoran la calidad del teñido, la suavidad, la firmeza, la textura, estabilidad dimensional, resistencia a la luz, al lavado, entre otras.

Los auxiliares del teñido son un grupo heterogéneo de compuestos químicos, generalmente son surfactantes, compuestos inorgánicos, polímeros y oligómeros solubles en agua y agentes solubilizantes. Los auxiliares más comerciales son preparaciones que contienen varios de estos compuestos.

- Reguladores de pH

El pH de la solución influye en la absorción de los colorantes aniónicos hacia las fibras de lana y/o poliamida, así como en el fijado de los colores reactivos en las fibras de celulosa. Controlando el pH, se mejora la coloración en la fase de absorción o la fijación del colorante cuando se tiñen mezclas de algodón- poliéster con colorantes reactivo y disperso.

- Aceleradores del teñido

Estos son empleados en los procesos de teñido por agotamiento de fibras sintéticas, se hace con la finalidad de incrementar la velocidad de absorción del color disperso hacia la fibra, proporcionando más rapidez de difusión dentro de la fibra y mejorando el rendimiento del colorante.

5. Acabado

Este proceso abarca todas las operaciones químicas y mecánicas a que se someten los hilos y los tejidos. Consta de los pasos de pre-tratamiento, blanqueo, teñido, fijado, estampado, post-tratamiento (aprestado, secado, planchado y otras operaciones poco comunes como por ejemplo, afelpado y aterciopelado).

1.2 Importancia del colorante en la industria textil

Como se mencionó anteriormente, el proceso del teñido es fundamental dentro de la industria textil; este consiste en acabados para fibras, hilos o telas dependiendo de la etapa de aplicación de los tintes y pigmentos. El teñido y estampado de las telas se hace casi siempre después del blanqueo. En el caso de hilos, se hace antes del tejido.

El color siempre ha sido importante en los textiles. Hasta 1856 se utilizaron colorantes y pigmentos naturales para tal efecto. Estos colorantes y pigmentos se obtenían de plantas, insectos y minerales. Cuando Perkin, un joven químico, descubrió el indigo o maureína, el primer colorante sintético, dio nacimiento a una nueva era en la industria (Gómez, 1999). Europa llegó a ser el centro principal para la elaboración de los colorantes sintéticos y no fue hasta la primera Guerra Mundial en que el comercio con Alemania se suspendió, y empezó a desarrollarse una industria de colorantes en los Estados Unidos. Desde esa época se han producido muchos colorantes y pigmentos de manera que actualmente hay cientos de estos entre los cuales escoger.

Los pigmentos son partículas de color insoluble que se sostienen sobre la superficie de una tela por medio de un agente espesante. Su aplicación es rápida, sencilla y económica. Cualquier color puede usarse en cualquier fibra, ya que los pigmentos se sostienen en forma mecánica. Algunos de los problemas que se encuentran son el endurecimiento de las telas, desgaste y decoloración. Los pigmentos también se mezclan con la solución de hilatura en las fibras artificiales.

Un *proceso de teñido* es el medio que se crea para la introducción de un colorante con agua caliente, vapor o calor seco. Para regular la penetración del

colorante se emplean aceleradores y reguladores. Si se conocen la afinidad de las fibras con los colorantes, los métodos de teñido y el equipo que se emplea, el consumidor tendrá una mejor idea del comportamiento del color.

Los *colorantes* son partículas pequeñas solubles en agua o en algún otro vehículo para penetrar en la fibra, sus moléculas están compuestas por tres grupos funcionales: Cromóforo (estos imparten color a la molécula), Auxocromo (son los responsables de la fijación al sustrato a teñir) son capaces de fijar la molécula del colorante y en algunos casos intensificar la labor de los cromóforos y, el Solubilizador, requerido para interactuar con el solvente.

Las partículas no disueltas permanecen en el exterior y los colorantes tienen baja solidez o resistencia al desgaste y al sangrado. La etapa en la que se aplica el color no tiene mucho que ver con la solidez que éste tenga, pero sí con la penetración del colorante y está regido por el diseño de la tela. Para que una tela tenga color, el colorante debe penetrar en la fibra y combinarse químicamente con ésta o bien quedar atrapado dentro de ella. Las fibras que se tiñen con facilidad son los absorbentes que tienen en su estructura grupos reactivos afines al colorante y dichos grupos reaccionan con las moléculas del colorante. Este reacciona primero con las moléculas de la superficie. La humedad y el calor hinchan las fibras, haciendo que las cadenas moleculares se separen de manera que haya más grupos reactivos expuestos para reaccionar con el colorante. Durante el secado, las cadenas se juntan nuevamente, atrapando el colorante en las fibras.

Las fibras de celulosa son absorbentes debido a los muchos grupos de oxhidrilo que tienen, pero la mayoría de los colorantes no se combinan químicamente con ellas. Con los colorantes directos, las partículas de color se mueven hacia las áreas amorfas de las fibras y forman agregados demasiado grandes para salir de las fibras. Al añadir sal se obtiene mejor adsorción del colorante. Otros colorantes se desarrollan en las fibras. Los colorantes reactivos se introdujeron en 1956 y son los primeros que en realidad se combinan con los grupos de oxhidrilo de la celulosa.

Ningún colorante es permanente con todas las fibras y los colorantes que pertenecen a un grupo, no tienen la misma fijación. Actualmente se dispone de un gran número de tonos en cada uno de los grupos de colorantes. El tintorero selecciona un colorante adecuado al contenido de fibra y uso final de la tela. Debe aplicar el color de manera que penetre y permanezca en la fibra. Ocasionalmente, el fabricante de telas o el consumidor seleccionan telas para usos distintos a los que el fabricante pensó (Gómez, 1999).

3.1.1 Tipos de Colorantes utilizados dentro de la industria textil

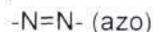
Los colorantes se clasifican de acuerdo a su composición química o método de aplicación de la forma siguiente:

- Catiónicos
- Aniónicos
- Azoicos (naftoles y rapidogenos)
- Colorantes desarrollados en la fibra
- Dispersos
- Mordentes (cromo)
- Reactivos
- Al azufre
- A la tina

(Gómez. 1999)

Para cuestiones de este trabajo se eligió un colorante del tipo azoico en específico el color azul remazol el cual tiene como peculiaridad que dentro de su estructura está conformado por el nitrógeno que se encuentra unido a anillos aromáticos.

La estructura química de este grupo de colorantes se caracteriza por la presencia del grupo azo (Figura 1):



que se presenta como cromóforo asociados a grupos auxocromos de tipo amino o hidroxilo.

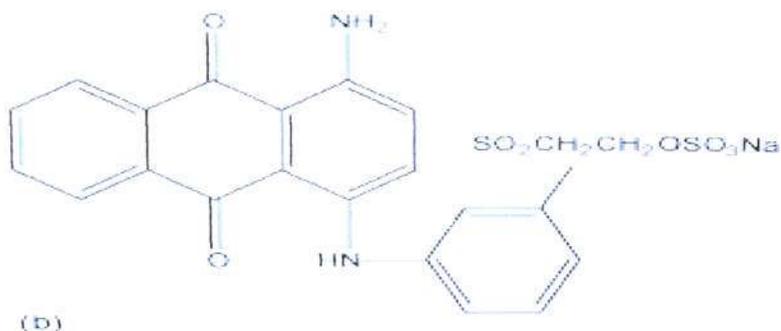


Figura 1. Estructura química general del colorante Azul Remazol

Capítulo 2-. Estimación del impacto ambiental del colorante en aguas superficiales

2.1 Antecedentes

Se conoce como agua superficial a aquella que se encuentra circulando o en reposo sobre la superficie de la Tierra. Estas masas de agua sobre la superficie del planeta forman:

- Ríos
- Lagos
- Lagunas
- Pantanos
- Charcas
- Humedales

y otros similares, sean naturales o artificiales.

Aunque tradicionalmente los temas relativos a la disponibilidad y calidad del agua y los ecosistemas acuáticos (tanto continentales como oceánicos) se tratan separadamente, están íntimamente relacionados. Los ecosistemas acuáticos, tanto los dulceacuícolas como los costeros y oceánicos, participan de manera sustancial en el ciclo hidrológico, actuando por un lado, como los reservorios más importantes de agua, y por otro, como las fuentes primarias del vapor de agua que alcanza la atmósfera y posteriormente regresa a ellos en forma de precipitación y escurrimientos. En este sentido, actúan directa e indirectamente sobre los balances hídricos locales y regionales, es decir, sobre la disponibilidad del agua.

Paralelamente, funcionan como receptores y filtros de los contaminantes que traen consigo las aguas que escurren y llegan a ellos, purificándolas y contribuyendo a mejorar su calidad. La situación de la disponibilidad del agua no refleja cabalmente la magnitud del problema con el líquido. Debido a la descarga continua de aguas residuales sin tratamiento, cargadas de contaminantes domésticos e industriales, así como los escurrimientos con agroquímicos provenientes de las actividades agrícolas y pecuarias asentadas en las diferentes cuencas, la calidad del agua de los cuerpos superficiales y subterráneos se afecta negativamente, con lo cual la escasez del líquido se agrava y se pone en riesgo la salud de importantes segmentos de la población.

La calidad del agua de un cuerpo superficial o subterráneo depende de múltiples factores, algunos de los cuales la reducen directa o indirectamente y otros pueden revertir los efectos de la contaminación y por lo tanto, mejorarla. Entre los factores que reducen la calidad del agua destacan las descargas

directas de agua o residuos sólidos provenientes de las actividades domésticas, agropecuarias o industriales. Indirectamente, la disposición inadecuada en el suelo de residuos sólidos urbanos o peligrosos puede ocasionar que escurrimientos superficiales contaminen los cuerpos de agua lóticos o lénticos y que los lixiviados contaminen los acuíferos. Por otro lado, y actuando para mejorar la calidad del agua, está la capacidad natural de los ecosistemas acuáticos para descomponer o inmovilizar los contaminantes, la cual no obstante puede ser sobrepasada (ya sea por la misma carga de contaminantes o el deterioro de los ecosistemas), amenazando la biodiversidad acuática y su potencial para seguir proporcionando estos y otros servicios ambientales.

2.2 Aguas residuales

La generación de aguas residuales es un producto inevitable de la actividad humana. El tratamiento y disposición apropiada de las aguas residuales supone el conocimiento de las características físicas, químicas y biológicas de dichas aguas; de sus significados y de sus efectos principales sobre la fuente receptora.

2.2.1 Fuente de aguas residuales

En general, se consideran aguas residuales domésticas a los líquidos provenientes de las viviendas o residencias, edificios comerciales e institucionales. Se denominan aguas residuales municipales a los residuos líquidos transportados por el alcantarillado de una ciudad o población y se llaman aguas residuales industriales a las descargas de las industrias de manufactura. (Carrasco y Díaz 2010).

2.2.2 Características del agua residual.

Según la NOM-002-SEMARNAT-1996 se define como agua residual industrial o de proceso “a las resultantes de la producción de un bien o servicio comercializable”.

Composición de las aguas residuales.

Los componentes que se encuentran en las aguas residuales son:

- Agua residual doméstica: Procedente instalaciones comerciales, públicas y similares.
- Agua residual industrial: Agua residual en la cual predominan vertidos de industrias tales como:
 - i) Construcción
 - ii) Minería

- iii) Textil y Piel
 - iv) Automoción
 - v) Naval
 - vi) Siderurgia
 - vii) Química Inorgánica
 - viii) Fertilizantes
 - ix) Pasta y Papel
 - x) Plaguicidas
 - xi) Fibras químicas
 - xii) Pinturas, barnices y tintas
- Infiltración y aportaciones incontroladas: Agua que entra tanto de manera directa como indirecta en la red de alcantarillado.
 - Aguas pluviales: Aguas resultantes de la escorrentía superficial

Tabla 1. Características y Procedencias de los Diferentes tipos de Agua Residual. (Carrasco y Díaz 2010).

Parámetros	Fuentes
<u>Propiedades físicas</u>	
Color	Aguas residuales domésticas e industriales, degradación natural de la materia orgánica.
Olor	Agua residual en descomposición, residuos industriales.
Sólidos	Aguas de suministro, aguas residuales domésticas e industriales, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas.
Temperatura	Aguas residuales domésticas e industriales.
<u>Constituyentes químicos</u>	
<u>Orgánicos</u>	
Carbohidratos	Aguas residuales domésticas e industriales y comerciales.
Grasas animales, aceites y grasas	Aguas residuales domésticas e industriales y comerciales.
Pesticidas	Residuos agrícolas.
Fenoles	Vertidos industriales.
Proteínas	Aguas residuales domésticas e industriales y comerciales.
Contenidos prioritarios	Aguas residuales domésticas e industriales y comerciales.
Agentes tensoactivos	Aguas residuales domésticas e

Remoción del Colorante Azul Remazol sobre Carbón Activado

	industriales y comerciales.
COV's	Aguas residuales domésticas e industriales y comerciales.
Otros	Degradación natural de la materia orgánica.
<u>Inorgánicos</u>	
Alcalinidad	Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea.
Cloruros	Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea.
Metales pesados	Vertidos industriales.
Nitrógeno	Residuos agrícolas y aguas residuales domésticas.
pH	Aguas residuales domésticas e industriales y comerciales.
Fósforo	Aguas residuales domésticas e industriales y comerciales, aguas de escorrentía.
Contenidos prioritarios	Aguas residuales domésticas e industriales y comerciales.
Azufre	Agua de suministro, aguas residuales domésticas e industriales y comerciales.
<u>Gases</u>	
Sulfuro de hidrogeno	Descomposición de residuos domésticos.
Metano	Descomposición de residuos domésticos.
Oxígeno	Agua de suministro, infiltración de agua subterránea.
<u>Constituyentes biológicos</u>	
Animales	Cursos de agua y plantas de tratamiento.
Plantas	Cursos de agua y plantas de tratamiento.
Protistas	
1. Eubacterias	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento.
2. Archeobacterias	Aguas residuales domésticas, plantas de tratamiento.
3. Virus	Aguas residuales domésticas, plantas de tratamiento.

2.2.3 Agua residual de la industria textil

Las aguas residuales de la industria textil tienen varias características como: flujo, composición de contaminantes, así como también la concentración de estos sin menos preciar la principal característica, el color que esta tiene. Los efluentes provenientes de este tipo de industria tienen diferentes concentraciones de colorantes; estas pueden estar dentro de 10 a 200 mg/L, lo cual se hace notar por su gran coloración. Este tipo de colorantes son diseñados para tener una gran persistencia en las telas, por lo que al ser vertidas a las descargas de aguas, su degradación es casi nula por procesos biológicos, por lo que se necesitaría complementar con otro tipo de procesos para su degradación. Actualmente, se están probando métodos alternos para la eliminación de este tipo de contaminantes, entre ellos se destaca, la adsorción en materiales como carbón activado, zeolitas o polímeros, de los cuales se tiene que hacer estudios para determinar sus costos y sus eficiencias de remoción.

La mayoría de los colorantes actuales son elaborados para resistir su degradación por la alta exposición a la luz, agua y otros factores ambientales, los cuales pueden dañar al color.

La producción anual mundial de los colorantes sintéticos para materiales textiles es de 700000 toneladas, de estos, más del 15% son vertidos a las aguas residuales en la operación de teñir, de los cuales no son biodegradables y sus compuestos intermediarios para su degradación son tóxicos (Novotný, Dias, Kapanen, Malachová, Vándrovcová, Itavaara & Lima, 2006)

2.2.4 Características de los colorantes

Para su mejor funcionamiento los colorantes en la industria textil deben de (Durán, Solpan, Guven, 1996):

- Ser inocuos
- Constituir una especie química definida y pura
- Tener gran poder tintorial, con objeto de utilizar la mínima cantidad posible de material y ser fácilmente incorporables al producto
- Ser lo más estable posible a la luz y al calor
- Poseer compatibilidad con los productos que debe teñir
- No poseer olor ni sabor desagradable
- No ser afectados por los cambios de pH, agentes oxidantes y reductores
- Ser lo más económico posible.

Mientras estas características son valiosas para el proceso de tinción, afectan fuertemente en la etapa de degradación química o biológica de los residuos de colorantes en las aguas residuales.

2.3 Problemas generados por la descarga de aguas residuales de la industria textil sobre aguas superficiales.

Carrasco y Díaz (2010) definen a la contaminación acuática como: “La acción y el efecto de introducir materias o formas de energía, o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica”.

Se ha comprobado que los compuestos orgánicos de los colorantes pueden tener efectos negativos en la salud cuando son vertidos en el agua no solamente provocando contaminación al ambiente si no también pueden provocar cáncer.

Así como tener efectos tóxicos sobre los organismos que vivan dentro o en zonas que se encuentren en un perímetro cercano por este tipo de contaminantes (Torres P.J 2005).

Su principal problema hacia el ambiente es que estos compuestos provocan que la luz solar no se filtre a través del agua y esto hace que no se realice la fotosíntesis de las plantas acuáticas, propiciando la eutrofización del agua además de elevar el DQO de esta, por los productos orgánicos que contienen (Barragán, 2010).

Las descargas de aguas residuales conlleva a una contaminación orgánica, la cual en el sistema acuático afecta diversos parámetros:

- Carbono orgánico total (COT)
- Demanda total de oxígeno (DTO)
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)
- Demanda química de oxígeno (DQO)
- Nitrógeno total
- Nitrógeno amoniacal
- Determinación de nitritos

Estas modificaciones implican:

Materia oxidable

- En un medio receptor; las bacterias actúan del mismo modo que en una planta de tratamiento, degradan la materia orgánica consumiendo oxígeno. Este hecho provoca que la concentración de oxígeno disuelto, principal responsable de la vida en el medio, se pueda reducir por el metabolismo bacteriano. Así; una mayor disponibilidad de materia orgánica provoca un mayor crecimiento bacteriano y, por tanto, una reducción en la concentración de oxígeno disuelto.

Sólidos en suspensión

- El vertido de sólidos en suspensión al medio acuático puede provocar graves perjuicios medioambientales. Los sólidos en suspensión se depositan en el fondo del cauce, por lo que el máximo espesor se presenta cerca del punto del vertido. Esta sedimentación tiene tres efectos sobre el medio:
 1. Colmata el fondo e interfiere en la recarga de acuíferos.
 2. Actúa directamente sobre la biota, impidiendo la fotosíntesis de las algas y la respiración de peces y larvas. Además, produce un aumento en el crecimiento de mohos.
 3. Es un depósito de materia orgánica que consumirá oxígeno disuelto.

Eutrofización

- Consiste en un aporte significativo de nutrientes inorgánicos en un sistema acuático (eutrofo se llama a un ecosistema o un ambiente caracterizado por una abundancia anormalmente alta de nutrientes), lo cual conllevará a la muerte de especies dentro del ecosistema. La eutrofización produce de manera general un aumento de la biomasa y un empobrecimiento de la diversidad. Además, si el crecimiento de algas es importante, el exceso de materia orgánica producido por la muerte de las mismas puede provocar el consumo de oxígeno disuelto durante la degradación de estas.

2.4 Tratamiento y uso de agua

Existen tres categorías en las cuales se basa el plan de tratamiento de agua:

1. Purificación para uso doméstico
2. Tratamiento para aplicaciones industriales estandarizadas
3. El tratamiento de las aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales se divide actualmente en diferentes etapas:

1. Tratamiento primario: Consiste en la eliminación de la materia insoluble.
2. Tratamiento secundario de efluentes residuales por procesos biológicos: El efecto nocivo más persistente de la materia orgánica biodegradable en el agua residual es la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), dado a estas circunstancias tenemos diferentes tipos de tratamiento secundarios como lo son:
 - Reactores biológicos secundarios
 - Proceso de lodos activados

3. Tratamiento terciario: Es llevado a cabo para lograr una calidad estándar requerida para descargar finalmente al ambiente receptor siendo la adsorción, una de las técnicas más empleadas (*Sebastián 1997*).

2.4.1 Adsorción.

La adsorción consiste en extraer materia de una fase y concentrarla sobre la superficie de otra.

Cuando dos fases, por ejemplo, un fluido y un sólido, se ponen en contacto, la superficie de unión entre ellas se denomina interfase. En la interfase se producen interacciones entre las moléculas o iones del fluido y los átomos o iones del sólido. Estas interacciones pueden ser de tipo físico o químico. Irving Langmuir desarrolló el concepto de la adsorción, de acuerdo con el cual, cada molécula en movimiento que choca contra una superficie y permanece sobre ella durante un periodo de tiempo, participa en la formación de una monocapa sobre ella. En general, el periodo de tiempo que permanece la molécula sobre la superficie antes de desprenderse de ella, dependerá de la naturaleza de la superficie y de la molécula, de la temperatura del y la energía cinética del sistema.

Por otra parte también se podría definir la adsorción como la interacción que se produce en la interfase cuando una molécula es transferida desde una fase a otra. El tipo de interacción entre las fases de un sistema heterogéneo depende de las propiedades y de la composición de todos los componentes del sistema.

Las fuerzas que intervienen o causan la adsorción se pueden dividir en dos grupos: *las intermoleculares o fuerzas de van der Waals* (fuerzas que incluyen atracciones entre átomos, moléculas, y superficies. Difieren del enlace covalente y del enlace iónico, que generalmente involucran transferencia electrónica entre el sólido y la molécula que se aproxima.

La *adsorción física* se caracteriza porque la energía envuelta en el proceso es pequeña, la velocidad de adsorción está gobernada por la resistencia a la transferencia de masa y su energía de activación, es despreciable. Además, es poco específica ya que toda la superficie del sólido es accesible a la adsorción física.

La *adsorción química* o quimisorción tiene un calor de adsorción elevado. Su velocidad de adsorción está regida por la resistencia a la reacción superficial y su energía de activación es alta, como corresponde a una reacción química. Este tipo de adsorción es altamente específica, esto significa que las moléculas de adsorbato se adsorben sobre determinados centros activos de la superficie, y que esta no llegará a ser completamente recubierta como en el caso de la adsorción física.

En la industria se utiliza la adsorción para tratar corrientes gaseosas o líquidas en procesos de purificación y de secado de gases, en la recuperación de vapores que escapan de disolventes en el uso de elevados caudales de éstos, en la purificación de aire, en reacciones de fase gas o en fase líquida, en la descontaminación de aguas, en la purificación de líquidos, entre otras.

En un proceso tecnológico, la adsorción se puede producir bajo dos condiciones: provocando el mezclado de las dos fases en modo discontinuo y el proceso se lleva hasta el equilibrio (adsorción en equilibrio) o hasta en condiciones próximas al equilibrio; o bien se ponen en contacto ambas fases de modo continuo y en movimiento (adsorción dinámica), donde el tiempo de contacto tiene que ser suficiente para que el sólido llegue a retener una cantidad elevada de adsorbato.

Los factores que influyen sobre el proceso de adsorción son las características del adsorbente y del adsorbato, la química de la disolución y la temperatura. Entre los factores de la disolución están el pH y fortaleza iónica de la misma.

2.4.2 Adsorbentes

Se han desarrollado muchos adsorbentes para un amplio rango de aplicaciones. Normalmente los adsorbentes se presentan en forma de pastillas, gránulos o polvo, con un tamaño referido a su geometría: diámetro de esfera o cilindro, espesor de lámina, que oscila entre 0.1 y 12 mm. Son sólidos porosos de área interna elevada y alta capacidad de adsorción. Los poros se clasifican y nombran en función de su tamaño, como: microporos ($dp < 2$ nm), mesoporos ($2 \text{ nm} < dp < 50$ nm) y macroporos ($dp > 50$ nm). Siendo dp el diámetro del poro considerando cilíndrico o la abertura entre laminas u otra medida geométrica análoga. Los adsorbentes más típicos y el intervalo de valores de sus áreas se muestran en la Tabla 2. (Muñoz y Rodríguez 2011).

Tabla 2. Ejemplos de Adsorbentes y sus Áreas Superficiales

Adsorbente	Área superficial ($\text{m}^2 \text{ g}^{-1}$)
Alúmina activada	50 a 250
Gel de sílice	200 a 600
Aluminosilicatos, arcillas y zeolitas (Tamices moleculares)	800 a 1000
Carbón activado	500 a 2000

2.4.3 Carbón activado

El carbón activado está formado por láminas desordenadas de anillos de carbono. Al igual que la alúmina y el gel de sílice es un material inerte (hasta los 300 °C) con respecto a la mayoría de los gases y los líquidos y, al contrario que ellos es un adsorbente apolar. Por ello se utiliza fundamentalmente para adsorber gases y líquidos de naturaleza orgánica. Se pueden dividir en dos clases:

1. Carbones para adsorber gases, que tienen una distribución de tamaño de microporos estrecha y se utilizan en aplicaciones de purificación como la recuperación de solventes, o la separación de gases en filtros de cigarrillos
2. Carbones para adsorber en solución, los cuales tienen una distribución de tamaño de poros (micro y mesoporos) mucho más ancha y se usan para decolorar o purificar líquidos.

El carbón activado posee una red interna de poros altamente desarrollada y una gran superficie específica, lo que los hace especialmente aptos en su aplicación como adsorbentes. Su utilidad en una aplicación en particular depende de cuatro factores: las dimensiones que tiene su red interna de poros, el volumen total de la porosidad, la extensión de su superficie interna y la magnitud de las interacciones entre el sólido y el adsorbato

Estos fueron: Carbón activado de hueso CG 1000 30x70, de coco CG 900 20x50, o de hueso H Fija flúor.

2.5 Justificación

La industria textil utiliza grandes volúmenes de agua en sus procesos, principalmente en el proceso de teñido y estampado de telas, llegando a tenerse concentraciones de colorantes en el agua residual de las empresas textiles entre 100 y 300 mg/L.

Normalmente, en el tratamiento de las aguas residuales textiles se han utilizado tratamientos combinados de métodos biológicos complementados con carbón activado para la eliminación de los colorantes que se encuentran en éstas. Aunque el carbón activado ya está comprobado que es un buen adsorbente de compuestos orgánicos, frecuentemente no se analiza si el adsorbente utilizado es el más adecuado, o si las condiciones de pH y de temperatura de la solución interfieren en la capacidad de adsorción de los mismos.

Por lo anterior, es necesario determinar la isoterma de adsorción, así como los efectos de las condiciones de operación y el tipo de carbón empleado.

2.6 Objetivo

El objetivo de este trabajo fue remover al colorante azul remazol que se encuentra presente en aguas residuales textiles por medio de adsorción sobre diferentes tipos de carbón activado, así como estudiar el efecto del pH de la solución y la temperatura de la solución en la isoterma de adsorción.

FMTSRR

Capítulo 3-. Metodología experimental para la remoción del azul remazol de soluciones acuosas

3.1 Sustancias y equipos

En la Tabla 3, se enlista los reactivos que se usaron en la preparación de los reactivos en este estudio.

Tabla 3. Reactivos (Concentraciones).

REACTIVO	GRADO	MARCA
HCl (0.1N)	Analítico	Fermont
NaOH (0.1N)	Analítico	Fermont
Colorante Azul Remazol (1000 mg/L)		

Los diferentes tipos de carbón utilizados fueron los siguientes:

Carbón activado de hueso CG 1000 30x70 (especificaciones técnicas: Tabla 4).

Carbón activado de coco CG 900 20x50 (especificaciones técnicas: Tabla 5)

Carbón activado de hueso H Fija flúor (especificaciones técnicas: Tabla 6)

Tabla 4. Especificaciones técnicas del Carbón Activado de Hueso CG-BONECHAR 1000 30X70.

Carbón %	9-11
Cenizas Insolubles en ácido%	3 máx
Humedad al empacar %	5 max
Fosfato Tricalcico	70-76
Carbonato de Calcio %	7-9
Sulfato de Calcio %	0.1-0.2
Área Superficial Total m2/gr	100
Área Superficial Carbón m2/gr	50
Fierro como Fe ₂ O ₃ %	<0.3
Volumen de Poro cm ³ /gr	0.225
Densidad en gr /cc	0.64 – 0.68

Tabla 5. Especificaciones técnicas del Carbón Activado de Coco CG 900 20X50.

pH	8.0 – 10.0
Humedad al empacar %	5 max
Número de lodo, (mg/2/g)	900min
Número de abrasión, (Método ASTM)	95 min
Volumen de Poro cm ³ /gr	0.225
Densidad aparente en g /cc	0.55
Solubles en agua, %	2

Tabla 6. Especificaciones Técnicas del Carbón Activado de Hueso H Fija Flúor.

pH	8.0 – 9.5
Humedad al empacar %	4 max
Granulometría U.S. StdSicue	8 - 30
Dureza adimensional	95
Capacidad de Retención	0.225
Densidad aparente en g /cc	0.75
# de lodo (mg/g)	50
g de F/Kg de Fija Flúor	1 -1.5

3.1.2 Preparación de las soluciones

Las soluciones fueron preparadas conforme a los procedimientos siguientes:

- Solución patrón de 1000 ppm de colorante azul remazol: En una balanza analítica se pesó 1.00 g de colorante azul remazol, posteriormente se añadió a un matraz volumétrico de 1L y se aforó con agua destilada.
- Solución 0.1N de NaOH: Se pesaron 39.989 g de NaOH y se colocó en un matraz volumétrico de 1L aforando con agua destilada.
- Solución 0.1N de HCl: Se midieron 41.18 ml de ácido clorhídrico, se vertieron a un matraz volumétrico de 1 L y se aforo con agua destilada.

En la Tabla 7, se presenta la lista de instrumentos y equipos empleados para la experimentación.

Tabla 7. Instrumentos y Equipos.

EQUIPO	MARCA	MODELO	USO
Balanza analítica	Explorer pro. Ohaus	EP214C	Pesar la cantidad de reactivo o material a utilizar.
Recirculador de agua con controlador de temperatura	NA	TEPS1	Mantener a cierta temperatura el baño en que se sumerge el adsorbedor.
Espectrofotómetro de UV-Vis doble haz	Varian	Cary-50	Medir la energía requerida para cambio de transición de un estado basal a un estado excitado que es directamente proporcional a la concentración del colorante.
pHmetro	Thermo Electron Corporation	Orion 410A+	Medir el pH de la solución, en base a la conductividad de la solución.

3.2 Metodología experimental

Preparación de solución.

A partir de la solución patrón se prepararon las soluciones de trabajo haciendo diluciones a concentraciones determinadas (100 ppm, 200 ppm, 300 ppm, 400 ppm y 500 ppm) y pH específicos (3, 5,7 y 9) en un matraz volumétrico de 250 ml. De este matraz se tomó una muestra de 25 ml de solución para determinar la concentración inicial. La solución sobrante del matraz volumétrico se vertió al adsorbedor de lote.

3.2.1 Adsorbedor experimental de lote para medir la isoterma de adsorción

Para obtener los datos experimentales de las isotermas de adsorción es necesario utilizar un adsorbedor el cual está conformado por un recipiente de acrílico y de un recirculador de agua (Figura 2) que permite mantener los sistemas expuestos a una temperatura constante de 25°C. Cada solución de colorante esta en agitación por medio de una barra magnética de hierro cubierta de teflón y activada por una placa de agitación magnética, colocada debajo del recipiente de acrílico. Esta solución entró en contacto con el carbón activado, que se dispuso en una bolsa de malla nylon, con la finalidad de que las partículas del carbón no friccionen con la pared del matraz y evitar la formación de polvos finos los cuales pueden ser una interferencia en el análisis de la concentración del ión en solución acuosa.

La primera muestra de los experimentos a diferentes concentraciones se tomaron al día 10, posteriormente se tomó otra muestra al día 15. Si los valores de concentraciones tenían el mismo valor o muy cercanos, se consideraba que se había alcanzado el equilibrio.

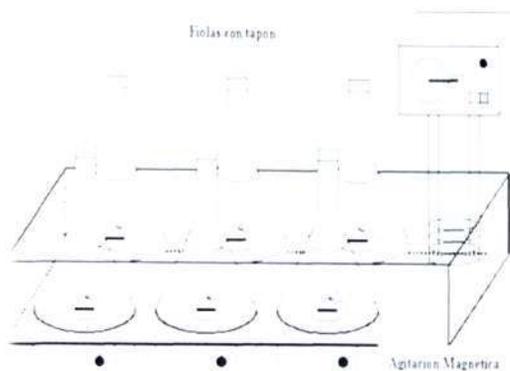


Figura 2. Adsorbedor de lote.

3.3 Tratamiento del adsorbente.

El carbón activado tal como se recibió del fabricante tiene polvo adherido es por ello que se tomó una fracción de carbón y se lavó varias ocasiones con agua destilada y posteriormente se secó durante 24 hrs en una estufa a 120°C. Una vez enfriado se guardó el carbón en recipientes etiquetados, sellados y secos.

3.3.1 Determinación del punto de carga cero

La determinación del punto de carga cero del carbón se realizó adicionándole a un matraz Erlenmeyer 100 ml de agua destilada y tapándolo con algodón. El agua destilada se pone a calentar hasta ebullición durante 20 min., esto es con la finalidad de eliminar el CO₂ disuelto en el agua. Se enfrió lo más pronto posible y se tapó el matraz. Por otra parte, se pesaron 0.5 g de carbón activado en un matraz Erlenmeyer de 25 ml y se agregaron 10 ml de agua destilada libre de CO₂. Se tapó el matraz con un tapón de hule y se dejó en agitación durante 48 horas a 25°C. Transcurrido el tiempo se midió el pH de la solución y el valor del pH corresponderá al punto de carga cero, PCC.

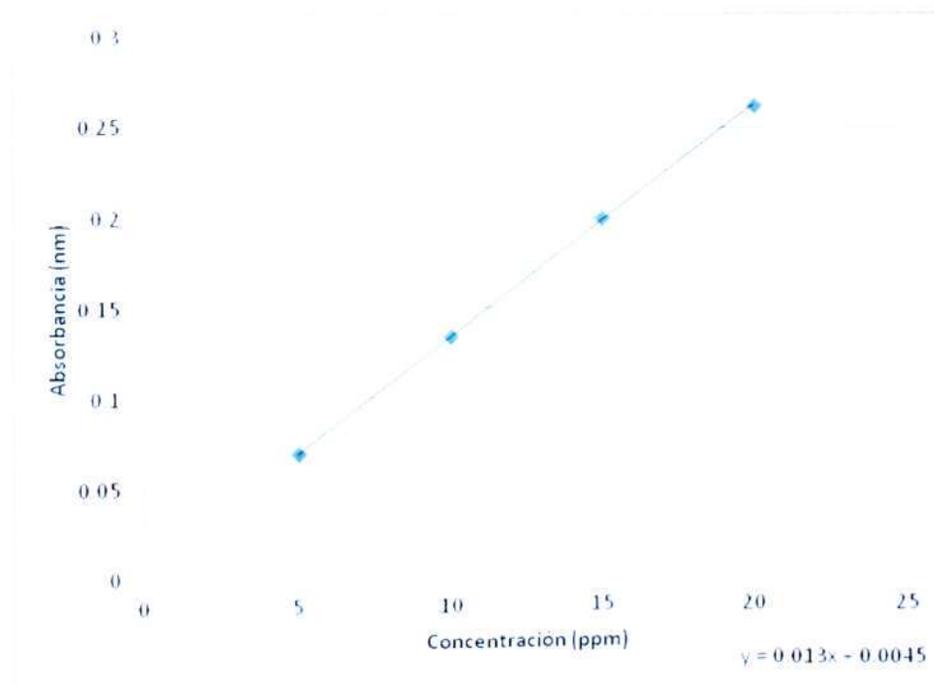
Capítulo 4-. Evaluación del pH de la solución del colorante en la isoterma de adsorción

4.1 Experimentación

Para determinar la concentración de las soluciones de todos los experimentos, se obtiene primeramente la curva de calibración preparándose para esta, soluciones del colorante Azul Remazol en las siguientes concentraciones y al pH indicado:

- 5 ppm
- 10 ppm
- 15 ppm
- 20 ppm

En la Gráfica 1 se muestra la curva de calibración que determina la absorbancia vs concentración a un pH tres, en un espectrofotómetro UV-vis medido a una longitud de onda de 600nm, que corresponde a la longitud de este colorante.



Gráfica 1. Curva de Calibración para el Colorante Azul Remazol a pH=3.

Posteriormente, se colocaron los matraces con las soluciones preparadas a cierta concentración ya un pH determinado en el adsorbedor de lote y se procedió a determinar primeramente, cuál de los carbones era el de mayor capacidad de adsorción de la siguiente manera:

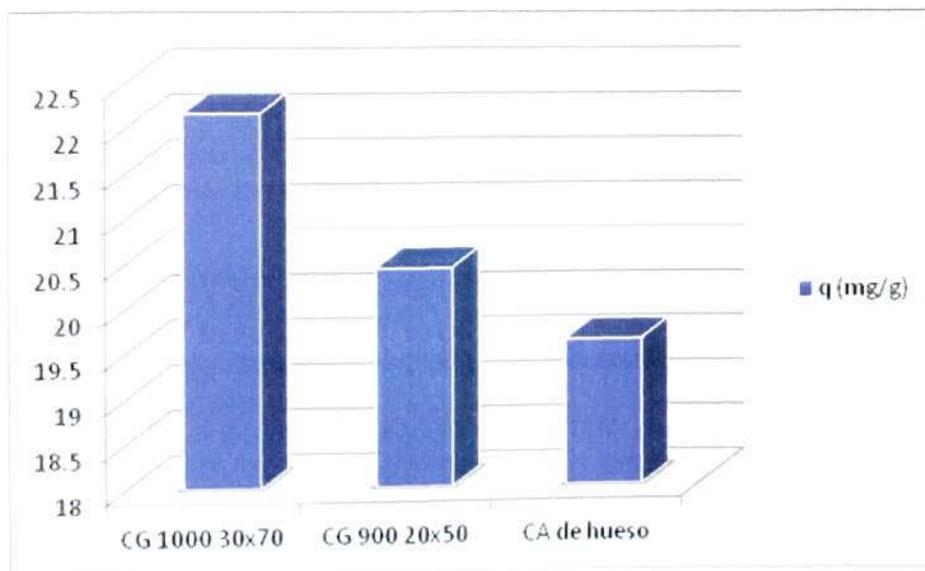
A tres matraces Erlenmeyer de 250ml con una concentración de colorante de 100 ppm, pH 3 y temperatura de 25°C, a los cuales se les añadió 1 gr. de carbón activado de las tres diferentes marcas (comerciales).

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 8:

Tabla 8. Resultados de la Capacidad de Adsorción de Tres Carbones Comerciales.

Tipo de carbón (1 g)	Concentración inicial (mg/L)	q(mg/g)
CG 1000 30x70	100	22.17
CG 900 20x50	100	20.44
C de hueso	100	19.62

Como se puede observar en la Tabla 8, el carbón más eficiente fue el CG 1000 30x70 (las especificaciones técnicas de este carbón se mostraron en la Tabla 4).



Gráfica 2. Capacidad de Adsorción de los Tres Diferentes Carbones.

Una vez que se determinó que el carbón CG BONECHAR 1000 30x70 sería utilizado en los experimentos posteriores, se dispusieron los diferentes experimentos, alcanzándose el equilibrio a los 15 días, durante los cuales se ajustaba el pH de las soluciones diariamente. Para calcular la cantidad adsorbida se realizó un balance de materia y se ajustaron los datos experimentales usando la isoterma de Langmuir y la de Freundlich.

La isoterma de Langmuir ha sido desarrollada suponiendo que la máxima capacidad de adsorción corresponde a una monocapa, el calor de adsorción es constante, y no existe interacción entre las moléculas adsorbidas. Esta isoterma se representa matemáticamente como:

$$q = \frac{bC_e}{(1 + kC_e)}$$

Dónde:

q.- Cantidad de soluto adsorbido por unidad de masa del adsorbente, mg/g.

C_e.- Concentración del soluto en el equilibrio, mg/L.

k.- Constante relacionada con la entalpía de adsorción, L/mg.

La isoterma de Freundlich que se obtuvo empíricamente y se ha demostrado que se puede aplicar a adsorbentes que tienen superficies energéticamente heterogéneas. Se representa como:

$$q = k_F C_e^{\frac{1}{n}}$$

Donde:

k_F.- Constante que indica la capacidad de adsorción, (mg/g)/(mg/L)^{1/n}

1/n.- Intensidad de adsorción.

4.2 Resultados.

Los resultados de los diferentes experimentos se muestran en las siguientes tablas en donde se muestra el cambio de las concentraciones de los colorantes tanto el día cero, diez y quince:

Tabla 9. Adsorción a Temperatura Ambiente (25°C) y pH 3 la Isoterma de Adsorción para efectos de este Experimento se muestran en la figura 3.

Muestra	m(g) CG 1000 30x70	Co(mg/L colorante)	C10(mg/L colorante)	C15(mg/L colorante)	q15(mg/g)
M-1	1	78.84	0	0	18.98
M-2	1	155.76	5.76	0.96	36.38
M-3	1	238.46	111.53	11.53	53.4
M-4	1	330.76	76.92	26.92	71.48
M-5	1	403.84	119.23	38.46	85.98

Tabla 10. Adsorción a Temperatura Ambiente 25°C) y pH 5, la isoterma de adsorción para efectos de este experimento se muestra en la figura 4.

Muestra	m(g) CG 1000 30x70	Co(mg/L colorante)	C10(mg/L colorante)	C15(mg/L colorante)	q15(mg/g)
M-1	1	107.3	75.38	65	10.08
M-2	1	190.38	117.3	117.3	7.48
M-3	1	238.46	111.53	111.53	7.69
M-4	1	353.84	326.92	300	13.27
M-5	1	476.92	423.07	423.07	13.5

Tabla 11. Adsorción a temperatura ambiente (25°C) y pH 7, la isoterma de adsorción para efectos de este experimento se muestra en la figura 5.

Muestra	m(g) CG 1000 30x70	Co(mg/L colorante)	C10(mg/L colorante)	C15(mg/L colorante)	q15(mg/g)
M-1	1	90	53.84	50	9.5
M-2	1	199.35	144.23	126.28	17.43
M-3	1	286.53	223.07	205.76	19.4
M-4	1	384.61	292.3	280.76	24.97
M-5	1	461.53	396.15	357.69	25.14

Tabla 12. Adsorción a temperatura ambiente (25°C) y pH 9, la isoterma de adsorción para efectos de este experimento se muestra en la figura 6.

Muestra	m(g) CG 1000 30x70	Co(mg/L colorante)	C10(mg/L colorante)	C15(mg/L colorante)	q15(mg/g)
M-1	1	101.15	65.38	59.61	9.88
M-2	1	188.46	143.58	140.38	11.58
M-3	1	296.15	247.11	242.3	13.14
M-4	1	346.15	325	325	5.62
M-5	1	446.15	423.07	423.07	6.27

4.2.1 *Isotermas de adsorción*

En las Figuras 3 a 6 se muestran las isotermas de adsorción que corresponden a los experimentos realizados a pH 3, 5, 7 y 9 respectivamente. La línea representa la isoterma de Langmuir

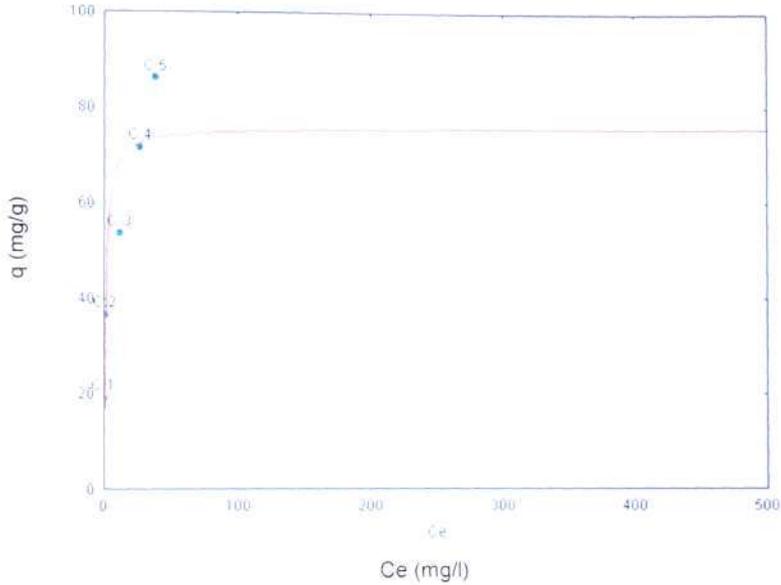


Figura 3. Isoterma de adsorción para el colorante azul remazol pH 3. T= 25°C

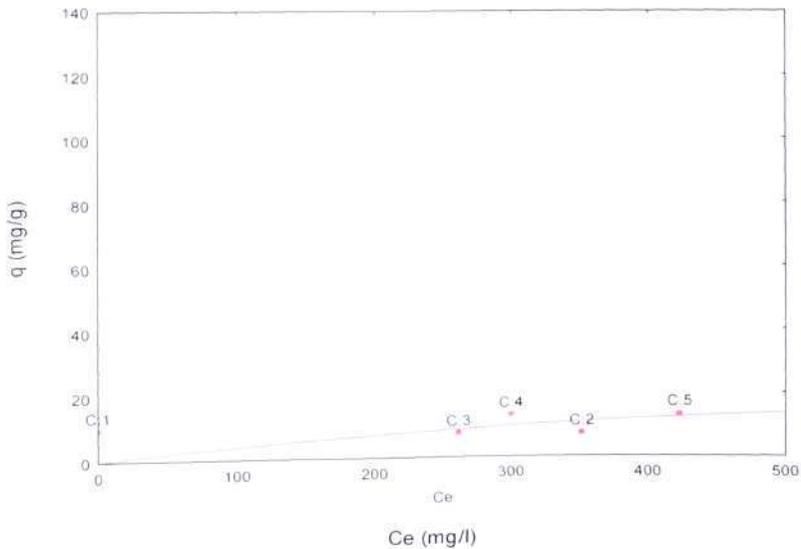


Figura 4. Isoterma de adsorción para el colorante azul remazol pH 5 a 25°C

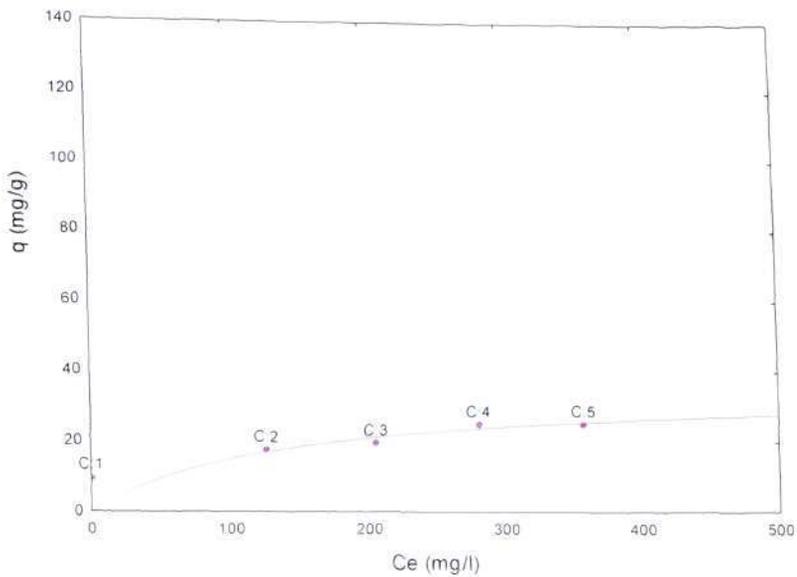


Figura 5. Isotherma de adsorción para el colorante azul remazol pH 7 a 25°C

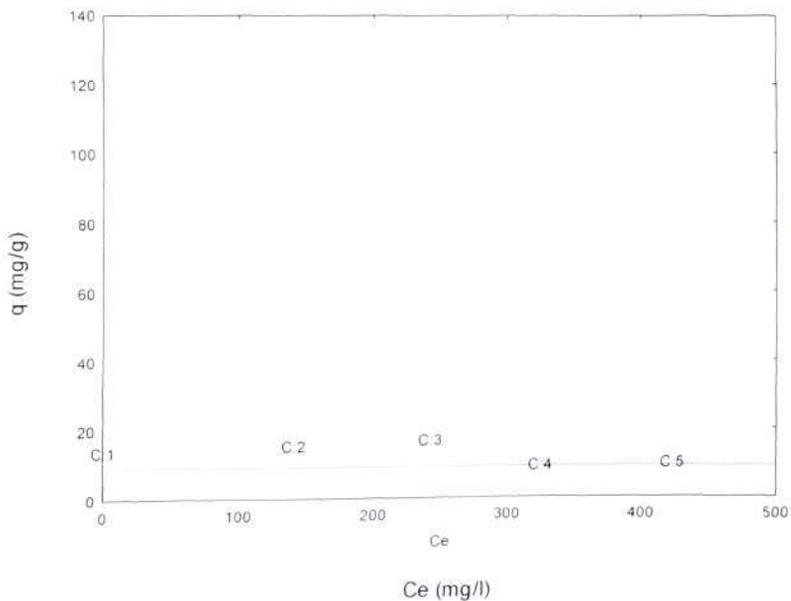


Figura 6. Isotherma de adsorción para el colorante azul remazol pH 9 a 25°C.

4.2.2 *Parámetros de las isotermas*

Al realizar las comparaciones entre las isotermas tanto la de Langmuir como la de Freundlich se puede observar que el mejor ajuste se tiene en la isoterma de Langmuir y al revisar los parámetros de ajuste y los por cientos de desviación las comparaciones entre el por ciento de desviación se observa que a pesar de que la diferencia entre los porcentos de desviación entre una isoterma a otra es mínimo el mejor ajuste se tiene en la isoterma de Langmuir. (Las isotermas basadas en el modelo de Freundlich se encuentran en el Anexo 1).

En la Tabla 13 se muestran los valores de los parámetros de ajuste y los porcentos de desviación promedio de las isotermas de Langmuir y Freundlich.

Tabla 13. Valores de los parámetros de las isotermas de Langmuir y de Freundlich correspondientes a los experimentos realizados a diferentes pH y valores de temperaturas.

T (°C)	pH	qm (mg/g)	K (L/mg)	% de desviación	Kf [(mg/g)/(mg/L) ^{1/n}]	% de desviación
25	3	75.69	1.33	10.43	1	11.26
	5	37.07	1	17.8	1.12	17.85
	7	35.44	1.13	3.74	1.14	3.47
	9	9.15	1.09	28.03	1.14	28.04
15	3	71.72	1.16	11.85	1	9.33
35	3	86.86	1.14	9.53	1	14.99

Capítulo 5-. Eficiencia del sistema de remoción del color azul remazol

5.1 Punto de carga cero

Los experimentos que se realizaron para obtener el punto de carga cero fueron realizados siguiendo la metodología descrita en el Capítulo 3 tema 2.1 y se observó que el valor es 8.9. Esto indicia que a valores menores de 8.9, la carga que posee el carbón es positiva, lo que implica que se tenga una atracción electrostática. A pH mayores a este valor, la carga superficial será negativa, lo que significaría que si se realizan experimentos a estos pH y se logra obtener remoción del colorante, ésta no sería debido a las interacciones electrostáticas, sino posiblemente a un fenómeno de quimisorción. En este trabajo no se realizaron experimentos a valores de pH mayores de 9, por lo que solo se puede inferir el mecanismo de fisisorción.

5.2 Efecto del pH de la solución en la isoterma de adsorción

En la Figura 7 se compararon las capacidades de adsorción del carbón CG a 25°C y a los diferentes valores de pH de la solución. Se observó que la capacidad de adsorción se incrementó conforme el pH de la solución disminuyó, siendo 2 veces mayor con respecto a pH 5; 2.1 veces a pH 7 y 8.3 veces cuando se realizó a pH 9.

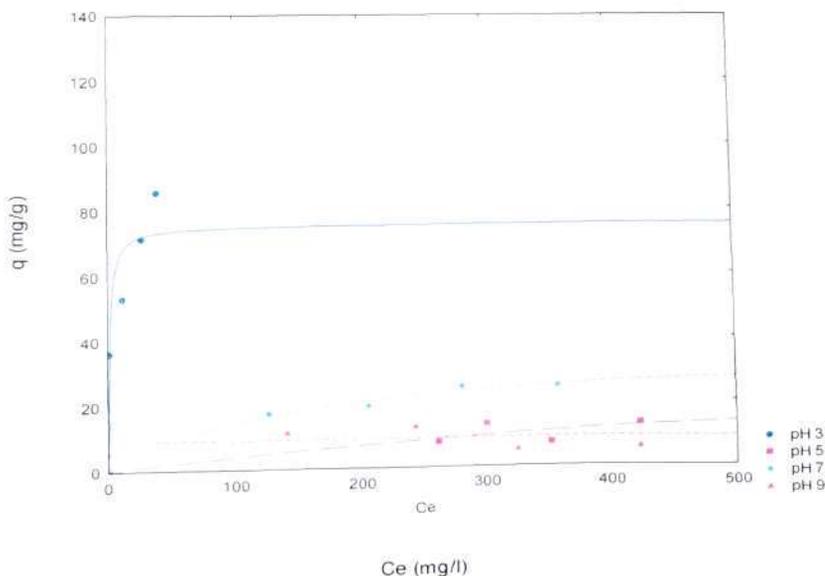


Figura 7. Isotherma de adsorción para el colorante azul remazol a pH 3, 5, 7, 9. $T=25^{\circ}\text{C}$

La eficiencia de remoción del colorante Azul Remazol es afectada drásticamente por el valor del pH de la solución, ya que un decremento en el valor del pH de esta, modifica significativamente la capacidad de remoción del adsorbente.

Lo anterior indica que el mecanismo por el cual se está llevando a cabo la adsorción es el de fisorción debido principalmente a las interacciones electrostáticas ya que al estar el carbón a pH menores de su punto de carga cero, está superficialmente con carga positiva, mientras que el colorante a estos valores de pH se encuentra en forma aniónica contribuyendo así la atracción de cargas opuestas.

5.3 Efecto de la temperatura de la solución en la isoterma de adsorción

Después de evaluar el efecto del pH en la adsorción a una temperatura estándar 25°C se observó que se tenía una mayor remoción a un pH 3, posteriormente se realizaron tres experimentos a un pH constante (pH 3) modificando la temperatura 15, 25 y 35 C Los datos se muestran en las Tablas 14,15 y 16 así como en la Figura 8 se presenta las isotermas correspondientes a estos experimentos:

Tabla 14. Adsorción a temperatura ambiente (25°C) y pH 3

Muestra	m(g) CG 1000 30x70	Co(mg/L colorante)	C10(mg/L colorante)	C15(mg/L colorante)	q15(mg/g)
M-1	1	78.84	0	0	18.98
M-2	1	155.76	5.76	0.96	36.38
M-3	1	238.46	111.53	11.53	53.4
M-4	1	330.76	76.92	26.92	71.48
M-5	1	403.84	119.23	38.46	85.98

Tabla 15. Adsorción a temperatura de 15°C y pH 3

Muestra	m(g) CG 1000 30x70	Co(mg/L colorante)	C10(mg/L colorante)	C15(mg/L colorante)	q15(mg/g)
M-1	1	80.12	0	0	19.28
M-2	1	157.69	5.76	0.96	36.84
M-3	1	219.23	111.53	11.53	48.88
M-4	1	315.38	76.92	26.92	67.87
M-5	1	396.15	119.23	38.46	84.18

Tabla 16. Adsorción a temperatura de 35°C y pH 3

Muestra	m(g) CG 1000 30x70	Co(mg/L colorante)	C10(mg/L colorante)	C15(mg/L colorante)	q15(mg/g)
M-100	1	110.57	6.73	0	26.21
M-200	1	200	27.88	10.25	44.62
M-300	1	259.61	38.46	8.65	59.01
M-400	1	373.07	146.15	61.53	73.38
M-500	1	492.3	153.84	121.15	87.48

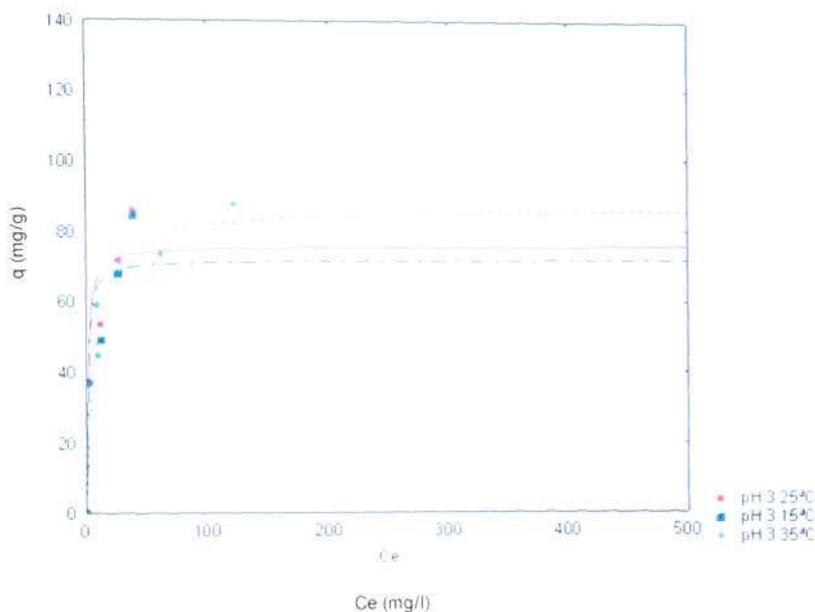


Figura 8. Isotermas evaluadas a temperaturas de 15°C, 25°C y 35°C

En la Figura 8 se presentan los resultados de la eficiencia de la remoción del colorante azul remazol a 15°C, 25°C y 35°C. Se puede apreciar un ligero aumento de la adsorción a mayor temperatura.

Las isotermas sin embargo, son prácticamente coincidentes, de esta manera evaluando los cambios obtenidos a diferentes temperaturas se puede concluir que la adsorción del colorante azul remazol se ve ligeramente afectada cuando tenemos un incremento en la temperatura.

Conclusiones

Las isotermas de adsorción del colorante Azul Remazol sobre los diferentes carbones CG BONECHAR 1000 30x70, CG 900 20x50 y Fija flúor, mostraron que el carbón CG BONECHAR 1000 30x70 fue el que tuvo la mejor capacidad de adsorción.

Comparando el porcentaje de desviación tanto de la isoterma de Langmuir así como también de la isoterma de Freundlich (Tabla 13) se observó que el mejor ajuste se obtuvo con la isoterma de Langmuir lo cual es un indicativo que el carbón CG BONECHAR 1000 30x70 puede contener sitios homogéneos.

Aunque no se realizó la caracterización de estos carbones, se observó que este carbón CG1000 posee un punto de carga cero de 8.9. Esto indica que a pH menores de este valor, su superficie se encuentra cargada positivamente; por el contrario, a valores de pH mayores, estará cargado negativamente.

El colorante Azul Remazol se encuentra en solución en forma aniónica, por lo que posee una carga negativa. Lo anterior favoreció la adsorción a un pH de la solución ácida. Se observó que la mayor capacidad de adsorción fue a un valor de pH 3 y disminuyó esta capacidad de adsorción 2 veces cuando el pH se incrementó a 5; 2.1 veces a pH de 7 y 8.3 veces a un pH básico, manteniendo en todos estos experimentos la temperatura constante a 25°C.

Siendo el valor de pH 3 de la solución en el que se obtuvo la mayor capacidad de adsorción, se realizaron experimentos disminuyendo la temperatura a 15°C y aumentándola 35°C para investigar el efecto de esta variable en la isoterma de adsorción. Se observó que esta capacidad aumento 1.15 veces más en comparación a la de 25°C. Cuando se incrementó la temperatura a 35C y disminuyó 0.95 veces en los experimentos realizados a 15°C.

Por lo tanto se observó que las condiciones óptimas para trabajar es el carbón CG 1000 a un pH de 3 y a una temperatura de 35°C.

Anexo 1

Para los diferentes experimentos también se analizaron con la isoterma de Freundlich obteniendo los siguientes gráficos:

Tabla 16. Adsorción a temperatura ambiente (25°C) y pH 3, la isoterma de adsorción para efectos de este experimento se muestra en la Figura 11.

Muestra	m(g) CG 1000 30x70	Co(mg/L colorante)	C10(mg/L colorante)	C15(mg/L colorante)	q15(mg/g)
M-1	1	78.84	0	0	18.98
M-2	1	155.76	5.76	0.96	36.38
M-3	1	238.46	111.53	11.53	53.4
M-4	1	330.76	76.92	26.92	71.48
M-5	1	403.84	119.23	38.46	85.98

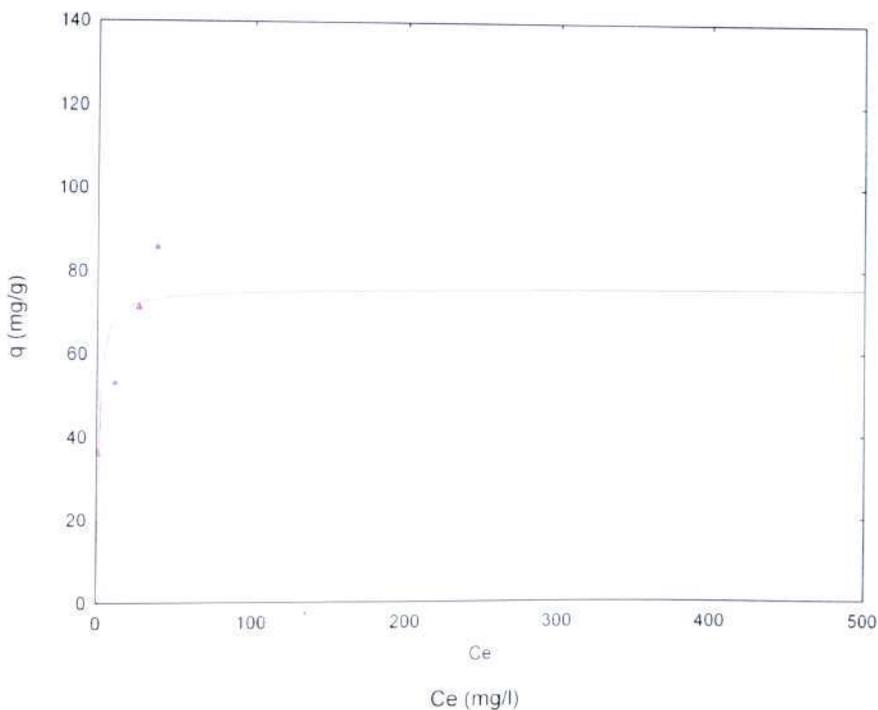


Figura 11. Isoterma de adsorción para el colorante azul remazol pH 3 a 25°C

Tabla 17. Adsorción a temperatura ambiente (25°C) y pH 5, la isoterma de adsorción para efectos de este experimento se muestra en la Figura 12.

Muestra	m(g) CG 1000 30x70	Co(mg/L colorante)	C10(mg/L colorante)	C15(mg/L colorante)	q15(mg/g)
M-1	1	107.3	75.38	65	10.08
M-2	1	190.38	117.3	117.3	7.48
M-3	1	238.46	111.53	111.53	7.69
M-4	1	353.84	326.92	300	13.27
M-5	1	476.92	423.07	423.07	13.5

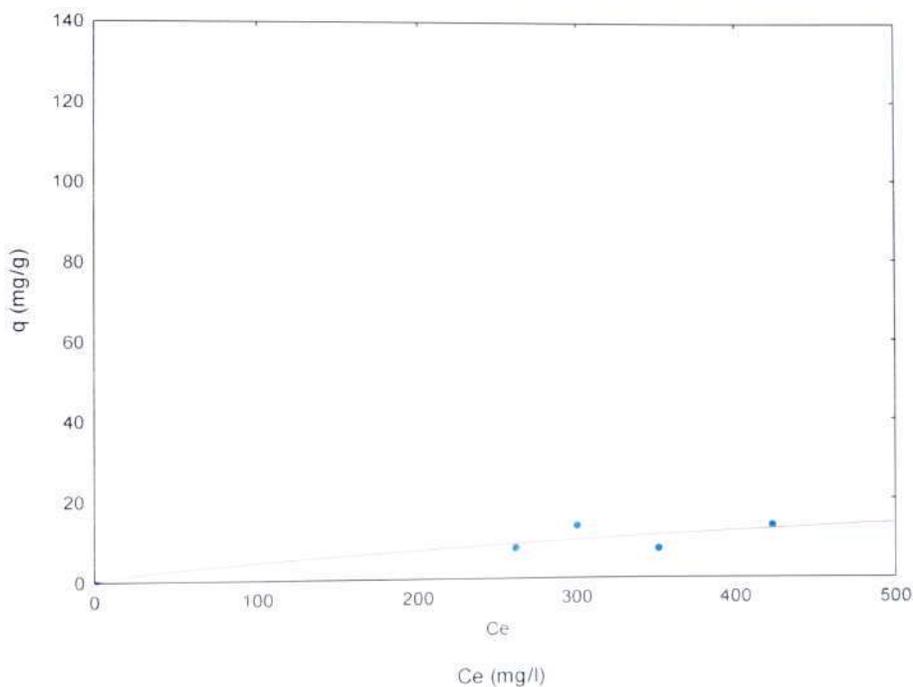


Figura 12. Isoterma de adsorción para el colorante azul remazol pH 5 a 25°C

Tabla 18. Adsorción a temperatura ambiente (25°C) y pH 7, la isoterma de adsorción para efectos de este experimento se muestra en la Figura 13.

Muestra	m(g) CG 1000 30x70	Co(mg/L colorante)	C10(mg/L colorante)	C15(mg/L colorante)	q15(mg/g)
M-1	1	90	53.84	50	9.5
M-2	1	199.35	144.23	126.28	17.43
M-3	1	286.53	223.07	205.76	19.4
M-4	1	384.61	292.3	280.76	24.97
M-5	1	461.53	396.15	357.69	25.14

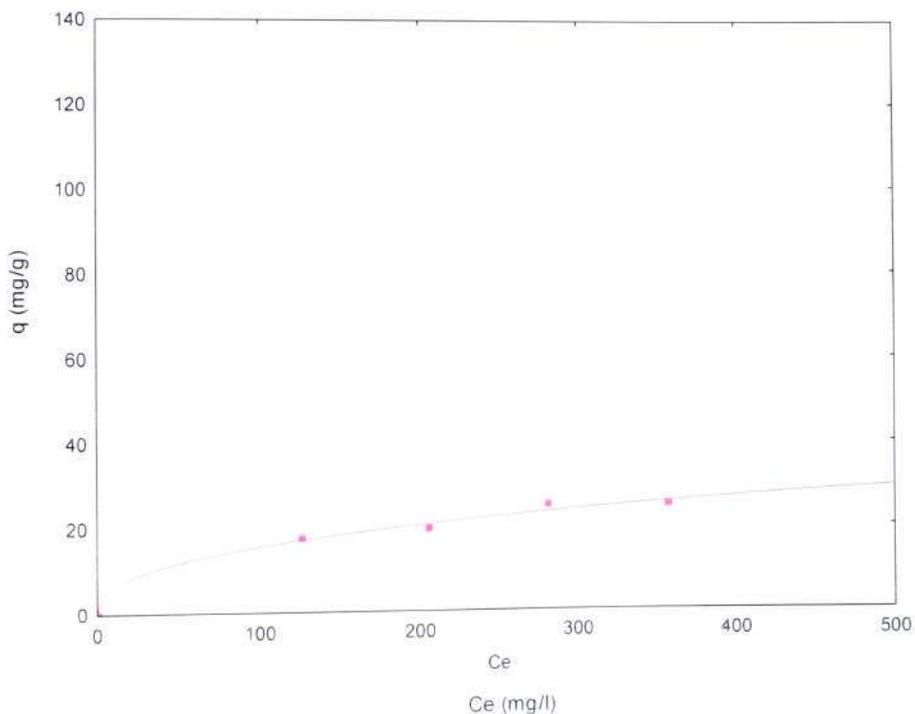


Figura 13. Isotherma de adsorción para el colorante azul remazol pH 7 a 25°C

Tabla 19. Adsorción a temperatura ambiente (25°C) y pH 9, la isoterma de adsorción para efectos de este experimento se muestra en la Figura 14.

Muestra	m(g) CG 1000 30x70	Co(mg/L colorante)	C10(mg/L colorante)	C15(mg/L colorante)	q15(mg/g)
M-1	1	101.15	65.38	59.61	9.88
M-2	1	188.46	143.58	140.38	11.58
M-3	1	296.15	247.11	242.3	13.14
M-4	1	346.15	325	325	5.62
M-5	1	446.15	423.07	423.07	6.27

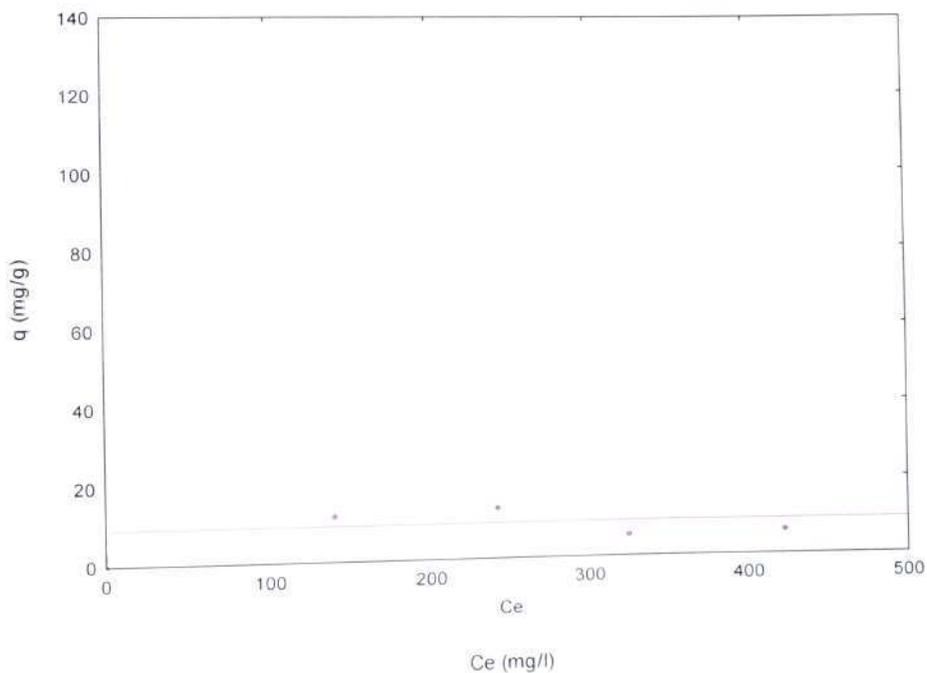


Figura 14. Isoterma de adsorción para el colorante azul remazol pH 9 a 25°C

Efecto de la temperatura:

Tabla 20. Adsorción a temperatura de 15°C y pH 3, la isoterma de adsorción para efectos de este experimento se muestra en la Figura 15

Muestra	m(g) CG 1000 30x70	Co(mg/L colorante)	C10(mg/L colorante)	C15(mg/L colorante)	q15(mg/g)
M-1	1	80.12	0	0	19.28
M-2	1	157.69	5.76	0.96	36.84
M-3	1	219.23	111.53	11.53	48.88
M-4	1	315.38	76.92	26.92	67.87
M-5	1	396.15	119.23	38.46	84.18

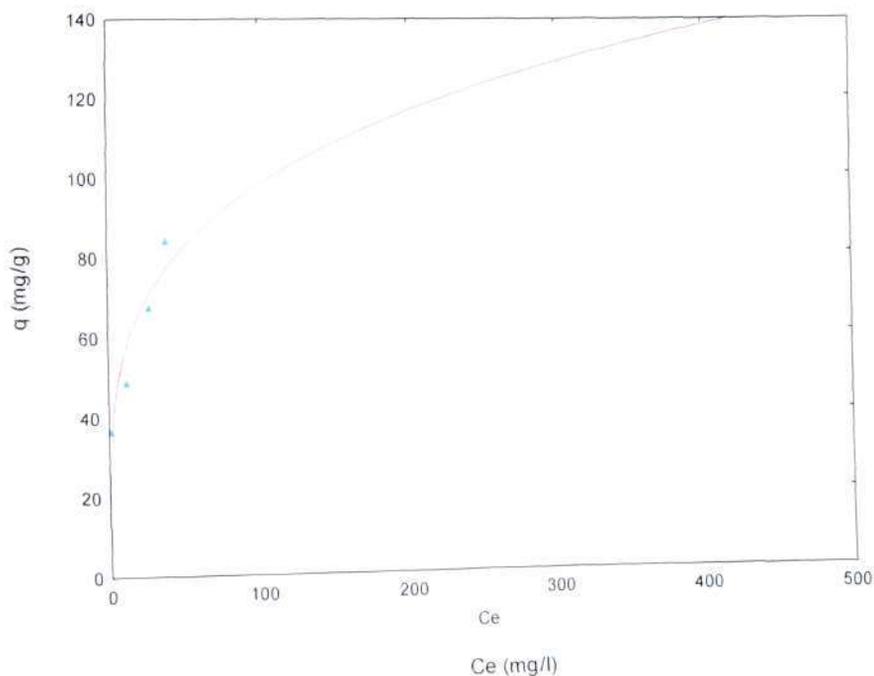


Figura 15. Isotherma de adsorción para el colorante azul remazol pH 3 a 15°C

Tabla 21. Adsorción a temperatura de 35°C y pH 3, la isoterma de adsorción para efectos de este experimento se muestra en la Figura 16

Muestra	m(g) CG 1000 30x70	Co(mg/L colorante)	C10(mg/L colorante)	C15(mg/L colorante)	q15(mg/g)
M-100	1	110.57	6.73	0	26.21
M-200	1	200	27.88	10.25	44.62
M-300	1	259.61	38.46	8.65	59.01
M-400	1	373.07	146.15	61.53	73.38
M-500	1	492.3	153.84	121.15	87.48

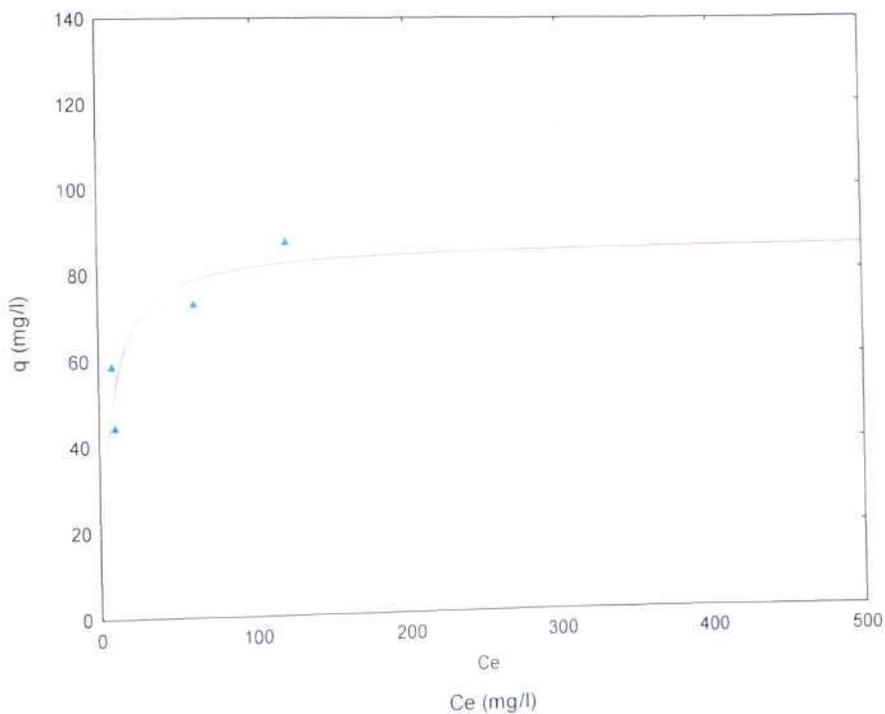


Figura 16. Isotherma de adsorción para el colorante azul remazol pH 3 a 35°C

Anexo 2

Imágenes experimento pH 3 a 25°C en las cuales se puede observar la variación de la concentración del colorante en solución acuosa.



Figura 17. Adsorbedor de lote

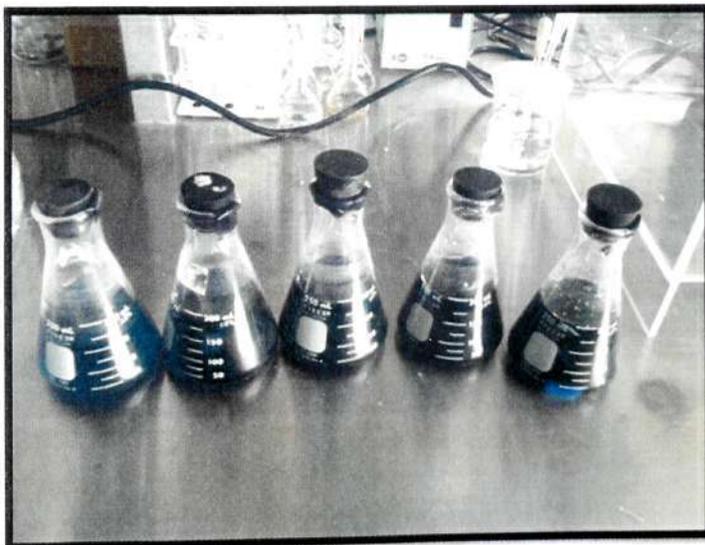


Figura 18. Experimentos con diferentes concentraciones de colorante azul remazol.

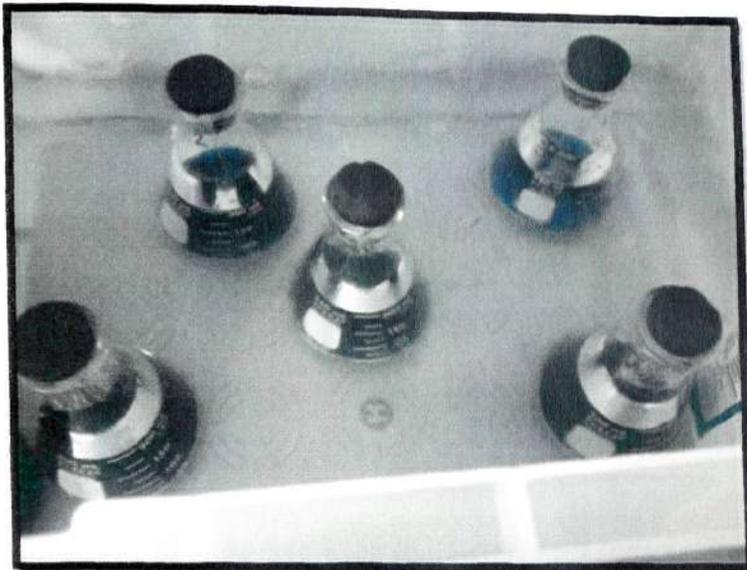


Figura 19. Experimentos de adsorción pH 3, 25°C. Día 0

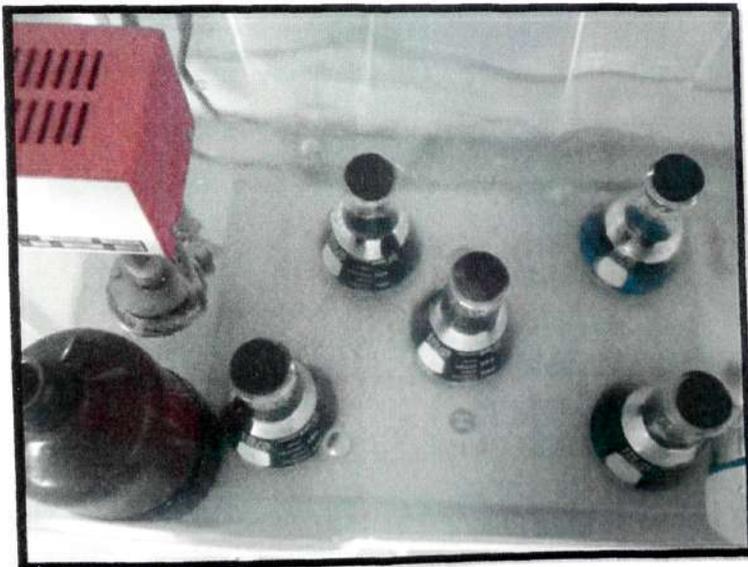


Figura 20. Experimentos de adsorción pH 3, 25°C. Día 10

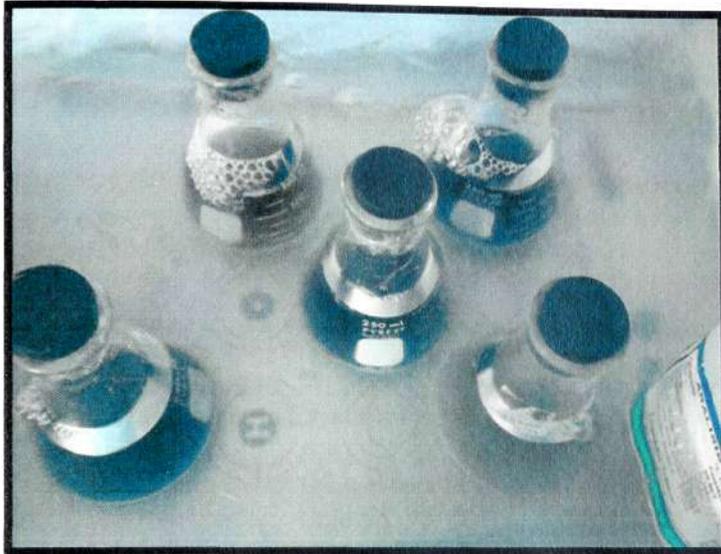


Figura 21. Experimentos de adsorción pH 3, 25°C. Día 15



Figura 22. Adsorción total del colorante azul remazol con una concentración inicial de 100 ppm. pH 3, T 25°C

Bibliografía

- Barragán H.E (2010) "IPN utiliza agave para limpiar el agua de residuos tóxicos", con información de la Crónica.
- Bernal Jácome Luis Armando. "Adsorción y difusión intraparticular de Zinc (II) en solución acuosa sobre carbón activado". Tesis.
- Carrasco Francisco y Menéndez Díaz J. Ángel. *Nuevos materiales y tecnologías para el tratamiento de aguas residuales*. Universidad Internacional de Andalucía.
- Duran S. Solpan D., Gueven O., (1999) Synthesis and characterization of acrylamide-acrylic acid hydrogels and adsorption of some textile dyes, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 151 (1-4), 196-199.
- Gómez Galvarriato Aurora. *La industria textil en México*, Instituto Mora, Colegio de Michoacán, Colegio de México, Centro de investigación Histórica UNAM, 1 ed. 1999 (329-330).
- Gupta V.K Ribeiro S.C, (2009) "Low cost adsorbents; Growing approach to wastewater treatment a review".
- Keller, H.A (2010) Plantas colorantes utilizadas por los guarines de misiones, Argentina, Bonplandia (11-25).
- Metzcal y Eddy. *Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilizado*. Mc Graw Hill 1998 (12-31).
- Restrepo G.M (2007) Sustitución de colorantes en alimentos, Revista Lasallista de investigación, (35-39).
- Riva M.C (1989) "Toxicidad, acumulación y efectos fisiológicos del colorante premetalizado C.I Acid violet 66 y su base azoica C.I Acid Red 217 en la trucha arcoíris salmo Girdneri R" Tesis.
- Romero Rojas Jairo Alberto *Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño*, Ed Escuela Colombiana de Ingeniería 2010.
- Sánchez Nedher, Vazquez Mario, Torresi Roberto, "Degradación y adsorción del colorante AZO RR239 en solución acuosa, por partículas de hierro zero-valente a nanoescala, inmovilizadas sobre aserrín, Rev. Fac. ing. Univ. Antioquia No. 55 Medellín, Sept 2010.

- S.H Chang, K.S. Wang , H. H. Liang, H.Y. Chen, H. C. Li, T.H. Peng, Y.C. Su, C.Y. Chang, Treatment of Reactive Black 5 bycombinedelectrocoagulation-granular activatedcarbonadsorption-microwaveregenerationprocess, Journal of HazardousMaterials, (2010).
- Torres P.J (2005) "Evaluación de las propiedades adsorbentes de una roca zeolitica modificada para la remoción de los colorantes azoicos como contaminantes del agua" Tesis.
- V. Gonzales Linda, M. Escamilla Eleazar *Biodegradación anaerobia de Colorantes Azoicos Textiles usando Carbón activado (2008)*.
- Vicenta Muñoz Andrés, Jesús Álvarez Rodriguez Bases de la Ingeniería Ambiental Ed. Universidad Nacional de Educación 2013 (233-238, 268-275).
- ZhuangXin, Wan Ying, FengCuimiao, Shen Ying, ZhaoDongyuan. *Highlyefficientadsorption of bulkydyemolecules in wastwmateronorderedmesoporouscarbons. Department of chemistry, Shanghai Normal University.*

Páginas de Internet

- www.textil.org
- www.uaemex.mx
- <http://repositorio.sistemauno.com>.
- <http://www.cna.gob.mx>
- <http://hispagua.cedex.es>