

# PORTADA EXTERNA

“ Uso de lirios acuáticos (Eichornia crassipes) en un filtro modular para la extracción de cromo total en aguas residuales”

Adrián Ferrucio García Morales

2021



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería



“Uso de lirios acuáticos (Eichornia crassipes) en un filtro modular para la extracción de cromo total en aguas residuales”

## TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de:

INGENIERO EN NANOTECNOLOGÍA

### Presenta:

Adrián Ferrucio García  
Morales  
Expediente: 227278

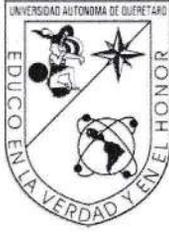
### Dirigido por:

Dr. José Alberto Rodríguez Morales

Centro Universitario

Querétaro, Qro.

Junio 2021



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ingeniería



“Uso de lirios acuáticos (*Eichornia crassipes*) en un filtro modular para la extracción de cromo total en aguas residuales”

**Tesis**

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de:

INGENIERO EN NANOTECNOLOGÍA

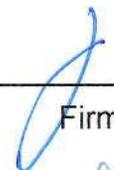
**Presenta**

Adrián Ferrucio García Morales

**Dirigido por:**

Dr. José Alberto Rodríguez Morales

Dr. José Alberto Rodríguez Morales  
Presidente

  
Firma

Dr. Eduardo Arturo Elizalde Peña  
Secretario

  
Firma

Dra. Janet Ledesma García  
Vocal

  
Firma

Dr. Rufino Nava Mendoza  
Suplente 1

  
Firma

Lic. José Alberto Isidoro Olvera Rodríguez  
Suplente 2

  
Firma

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la inteligencia, motivación, perseverancia, y encaminarme en el camino que he tomado y poder llegar tan lejos y realizar un momento muy importante en mi vida.

A mi familia por apoyarme, cuidarme y motivarme para seguir adelante con mis estudios en los buenos momentos y malos momentos.

A mi director de Tesis José Alberto Rodríguez Morales que gracias por su consejo, guía, amistad y apoyo en todo lo necesario para poder llevar a cabo este proyecto.

A mi Maestro José Alberto Isidoro Olvera Rodríguez por estarme asesorando de cerca, a su supervisión, guía, consejo, amistad, apoyo incondicional y buenos momentos ya que sin el no podría haber llevado a cabo este proyecto.

A mis sinodales: Dr. Eduardo Arturo Elizalde Peña, Dra. Janet Ledesma García, Dr. Rufino Nava Mendoza, por sus consejos, apoyo y asesorarme durante la realización de este proyecto

A la maestra Xóchitl Pastrana y a los docentes de la carrera por demostrar que una clase puede ser divertida y amena, por transmitir todo su conocimiento y enseñanzas que he adquirido por lo que ahora me sirven para poder realizar un proyecto de tesis.

A mis amigos por los momentos divertidos, ayuda y motivación para hacer, ameno estos 5 años de esfuerzo.

A la Universidad Autónoma de Querétaro y sus espacios de estudio y trabajo, mi segunda casa y en donde he podido lograr una de mis mayores metas en la vida.

## RESUMEN

Hoy en día los ecosistemas y seres humanos se encuentran en constante peligro por la presencia de metales pesados disueltos en efluentes acuosos, esto principalmente ocasionado por actividades antropogénicas. Estos metales son difíciles de detectar debido a su naturaleza iónica que los hace solubles en agua, no generan marcadores para detectarlos como lo son el olor o color debido a su baja concentración, aunque esto no significa que no sean tóxicos.

Actualmente la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 establece valores para que metales como cobre, níquel, zinc, cromo, etc. Puedan estar presentes en determinadas cantidades en aguas residuales, ríos, embalses naturales y aguas costeras. El mayor problema al verter agua contaminada con metales pesados es la bioacumulación en los seres vivos lo que desencadena problemas de salud pública. Los metales pesados se bioacumulan y va incrementando de acuerdo con la cadena alimenticia hasta llegar a los seres humanos

En este proyecto de tesis se presenta el uso de diferentes compuestos a base de quitosano utilizando magnetita, cáscara de plátano y nanopartículas de carbono para la remoción de metales pesados de aguas residuales. Estos componentes fueron utilizados debido a su naturaleza sustentable ya que todos se obtienen a partir de materia prima considerada desecho o plaga, haciendo de esta una técnica sustentable, de fácil desarrollo y económica.

Posterior a la síntesis de los materiales se procedió al diseño de un filtro modular que permita la remoción de metales pesados disueltos en efluentes acuosos.

Los resultados obtenidos sugieren que los materiales empleados en este trabajo son candidatos potenciales para la remoción de cromo total en aguas residual para que esta tenga los límites según la norma NOM-001-SEMARNAT-1996.

**Palabras clave:** Quitosano, Magnetita, Pectina, Membrana, Cromo total, Adsorción.

## ABSTRACT

Today ecosystems and humans are constantly at risk from the presence of dissolved heavy metals in aqueous effluents, mainly caused by anthropogenic activities. These metals are difficult to detect due to their ion nature which makes them soluble in water, they do not generate markers to detect them as are odor or color due to their low concentration although this does not mean that they are not toxic.

Currently the nom-001-SEMARNAT-1996 sets standard values for metals such as copper, nickel, zinc, chromium, etc. They may be present in certain quantities in wastewater, rivers, natural reservoirs and coastal waters. The biggest problem with pouring water contaminated with heavy metals is bioaccumulation in living things which triggers public health problems. Heavy metals bioaccumulate and increase according to the food chain to humans.

This thesis project presents the use of different compounds based on chitosan using magnetite, banana peel and carbon nanoparticles for the removal of heavy metals from wastewater. These components were used due to their sustainable nature since all are obtained from raw material considered waste or pest, making this a sustainable technique, easy to develop and economical.

After the synthesis of the materials, a modular filter was designed to allow the removal of dissolved heavy metals in aqueous effluents.

The results suggest that the materials used in this work are potential candidates for the removal of total chromium in wastewater so that it has the limits according to NOM-001-SEMARNAT-1996.

**Keywords:** Chitosan, Magnetite, Pectin, Membrane, Total Chromium, Adsorption.

# ÍNDICE

## Contenido

RESUMEN.....	3
ABSTRACT.....	4
ANTECEDENTES .....	10
1. Contaminación del agua:.....	10
2. Metales pesados .....	11
3. Recuperación de metales pesados.....	12
4. Regulación oficial mexicana de contaminantes en aguas residuales.....	13
5. Filtro modular.....	14
6. Lirio acuático ( <i>Eichornia crassipes</i> ).....	15
7. Magnetita .....	16
8. Quitosano .....	17
JUSTIFICACIÓN .....	18
HIPÓTESIS .....	18
OBJETIVOS.....	19
1. Objetivo general.....	19
2. Objetivos particulares.....	19
SÍNTESIS DEL MATERIAL.....	20
METODOLOGÍA.....	20
1. SÍNTESIS DE QUITOSANO-GMA.....	20
2. SÍNTESIS DE NANOPARTICULAS DE MAGNETITA.....	21
4. SÍNTESIS DE ESFERAS DE QUITOSANO-MAGNETITA-PECTINA.....	23
5. SÍNTESIS DE LAS NANOPARTÍCULAS DE CARBONO.....	23
6. PREPARACIÓN DE MUESTRAS PARA ANÁLISIS UV-VIS.....	24
7. GENERACIÓN DEL FILTRO MODULAR .....	24
8. FILTRACIÓN .....	25
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	26
9. ANÁLISIS TEM.....	26
10. DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO .....	26
11. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CROMO TOTAL MEDIANTE ANÁLISIS UV-VIS.....	27
12. ANÁLISIS POR ABSORCIÓN ATÓMICA DE CROMO TOTAL.....	32

<b>CONCLUSIÓN</b> .....	33
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	34
<b>APÉNDICE</b> .....	39
<b>1. Espectroscopía Uv-vis</b> .....	39
<b>2. Microscopía electrónica de transmisión</b> .....	40
<b>3. Informe de resultados obtenidos del centro de servicios químicos</b> .....	41

Dirección General de Bibliotecas de la UAQ

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 INEGI Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2015. Modulo ambiental de agua potable y saneamiento. ....	10
Figura 2 Lirio acuático .....	15
Figura 3 Estructura química del quitosano .....	188
Figura 4.1 Diagrama de la metodología empleada para la síntesis de Quitosano GMA. ....	211
Figura 4.2 Diagrama de la metodología empleada para la síntesis de Quitosano-Magnetita.....	22
Figura 4.3 Diagrama de la metodología empleada para la síntesis de Quitosano-Pectina .....	22
Figura 4.4 Diagrama de la metodología empleada para la síntesis de Quitosano-Magnetita-Pectina. ....	23
Figura 4.5 Diagrama de la metodología empleada para la síntesis de nanopartículas de carbono.....	24
Figura 5 Filtro modular .....	25
Figura 6 proceso de filtración del agua residual. ....	25
Figura 7.1 Microscopia TEM de las partículas de las hojas .....	26
Figura 7.2 Microscopia TEM de las partículas de las hojas .....	26
Figura 8.1 Histograma de distribución de diámetro de partícula .....	27
Figura 8.2 Histograma de distribución de área de partícula .....	27

Figura 9.1 Concentración removida de Cr total usando Quitosano .....	28
Figura 9.2 Concentración removida de Cr total usando Quitosano-Pectina .....	29
Figura 9.3 Concentración removida de Cr total usando Quitosano-Magnetita .....	29
Figura 9.4 Concentración removida de Cr total usando Quitosano-Magnetita-Pectina .....	30
Figura 9.5 Concentración removida de Cr total usando nanopartículas de carbono .....	31
Figura 10 Diagrama de espectroscopía Uv-vis.....	39
Figura 11 Diagrama de microscopía electrónica de transmisión.....	40
Figura 12 Análisis por laboratorio certificado de la concentración final del agua post-filtración .....	41
Figura 13 Análisis por laboratorio certificado de la concentración inicial del agua antes de la filtración .....	42

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Límites máximos permisibles para metales pesados en agua según la norma 001-ECOL-1996[45].</i> .....	14
Tabla 2 Comparación de la remoción de los materiales puestos a prueba con respecto a la concentración de cromo total.....	32
Tabla 3 Comparación de la concentración inicial y final de la filtración del agua residual.....	332

Dirección General de Bibliotecas de la UAQ

## ANTECEDENTES

### 1. Contaminación del agua:

El agua dulce de los ecosistemas es esencial para la supervivencia humana y otros animales propiciando la mayor parte del agua consumida[1]. Debido a su valor e importancia, muchos lagos, ríos y pozos alrededor del mundo y especies en los ecosistemas están siendo severamente dañados por actividad antropogénica a un ritmo acelerado[2]. Actualmente, la mayor preocupación sobre la seguridad del agua es la presencia potencial de elementos químicos[3]. Estos pueden incluir contaminantes orgánicos e inorgánicos, así como metales pesados, procedentes de fuentes industriales, agrícolas y de la escorrentía urbana[4].

Aunque más de tres cuartas partes de la superficie terrestre están cubiertas de agua, sólo es dulce una cantidad inferior al 3%, y de ésta, más de tres cuartas partes se encuentran heladas en los polos y glaciares. De la restante, el 99% se localiza bajo la tierra (aguas subterráneas) y sólo un 1% en la superficie. Por lo tanto, sólo alrededor de una centésima parte del total del agua del planeta está disponible para la vida terrestre[1]. De la cual gran parte es residual y no se le da tratamiento alguno según la Figura 1 se puede observar el censo efectuado por INEGI en los estados de México[5].

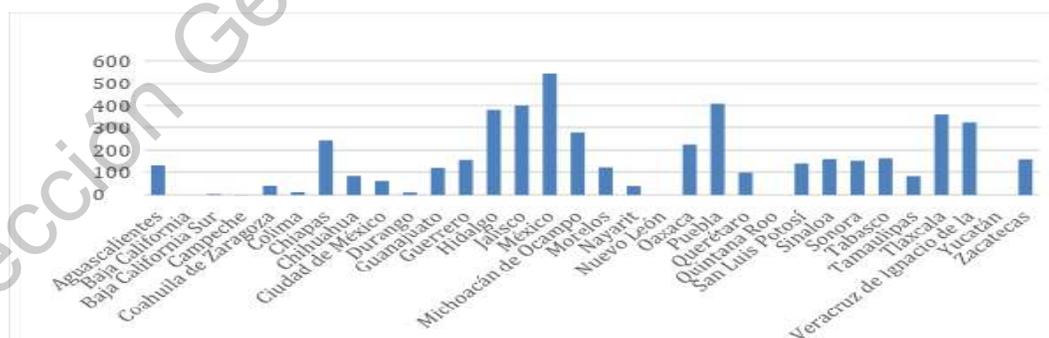


Figura 1 INEGI Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2015. Modulo ambiental de agua potable y saneamiento.

## 2. Metales pesados

En años recientes, la contaminación por metales pesados ha sido primordial y un problema severo en muchas regiones del mundo. Los estudios relacionados a la contaminación hídrica reciben especial atención debido a los metales pesados causados por actividades antropogénicas [3]. Estos constituyen un grupo cercano a los 40 elementos de la tabla periódica que tienen una densidad mayor o igual a  $5 \text{ g/cm}^3$ . El rasgo distintivo del comportamiento de los metales pesados es que aun cuando muchos de ellos son esenciales para el crecimiento como lo son el sodio, potasio, magnesio, calcio, vanadio, hierro, entre otros se ha reportado que también tienen efectos tóxicos sobre las células, principalmente como resultado de su capacidad para alterar o desnaturalizar proteínas[2].

Los metales pesados como el plomo, mercurio, cadmio, arsénico, cromo, entre otros, son muy dañinos para la salud de los humanos y animales. Entre las afectaciones a la salud originadas por el consumo de trazas de estos elementos tóxicos se destacan: daño al sistema reproductivo, inmune, cardiovascular, nervioso, digestivo e incluso daño celular. Los efectos de los metales pesados sobre el funcionamiento del ecosistema varían considerablemente y son de importancia económica y salud pública [2].

Hoy en día la presencia de iones metálicos que resultan de las actividades industriales, como lo es el cromo, cuando se desecha sobre los efluentes acuosos y estos llegan a ser consumidos en actividades cotidianas pueden causar desde irritación en la piel hasta cáncer de estómago, es por esta razón que es de vital importancia que desarrollar métodos eficientes para la remoción de metales pesado[6].

Estos metales tienen efectos conocidos que son perjudiciales para los seres humanos como lesiones en la piel, músculos, órganos, huesos, daño en los sistemas cardiovasculares, nervioso, respiratorio y digestivo, incluso causar cáncer y enfermedades neurodegenerativas[7].

Los metales pesados son de vital importancia en los sistemas acuáticos a causa de su toxicidad y capacidad de bioacumulación[8]. Estos metales perjudican la calidad de vida del agua ya que causan severos daños tanto a la flora como a la fauna y son la principal fuente de contaminación acuática[9].

El 70% de las aguas residuales no son tratadas en América Latina. Estas aguas son extraídas, usadas y se devuelven contaminadas a los cuerpos de agua[10]. Incluso en otros países como Perú, el 70% de sus aguas residuales no tienen tratamiento[11].

A consecuencia de los contaminantes en el ecosistema acuático la fauna tiende a dar respuestas ante el estrés generado por los metales[12]. Los cambios que suceden son una serie de reacciones bioquímicas y fisiológicas a nivel celular además de la retención de los propios metales, lo que desencadena una serie de sucesos en los que afecta a la cadena alimenticia ya que los metales pasan desde el desarrollo industrial hasta el ser humano[13].

### **3. Recuperación de metales pesados**

La dificultad que existe cuando se habla de la recuperación de los metales pesados es que estos se encuentran dispersos en forma de iones por lo cual los métodos físicos como el desbaste o la sedimentación no pueden ser usados para este fin.

Existe una gran cantidad de métodos de tratamiento de aguas residuales. Estos tratamientos pretenden eliminar contaminantes como los sólidos en suspensión, materia orgánica biodegradable, compuestos tóxicos, metales pesados, entre otros.

Algunos de los métodos comúnmente usados para la eliminación de metales pesados de efluentes hídricos son:

- Precipitación química: Consiste en añadir ciertos productos químicos al agua residual para conseguir que estos alteren el estado físico de los sólidos disueltos o en suspensión y se produzca una eliminación por sedimentación. Sin embargo, presenta desventajas como el volumen de lodos residuales y el aumento de la concentración de químicos y sus componentes contaminantes.
- Adsorción: Es el proceso mediante el cual los iones, o las moléculas, son retenidos sobre la superficie de un sólido; el carbón activado es el adsorbente más utilizado en el tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, este método es poco usado y su mayor utilización se encuentra en el reúso de aguas de tratamiento químico.
- Electrodeposición: Consiste en la reducción de los iones metálicos por los electrones de un electrodo.
- Ósmosis inversa: Consiste en hacer uso de una membrana semipermeable y usar una presión mayor a la presión osmótica para generar un flujo contrario a la ósmosis.
- Filtración por membrana: consiste en promover el paso del líquido a filtrar a través de esta, la cual está sobre un soporte sólido[14].

#### **4. Regulación oficial mexicana de contaminantes en aguas residuales**

La norma NOM-001-SEMARNAT-1996 es la norma que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios públicos, con el objetivo de proteger el medio ambiente y la salud de la población, así como los procedimientos de identificación, clasificación y listado de residuos peligrosos; Los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales son establecidas en la Tabla 1. Esta norma es de observancia obligatoria para las entidades públicas responsables de su tratamiento y reúso[15].

Tabla 1 Límites máximos permisibles para metales pesados en agua según la norma 001-ECOL-1996[16].

<b>Metal</b>	<b>Ríos</b> <b>Riego, uso urbano</b> <b>(ppm)</b>	<b>Embalses</b> <b>Riego, uso urbano</b> <b>(ppm)</b>	<b>Aguas costeras</b> <b>(ppm)</b>	<b>Suelos</b> <b>(ppm)</b>
Cobre	4 - 6	4 - 6	4 - 6	4 - 6
Níquel	2 - 4	2 - 4	2 - 4	2 - 4
Plomo	0.5 - 1	0.5 - 1	0.5 - 1	0.2 - 0.4
Zinc	10 - 20	10 - 20	10 - 20	10 - 20
Cromo total	1 - 1.5	1 - 1.5	1 - 1.5	1 - 1.5

## 5. Filtro modular

La filtración consiste en la remoción de partículas suspendidas y coloidales presentes en una suspensión acuosa que escurre a través de un medio poroso. En general, la filtración es la operación final que se realiza en una planta de tratamiento de agua de calidad coincidente con los patrones de potabilidad[17].

El filtro modular o lechos empacados son componentes que se adicionan dentro de un artefacto tipo columna con el objetivo de retener y remover sustancias tóxicas en el tratamiento de aguas. Previo a la colocación de los lechos, se les hacen pruebas de adsorción por medio de agitación constante de una solución que contiene tanto el adsorbente como el adsorbato hasta que alcancen el equilibrio.

En la industria, una columna empacada es un tipo de lecho empacado que se utiliza para realizar procesos de separación, como la adsorción, la separación y la destilación. Una columna empacada es un recipiente a presión que tiene una sección empacada[18].

El empaque se puede llenar aleatoriamente con objetos pequeños o, de lo contrario, puede ser un empaque estructurado diseñado específicamente. Los lechos empacados también pueden contener partículas de catalizador o adsorbentes, como gránulos de zeolita, carbón activado granular, etc.

La ventaja de usar un reactor de lecho empacado es la mayor conversión por peso de catalizador que otros reactores catalíticos. La conversión se basa en la cantidad de catalizador sólido en lugar del volumen del reactor[19]. Este método resulta práctico y eficaz en aplicaciones industriales donde generalmente se trabajan bajo condiciones continuas[20].

## 6. Lirio acuático (*Eichornia crassipes*)

Esta especie sudamericana es la maleza acuática más seria a nivel mundial. Crece muy rápidamente. Es común en México y causa problemas en lagunas, presas y canales de riego. Se ha registrado en Campeche, Chiapas, Coahuila, Distrito Federal, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Querétaro, Quintana Roo, Sinaloa, Sonora, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz y Yucatán[21].

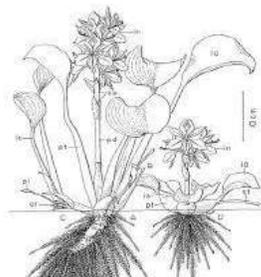


Figura 2 Lirio acuático [21]

Cubre extensas superficies en presas, lagunas y canales, impidiendo el libre paso del agua o la navegación, además afecta la supervivencia de las plantas y los animales nativos. Se afecta la acuicultura, ya que el agua abajo del lirio acuático puede perder su oxígeno. Favorece el desarrollo de mosquitos que producen daños a la salud humana y del ganado[22].

La temperatura óptima para el desarrollo del lirio acuático se encuentra entre 20 y 30 °C, aunque puede sobrevivir a una temperatura de hasta 10 °C. En invierno la planta debe ser protegida en invernadero en climas con heladas, manteniéndola siempre en agua. Puede rebrotar en primavera si se marchita. Necesita agua estancada o con poca corriente. El pH óptimo está entre 5-7 y el máximo de tolerancia para salinidad es de 800 mg/l [23].

Se ha comprobado la eficacia del lirio acuático para el tratamiento de agua residual ya que con un costo menos a la purificación por tratamientos químicos, logra retener los metales pesados mediante su alta capacidad de fitorremediación. Así como su alta velocidad de reproducción en cuerpos de agua lo hace un material óptimo y sustentable para la remoción de cromo en efluentes acuosos[24].

## **7. Magnetita**

La magnetita es un mineral que se halla diseminado en rocas ígneas en ocasiones formando grandes masas de mineral. También se encuentran en las arenas negras de las playas de mar como hojas finas[33].

Químicamente es un óxido mixto de hierro; donde su composición es 27.6% de oxígeno y 72.4% de hierro. Es un sistema cúbico centrado en las caras (FCC) con una estructura de espinela inversa[34]. En su celda unitaria de 56 átomos, 32 son de oxígeno y 24 cationes de hierro, de los cuales 16 son en forma férrica ( $Fe^{3+}$ ) y 8 en forma ferrosa ( $Fe^{2+}$ ). Los átomos de oxígeno forman un celda unitaria cúbica centrada en las caras y los cationes de hierro están alojados en los espacios intersticiales[35].

Dentro de los óxidos metálicos para la remoción de metales pesados, los óxidos de hierro se encuentran dentro de los más aplicables[36]. Esto se da debido a que aparte de las propiedades mencionadas anteriormente como área superficial, alta reactividad y afinidad hacia los metales pesados, algunos óxidos de hierro como la magnetita en la escala nanométrica exhiben propiedades superparamagnéticas[37].

Esta propiedad es relevante en los procesos de recolección, que es una de las preocupaciones o limitantes mayores para la implementación de este tipo de tecnologías, por lo cual se espera que la separación magnética pueda ser un método eficaz y conveniente más rentable para la remoción de metales pesados[38].

## **8. Quitosano**

El quitosano es un material que proviene de la quitina la cual proviene de los exoesqueletos de crustáceos, es por esta razón que este material es el segundo polisacárido en abundancia después de la celulosa[39].

Exhibe propiedades biológicas favorables, no es tóxico, es biocompatible, y biodegradable[40]. Es un material proveniente de un recurso renovable con numerosas aplicaciones en el campo de la medicina, farmacia, ingeniería biomédica, veterinaria y tratamiento de agua[41].

La composición del quitosano hace que sea un material muy versátil en su uso, uno de los usos más significativos del quitosano es el tratamiento de agua, ya que al ser un producto natural es degradable si llegase a dejar residuos durante el proceso de remoción[42].

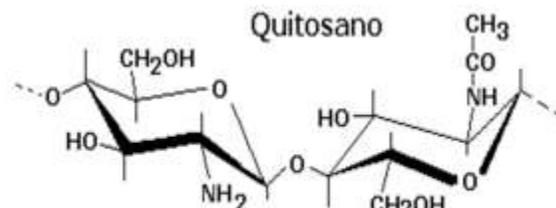


Figura 3 Estructura química del quitosano (Gisela Páez, 2014)

El quitosano es conocido por su gran capacidad de retener varias sustancias. La unión de metales pesados es gracias a sus grupos amino e hidróxido que sirven como sitios de quelación[41]. El bajo costo del quitosano lo hace viable para la remoción de  $\text{Cr}^{6+}$  en aguas residuales.

## JUSTIFICACIÓN

La contaminación de los recursos hídricos por metales pesados es actualmente un importante foco de preocupación debido a que entre las amenazas que estos presentan como su alta toxicidad aun en cantidades muy pequeñas. Se encuentran difícil su detección ocasionada por su solubilidad y ausencia de indicadores como olor o color (dependiendo de su concentración) por lo que se requiere un sistema eficiente de tratamiento que sea capaz de retener y remover estos metales del agua contaminada[2]. Por lo tanto, un proceso de adsorción, como el presente en este trabajo, presenta una ventaja a comparación de otros métodos ya que es más económico, amigable con el medio ambiente y no requiere otros agentes químicos.

## HIPÓTESIS

La incorporación de nanoestructuras en las fases de un sistema de filtro modular, mejorará la eficacia en la remoción de cromo total en los efluentes acuosos comparado con un sistema tradicional de filtración.

## OBJETIVOS

### 1. Objetivo general.

Desarrollar un filtro modular, empaquetado en etapas, con nanomateriales, capaz de remover cromo total de los efluentes acuosos y comparar las tasas de retención con sistemas tradicionales.

### 2. Objetivos particulares

- Desarrollar una metodología experimental para la obtención de nanopartículas de carbono mediante un tratamiento térmico, usando como materia prima lirio acuático (*Eichornia crassipes*).
- Aplicar una metodología experimental para la preparación de un compuesto de quitosano/magnetita/pectina, mediante un método de precipitación.
- Determinar las características morfológicas y de tamaño de las nanopartículas de carbono mediante la técnica de microscopía electrónica de transmisión
- Implementar las nanopartículas de carbono y el compuesto quitosano/magnetita/pectina a un filtro modular.
- Evaluar la capacidad de remoción del filtro sometiéndolo a un proceso de filtración de agua residual de curtiduría.

## METODOLOGÍA

### SÍNTESIS DEL MATERIAL

Se llevaron a cabo síntesis de materiales con el fin de compararlos y seleccionar el más adecuado para aplicarlo al filtro modular a desarrollar. A continuación, se describirá a detalle la síntesis de cada uno de los materiales y las características del material obtenido.

Todos los materiales son de marca SIGMA-ALDRICH. Para hacer uso de la cascara de plátano se llevó a cabo un proceso de purificación, secado y pulverización descrito más adelante.

## METODOLOGÍA

### 1. SÍNTESIS DE QUITOSANO-GMA

- **Materiales empleados:**
- Quitosano peso molecular medio
- Metacrilato de glicidilo (GMA)
- Hidróxido de potasio
- Hidróxido de sodio
- Ácido acético
- Agua destilada

La síntesis se llevó a cabo por medio de una solución de quitosano al 1% P/V en ácido acético 0.4 M en 200 mL. Se llevó a temperatura de 50°C con agitación constante. Se prepararon 2 soluciones de hidróxido de potasio y metacrilato de glicidilo, la primera se agregó 0.73 g en 10 ml de ácido acético, la segunda se agregó 3.71 ml a 10 ml de ácido acético. Se vierten lentamente a la solución de quitosano y se deja reaccionar por 1 hora.

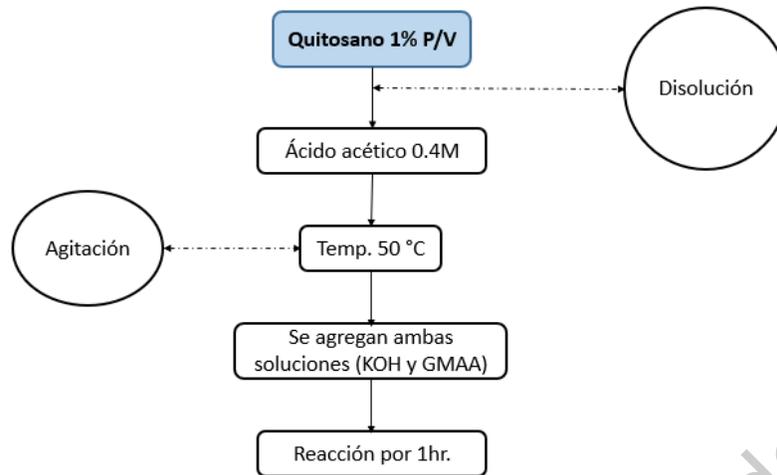


Figura 4.1 Diagrama de la metodología empleada para la síntesis de Quitosano GMA.

## 2. SÍNTESIS DE NANOPARTICULAS DE MAGNETITA

- **Materiales empleados:**
- Sulfato ferroso
- Cloruro férrico
- Hidróxido de amonio
- Agua destilada

La síntesis de las nanopartículas de magnetita se llevó a cabo por medio de una coprecipitación química a partir de las sales de cloruro férrico y sulfato ferroso usando hidróxido de amonio como agente reductor.

Para la síntesis se preparan dos soluciones con concentración de 0.5 M, una con cada una de las sales mencionadas antes, posteriormente se mezclan ambas soluciones y se pone en agitación magnética y atmosfera inerte a una temperatura de 70 °C por un tiempo de 40 min. Una vez transcurrido el tiempo se retira del calor y se agregan lentamente 20 mL de hidróxido de amonio concentrado y se deja en agitación por un tiempo de 20 minutos la cual puede ser por medio del imán de una parrilla de agitación o por medio de un baño sónico. Finalmente se realizan lavados alternados con agua tibia y etanol hasta neutralizar. Se deja secar a 50 °C por 48 horas y posteriormente se usa el mortero de Agatha para moler la magnetita antes de usar.

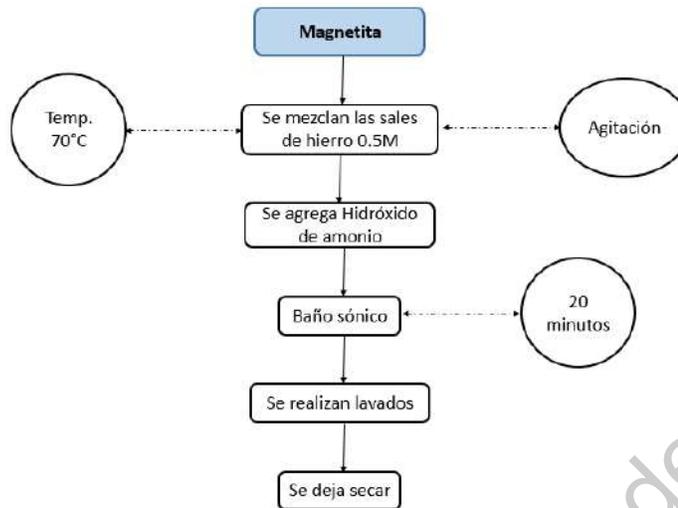


Figura 4.2 Diagrama de la metodología empleada para la síntesis de Magnetita.

### 3. PROCESO DE LA GENERACIÓN DE PECTINA

El tratamiento que lleva la cáscara de plátano es un secado y molido para obtener pequeñas partículas que se agregaran a las esferas de quitosano en el proceso de elaboración. Para ello es necesario lavar las cáscaras con el fin de eliminar la suciedad, posteriormente se trocea de modo que se permita una deshidratación más rápida, se deja el plátano en horno a 50 °C durante 2 días, una vez seco se muele en el mortero y se tamiza para eliminar las fibras y partículas demasiado grandes.

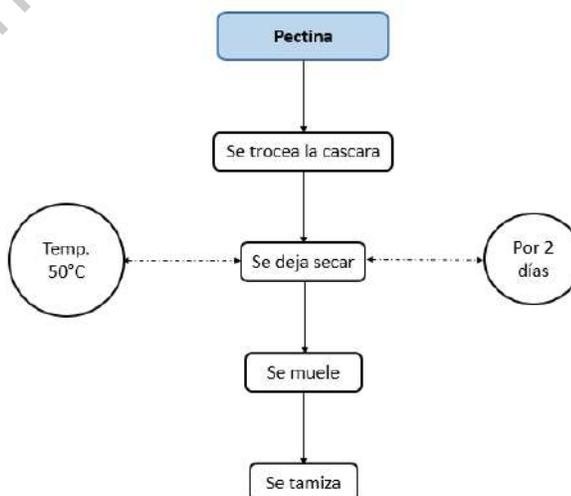


Figura 4.3 Diagrama de la metodología empleada para la síntesis de Pectina.

#### 4. SÍNTESIS DE ESFERAS DE QUITOSANO-MAGNETITA-PECTINA

Para llevar a cabo la síntesis de las esferas se disolvieron 0.1 gramos de magnetita en 10 mL de quitosano-GMA al 1%, por otro lado, en un vaso de precipitados se disuelve quitosano de peso molecular medio para generar 20 mL de una solución al 1%. Una vez disuelto el quitosano y la magnetita se vierten ambas soluciones en un vaso de precipitados y se mete en baño sónico durante 35 minutos de modo que las nanopartículas de magnetita queden perfectamente dispersas en la solución. En un cristizador se vierte hidróxido de sodio al 0.5 M y se espolvorean 0.1 g/cm<sup>2</sup> de la cáscara de plátano generando así una cama de la sustancia sobre el hidróxido, posteriormente, se gotea la solución de quitosano sobre esta cama para generar las esferas, se dejan reposar por 24 horas y posteriormente se lavan con agua destilada hasta neutralizar.

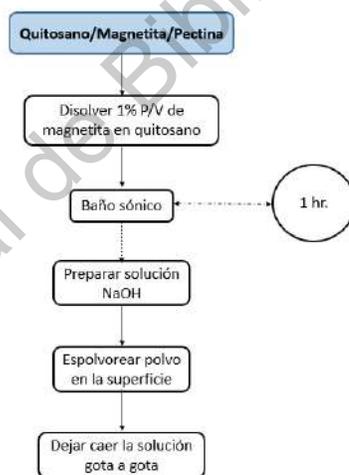


Figura 4.4 Diagrama de la metodología empleada para la síntesis de Quitosano GMA/Magnetita/Pectina.

#### 5. SÍNTESIS DE LAS NANOPARTÍCULAS DE CARBONO

Las nanopartículas de carbono se sintetizaron a partir de un tratamiento térmico a lirios acuáticos (*Echiornia Crassipes*). Estos fueron recolectados en la presa “La llave”, se lavaron para eliminar polvo, tierra, insectos y materia no deseada; se cortaron para que la deshidratación sea más rápida, se calentaron en

horno a 60°C por 2 días, se le realizó molienda y tamizado número 100 para obtener el tamaño deseado y eliminar fibras y partículas grandes, finalmente se le sometió a tratamiento térmico en una mufla a 300°C por 2 horas con una rampa de 2.5°C/min.

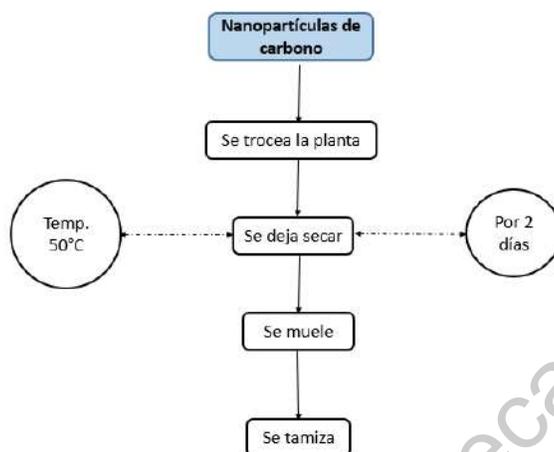


Figura 4.5 Diagrama de la metodología empleada para la síntesis de las nanopartículas de carbono

## 6. PREPARACIÓN DE MUESTRAS PARA ANÁLISIS UV-VIS

Se prepararon los diferentes materiales (Quitosano, Quitosano-Magnetita, Quitosano-Pectina, Quitosano-Magnetita-Pectina y nanopartículas de carbono). Se pesó 0.5 gramos de cada material y se puso en contacto con 0.03 L del agua residual a diferentes concentraciones (1 mg/L, 2, 3, 5, 8, 10, 13, 15) y en agitación constante durante media hora.

## 7. GENERACIÓN DEL FILTRO MODULAR

El filtro se generó utilizando un tubo de PVC transparente de 41.27 mm de diámetro interior y 50 cm de altura, al filtro se agregaron diferentes lechos empacados: Zeolita, Arena sílica, Compuesto quitosano-pectina-Magnetita, nanopartículas de carbono, Arena sílica, Zeolita y Carbón activado respectivamente en esa posición de arriba hacia abajo.



Figura 5 Filtro modular

## 8. FILTRACIÓN

Para llevar a cabo la filtración se hizo una disolución de la muestra madre de 648 mg/L para llevarla a 13 mg/L de cromo total.

Posteriormente se procedió a filtrar del agua residual con concentración inicial de 13 mg/L y dejarla fluir por aproximadamente 5 días hasta filtrar toda el agua.



Figura 6 proceso de filtración del agua residual.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 9. ANÁLISIS TEM

Para demostrar la presencia de las partículas de lirio calcinado se hizo una microscopía electrónica de transmisión (TEM) tanto a las partículas del tallo como a las de las hojas para ver si había diferencia en forma y tamaño; las imágenes tomadas se ven a continuación.

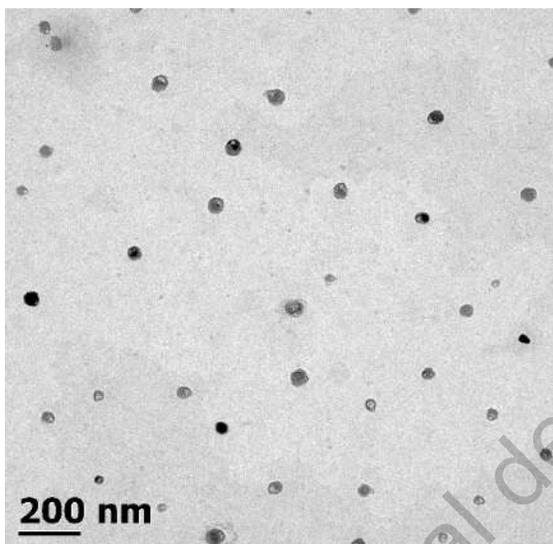


Figura 7.1 Microscopía TEM de las partículas del tallo

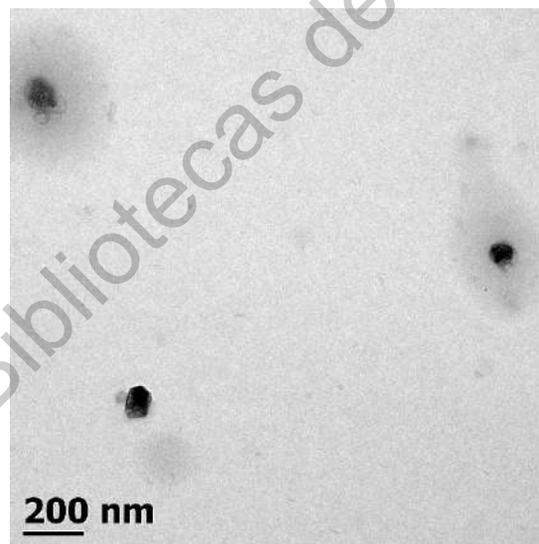


Figura 7.2 Microscopía TEM de las partículas de las hojas

Se puede observar que las partículas exhibidas en ambas imágenes son de forma esférica y aproximadamente del mismo tamaño, y que todas las partículas son bastante homogéneas, además de la buena dispersión que presentan, por lo que no hay diferencia tanto en tamaño como en forma de las partículas del tallo y de las hojas.

### 10. DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO

Posteriormente se procedió a realizar un histograma para observar la distribución de diámetro de la partícula y área.

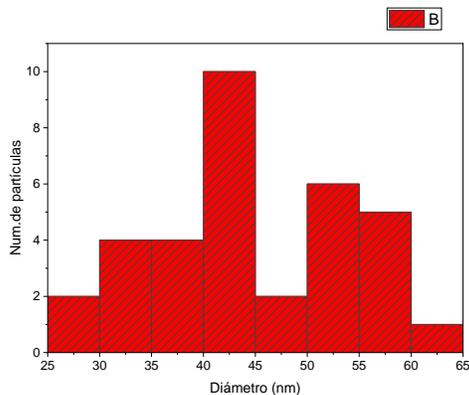


Figura 8.1 Histograma de distribución de diámetro de partícula

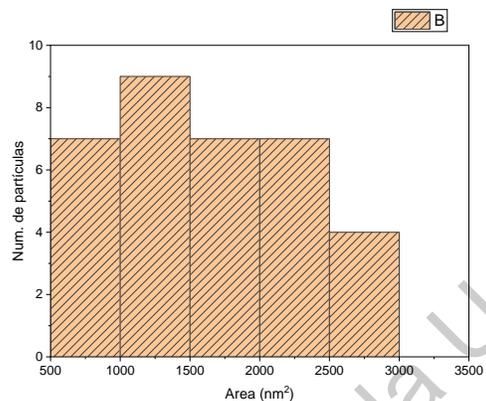


Figura 8.2 Histograma de distribución de área de partícula

Se puede observar que la distribución del tamaño de la partícula se encuentra entre los 30 y 60 nm, por lo que su rango de dispersión es relativamente bajo, es decir, tienden a ser de tamaño homogéneo.

## 11. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CROMO TOTAL MEDIANTE ANÁLISIS UV-VIS

A partir de las muestras preparadas se tomaron alícuotas para el análisis de Uv-vis, con fin de determinar la concentración de remoción de los diferentes materiales los cuales se muestran en las siguientes gráficas.

Todas las muestras fueron tomadas de acuerdo con el punto número 6 con las condiciones de pH 7 y temperatura de 24.5°C

Se observa en la figura 9.1 que a bajas concentraciones de cromo total el Quitosano es bastante efectivo alcanzando una remoción del 70% aproximadamente mientras que a partir de los 5 mg/L de cromo empieza a decrecer la retención del metal pesado por debajo del 50%, por lo que a altas concentración no tiene suficiente capacidad de retención en contraste con bajas concentraciones.

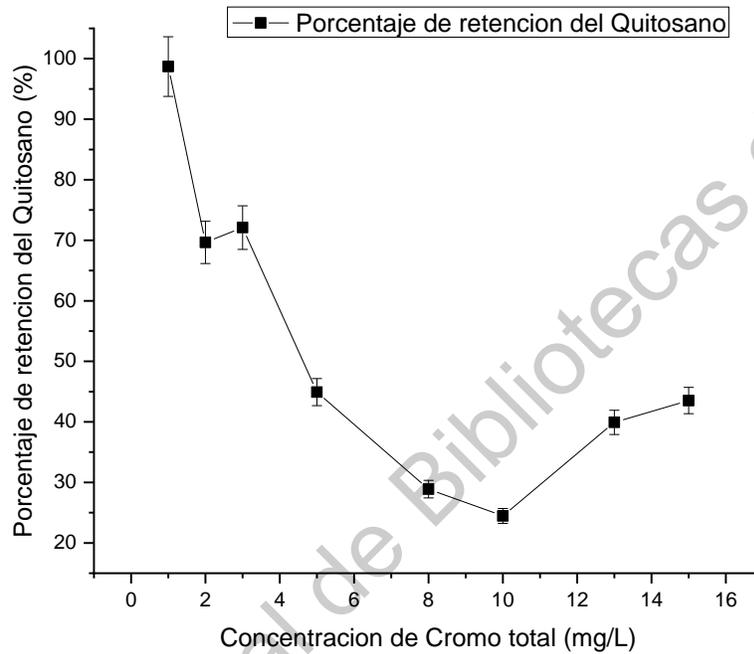


Figura 9.1 Concentración removida de Cr total usando Quitosano

En la figura 9.2 el quitosano con pectina muestra una mejor tendencia de remoción en comparación de solamente el quitosano, se observa que un promedio de 50% de remoción constante durante todas las concentraciones alcanzando hasta un 65% en la concentración más alta, dando una mejor estabilidad a la estructura del quitosano.

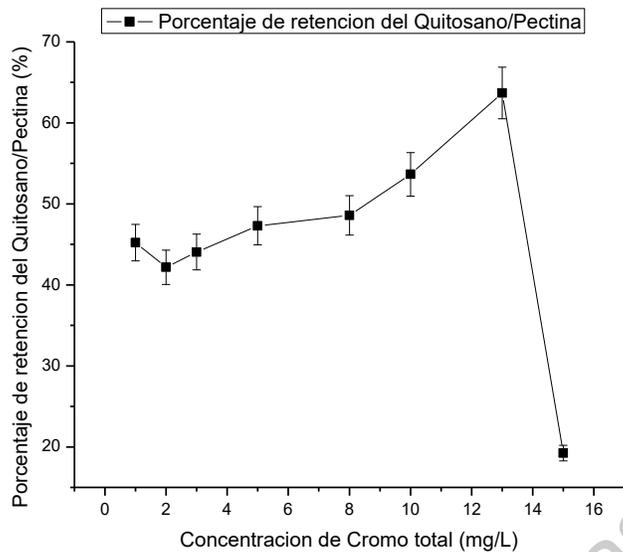


Figura 9.2 Concentración removida de Cr total usando Quitosano-Pectina

En la gráfica 9.3 se observa que a bajas concentraciones no presenta una buena retención de cromo total estando por debajo del 20%, mientras que a medida que aumenta la concentración de entre 5 mg/L hasta 10 mg/L alcanza un porcentaje de remoción de hasta 55%, pero cuando llega a concentraciones altas a partir de los 10 mg/L empieza a decrecer gradualmente.

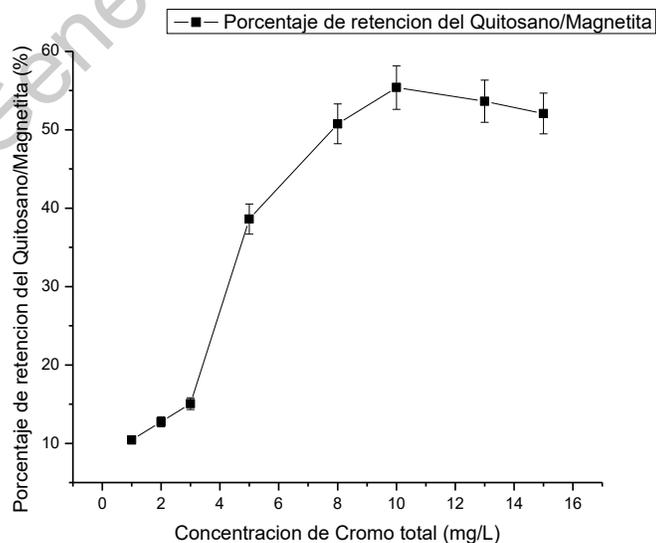


Figura 9.3 Concentración removida de Cr total usando Quitosano-Magnetita

En la gráfica 9.4 se observa un comportamiento caótico que se intercala desde 10% hasta 50% de retención con forme aumenta la concentración, esto se debe a que la magnetita en conjunto con la pectina tiene comportamiento competitivo en lugar de sinérgico, lo que reduce su efectividad más que aumentarla.

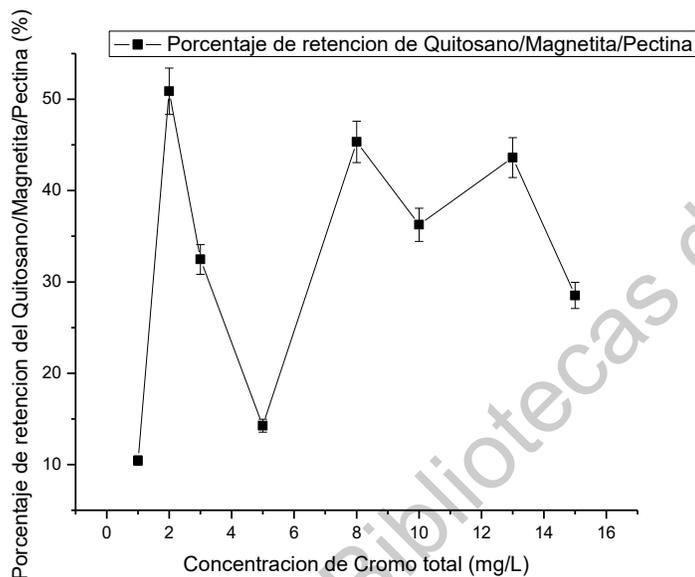


Figura 9.4 Concentración removida de Cr total usando Quitosano-Pectina-Magnetita

En la figura 9.5 se puede observar para las nanopartículas de carbono un comportamiento similar al quitosano ya que a concentraciones muy bajas presenta solo el 10% de retención y a medida que aumenta la concentración de cromo total también aumenta su porcentaje de retención alcanzando hasta 60% y se mantiene constante a concentraciones altas.

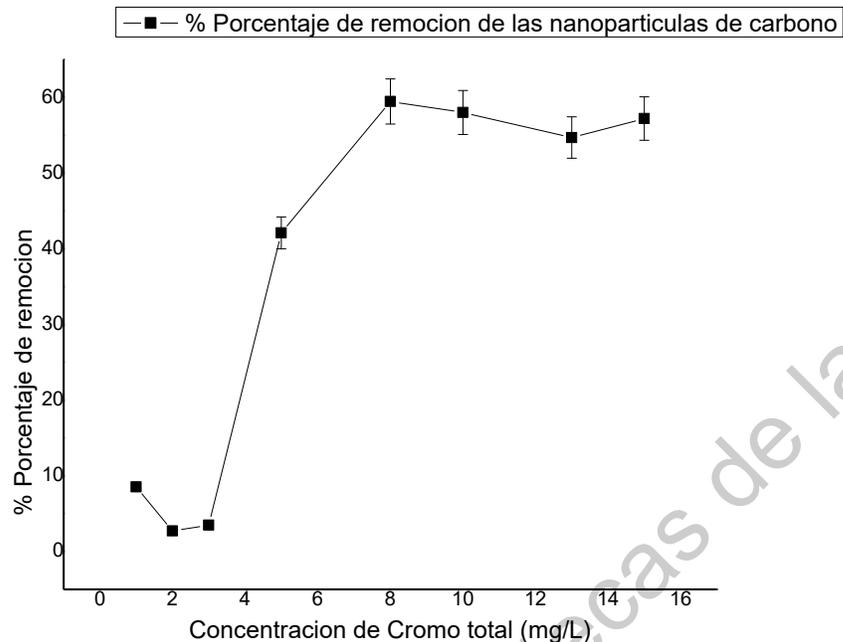


Figura 9.5 Concentración removida de Cr total usando Nanopartículas de carbono

El bajo porcentaje de retención en concentraciones muy bajas se puede deber a la poca concentración, ya que la probabilidad de interacción se reduce al haber muy pocos iones metálicos de cromo en un gran volumen de líquido; así mismo, a concentraciones altas puede haber una reducción del porcentaje de retención debido a la saturación del material con iones de cromo, por lo que su efectividad también es reducida. Adicionalmente, pueden existir otros factores que afectan el porcentaje de remoción como lo pueden ser pH, temperatura y otros componentes dentro de la misma agua problema como lo pueden ser cloruros que interfieran en la retención de iones o bien, otros metales que superen la saturación del compuesto mismo.

Tabla 2 Comparación de la remoción de los materiales puestos a prueba con respecto a la concentración de cromo total

<b>PORCENTAJE DE REMOCIÓN %</b>					
<b>Concentración (ppm)/Materiales</b>	<b>Quitosano</b>	<b>Quitosano-Pectina</b>	<b>Quitosano-Magnetita</b>	<b>Quitosano-Pectina-Magnetita</b>	<b>Nanopartículas de carbono</b>
<b>1.0</b>	99%	45%	10%	10%	9%
<b>2.0</b>	70%	42%	13%	51%	3%
<b>3.0</b>	72%	44%	15%	32%	3%
<b>5.0</b>	45%	47%	39%	14%	42%
<b>8.0</b>	29%	49%	51%	45%	59%
<b>10.0</b>	24%	54%	55%	36%	58%
<b>13.0</b>	40%	64%	54%	44%	55%
<b>15.0</b>	44%	19%	52%	29%	57%

En la tabla 2 se puede observar un resumen de la comparación de remoción de cada uno de los materiales puestos a prueba donde se puede observar la máxima remoción de cada material de color naranja.

## 12. ANÁLISIS POR ABSORCIÓN ATÓMICA DE CROMO TOTAL

Se puede observar la disminución de la concentración de cromo total del agua filtrada hasta 0.060 mg/L, es decir, por debajo de los límites máximos permisibles según la NOM-001-SEMARNAT-1996. Esto representa una retención del 99% en la concentración de cromo total.

Tabla 3 Comparación de la concentración inicial y final de la filtración del agua residual.

<b>Parámetros</b>	<b>Agua residual</b>	<b>Agua filtrada</b>
<b>PH</b>	7	7
<b>Temperatura</b>	24.5°C	24.5°C
<b>Concentración</b>	13.0 mg/L	0.060 mg/L

## CONCLUSIÓN

Analizando las nanopartículas, se logró tener nanopartículas de carbono estables tanto en forma como en composición, a través de la síntesis propuesta en este trabajo utilizando como fuente de carbono lirios acuáticos que son considerados plaga, dando así, un plus de sustentabilidad al usar este tipo de material.

Los nanocompuestos con base en quitosano resultaron ser estables y capaces de remover el cromo metálico en la solución acuosa, también se debe considerar que, en conjunto con las demás etapas del sistema de filtración, tienen una sinergia favorable a proceso logrado tener agua útil.

Respecto a la generación de partículas de magnetita para ser utilizadas en procesos de remoción de metales pesados utilizando quitosano como base, se logró obtener un material capaz de llevar a cabo esta tarea, sin más problemas se lograron remociones promedio del 70%; cuando se adicionaron las nanopartículas de carbono al filtro se lograron obtener remociones casi totales de las trazas que aún quedaban de cromo.

En la implementación del módulo compuesto por los nanomateriales en el sistema de filtración se logró tener una remoción mayor al 99.5% del cromo total del efluente utilizado, con esto se obtiene agua que es apta para su reuso en actividades industriales, así como para el riego de suelos, ya que los niveles de cromo están por debajo de los marcados por la norma NOM-001-SEMARNAT-1996, lo cual hace que el sistema construido en este trabajo sea viable y comparado a los sistemas tradicionales que ya se tienen sean competitivos tanto en rendimiento como en precio.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] CONAGUA, "Agua en el mundo 8," *Estadísticas del agua en México, Edición 2011*, pp. 1–126, 2011.
- [2] D. R. Beeson, J. M. Powell, and M. C. Lewis, "Effects of Pollution on Freshwater Organisms," *Water Environ. Res.*, vol. 71, no. 5, pp. 1092–1100, 2006, doi: 10.2175/106143099x133992.
- [3] E. Monitoring, A. Narsimha, H. Qian, and H. Wang, "Assessment of heavy metal ( HM ) contamination in agricultural soil lands in northern Telangana , India : an approach of spatial distribution and multivariate statistical analysis Assessment of heavy metal ( HM ) contamination in agricultural soil lands i," no. March, 2019, doi: 10.1007/s10661-019-7408-1.
- [4] M. del M. Areco, "Biosorción: un método alternativo para el tratamiento de la contaminación ambiental por metales pesados," *ResearchGate*, no. July 2017, p. 170, 2011, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/260080768%0D>.
- [5] INEGI, "AGUA," 2015, 2015. <https://www.inegi.org.mx/temas/agua/> (accessed Mar. 31, 2019).
- [6] S. Ambientales, E. Cr, G. Fabricaci, and E. Cr, "Efectos del Cromo Hexavalente Sobre la Salud," 2016.
- [7] E. L. C. D. E. Espinar, "Metales pesados tóxicos y salud pública:"
- [8] O. W. Street and W. E. Station, "FISH MERCURY DISTRIBUTION IN MASSACHUSETTS , USA LAKES," vol. 18, no. 7, pp. 1370–1379, 1999.
- [9] N. Abdelmeguid, K. Adham, and A. Abdel-moneim, "Histochemical and Biochemical Changes in Liver of Tilapia zillii G . as a Consequence of Water Pollution," no. 186188, 2002, doi: 10.3923/jbs.2002.224.229.
- [10] Yee-Batista, "Un 70% de las aguas residuales de Latinoamérica vuelven a los ríos sin ser tratadas," *Banco mundial*, 2013. .

- [11] A. Residuales, "RESIDUALES EN LAS EPS DEL PERÚ Y," pp. 1–80.
- [12] T. L. Beitinger and R. W. Mccauley, "Whole-Animal Physiological Processes for the Assessment of Stress in Fishes," *J. Great Lakes Res.*, vol. 16, no. 4, pp. 542–575, 1990, doi: 10.1016/S0380-1330(90)71445-1.
- [13] T. Nakano, M. Kameda, Y. Shoji, S. Hayashi, and T. Yamaguchi, "Redox Biology Effect of severe environmental thermal stress on redox state in salmon," *Redox Biol.*, vol. 2, pp. 772–776, 2014, doi: 10.1016/j.redox.2014.05.007.
- [14] D. I. Caviedes Rubio, R. A. Muñoz Calderón, A. Perdomo Gualtero, D. Rodríguez Acosta, and I. J. Sandoval Rojas, "Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados Comúnmente Presentes en Aguas Residuales Industriales. Una Revisión," *Ing. y Región*, vol. 13, no. 1, p. 73, 2017, doi: 10.25054/22161325.710.
- [15] SEMARNAT, "Norma oficial mexicana NOM-052-semarnat-2005," *Última reforma publicada DOF 23-06-2006*, p. Pp.40, 2005, [Online]. Available: [http://www.inb.unam.mx/stecnica/nom052\\_semarnat.pdf](http://www.inb.unam.mx/stecnica/nom052_semarnat.pdf).
- [16] S. de M. A. y R. N. SEMARNAT, "NOM-001-SEMARNAT-1996 Límites Máximos Permisibles De Contaminantes En Las Descargas De Aguas Residuales En Aguas Y Bienes Nacionales.," *Norma Of. Mex.*, p. 33, 1996, doi: 10.1109/ICRA.2011.5979960.Design.
- [17] F. Cristóbal, "Descripción Hidráulica de la Bateria de Filtros de Planta No. 1 de La Atarjea .," *Univ. Nac. Mayor San Marcos*, no. 1, p. 22, 2001.
- [18] C. P. Industries *et al.*, "Separation Process Principles 2nd - Solutions Manual," vol. 1, no. i.
- [19] H. S. Fogler, "Elements of Chemical Reaction hngineering."
- [20] V. Ríos and C. Ortega, "Predicción de las curvas de ruptura para la remoción de plomo (II) en disolución acuosa sobre carbón activado en una columna empacada Prediction of breakthrough curves for the removal of lead (II) in

aqueous solution onto activated carbon in a packed column," *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia N.º*, vol. 66, pp. 141–158, 2013.

- [21] D. E. Salvatierra, *Flora del bajo y de regiones adyacentes*. 2004.
- [22] P. J. Rzedowski, "flora del bajo y de regiones adyacentes," no. cuenta 20006, pp. 1–166, 2008.
- [23] M. Jaikumar, "Water hyacinth ( *Eichhornia crassipes* ) phytoremediation to treat aqua pollution in Velachery Lake," no. January 2012, 2016.
- [24] H. Ruiz Ramírez, "Extracción de metales pesados de aguas residuales de tratadora "Samsara Ecosystems" con lirios acuáticos," p. 55, 2011, [Online]. Available:  
<https://ipicyt.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1010/862/3/TMIPICYT A7V52011.pdf>.
- [25] A. Herráez, "Las asombrosas estructuras del carbono : fullerenos , grafenos y nanotubos," 2011.
- [26] N. Martin, "Fullerenos : moléculas de carbono con propiedades excepcionales," no. February, 2017.
- [27] A. Nimibofa, E. A. Newton, A. Y. Cyprain, and W. Donbebe, "Fullerenes : Synthesis and Applications Fullerenes : Synthesis and Applications," no. June, 2018, doi: 10.5539/jmsr.v7n3p22.
- [28] R. Article, "Fullerenes : An Introduction and Overview of Their Biological Properties," pp. 13–19, 2006.
- [29] R. Caillard *et al.*, "Fullerenes from aromatic precursors by," vol. 454, no. August, 2008, doi: 10.1038/nature07193.
- [30] E. Engineering, P. Hall, D. Drive, D. Hall, and W. C. Drive, "C 60 fullerenes from combustion of common fuels."
- [31] S. Chae, E. M. Hotze, and M. R. Wiesner, *Chapter 21. Possible Applications of Fullerene Nanomaterials in Water Treatment and Reuse*, Second Edi.

Elsevier Inc., 2014.

- [32] J. Chwastowska, W. Skwara, M. Sadowska-Bratek, J. Dudek, M. Dąbrowska, and L. Pszonicki, "Fullerene As Sorbent for Separation and Determination of Toxic Elements By Gf Aas," p. 40103923, 2009, [Online]. Available: [http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/40/103/40103923.pdf](http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/40/103/40103923.pdf).
- [33] S. Engineering, H. Hom, H. Kong, and H. Kong, "A Novel Magnetite-Immobilized Cell Process for Heavy Metal Removal," vol. 84, no. 1, 2000.
- [34] V. E. Noval and C. O. Puentes, "Magnetita (  $Fe_3O_4$  ): Una estructura inorgánica con múltiples aplicaciones en catálisis heterogénea Resumen Magnetite (  $Fe_3O_4$  ): An inorganic structure with many applications for heterogeneous catalysis Abstract Magnetita (  $Fe_3O_4$  ): Uma estrutura ."
- [35] C. Yang, J. Wu, and Y. Hou, "Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanostructures: Synthesis, growth mechanism, properties and applications," *Chem. Commun. (Camb)*., vol. 47, pp. 5130–5141, Mar. 2011, doi: 10.1039/c0cc05862a.
- [36] M. Properties, "x : x,, ,," vol. 1, 1957.
- [37] M. S. A. Darwish, H. Kim, H. Lee, C. Ryu, J. Y. Lee, and J. Yoon, "Synthesis of Magnetic Ferrite Nanoparticles with High Hyperthermia Performance via a Controlled Co-Precipitation Method."
- [38] E. A. Campos *et al.*, "Synthesis , Characterization and Applications of Iron Oxide Nanoparticles – a Short Review," vol. 7, pp. 267–276, 2015, doi: 10.5028/jatm.v7i3.471.
- [39] L. F. Alzate and M. E. Valencia, "EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE QUITOSANO FÚNGICO EXPERIMENTAL Y COMERCIAL , COMO POTENCIAL BIOMATERIAL," vol. 16, no. 2, pp. 112–124, 2015.
- [40] E. Elizalde, D. G. Zarate, and L. Medina-torres, "Journal of Biomaterials Science , Synthesis and characterization of a hybrid ( chitosan-g-glycidyl methacrylate )– xanthan hydrogel," no. August, 2013, doi:

10.1080/09205063.2013.763526.

[41] F. Kopeck, “[ Properties of chitosan and sorption of copper ions from a copper sulfate solution on chitosan ] FROM SOLUTIONS OF COPPER SULPHATE ,” no. September, 2020.

[42] E. F. Lessa, M. L. Nunes, and A. R. Fajardo, “SC,” *Carbohydr. Polym.*, 2018, doi: 10.1016/j.carbpol.2018.02.018.

Dirección General de Bibliotecas de la UAQ

## APÉNDICE

### 1. Espectroscopía Uv-vis

La espectroscopia UV-Visible es una de las técnicas más ampliamente y más frecuentemente empleadas en el análisis químico.

Para que una sustancia sea activa en el visible debe ser colorida: el que una sustancia tenga color, es debido a que absorbe ciertas frecuencias o longitudes de onda del espectro visible y transmite otras más. Por ejemplo: una solución es amarilla debido a que dentro de la región visible absorbe radiación en el rango de 435 a 480 nm. En este rango de longitud de onda se encuentra el color azul del visible, por lo que este compuesto absorbe el color azul y transmite los colores complementarios que dan origen al color amarillo de la solución mencionada

El espectro Visible y Ultravioleta tienen amplia aplicación y son técnicas que se emplean continuamente. El rango visible se considera de los 380 a los 750 nm mientras que el rango del Ultravioleta cercano o del Cuarzo es de 190 a 380 nm.

La base de la espectroscopia UV-Vis consiste en medir la intensidad del color (o de la radiación absorbida en UV) a una longitud de onda específica comparándola con otras soluciones de concentración conocida (soluciones estándar) que contengan la misma especie absorbente. Para tener esta relación se emplea la Ley de Beer, que establece que, para una misma especie absorbente en una celda de espesor constante, la absorbancia es directamente proporcional a la concentración

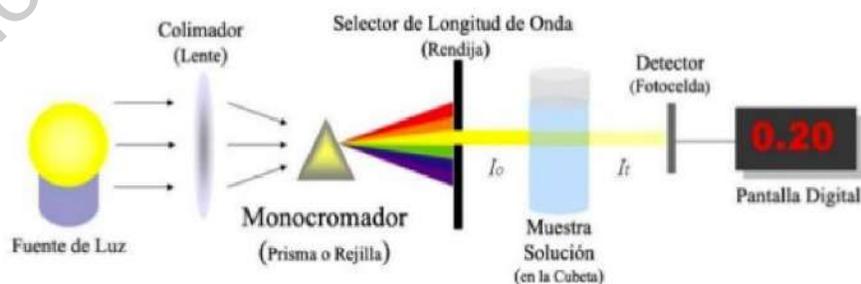


Figura 10 Diagrama de espectroscopía Uv-vis.

## 2. Microscopía electrónica de transmisión

El microscopio electrónico de transmisión (TEM) es un instrumento que aprovecha los fenómenos físico-atómicos que se producen cuando un haz de electrones suficientemente acelerado colisiona con una muestra delgada convenientemente preparada. Cuando los electrones colisionan con la muestra, en función de su grosor y del tipo de átomos que la forman, parte de ellos son dispersados selectivamente, es decir, hay una gradación entre los electrones que la atraviesan directamente y los que son totalmente desviados. Todos ellos son conducidos y modulados por unas lentes para formar una imagen final sobre una CCD que puede tener miles de aumentos con una definición inalcanzable para cualquier otro instrumento. La información que se obtiene es una imagen con distintas intensidades de gris que se corresponden al grado de dispersión de los electrones incidentes.

La imagen del TEM tal como se ha descrito ofrece información sobre la estructura de la muestra, tanto si ésta es amorfa o cristalina.

Además, si la muestra es cristalina, es decir, hay una estructura de planos periódica, puede ocurrir que varias familias de esos planos cumplan la condición de Bragg y difracten de forma coherente la onda electrónica incidente. Esto da lugar a un diagrama de difracción, que es una imagen de distintos puntos ordenados respecto a un punto central (electrones transmitidos no desviados) que nos aportan información sobre la orientación y estructura del/los cristales presentes.

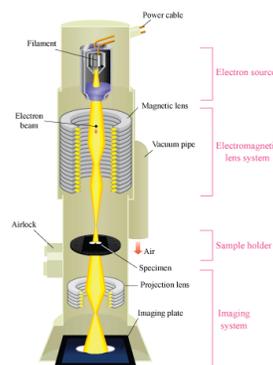


Figura 11 Diagrama microscopía electrónica de transmisión

### 3. Informe de resultados obtenidos del centro de servicios químicos



**CENTRO DE SERVICIOS QUÍMICOS**  
 "ANÁLISIS Y ASESORÍAS QUÍMICAS EN GENERAL"  
 PLAZA CARMELITAS No 103 FRACC. PLAZAS DEL SOL C.P. 76070  
 QUERÉTARO, QRO TEL. 223-34-35 / 213-43-45  
 E-mail: csq5@hotmail.com, vamarqce@hotmail.com

#### INFORME DE RESULTADOS X1012

CLIENTE:	ADRIAN FERRUCIO GARCIA MORALES
DIRECCION:	CALLE MIXES #310
COLONIA:	CERRITO COLORADO
ENTIDAD:	Querétaro, QRO
SOLICITANTE:	ADRIAN FERRUCIO GARCIA MORALES
DESCRIPCION DE LA MUESTRA:	AGUA RESIDUAL
IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE:	NA
LUGAR DE MUESTREO:	CLIENTE
FECHA DE MUESTREO:	NA
TIPO Y HORA DE MUESTREO:	NA
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO:	NA
COLECTADA POR:	CLIENTE
CADENA DE CUSTODIA No.	21-0837
FECHA DE RECEPCION:	2021, 04-08
PERIODO DE ANALISIS:	2021, 04-08 AL 2021, 04-15
FECHA EMISION DE REPORTE:	2021, 04-22

DETERMINACION	METODOLOGIA	RESULTADO	MAX. PERM.	UNIDAD DE MEDIDA
CROMO	NMX-AA-051-SCFI-2016	< 0.060	NA	mg/L

Máximo permitido de acuerdo a la norma **NO APLICA**

Título: NA

  
 Vo. Bo. Q. en A. Ma. Guadalupe Flores Montiel  
 GERENTE DE CALIDAD  
 Ced. Profesional No. 2048850

**OBSERVACIONES:**

1. Los datos reportados se refieren exclusivamente a la muestra descrita.
  2. Se emite el original, quedando otra copia del mismo en Centro de Servicios Químicos.
  3. Favor de enviar sus comentarios sobre el servicio efectuado, contenido y aclaración de resultados emitidos a los correos: serviciosquimicosqro@gmail.com
  4. El signo "<" indica que el resultado es menor al límite práctico de cuantificación (LPC).
- Laboratorio de Ensayo acreditado por emq, a.c. con acreditación No. AG-160-27/12 con vigencia a partir del 20 de noviembre del 2020  
 \*\*\*\*\* FIN DE REPORTE \*\*\*\*\*

Formato CSQ-010-01 REV. 03

Página 1 de 1

ESTE INFORME NO PODRA SER REPRODUCIDO PARCIALMENTE  
 SIN LA AUTORIZACIÓN PREVIA DEL LABORATORIO



Figura 12 Análisis por laboratorio certificado de la concentración final del agua post-filtración



## CENTRO DE SERVICIOS QUÍMICOS

"ANÁLISIS Y ASESORÍAS QUÍMICAS EN GENERAL"

PLAZA CARMELITAS No. 133 FRAACC. PLAZAS DEL SOL C.P. 76070

QUERÉTARO, QRO. TEL. 225-34-35 / 213-45-45

E-mail: csc5@hotmail.com , viana@csa@hotmail.com

### INFORME DE RESULTADOS

V3515

CLIENTE:	UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERETARO
DIRECCION:	CERRO DE LAS CAMPANAS S/N
COLONIA:	LAS CAMPANAS
ENTIDAD:	Querétaro, QRO
SOLICITANTE:	DR. JOSE ALBERTO RODRIGUEZ MORALES

DESCRIPCION DE LA MUESTRA:	AGUA RESIDUAL
IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE:	NA
LUGAR DE MUESTREO:	CLIENTE
FECHA DE MUESTREO:	NA
TIPO Y HORA DE MUESTREO:	NA
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO:	NA
COLECTADA POR:	CLIENTE
CADENA DE CUSTODIA No.	19-2913
FECHA DE RECEPCION:	2019, 10-30
PERIODO DE ANALISIS:	2019, 10-30 AL 2019, 11-13
FECHA EMISION DE REPORTE:	2019, 11-14

DETERMINACION	METODOLOGIA	RESULTADO	MAX. PERM.	UNIDAD DE MEDIDA
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	NMX-AA-028-SCFI-2001	1,732.00	NA	mg/L
CROMO	NMX-AA-051-SCFI-2016	647.875	NA	mg/L
CLORUROS	NMX-AA-073-SCFI-2001	4,310.2	NA	mg/L
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	NMX-AA-0303-SCFI-2011	3,328.5	NA	mg/L

Máximo permitido de acuerdo a la norma: NO APLICA

Título: NA

Vo. Bo. Q. en A. Ma. Guadalupe Flores Montiel  
GERENTE DE CALIDAD  
Ced. Profesional No. 2048850

#### OBSERVACIONES:

1. Los datos reportados se refieren exclusivamente a la muestra descrita.
  2. Se emite el original, quedando otra copia del mismo en Centro de Servicios Químicos.
  3. Favor de enviar sus comentarios sobre el servicio efectuado, contenido y aclaración de resultados emitidos a los correos: serviciosquimicosqro@gmail.com
  4. El signo "<" indica que el resultado es menor al límite práctico de cuantificación (LPC).
- Laboratorio de Ensayo acreditado por ema, a.c. con acreditación No. AG-160-27/12  
\*\*\*\*\* FIN DE REPORTE \*\*\*\*\*

Figura 13 Análisis por laboratorio certificado de la concentración inicial del agua antes de la filtración