

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO
NARRO**

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERA AGRONÓMICAS



**Remediación de agua contaminada con cadmio por la adsorción de
carbón activado.**

POR:

NANCY SARAHÍ HERRERA PÉREZ

TESÍS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO
DE:**

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES.

TORREÓN, COAHUILA.

DICIEMBRE 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA

**Remediación de agua contaminada con cadmio por la adsorción de carbón
activado.**

Por:

NANCY SARAHÍ HERRERA PÉREZ

TESIS

**Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito
parcial para obtener el título de:**

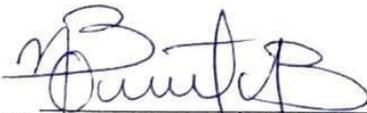
INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

Aprobada por:

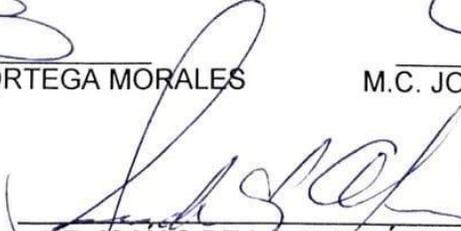

M.A.G.A. JOEL LIMONES AVITIA
Presidente


DR. ALFREDO OGAZ

Vocal


DRA. NATALIA BELÉN ORTEGA MORALES
Vocal


M.C. JOSÉ LUIS RÍOS GONZÁLEZ
Vocal Suplente


DR. ISAIÁS DE LA CRUZ ÁLVAREZ
Coordinador Interino de la División de Carreras Agronómicas

Universidad Autónoma Agraria
ANTONIO NARRO

Torreón, Coahuila, México
DICIEMBRE 2021


COORDINACIÓN DE LA DIVISIÓN
DE CARRERAS AGRONÓMICAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA

O. HERRERA
DIVISIÓN
BIOLOGÍA

Remediación de agua contaminada con cadmio por la adsorción de carbón
activado.

Por:

NANCY SARAHÍ HERRERA PÉREZ

TESIS

O. HERRERA
DIVISIÓN
BIOLOGÍA

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

Aprobada por el Comité de Asesoría:

M.A.G.A. JOEL LIMONES AVITIA
Asesor Principal

DR. ALFREDO OGAZ
Coasesor

DRA. NATALIA BELÉN ORTEGA MORALES
Coasesor

M.C. JOSÉ LUIS RÍOS GONZÁLEZ
Coasesor

DR. ISAIÁS DE LA CRUZ ÁLVAREZ
Coordinador Interino de la División de Carreras Agronómicas

Universidad Autónoma Agraria
ANTONIO NARRO



COORDINACIÓN DE LA DIVISIÓN
DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Torreón, Coahuila, México
DICIEMBRE 2021

ORA

HERRERA

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Fernando Herrera y Nancy Pérez por su apoyo y esfuerzo durante toda mi etapa como estudiante, gracias infinitas.

A mis asesores por brindarme la confianza, las herramientas y los medios para sacar adelante este proyecto.

A toda mi familia, a Rubén Espino y Ana Herrera por brindarme sus herramientas y ser de gran ayuda durante toda mi formación profesional, pero sobre todo por motivarme a seguir adelante hasta culminar esta etapa.

A todos mis amigos y personas que me motivaron a culminar esta etapa; Diana Félix que durante años me ha motivado para sacar adelante cualquier cosa. A todos los amigos con los que forme un lazo durante mi recorrido por la universidad, a Ricardo Zenteno, Isabel Medina y Jared Favela por siempre brindarme ayuda cuando la necesitaba y sobre todo por la paciencia brindada.

A todos los profesores que me brindaron una mano cuando así lo necesité y con los que conviví diariamente durante mi formación profesional.

A mi alma mater por abrirme las puertas de la institución y permitirme realizar mi formación profesional.

DEDICATORIAS

A mis padres, Fernando Herrera Espino y Nancy Pérez Espinoza por todo su esfuerzo durante tantos años, esto es por ustedes.

A mi hermana, Montserrat Herrera Pérez a quien quiero mucho.

A mis amigos, Diana Félix, Alejandro Ontiveros y Paul Segura por siempre motivarme a dar más.

A toda mi familia y las personas que confiaron en mí, por sus sabios consejos y por todo el apoyo.

RESUMEN

El agua es un recurso fundamental para la vida. Es de vital importancia para el desarrollo del ser humano, los animales y para el resto de los seres vivos.

Conforme avanzan las tecnologías, la industria y el incremento en la población ha ido en aumento, existe mayor demanda de este recurso hídrico, generando así escasez y contaminación a grandes rasgos que ponen en peligro la integridad de este recurso y de quien la consume. Debido a que en algunos casos se vierten sustancias tóxicas para el ser humano que la convierten en un recurso inoperante.

Y aunque actualmente existen herramientas y tecnologías para el tratamiento en algunos casos los tratamientos no son costeables o viables para emplearse adecuadamente.

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo con el objetivo de comprobar que una de las herramientas en el tratamiento de aguas puede tener otro uso aparte del ya conocido, para que así este pueda ser implementado por quien lo necesite y contribuya a la disminución de la huella hídrica.

Palabras clave: Aguas residuales, Tratamiento de aguas, Metales Pesados, Carbón activado.

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	I
DEDICATORIAS.....	II
RESUMEN	III
I. INTRODUCCIÓN	- 1 -
II. OBJETIVO.....	- 3 -
III. HIPOTESIS.....	- 3 -
IV. REVISIÓN DE LA LITERATURA	- 4 -
4.1 Origen del agua	- 4 -
4.1.1 Propiedades del agua.....	- 4 -
4.1.2 Calidad del agua potable	- 6 -
4.1.3 Aguas residuales	- 7 -
4.1.4 Aguas pluviales.....	- 8 -
4.2 Problemática del agua	- 8 -
4.2.1 Problemática del agua por actividad metalúrgica	- 9 -
4.2.2 Normas oficiales mexicanas vigentes en el sector hídrico	- 10 -
- 4.3 Actividad industrial.....	- 12 -
4.3.1 Industria siderurgia	- 13 -
4.3.2 Metales pesados.....	- 14 -
4.4 Características del cadmio	- 17 -
4.4.1 Propiedades del cadmio	- 17 -
4.5 Tecnologías aplicadas en el tratamiento de aguas.....	- 18 -
4.5.1 Adsorción en el tratamiento de aguas	- 19 -
4.5.2 Bioadsorción.....	- 20 -
4.6 Tratamientos de potabilización del agua	- 20 -
4.6.1 Precipitación química	- 21 -
4.6.2 Filtración por membrana.....	- 21 -
4.6.3 Osmosis inversa	- 22 -
4.6.4 Electrodiálisis.....	- 23 -
4.6.5 Fitorremediación.....	- 24 -
4.6.6 Nanotubos de carbono	- 25 -
4.7 Carbón activado	- 26 -

4.7.1	Carbón bituminoso	- 26 -
V.	MATERIALES Y MÉTODOS	- 27 -
	Especificaciones*	- 28 -
	Propiedades típicas*	- 28 -
	Características.....	- 29 -
	Tamaños disponibles.....	- 29 -
	Aprobaciones y certificaciones	- 29 -
	Envasado estándar.....	- 29 -
	Capacidad productiva	- 30 -
	Preparación de muestras.....	- 30 -
	Filtrado de muestras	- 31 -
	Método de laboratorio.....	- 31 -
VI.	RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....	- 32 -
VII.	CITAS BIBLIOGRÁFICAS.	- 33 -

INDICE DE TABLAS

Principales actividades industriales generadoras de metales pesados -----	16-
Características físico-químicas del cadmio -----	18-
Especificaciones del carbón activado -----	28-
Propiedades del carbón activado-----	28-
Tamaño de partícula del carbón activado -----	28-
Clasificación de muestras preparadas -----	30-
Comparativa de resultados -----	31-

I. INTRODUCCIÓN

Los metales pesados se definen generalmente como los metales con densidades relativamente altas, pesos atómicos o números atómicos. Los metales pesados difieren de otros metales debido al efecto que producen cuando se unen al organismo vivo (Tjahjono y Suwarno, 2018). Lo esencial de metales pesados es que tiene funciones bioquímicas y fisiológicas en plantas y animales mediante la participación en la reacción de reducción, siendo una parte integral de las enzimas (Adebayo *et al.*).

En los últimos años, la contaminación del medio ambiente acuático por metales pesados se ha convertido en un problema global. Los metales pesados entran en el ambiente acuático ya sea por fuentes naturales o antropogénicas (Pariza *et al.*, 2019).

Destacando que las aguas residuales producidas a partir de industria, plantas mineras, aleaciones, fertilizantes, baterías y la fabricación de plásticos fueron considerados como las principales fuentes de contaminación por cadmio (Ali *et al.*, 2019a).

El método de adsorción es un método prometedor para el tratamiento de iones de metales pesados que contienen aguas residuales, el uso de materiales adsorbentes, como minerales de arcilla, carbón activado, tamices moleculares, no solo puede reducir la concentración de iones de metales pesados en el agua, sino también será beneficioso para la recuperación de metales preciosos, especialmente adecuado para el tratamiento de aguas residuales de baja concentración. La montmorillonita se ha utilizado ampliamente debido a su buen efecto de adsorción (Ning *et al.*, 2017). En general, un adsorbente que se pueda aplicar para la eliminación de iones de metales pesados en agua corriente debe adsorber rápidamente los iones de metales pesados. Por

lo tanto, desarrollar un adsorbente eficiente con un tiempo de equilibrio corto sería interesante (Zhang *et al.*, 2017).

Así mismo se ha encontrado que las bacterias que presentan propiedades de tolerancia/resistencia frente a metales tienen la capacidad inherente de crecer en altas concentraciones de esos metales en ambientes contaminados (Biswas *et al.*, 2017). Como también los resultados de muchos estudios reportados subrayaron que los metales pesados en los peces que habitan en aguas contaminadas pueden ser considerablemente acumulados por estos organismos sin causar mortalidad (Genc y Yilmaz, 2018).

El reciente crecimiento mundial de la actividad industrial ha dado lugar a la descarga de grandes cantidades de contaminantes en el medio acuático, como pesticidas, metales pesados, fenoles, colorantes y detergentes. La contaminación del agua por metales se está convirtiendo en una de las cuestiones ecológicas más dañinas que requieren gran parte del interés científico (Ouafi *et al.*).

Se ha denotado que el consumo por los seres humanos ha dado lugar a múltiples problemas de salud. Puede dañar el sistema reproductivo, el sistema nervioso central y los sistemas orgánicos y cerebrales. Además, el riesgo de toxicidad de este metal aumenta cuando coexiste con diversos contaminantes orgánicos (como el BPA) en el medio ambiente, ya que pueden formar complejos entre sí y, en consecuencia, mejorar los efectos tóxicos para los organismos (Liu *et al.*, 2018). Por esa razón el monitoreo de una fuente de agua potable antes y después del tratamiento del agua es crucial, no solo para establecer una base de datos precisa con la cual minimizar los riesgos para la salud sino también para proporcionar conocimiento sobre las características físicas, químicas y microbianas de los parámetros de calidad del agua. El crecimiento demográfico y económico inevitablemente conducen a la contaminación ambiental, causada por la descarga de aguas residuales urbanas e

industriales y desechos agrícolas, lo que a su vez limita el uso de recursos hídricos cada vez más escasos (Poshtegal y Mirbagheri, 2019).

II. OBJETIVO

Determinar la cantidad de eliminación de cadmio (Cd), presente en agua contaminada por este elemento, mediante la adsorción por carbón activado.

III. HIPOTESIS

El carbón activado es capaz de adsorber las moléculas de cadmio del agua.

IV. REVISIÓN DE LA LITERATURA

4.1 Origen del agua

Las tres terceras partes de nuestro planeta están formadas por agua; sin embargo, no toda esta agua puede ser para el aprovechamiento del ser humano, esto es debido a que el 97% del agua presente en el planeta se encuentra en los mares y por su alta composición salina no es apta para nuestro consumo y para gran variedad de especies animales y de plantas que se encuentran en la superficie de la tierra. Adicionalmente se encuentra un 2% del agua dulce en acuíferos subterráneos y en los glaciares, conformándose en reservorios de vida y del líquido como tal, a los cuales no podemos tener acceso directamente para el aprovechamiento en los diferentes procesos ya sea biológicos o de carácter antrópico por parte del hombre.

El agua es uno de los compuestos más abundantes en la naturaleza ya que cubre aproximadamente tres cuartas partes de la superficie total de la tierra, pero existen diferentes factores que limita la cantidad de agua disponible para el consumo humano.

En realidad, solo tenemos disponible para consumo humano y el de todas las especies animales y plantas terrestres el 1% del agua del planeta, por lo tanto, se debería racionalizar y hacer una gestión integral de este recurso (Salamanca, 2016).

4.1.1 Propiedades del agua

El agua cubre más del 70 % de la superficie del planeta; se le encuentra en océanos, lagos, ríos; en el aire, en el suelo. Es la fuente y el sustento de la vida, contribuye a regular el clima del mundo y con su fuerza formidable modela la tierra. Posee propiedades únicas que la hacen esencial para la vida. Es un material flexible: un solvente extraordinario, un reactivo ideal en muchos procesos metabólicos; tiene una gran capacidad calorífica y tiene la propiedad de expandirse cuando se

congela. Con su movimiento puede modelar el paisaje y afectar el clima (Cirelli, 2012).

El agua es un recurso renovable pero finito.

- Existe en las tres fases; sólida, líquida y gaseosa dentro de los límites de temperatura y presión naturales en la tierra.
- Tiene una gran capacidad calorífica. Puede absorber una cantidad de calor importante sin aumentar demasiado su temperatura. Un gramo de agua absorbe una caloría para elevar su temperatura en 1° C. Debido a esta elevada capacidad calórica, se necesita una gran cantidad de calor para cambiar apreciablemente la temperatura de una masa de agua y, por lo tanto, un cuerpo de agua puede tener un efecto estabilizante sobre la temperatura de las regiones geográficas cercanas. Esta propiedad impide grandes cambios súbitos en la temperatura de los cuerpos de agua, protegiendo a los organismos acuáticos del shock que supondrían abruptas variaciones de temperatura. El contenido del agua de las células es aproximadamente el 80% y esta propiedad del agua protege a las moléculas que están disueltas o contenidas por ella.

Tiene la propiedad de expandirse cuando se congela (en realidad, la expansión comienza a los 4° C). Esto permite que el hielo flote. Si eso no sucediera y quedara debajo del agua no podría fundirse tan fácilmente.

- Alta constante dieléctrica: permite la disolución de sustancias iónicas y favorece su ionización.
- Alto calor latente de fusión: estabiliza la temperatura de los cuerpos de agua en el punto de congelación. Evita efectos de las bajas temperaturas sobre el ecosistema de los cuerpos de agua.
- Alto calor de vaporización: influye en la transferencia del calor del vapor de los cuerpos de agua y el vapor atmosférico.
- Alta tensión superficial. Esto significa que el agua es pegajosa y elástica y tiende a unirse en gotas en lugar de separarse en una capa delgada y fina. La tensión de la superficie es la responsable de la acción capilar, de

que el agua pueda moverse (y disolver sustancias) a través de las raíces de plantas y a través de los pequeños vasos sanguíneos en nuestro cuerpo (Cirelli, 2012).

4.1.2 Calidad del agua potable

Los usos del agua tan diversos hacen que este líquido requiera estándares de calidad cada vez más altos, así como una cantidad suficiente que asegure el correcto desarrollo de las funciones sustantivas del agua. A nivel mundial, el agua se utiliza principalmente en actividades agrícolas, siguiendo los usos industriales, urbanos, y de esparcimiento, entre otros y se presentan diferencias de uso en función del desarrollo económico del país, el transporte de mercancías se realiza principalmente por vía marítima a nivel mundial, y las principales economías dependen del agua para su funcionamiento integral.

La calidad del agua que no es una característica absoluta, sino que es más un atributo que se define socialmente en función del uso que se le piense dar al líquido; cada uso requiere un determinado estándar de calidad. Esta es afectada por diversos factores como los usos del suelo, la producción industrial y agrícola, el tratamiento que se le da antes de ser vertida nuevamente a los cuerpos de agua, y la cantidad misma en ríos y lagos, ya que de ésta depende su capacidad de purificación.

El agua potable no debe ocasionar ningún riesgo para la salud cuando se consuma durante toda la vida, teniendo en cuenta también sus usos domésticos habituales, incluida la higiene personal. De manera tradicional, el agua no debe presentar sabores u olores desagradables para los consumidores, los cuales evalúan esta por los sentidos. Actualmente bacterias, compuestos químicos y físicos pueden afectar su

aspecto, olor y sabor, pudiendo el consumidor rechazarla en base a estos criterios.

En México, los lineamientos de la calidad del agua para su uso como fuente de abastecimiento para potabilización están descrito en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89, con base en los cuales la autoridad competente podrá calificar a los cuerpos de agua como aptos para ser utilizados como fuente de abastecimiento de agua potable, en actividades recreativas con contacto primario, para riego agrícola, para uso pecuario, en la acua-cultura, o para la protección de la vida acuática. Las características del agua potable se establecen en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización" (Velasco, 2017).

4.1.3 Aguas residuales

Las aguas residuales pueden contener diferentes sustancias contaminantes en diferente concentración. En general, los contaminantes orgánicos presentes en las aguas residuales incrementan la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), así como la demanda química de oxígeno (DQO), conduciendo al agotamiento del contenido de oxígeno en el agua y dando como resultado la hipertroficación, lo que amenaza la vida acuática. Derivadas de las actividades industriales como la aeroespacial, la minería, la metalurgia, el acabado de metales, la producción de aleaciones, la industria automotriz, y la producción de pinturas, baterías, conservantes y pesticidas se producen continuamente descargas de aguas residuales con alta concentración de iones metálicos. Una preocupación ambiental prioritaria e importante se deriva de la

contaminación del agua por descargas de colorantes y tintes, debido a las actividades industriales textiles, producción de papel, cosméticos y por las industrias procesadoras de alimentos. La presencia de los colorantes en agua, aún en muy bajas concentraciones, es notoria y no deseable. A través de la estructura química los colorantes son clasificados como catiónicos, aniónicos y no iónico (Valladares-Cisneros *et al.*, 2017).

4.1.4 Aguas pluviales

Entre las diversas tecnologías alternativas para aumentar los recursos de agua dulce, la recolección y utilización de agua de lluvia es una solución descentralizada y ambientalmente racional, que puede evitar muchos problemas ambientales a menudo causados en proyectos convencionales a gran escala utilizando enfoques centralizados.

Incluso en algunas zonas donde el agua potable es suministrada por redes, el agua de lluvia cosechada sigue siendo un recurso suplementario significativo para el suministro doméstico, especialmente durante la temporada en que se dispone de una cantidad baja de agua(Adeyeye *et al.*, 2019).

4.2 Problemática del agua

Los metales pesados en el agua potable representan una amenaza para la salud humana. Las poblaciones están expuestas a metales pesados principalmente a través del consumo de agua, pero pocos metales pesados pueden bioacumularse en el cuerpo humano.

Hasta la fecha, la eliminación de todos los metales pesados del agua potable con una técnica integral no ha sido reportada. Además, las poblaciones están expuestas al agua potable de los grifos dentro de sus

hogares, donde las concentraciones de metales aumentan debido al estancamiento del agua en enfriadores, tanques de agua caliente (HWT) y tuberías de plomería (PP) en el interior de sus hogares, entre otras.

Pero actualmente, se han identificado 35 metales que representan una amenaza para la salud humana, 23 de los cuales son metales pesados. Aquellos de particular interés son cadmio, plomo, arsénico, cromo, cobre, mercurio y níquel (Chowdhury *et al.*, 2016).

A nivel mundial se han presentado iniciativas y propuestas para abordar las temáticas sobre los problemas y desafíos que presenta el manejo de equipos obsoletos o desechos electrónicos, a lo cual se han incluido empresas y consumidores para comprometerse al cumplimiento de objetivos, políticas y regulaciones. Algunos residuos eléctricos y electrónicos no tienen el debido tratamiento adecuado, el cual estos son depositados en talleres informales que no cuentan con áreas adecuadas.

Ello ha traído como consecuencia la alteración de la composición de los recursos naturales, ya que la calidad del agua es impactada por la concentración de metales pesados (cadmio), elemento que genera deficiencias en el ambiente y a la salud. Asimismo, el Cadmio, tiende a denegar las propiedades físicas y químicas del agua, ya que como todo metal altera su composición (Huallanca Lezameta, 2017).

4.2.1 Problemática del agua por actividad metalúrgica

El vertimiento de aguas tóxicas por parte de las empresas mineras. Han causado daños ambientales que constituyen una de las principales fuentes de contaminación del agua. El uso y explotación del agua en el sector minero es muy diverso y tiene características propias de acuerdo a la magnitud de la operación: artesanal, mediana y grande; así como al tipo de mineral en extracción, proceso y nivel de procesado.

Se ha demostrado que la actividad minera, ha provocado grandes daños ambientales ya que la inadecuada disposición de relaves, drenaje de aguas ácidas y desmontes son evacuados hacia cauces de ríos más cercanos a las minas. Lamentablemente minería y medio ambiente no han logrado convivir en el tiempo, ya que la minería es una contaminación perpetua del agua por el drenaje ácido, los derrames de cianuro y la liberación hacia el ambiente de metales pesados tóxicos.

La contaminación con metales pesados se produce fundamentalmente a través de los drenajes mineros, la erosión de escombreras y depósitos de colas de explotaciones. Los drenajes se producen por la acción del agua, y las soluciones acuosas resultantes incorporan los metales pesados de la mena, incorporarse a la red fluvial, la dispersión de sus contenidos aumenta y puede tener influencia muy lejos de su lugar de origen y extenderse mucho después que las actividades extractivas han cesado (Zela y Royer, 2019).

4.2.2 Normas oficiales mexicanas vigentes en el sector hídrico

- NOM-003-CONAGUA-1996 Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos.
- NOM-004-CONAGUA-1996 Requisitos para la protección de acuíferos durante el mantenimiento y rehabilitación de pozos de extracción de agua y para el cierre de pozos en general.
- NOM-011-CONAGUA-2015 Conservación del recurso agua - Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales.
- NOM-014-CONAGUA-2003 Requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada.

- NOM-015-CONAGUA-2007 Infiltración artificial de agua a los acuíferos. -Características y especificaciones de las obras y del agua
- NOM-001-ECOL-1993 Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de las centrales termoeléctricas convencionales.
- NOM-012-ECOL-1993 Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria hulera.
- NOM-013-ECOL-1993 Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria del hierro y del acero.
- NOM-017-ECOL-1993 Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de acabados metálicos.
- NOM-018-ECOL-1993 Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de laminación, extrusión y estiraje de cobre y sus aleaciones
- NOM-001-SEMARNAT-1996 Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
- NOM-002-SEMARNAT-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

- NOM-003-SEMARNAT-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público (SEMARNAT, 2020).

4.3 Actividad industrial

Varios análisis muestran la relación que existe entre el desarrollo y los desastres naturales, y se enfocan en el impacto que pueden tener sobre la vulnerabilidad de las sociedades y las actividades económicas.

Las sociedades industriales en los últimos tiempos tienden a prestar más atención a controlar el riesgo derivado de los peligros naturales. Por lo tanto, la conciencia pública y la responsabilidad de sus gobiernos en la gestión de riesgos eficaces contra los peligros naturales potenciales es un problema importante. Muchas ciudades de todo el mundo se han expandido de ciertas maneras con respecto a sus usos de la tierra debido al rápido desarrollo de las áreas industriales (Giannakidou *et al.*, 2019).

El desarrollo de la industria y el crecimiento económico tienen por objetivo mejorar la calidad de vida, pero en el desarrollo de este también se crean problemas ambientales provocados por una contaminación desmedida.

Existen graves daños al medio ambiente provocados por las emisiones de bióxido de carbono y gas carbónico que puede llegar a duplicarse si sigue esta tendencia para el año 2040, lo que generara que existan partículas suspendidas en el aire de metales pesados y como el dióxido de azufre que genera la lluvia ácida provocando un importante deterioro a grandes extensiones de terreno, la explotación de petróleo crecerá causando daños irreversibles en la exploración y explotación de este en zonas, el almacenamiento de residuos peligrosos también crecerá y con ello todos los problemas que conlleva esto.

Desafortunadamente el equilibrio que se debe lograr entre el desarrollo industrial y el medio ambiente no se consigue, porque el factor económico es el que influye en el crecimiento de la política económica que favorece a los factores productivos sin tomar en cuenta que se provoca un deterioro ambiental (Mondragón Téllez).

4.3.1 Industria siderurgia

La industria acerera es una de las más importantes mundialmente por ser proveedora de materia prima para las industrias del ramo, automotriz, construcción, alimentos, electrodomésticos, maquinaria pesada, entre otras. Estas empresas son una gran fuente de riqueza, cuya derrama económica brinda beneficios a miles de familias alrededor del mundo.

La cadena de la siderurgia se divide en tres grandes sectores, a continuación, se explican:

Primer Sector: Materias primas es la extracción de minerales metálicos y la obtención del acero. Segundo Sector: Son los productos que corresponden a bloques de acero y laminación en caliente como en frío. Tercer Sector: Son los productos derivados de la laminación y se convierten en los principales insumos para la cadena metalmeccánica (Arreguin *et al.*, 2016).

El acero como producto juega un papel preponderante en las economías de todos los países. No sólo por sus características intrínsecas como material, sino también por el desarrollo de toda la cadena de valor que va desde la recolección de la materia prima, hasta la producción de los productos finales que incorporan innovación, tecnología y sustentabilidad (Merced y de la Cruz).

La planta de sinterización es una parte importante de la cadena de proceso de fabricación de acero. Proporciona una gran cantidad de

sinterización de bajo costo y calidad estable para el alto horno, pero también causa la enorme contaminación ambiental.

El proceso de sinterización de mineral de hierro es un sector importante para la industria del hierro y el acero, así como una importante fuente de emisión de policlorodibenzodioxinas y policlorodibenzofuranos (PCDD/Fs). La emisión PCDD/Fs del proceso de sinterización no se ha controlado adecuadamente porque el gas de combustión presenta las siguientes características ya mencionadas (Lixin *et al.*, 2018).

4.3.2 Metales pesados

La actividad industrial y minera arrojan al ambiente metales tóxicos como plomo, mercurio, cadmio, arsénico y cromo, muy dañinos para la salud humana y para la mayoría de formas de vida. Además, los metales originados en las fuentes de emisión generadas por el hombre (antropogénicas), incluyendo la combustión de nafta con plomo, se encuentran en la atmósfera como material suspendido que respiramos. Por otro lado, las aguas residuales no tratadas, provenientes de minas y fábricas, llegan a los ríos, mientras los desechos contaminan las aguas subterráneas. Cuando se abandonan metales tóxicos en el ambiente, contaminan el suelo y se acumulan en las plantas y los tejidos orgánicos.

La peligrosidad de los metales pesados es mayor al no ser química ni biológicamente degradables. Una vez emitidos, pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años. Además, su concentración en los seres vivos aumenta a medida que son ingeridos por otros, por lo que la ingesta de plantas o animales contaminados puede provocar síntomas de intoxicación

Actualmente la industria minera ha incrementado su atracción en los elementos metálicos ya que la mayor parte de éstos son de interés debido a su beneficio económico. Todos los metales y metaloides cuyo

peso atómico sea mayor a 6g/cm^3 , son considerados con el término metal pesado, con excepción del As, B y Se.

Se refiere a metal pesado a cualquier elemento químico metálico que tenga una gravedad específica relativamente alta en comparación con el agua y es tóxico o venenoso a bajas concentraciones (Martell, 2014).

Los metales pesados manifiestan toxicidades particulares, que causan problemas en el sistema gastrointestinal, aflojan el contenido del intestino y estomatitis, y en el sistema nervioso causa: tensión mental, temblores, ataxia y pérdida de movimiento del cuerpo. Además, hemoglobinuria y la neumonía también son signos relacionados con la toxicidad del mercurio, cadmio, de plomo, aluminio, arsénico, cobre y zinc (Ali *et al.*, 2019b).

Además de las ya mencionadas existe otra gran variedad de actividades industriales que emplean o generan metales pesados en sus procesos, como a continuación se muestra:

Industria	Metales	Contaminación derivada
Minería de metales ferrosos	Cd, Cu, Ni, Cr, Co, Zn	Drenaje ácido de mina, relaves, escombreras
Extracción de minerales	As, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn	Presencia en las menas como subproductos
Fundición	As, Cd, Pb, Tl	Procesado mineral para obtención de metales
Metalúrgica	Cr, Cu, Mn, Pb, Sb, Zn	Procesado térmico de metales
Aleaciones y aceros	Pb, Mo, Ni, Cu, Cd, As, Te, U, Zn	Fabricación, eliminación y reciclaje de metales.

		Relaves y escoriales
Gestión de residuos	Zn, Cu, Cd, Pb, Ni, Cr, Hg, Mn	Incineración de residuos o en lixiviados
Corrosión metálica	Fe, Cr, Pb, Ni, Co, Zn	Inestabilidad de los metales expuestos al medio ambiente
Galvanoplastia	Cr, Ni, Zn, Cu	Los efluentes líquidos de procesos de recubrimiento
Pinturas y pigmentos	Pb, Cr, As, Ti, Ba, Zn	Residuos acuosos procedentes de la fabricación y el deterioro de la pintura vieja
Baterías	Pb, Sb, Zn, Cd, Ni, Hg	Fluido de la pila de residuos, la contaminación del suelo y las aguas subterráneas
Electrónica	Pb, Cd, Hg, Pt, Au, Cr, As, Ni, Mn	Residuos metálicos acuosa y sólida desde el proceso de fabricación y reciclaje
Agricultura y ganadería	Cd, Cr, Mo, Pb, U, V, Zn, As, Mn, Cu	Contaminación de escorrentía, aguas superficiales y subterráneas, la bioacumulación planta.

Tabla No.1 Principales actividades industriales generadoras de metales pesados. (Rubio *et al.*, 2015)

4.4 Características del cadmio

El cadmio es obtenido como subproducto en la refinación del zinc y contamina al aire por procesos de soldadura, pigmentos, pinturas, galvanoplastia, entre otros usos. Este puede producir anemia, enfermedades cardiovasculares, daño al hígado y provoca cambios metabólicos del calcio entre otras acciones. En las áreas urbanas se han llegado a encontrar de 5 a 15 $\mu\text{g} / \text{m}^3$ de aire, provocando la neumonitis química (Martell, 2014).

Es uno de los metales pesados más tóxicos. Tiene alta movilidad y bioacumulación, pero poder diferenciarlo del resto de su grupo motiva el interés de los científicos por saber sus efectos e interacción.

El cadmio es un metal de transición altamente tóxico con niveles de exposición muy bajos y tiene propiedades agudas y efectos crónicos sobre la salud de plantas, animales, humanos y todos los seres vivos en general.

Debido a la actividad industrial y la antropización, se estima que 30,000 toneladas de Cd son emitidas al medio ambiente cada año. Por lo tanto, en diferentes partes del planeta y en nuestro país, los niveles de Cd han estado en agua, suelo y plantas, detectando que exceden los límites permitidos establecidos para diferentes usos.

Como ya se mencionó el cadmio no es degradable en la naturaleza, por lo que una vez liberado al medio ambiente permanecerá en circulación. Esta propiedad junto con su alta movilidad, poder bioacumulativo y toxicidad. Y aun expuesto a concentraciones muy bajas lo convierten en uno de los metales pesados más importantes (Hernández-Baranda *et al.*, 2019).

4.4.1 Propiedades del cadmio

Símbolo químico	Cd
-----------------	----

Forma	Color blanco, metal suave
Características	Maleable, dúctil y flexible
Punto de fusión	321°C
Punto de ebullición	765°C
Número atómico	48
Peso atómico	112.41
Densidad	8.64 g/cm ⁻³

Tabla No. 2. Características físico-químicas del cadmio. Stoeppler,1991. Citado por (Abanto Aguirre, 2016).

Las características más remarcables del cadmio son su gran resistencia a la corrosión, su bajo punto de ebullición y su excelente conducción eléctrica. Los compuestos de cadmio presentan una gran resistencia a la acción de los compuestos químicos y a las altas temperaturas.

El cadmio también se presenta como sustituto del calcio en la apatita y la calcita, pudiendo aumentar sus impurezas en los fertilizantes fosfatados. Este metal se encuentra debajo del zinc y encima del mercurio en la tabla periódica, por lo que tiene muchas propiedades en común con estos elementos.

Es sustituto del zinc en forma de impureza en los minerales de éste. Debido a su toxicidad, el cadmio se encuentra sujeto a una de las legislaciones más severas en términos ambientales y de salud humana (Abanto Aguirre, 2016).

4.5 Tecnologías aplicadas en el tratamiento de aguas

Los métodos de tratamiento químico, como el intercambio iónico, la precipitación, los procesos electroquímicos o la adsorción sobre el carbón activado, son incluso hoy en día los procesos convencionales de tratamiento de aguas residuales para la eliminación de los metales pesados en aplicaciones a gran escala (Anastopoulos *et al.*, 2019).

La mayoría de los problemas de calidad del agua se deben a factores de higiene y patógenos. Una gama de sistemas descentralizados está disponible para contrarrestar estos problemas, incluyendo métodos térmicos y/o UV, eliminación física y tratamiento químico.

Los sistemas de membrana son atractivos ya que proporcionan una barrera absoluta para patógenos y para eliminar la turbidez, aumentando así la palatabilidad del agua (Peter-Varbanets *et al.*, 2009).

Aunque existan variedad de tecnologías, en las últimas décadas, el enfoque se ha orientado hacia el diseño y la síntesis de adsorbentes respetuosos con el medio ambiente, con el fin de aplicarlos en técnicas de remediación verdes o sostenibles (Anastopoulos *et al.*, 2019).

4.5.1 Adsorción en el tratamiento de aguas

La adsorción se convierte en una opción para la remediación de aguas contaminadas por metales pesados, debido a su sencillez, bajo costo, fácil ampliación, y sobre todo por ser capaz de eliminar sustancias de baja concentración (Benítez *et al.*, 2014).

La biosorción es prometedora para la eliminación de metales pesados del agua y las aguas residuales, ya que, en muchos casos, es rápida, selectiva y con una eficacia elevada. Otras ventajas como la aplicabilidad contra diversos tipos de contaminantes, la simplicidad, el bajo costo y la facilidad de operación, así como el potencial de reutilización de los adsorbentes, lo hacen eficiente (Anastopoulos *et al.*, 2019).

4.5.2 Bioadsorción

La bioadsorción surge como una alternativa para la remoción de metales pesados, dándole así utilidad a desechos agroindustriales como adsorbentes potenciales de materiales tóxicos presentes en efluentes acuosos (Tejada *et al.*, 2015).

es un proceso fisicoquímico que incluye los fenómenos de adsorción y absorción de iones y moléculas.

Este método poco convencional busca principalmente la remoción de metales pesados en aguas residuales provenientes del sector industrial, usando como “sorbente” diferentes materiales de origen biológico (vivo o muerto), tales como: algas, hongos, bacterias, cáscaras de frutas, productos agrícolas y algunos tipos de biopolímeros.

El proceso de bioadsorción involucra una fase sólida (biomasa) y una fase líquida (agua) que contiene disueltos la sustancia de interés que será adsorbida. Para que el proceso de bioadsorción se pueda realizar con éxito, debe existir una gran afinidad entre los grupos funcionales de la biomasa y el contaminante, ya que este último debe ser atraído hacia el sólido y enlazado por diferentes mecanismos (Sun-Kou *et al.*, 2014).

4.6 Tratamientos de potabilización del agua

La purificación del agua comprende el uso de tecnologías, en las que se llevan a cabo diversos procesos de tratamiento, cuya finalidad es la de remover contaminantes en el agua hasta ciertas concentraciones, que no representen riesgo para la salud humana.

De las diversas técnicas que existen para la potabilización del agua se llegó a la conclusión de que los filtros de bioarena son de gran aplicabilidad en la potabilización de agua, ya que son eficaces para remover turbiedades del agua (Lugo y Lugo, 2018).

Como ya se conoce los filtros de agua tienen la capacidad de eliminar materiales del agua a gran escala que afectan el color, el mal sabor y eliminan los contaminantes que pueden causar enfermedades y dolencias en los seres humanos (Zereffa y Zeleke, 2020). Por eso es una de las tecnologías más empleadas actualmente.

4.6.1 Precipitación química

La precipitación química se considera el tratamiento estándar para eliminar los metales en todo tipo de aguas y suele utilizarse como tratamiento primario de eliminación. La capacidad de precipitación de los metales de la disolución depende sobre todo de dos factores:

1. La solubilidad de la especie metálica que es función del producto de solubilidad, el pH del medio y de la concentración de las especies precipitantes.
2. - La separación del sólido de la solución acuosa.

En estos dos factores la precipitación puede ser poco efectiva cuando el metal se encuentra en concentraciones muy bajas, ya que se necesita un exceso de agente precipitante para llegar a formar un precipitado, en muchos casos, aunque se forme el precipitado, la partícula sólida formada no tiene estabilidad suficiente para separarse de la disolución. En este caso puede utilizarse un tratamiento de coagulación (Rossi Salinas, 2017).

4.6.2 Filtración por membrana

Las membranas pueden clasificarse de acuerdo a diferentes características como su peso molecular de corte, material de la membrana (sintéticos o polímeros naturales modificados, acoplados y estructurados), permeabilidad y solubilidad del soluto y el solvente en la

película, superficie y espesor activo de la película, así como la carga de su superficie.

Esta tecnología presenta altas eficiencias, requiere poco espacio, no es selectiva y es de fácil operación, pero genera una gran cantidad de lodos que contienen metales. Comúnmente se emplea en procesos para el tratamiento de agua potable, aguas residuales industriales y en menor medida aguas residuales domésticas (Rubio *et al.*, 2015).

4.6.3 Osmosis inversa

La ósmosis inversa es un proceso de purificación de agua que utiliza una membrana semipermeable para eliminar los iones de agua potable. Tiene un alto rendimiento de rechazo, bajo consumo de energía y una carga de contaminación insignificante en comparación con los métodos de tratamiento convencionales.

Los estudios han asegurado la eficacia uso de ósmosis inversa para eliminar metales pesados como cromo (Cr), cobalto (Co), níquel (Ni), cobre (Cu), zinc (Zn), arsénico (As), plomo (Pb) y mercurio (Hg) y radioisótopos como ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{238}U y ^{235}U . Cuando en comparación con los métodos de tratamiento convencionales, la osmosis inversa tiene menos ecotoxicidad y consumo de energía (Kumar *et al.*, 2020).

La osmosis inversa está compuesta de cinco fases, que son:

1. Pretratamiento.
2. Filtrado
3. Micro-filtrado
4. Osmosis inversa
5. Re mineralización (Feria *et al.*, 2017)

Existen dos tipos de módulos comúnmente disponibles para la separación basada en membranas, conocidos como las membranas de fibra hueca, y las membranas enrolladas en espiral (MEE). Las MEE son usualmente la mejor opción para aplicaciones industriales de ósmosis inversa (OI), nanofiltración (NF) y ultrafiltración (UF) (Murillo-Verduzco *et al.*, 2020).

4.6.4 Electrodiálisis

La electrodiálisis es un proceso de difusión selectiva a través de una membrana (diálisis), que se logra estableciendo una diferencia de potencial eléctrico entre electrodos situados a ambos lados de la membrana. La solución alimentada contiene iones positivos y negativos que entran y se concentran en la membrana a la cual se le aplica un voltaje, esto causa la migración de los iones a sus respectivos electrodos. La membrana de intercambio de catión permite la transferencia de cationes e inhibe la transferencia de aniones.

El diseño y la prevención de filtraciones en la celda de electrodiálisis son fundamentales para el buen comportamiento del sistema. También es muy importante controlar permanentemente los parámetros que influyen directamente sobre el sistema, como son: caudal de anolito y catolito, densidad de corriente, conductividad, pH, área catódica, temperatura, etc. (Lillo *et al.*, 2011).

Las ventajas de electrodiálisis sobre otros procesos de separación incluyen bajo coste energético, versatilidad en términos de gran variedad de corrientes de alimentación que puede ser utilizado con el requisito mínimo de pretratamiento, coste más fácil y bajo de mantenimiento y mayor vida de la membrana (Feria *et al.*, 2017).

4.6.5 Fitorremediación

La fitorremediación es un proceso que utiliza plantas para remover, transferir, estabilizar, concentrar y/o destruir contaminantes ya sean de origen orgánico e inorgánico en suelos, lodos y sedimentos, y puede aplicarse tanto in situ como ex situ. Los mecanismos de fitorremediación incluyen la rizodegradación, la fito extracción, la fitodegradación y la fitoestabilización (Betancur *et al.*, 2005).

Esta técnica biológica permite llevar a cabo la descontaminación no solo de suelos, también incluye la depuración de aguas residuales, debido a la capacidad restauradora de algunas plantas. Dicha técnica engloba un conjunto de métodos encargados de degradar, asimilar, metabolizar o detoxificar contaminantes.

La fitorremediación se basa en los procesos que ocurren naturalmente por los cuales las plantas y los microorganismos rizosféricos degradan y sequestran contaminantes orgánicos e inorgánicos (Arias, 2017).

Aunque la fitorremediación es una tecnología prometedora, su eficacia podría verse afectada por varios factores como lo son las especies de plantas, microbios de la rizosfera, situación climática, niveles de contaminantes y la biodisponibilidad (Zand *et al.*, 2020).

Hablándose de metales pesados la fitorremediación de estos puede ser impulsada o acelerada con la adición de agentes quelantes.

Aunque la fitorremediación de metales pesados se puede estimular mediante la adición de agentes quelantes, la fitorremediación no sólo es llevada a cabo por las plantas porque siempre hay una interacción entre plantas y microorganismos en el suelo que causa una mayor actividad asociada con la remediación (Ustiatik *et al.*, 2020).

4.6.6 Nanotubos de carbono

Los nanotubos de carbono (NTC) provienen de una de las variedades alotrópicas del carbono, como lo son también el diamante, grafito, grafeno o los fullerenos. Estas estructuras se asemejan a un cable cuántico unidimensional, y presentan propiedades mecánicas, eléctricas, físicas y químicas inusuales. Estas propiedades dependen del diámetro y helicidad, al momento del enrollamiento y la conformación de la lámina original, estas propiedades los hacen valiosos para el campo de la nanotecnología.

Los nanotubos de carbono, debido a su estructura y morfología, poseen excelentes propiedades mecánicas, como:

- Alta dureza.
- Tenacidad.
- Alta Resistencia mecánica a la compresión
- Alta flexibilidad
- Alta elasticidad (Echeverry Cardona, 2020).

Tanto los nanotubos y las nanofibras de carbono presentan propiedades morfológicas, mecánicas y electrónicas excepcionales, que permiten su aplicación en muchos campos que van desde una amplia gama de componentes electrónicos, al reforzamiento de materiales (conductividad eléctrica y resistencia mecánica), al almacenamiento de gases, sobre todo y de manera sobresaliente el hidrógeno y a la utilización como soportes catalíticos.

Las propiedades excepcionales de los nanotubos de carbono de pared múltiple (MWCNT) permite su uso en la eliminación de los metales, que al combinarse con un material poroso como zeolita (ZV) da como resultado en un material híbrido con propiedades potenciadas para la eliminación de contaminantes (Cruz *et al.*, 2017).

4.7 Carbón activado

El carbón activado es bien conocido como un adsorbente caracterizado por su gran superficie específica, su estructura porosa, y su termo estabilidad, se utiliza ampliamente en una variedad de aplicaciones tales como la eliminación de contaminantes y olor de las fases líquida y gaseosa, usos médicos, catálisis, almacenamiento de gas, materiales de electrodos en dispositivos electroquímicos, y la eliminación de contaminantes orgánicos del agua potable y en el tratamiento de aguas residuales (El maguana *et al.*, 2020).

Las características del carbón activado incluyen básicamente las propiedades de adsorción y las propiedades físicas, incluyendo el área total de la superficie, la densidad de partículas y el tamaño efectivo.

El uso de fuentes alternativas de carbón activado es uno de los métodos más baratos y eficaces para reducir los niveles de metales pesados en comparación con otros métodos como: la adición de productos químicos para reducir la concentración de contaminantes, el uso de microorganismos y la desinfección, o la matanza de gérmenes (Mahmudi *et al.*, 2020).

El carbón activado es uno de los adsorbentes más antiguamente conocidos. Tiene una estructura muy porosa con una gran superficie interna que oscila entre 500 y 2000 m^2g^{-1} y debido a esto posee buenas capacidades de adsorción hacia diversas sustancias.

Este se encuentra disponible en dos formas principales: carbón activado en polvo y, en particular, carbón activado granular (Carrott y Carrott, 2007).

4.7.1 Carbón bituminoso

Como se conoce los tipos carbón se clasifican según la cantidad de carbonos que contengan y el poder calorífico que contengan.

El carbón bituminoso es una roca sedimentaria orgánica formada por la compresión diagenética y sub-metamórfica de material turboso, de forma que sus componentes principales son macéras: vitrinita, exinita, entre otros.

Los carbones bajos o bituminosos se clasifican según su reflectancia, humedad, contenido volátil, plasticidad y contenido de ceniza. Generalmente, estos carbones de mayor valor tienen un grado mínimo de plasticidad, volatilidad y bajo contenido en ceniza, especialmente con bajo contenido en carbonatos, fósforo y azufre (Torres Guzmán, 2017).

El carbón bituminoso es el de mayor uso y se usa en la producción de electricidad y en la metalurgia, mientras que el sub-bituminoso se usa en la industria del cemento y en menor medida en la producción de electricidad (Salinas y Muñoz, 2014).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

Elaborado y analizado en los laboratorios del departamento de biología y suelos ubicados dentro de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro unidad laguna. El material empleado para este:

- 8 recipientes de 950 ml
- 150 ml de cadmio (Cd) 1000 ppm
- 3 filtros acondicionados de tubo de PVC.
- 16 tubos de 50 ml con tapa
- Carbón activado AquaSorb 1200.

El carbón activado granular AquaSorb 1200, se manufactura especialmente para el tratamiento de agua de consumo humano, tanto en aplicaciones municipales como industriales. Su estructura porosa es muy efectiva en la remoción de materia orgánica disuelta, pesticidas y químicos que se encuentran frecuentemente en las distintas fuentes de agua cruda.

En suma, el carbón activado AquaSorb 1200 es ideal para el tratamiento de agua de pozos, de cuerpos superficiales y de la red municipal, y además cumple con estándares internacionales para esta aplicación.

Especificaciones*

Adsorción de lodo	mín. 900 mg/g
Humedad al empacar	max. 5%
Densidad aparente	mín. 440kg/m ³
Ceniza	mín. 15%
Capacidad de humectación	mín. 99%
Dureza (método de Ball-pan)	96%

Tabla No. 3 Especificaciones del carbón activado

Propiedades típicas*

Adsorción de lodo	920 mg/g
Adsorción de azul de metileno	170 ml/g
Área superficial (BET)	950 m ² /g
Densidad aparente	520 kg/m ³
Densidad post retro lavado y drenado	450 kg/m ³

Tabla No. 3.1 Propiedades del carbón activado

Tamaño de partícula (mesh)	20 x 40	12x40	10x20	8x30	8x18
Mayores a	<5%	<5%	<5%	<5%	<5%
Menores a	<4%	<4%	<4%	<4%	<4%

Tamaño efectivo	0.4 mm	0.6mm	1.0 mm	1.0 mm	1.2mm
Diámetro promedio	0.6mm	1.0mm	1.4mm	1.4mm	1.8mm

Tabla No. 3.2 Tamaño de partícula del carbón activado

Características

- Actividad estándar
- Adsorbente versátil
- Alta resistencia mecánica
- Buena capacidad de adsorción
- Grado de agua potable

Tamaños disponibles

- 8x18 mesh (2.36 – 1.18 mm)
- 8x30 mesh (2.36 – 0.60 mm)
- 10x20 mesh (2.0 – 0.85 mm)
- 12x40 mesh (1.70 – 0.43 mm)
- 20x40 mesh (0.85 – 0.425 mm)

Aprobaciones y certificaciones

- EN12915
- NSF61 (estándar)
- AWWA B604
- Halal (certificado)
- Kosher (certificado)
- Food Chemicals Codex

Envasado estándar

- 25kg (55 lb), saco
- 500 kg (1100 lb), super saco

Capacidad productiva

Jacobi cuenta con plantas de producción en nueve países alrededor del mundo. Produce más de 70,000 toneladas métricas de carbones activado de la más alta calidad, de origen en cascara de coco, carbón mineral y madera, tanto por métodos de activación química y física (mediante vapor).

Preparación de muestras

En los 8 recipientes de 950 ml se vertieron 800ml de agua corriente, cada uno de estos fue identificado con una “M” según el número de muestra, más la muestra testigo. Clasificando a las 8 muestras como “lote 1”. A cada muestra se le añadió determinada cantidad de la solución de cadmio (cd) 1000ppm para obtener lo siguiente:

No. muestra	De	Vol. Agua corriente	Vol. Cadmio	Total
M1		800 ml	5 ml	805 ml
M2		800 ml	10 ml	810ml
M3		800 ml	15 ml	815 ml
M4		800 ml	20 ml	820 ml
M5		800 ml	25 ml	825 ml
M6		800 ml	30 ml	830 ml
M7		800 ml	35 ml	835 ml
Testigo		800 ml	-	800 ml

Tabla No.4 clasificación de muestras preparadas.

Se tomaron 25 ml de alícuota de cada muestra y se vertieron en los tubos de 50 ml, para realizar el análisis del “lote 1”.

Filtrado de muestras

Se colocaron los 3 filtros en soportes, previamente preparados con papel filtro de 6cm de diámetro y una cama de 8cm de altura de carbono activado, AquaSorb 1200, en estos se vierten consecutivamente las muestras de la "M1" hasta la "testigo" dejando un tiempo de contacto de 5 minutos dentro del filtro, para luego dejar correr libremente la muestra por la llave del filtro.

De este filtrado se tomaron 25ml de alícuota de cada muestra, que denominaremos como "lote 2".

Algunas alícuotas presentaban una pigmentación muy fuerte y contenían sólidos suspendidos por lo que fueron filtradas nuevamente con un embudo y papel filtro, para así no tener interferencias a la hora de analizar.

Método de laboratorio

Las muestras se analizaron por medio de espectrofotometría de absorción atómica de la marca Perkin Elmers modelo 2380.

VI. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

Haciendo una comparativa de resultados del "lote 1" y el "lote 2" se obtuvieron los siguientes resultados:

No. muestra	Concentración inicial (ppm)	Concentración final (ppm)	Retención de Cd	LMP en mg/L	Cumplimiento NOM-002-SEMARNAT
Testigo	0	0	0	1	Si
M1	7.5	0.01	7.4 ppm	1	Si
M2	15.0	0.17	14.8pmm	1	Si
M3	12.5	0.09	12.4 ppm	1	Si
M4	27.5	0.28	27.2 ppm	1	Si
M5	32.5	0.0024	32.49 ppm	1	Si
M6	37.5	0.015	37.48 ppm	1	Si
M7	45.0	0.0164	44.98 ppm	1	Si

Tabla No.5 comparativa de resultados.

De referencia se toma la NOM-002-SEMARNAT-1996 donde especifica que el límite máximo permisible de cadmio en las descargas de aguas residuales es de 1 mg/L instantáneo.

Como conclusión se tiene que el uso de los filtros de carbón activado puede ser una opción viable para la retención de pequeñas concentraciones de cadmio.

Lo anterior de acuerdo a los resultados obtenidos en las muestras analizadas por el método de absorción atómica.

De acuerdo de los resultados obtenidos en este proyecto la hipótesis planteada se cumple.

VII. CITAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Abanto Aguirre, M. A. 2016. "Fuentes fosfatadas en dos suelos en la concentración de cadmio foliar en maíz bajo condiciones de invernadero."
- Adebayo, G. B., O. F. Adekola, T. Y. Ahmed y F. A. Adekola "Comparative study of bioavailability and transfer of heavy metals from irrigation water and soil to *Amaranthus* spp. vegetables." 9: 481 - 492.
- Adeyeye, J. A., O. B. Akintan y T. Adedokun 2019. "Physicochemical Characteristics of Harvested Rainwater under different Rooftops in Ikole Local Government Area, Ekiti State, Nigeria." *Journal of Applied Sciences & Environmental Management* 23: 2003-2008.
- Ali, E. A. M., M. A. Sayed, T. M. A. Abdel-Rahman, A. M. Hussein y R. Hussein 2019a. "Bioremediation of Waste Water from Cadmium Pollution using Silicon Dioxide Nanoparticles and Fungal Biomasses." *Journal of Pure & Applied Microbiology* 13: 1561-1570.
- Ali, S., S. Hussain, R. Khan, S. Mumtaz, N. Ashraf, S. Andleeb, H. A. Shakir, H. M. Tahir, M. K. A. Khan y M. Ulhaq 2019b. "Renal toxicity of heavy metals (cadmium and mercury) and their amelioration with ascorbic acid in rabbits." *Environmental Science & Pollution Research* 26: 3909-3920.
- Anastopoulos, I., A. Robalds, H. N. Tran, D. Mitrogiannis, D. A. Giannakoudakis, A. Hosseini-Bandegharai y G. L. Dotto 2019. "Removal of heavy metals by leaves-derived biosorbents." *Environmental Chemistry Letters* 17: 755-766.
- Arias, J. A. V. 2017. "Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación." *Revista de investigación Agraria y Ambiental* 8: 151-167.
- Arreguin, J. J. N., M. B. Jiménez, J. Cruz y D. Buenrostro 2016. "MERCADO GLOBAL DEL ACERO: EL RETO DE LA INTERNACIONALIZACIÓN DE LA INDUSTRIA ACERERA MEXICANA." *Revista Global de Negocios* 4: 83-94.
- Benítez, L. T., C. T. Tovar, W. M. Bolívar y Á. V. Ortiz 2014. "Estudio de modificación química y física de biomasa (*Citrus sinensis* y *Musa paradisiaca*) para la adsorción de metales pesados en solución." *Revista luna azul*: 124-142.
- Betancur, L. M. A., K. I. M. Mazo y A. J. S. Mendoza 2005. "Fitorremediación: la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos." *Revista Lasallista de investigación* 2: 57-60.
- Biswas, J., M. Mondal, J. Rinklebe, S. Sarkar, P. Chaudhuri, M. Rai, S. Shaheen, H. Song y M. Rizwan 2017. "Multi-metal resistance and plant growth promotion potential of a wastewater bacterium *Pseudomonas aeruginosa* and its synergistic benefits." *Environmental Geochemistry & Health*. 39.
- Carrott, P. y M. R. Carrott 2007. "Lignin—from natural adsorbent to activated carbon: a review." *Bioresource technology* 98: 2301-2312.
- Cirelli, A. F. 2012. "El agua: un recurso esencial." *Química viva* 11: 147-170.
- Cruz, H. I., M. S. Javier, D. I. Luis, M. d. J. Gil, A. D. Pérez y Y. Gochi-Ponce 2017. "Remoción de plomo en agua a partir de material nanoestructurado, nanotubos de carbono soportados en zeolita natural." *Avances en Ciencias e Ingeniería* 8: 21-27.
- Chowdhury, S., M. A. J. Mazumder, O. Al-Attas y T. Husain 2016. "Heavy metals in drinking water: Occurrences, implications, and future needs in developing countries." *Science of the Total Environment*.

- Echeverry Cardona, L. M. 2020. "Energías de dispersión y surfactantes en una solución de nanotubos de carbono en agua: aplicaciones en pastas de cemento portland."
- El maguana, Y., N. Elhadiri, M. Benchanaa y R. Chikri 2020. "Activated Carbon for Dyes Removal: Modeling and Understanding the Adsorption Process." *Journal of Chemistry*: 1-9.
- Feria, D. M. C., D. I. C. Rubi y D. R. Delgado 2017. "Tratamientos para la remoción de antibacteriales y agentes antimicrobiales presentes en aguas residuales." *Revista Logos, Ciencia & Tecnología* 9: 43-62.
- Genc, T. O. y F. Yilmaz 2018. "Heavy metals content in water, sediment, and fish (*Mugil cephalus*) from Koycegiz lagoon system in Turkey: Approaches for assessing environmental and health risk." *Journal of Agricultural Science & Technology*. 20: 71-82.
- Giannakidou, C., D. Diakoulaki y C. D. Memos 2019. "Implementing a Flood Vulnerability Index in urban coastal areas with industrial activity." *Natural Hazards* 97: 99-120.
- Hernández-Baranda, Y., P. Rodríguez-Hernández, M. Peña-Icart, Y. Meriño-Hernández y O. Cartaya-Rubio 2019. "Toxicity of Cadmium in plants and strategies to reduce its effects. Case study: The tomato." *Cultivos Tropicales* 40: 1-18.
- Huallanca Lezameta, Y. I. 2017. "Reducción de concentración de Cadmio en aguas de lavado con RAEE mediante Micronanoburbujas (aire y ozono) del Taller ASCOPE–Cercado de Lima."
- Kumar, V., S. Nayak y D. Katyal 2020. "Comparative evaluation of the radioactivity removal efficiency of different commercially available reverse osmosis membranes." *Radiation Protection & Environment* 43: 100-107.
- Lillo, A., H. Aros y C. Carlesi 2011. "Electrodíálisis de soluciones cianuradas." *Tecista de la Facultad de Ingeniería* 25: 54-61.
- Liu, C., P. Wu, L. Tran, N. Zhu y Z. Dang 2018. "Organo-montmorillonites for efficient and rapid water remediation: sequential and simultaneous adsorption of lead and bisphenol A." *Environmental Chemistry* 15.
- Lixin, Q., C. Tiejun, L. Hongming, L. Jiabin, D. Zhanxia, M. Qingmin y W. Ping 2018. "Emission reduction research and development of PCDD/Fs in the iron ore sintering." *Process Safety & Environmental Protection: Transactions of the Institution of Chemical Engineers Part B* 117: 82-91.
- Lugo, J. L. y E. R. Lugo 2018. "Beneficios socio ambientales por potabilización del agua en los pueblos palafíticos de la Ciénaga Grande de Santa Marta-Colombia."
- Mahmudi, M., S. Arsad, M. C. Amelia, H. A. Rohmaningsih y F. S. Prasetya 2020. "An Alternative Activated Carbon from Agricultural Waste on Chromium Removal." *Journal of Ecological Engineering* 21: 1-9.
- Martell, M. 2014. "Acumulación de metales pesados en *beta vulgaris* L. y *lolium perenne* L. de suelos de Cuemanco." [línea]. Universidad Nacional Autónoma de México. México: 6.
- Merced, J. R. y N. S. de la Cruz "La industria del acero en México: un análisis a su problemática." *REGIONAL Y SUSTENTABLE*.: 21.
- Mondragón Téllez, V. M. "La Contaminación Industrial en México."
- Murillo-Verduzco, I., M. Herrera-Sarellano, R. A. Figueroa-Díaz, G. A. Fimbres-Weihs y R. A. Castro-Quintero 2020. "Diseño y fabricación de válvula pulsante para generación de flujos variables en módulos de desalinización por ósmosis inversa." *Design and manufacturing of a pulsatile valve for generating variable flows in reverse osmosis desalination modules*. 95: 509-513.

- Ning, M., F. You-Li, W. Cong y W. Meng-Tao 2017. "Effect of modified montmorillonite on heavy metal pollution in water " *International Journal of Research in Commerce & Management*. 8.
- Ouafi, R., Z. Rais, M. Taleb, M. Benabbou y M. Asri "Sawdust in the treatment of heavy metals contaminated wastewater." *Environmental Research Journal* 11.
- Pariza, A. A. F. M., S. A. Ahmad, N. I. Fadzil, A. A. Basirun, S. A. W. Sha'arani, N. A. M. Asri, M. K. Sabullah, A. Khalid y M. Y. Shukor 2019. "Histopathological and cholinesterase changes in the gills of *Clarias gariepinus* as a result of cadmium exposure." *Journal of Environmental Biology* 40: 683-690.
- Peter-Varbanets, M., C. Zurbrügg, C. Swartz y W. Pronk 2009. "Decentralized systems for potable water and the potential of membrane technology." *Water research* 43: 245-265.
- Poshtegal, M. K. y S. A. Mirbagheri 2019. "The heavy metals pollution index and water quality monitoring of the Zarrineh River, Iran." *Environmental & Engineering Geoscience Journal*. 25: 179-188.
- Rossi Salinas, G. M. 2017. "Diseño de un purificador de agua para uso en la pequeña industria alimentaria de zonas rurales."
- Rubio, D. I. C., R. A. M. Calderón, A. P. Gualtero, D. R. Acosta y J. Sandoval 2015. "Tratamientos para la remoción de metales pesados comúnmente presentes en aguas residuales industriales. Una revisión." *Ingeniería y Región*: 73-90.
- Salamanca, E. 2016. "Tratamiento de aguas para el consumo humano."
- Salinas, D. y C. Muñoz 2014. "La industria del carbón y su competitividad con el GNL." *Breves de Energía*, [En línea] <http://www.brevesdeenergia.com/blog/posts/2014-09-05-la-industria-del-carbon-y-sucompetitividad-con-el-gnl#>. VGEBJlcb1PQ.
- SEMARNAT 2020. "Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales."
- Sun-Kou, M. d. R., D. Obregón-Valencia, Á. Pinedo-Flores, A. L. Paredes-Doig y J. Aylas-Orejón 2014. "Adsorción de metales pesados empleando carbones activados preparados a partir de semillas de aguaje." *Revista de la sociedad Química del Perú* 80: 225-236.
- Tejada, C., A. P. Herrera y J. R. Núñez 2015. "Adsorción competitiva de Ni (II) y Pb (II) sobre materiales residuales lignocelulósicos." *Investigaciones Andina* 17: 1355-1367.
- Tjahjono, A. y D. Suwarno 2018. "The spatial distribution of heavy metal lead and cadmium pollution and coliform abundance of waters and surface sediment in Demak." *Journal of Ecological Engineering* 19: 43-54.
- Torres Guzmán, M. 2017. Consumo energético de la molienda del mineral laterítico con carbón bituminoso aditivo, Departamento Metalurgia-Química
- Ustiatik, R., S. Nurfitriani, A. Fiqri y E. Handayanto 2020. "The Use of Mercury-Resistant Bacteria to Enhance Phytoremediation of Soil Contaminated with Small-scale Gold Mine Tailing." *Nature Environment & Pollution Technology* 19: 253-261.
- Valladares-Cisneros, M. G., C. Valerio-Cárdenas, P. de la Cruz-Burelo y R. M. Melgoza-Alemán 2017. "Adsorbentes no-convencionales, alternativas sustentables para el tratamiento de aguas residuales." *Revista Ingenierías Universidad de Medellín* 16: 55-73.
- Velasco, J. G. 2017. "2. Calidad del agua en espacios urbanos." *Martha Georgina Orozco M. Coordinación y Edición*: 11.
- Zand, A. D., A. Mikaeili Tabrizi y A. Vaezi Heir 2020. "Application of titanium dioxide nanoparticles to promote phytoremediation of Cd-polluted soil: contribution of PGPR inoculation." *Bioremediation Journal* 24: 171-189.
- Zela, P. y D. Royer 2019. "Contaminación del agua por las actividades minero metalúrgicas."

- Zereffa, E. A. y T. D. Zeleke 2020. "CLAY COMPOSITE WATER FILTERS: THE CASE OF FLUORIDE, NITRITE AND Escherichia coli REMOVAL." Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ) 19: 701-711.
- Zhang, C.-Z., Y. Yuan y T. Li 2017. "Adsorption and desorption of heavy metals from water using aminoethyl reduced graphene oxide." Environmental Engineering Science. 35.