



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

TESIS

**“Aplicación de Carbón Activado Modificado para la
Eliminación de Cromo del Agua Residual en una
Tenería Artesanal”**

Para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Química

PRESENTA: P.I.Q. Paulina Fabiola Rodríguez Flores

ASESOR DE TESIS:

M.C. Ma. Aída Béjar Ubaldo

ASESOR EXTERNO

M.C. Alejandra Reyes Andrés

Morelia, Mich. Noviembre de 2014

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios por ser mi fortaleza en los momentos difíciles de mi vida, por darme la maravillosa familia y amigos que tengo. A mi madre Leticia Flores Acosta que con su protección, amor y consejos me ha inspirado a luchar por cada una de las cosas que quiero en mi vida. Con su ejemplo de mujer valerosa, noble y trabajadora ha logrado hacer en mí la mujer que hoy llega a la culminación de un sueño.

Doy gracias a mis hermanas, por apoyarme y alentarme durante todo el proceso de mi aprendizaje en esta noble carrera.

Al amor de mi vida Gaspar Morales Romero, por ser mi compañero, por ser esa persona que me reta a ser mejor cada día, por su paciencia, por todo el amor que me da y por tener siempre tener fe en mí, fe que hoy se convierte en realidad.

A mi Asesora la M.C. Ma. Aida Béjar Ubaldo que a lo largo de estos años se fue convirtiendo en un pilar, en una amiga incondicional que sin su apoyo y sabiduría el proceso para llegar a la cúspide de la carrera hubiera sido más difícil.

A Jorge Manuel Sierra, Xochitl Vázquez y Karla Rangel personas que sin ser de mí familia llegaron a ser parte de ella, por apoyarme y confiar en mí.

A mi Padre Bernardo Rodríguez por ser parte de mi vida y su valiosa contribución de mi crecimiento personal y profesional.

A mis maestros de la facultad y a los técnicos del Instituto de Metalurgia, a la Sra. Victoria Duke, responsable del equipo de difracción de Rayos X y al Sr. Francisco Solórzano técnico del Microscopio Electrónico de Barrido, por compartir sus valiosos conocimientos.

La presente tesis es dedicada a mi Madre.

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

| | | |
|-----------|---|----|
| Figura 1 | Diagrama del método realizado para la eliminación de Cromo. | 29 |
| Figura 2 | Molino de granos utilizado en la preparación de la materia prima | 30 |
| Figura 3 | Reactor Tubular | 30 |
| Figura 4 | Mufla donde se realizó la activación del Carbón Activado | 30 |
| Figura 5 | Lavado del Carbón | 31 |
| Figura 6 | Carbón Obtenido | 31 |
| Figura 7 | Quitina en solución con de Ácido Láctico | 32 |
| Figura 8 | Quitina en Agitación por 2 Horas | 32 |
| Figura 9 | Carbón Activado y gel de Quitina en agitación | 32 |
| Figura 10 | Difractograma de Rayos X del Carbón Activado | 33 |
| Figura 11 | Difractograma de Rayos X del Carbón Activado Modificado con Quitina | 34 |
| Figura 12 | Difractograma de Rayos X del Carbón Activado Modificado con Quitina Usado en el tratamiento del agua residual | 34 |
| Figura 13 | Micrografía de Carbón Activado a 5000X | 35 |
| Figura 14 | Micrografía de Quitina a 5000 X | 36 |
| Figura 15 | Micrografía del Carbón Activado - Quitina a 5000 X | 36 |
| Figura 16 | Micrografía del Carbón Activado - Quitina a 2500 X | 37 |
| Figura 17 | Difractograma del Espectro Infrarrojo de Carbón Activado | 38 |
| Figura 18 | Difractograma del Espectro Infrarrojo de la Quitina | 38 |
| Figura 19 | Diagrama de la tenería de estudio | 39 |
| Figura 20 | Muestreo del agua | 40 |
| Figura 21 | Toma de la temperatura | 40 |
| Figura 22 | Agua Residual Recolectada | 41 |
| Figura 23 | Equipo Becker | 41 |
| Figura 24 | Gráfica del comportamiento de la conductividad al variar la velocidad | 46 |
| Figura 25 | Gráfica del comportamiento del pH al variar la velocidad | 47 |
| Figura 26 | Grafica de Conductividad vs Tiempo | 48 |
| Figura 27 | Gráfica del cambio del pH al modificar el tiempo de contacto | 48 |
| Figura 28 | Micrografía a 5000 X del Carbón Activado - Quitina posterior al tratamiento | 49 |
| Figura 29 | Mapeo a 5000X del Carbón Activado - Quitina después de tratar el agua | 50 |
| Figura 30 | Gráfica del análisis puntual de la figura | 50 |
| Tabla 1 | Límites Máximos Permisibles de Metales pesados Vertidos en Aguas Nacionales | 18 |
| Tabla 2 | Límites Máximos Permisibles de Metales pesados Vertidos en el alcantarillado público | 18 |
| Tabla 3 | Concentración de referencias totales por tipo de suelo | 19 |
| Tabla 4 | Alternativas para el manejo de los residuos de la curtiduría generados en las operaciones para el tratamiento de la piel en tripa antes del curtido | 19 |
| Tabla 5 | Alternativas para el manejo de los residuos de la curtiduría generados en las operaciones de Curtido al Cromo | 20 |
| Tabla 6 | Alternativas para el manejo de los residuos de la curtiduría generados encada sección las operaciones de Curtido al Cromo | 20 |
| Tabla 7 | Materiales y equipos | 28 |
| Tabla 8 | Reactivos | 28 |
| Tabla 9 | Datos Físico químicos del agua residual | 42 |
| Tabla 10 | Resultados de la cantidad de CAQ | 45 |
| Tabla 11 | Comportamiento de la conductividad a diferentes velocidades. | 46 |

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| Relación de Tablas y Figuras | i |
| Índice | ii |
| Justificación | 5 |
| Resumen | 6 |
| CAPITULO I INTRODUCCIÓN | 9 |
| 1.1 Hipótesis | 10 |
| 1.2 Objetivo general | 10 |
| 1.3 Objetivos específicos | 11 |
| CAPITULO II MARCO TEORICO | |
| 2.1 Curtición | 13 |
| 2.1.2 Historia de la Industria de la Curtición | 13 |
| 2.1.3 Etapas de la Curtición | 14 |
| 2.1.3.1 Rivera | 14 |
| 2.1.3.2 Curtición | 15 |
| 2.1.3.3 Terminado | 16 |
| 2.2 Normativa del agua | 17 |
| 2.2.1 Normativa aplicable al agua de curtición | 17 |
| 2.2.2 Límites Máximos de contaminantes en el agua | 17 |
| 2.3 Variables medibles en el agua Residual | 21 |
| 2.3.1 Parámetros Físicos | 21 |
| 2.3.2 Parámetros Químicos | 22 |
| 2.3.3 Parámetros Biológicos | 23 |
| 2.4 Cromo | 23 |
| 2.4.1 Exposición al Cromo | 24 |
| 2.4.2 Efectos del Cromo en la Salud y Medio Ambiente | 24 |
| 2.5 Carbón Activado | 24 |
| 2.5.1 Historia del Carbón Activado (CA) | 25 |
| 2.6 Quitina | 26 |
| 2.6.1 Historia de la Quitina | 26 |

CAPITULO III METODOLOGÍA

| | |
|--|----|
| 3.1 Materiales, Equipos y Reactivos | 28 |
| 3.2 Desarrollo | 29 |
| 3.2.1 Síntesis de los Materiales | 30 |
| 3.2.1.1 Elaboración de Carbón Activado | 30 |
| 3.2.1.2 Obtención de la Quitina | 31 |
| 3.2.1.3 Modificación del Carbón Activado | 32 |
| 3.2.2 Caracterización de los Materiales | 33 |
| 3.2.2.1 Difracción de Rayos X | 33 |
| 3.2.2.2 Microscopia Electrónica de Barrido | 35 |
| 3.2.2.3 Espectroscopia Infrarroja | 37 |
| 3.2.3 Identificación de Recursos contaminados y daños a la Salud | 39 |
| 3.2.4 Muestreo del Agua Residual | 40 |
| 3.2.5 Tratamiento del Agua Residual | 41 |
| 3.2.5.1 Caracterización del Agua Residual | 41 |
| 3.2.5.2 Determinación de parámetros para la reducción de Cromo | 41 |
| 3.2.6 Análisis del Agua Tratada | 42 |
| 3.2.7 Estudio del CAQ | 43 |

CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSION DE RESULTADOS

| | |
|--|----|
| 4.1 Reporte del análisis del agua residual | 45 |
| 4.2 Análisis del CAQ después de tratar el agua | 49 |
| 4.3 Determinación de cantidad de Cromo removido. | 51 |

CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

| | |
|---------------------|----|
| 5.1 Conclusiones | 53 |
| 5.2 Recomendaciones | 53 |

| | |
|---------------------|----|
| BIBLIOGRAFÍA | 55 |
|---------------------|----|

| | |
|-------------------|----|
| APENDICE I | 58 |
|-------------------|----|

| | |
|--------------------|----|
| APENDICE II | 62 |
|--------------------|----|

| | |
|-----------------|----|
| GLOSARIO | 65 |
|-----------------|----|

Justificación

Los metales pesados, que se encuentran en la naturaleza, poseen una densidad mayor que el agua, están constituidos por elementos de transición y post-transición incluyendo algunos metaloides. Algunos metales tales como: hierro, cobalto, cobre, manganeso, molibdeno y zinc son requeridos por los humanos en pequeñas cantidades, ya que son parte de algunos sistemas enzimáticos⁵, otros metales no tienen un efecto vital o beneficioso para el organismo y su acumulación a través del tiempo puede causar graves enfermedades, por eso también se les nombra “elementos tóxicos” o “metales tóxicos”. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) realizó una lista de contaminantes prioritarios, en donde se incluyen a los siguientes elementos: Arsénico, Cromo, Cobalto, Níquel, Cobre, Zinc, Plata, Cadmio, Mercurio, Titanio, Selenio y Plomo⁶.

Siendo el Cromo uno de los elementos de gran impacto ambiental y uno de los más utilizados.⁷ La SEMARNAT estableció los límites máximos de Cromo VI contenidos en los vertidos residuales en aguas nacionales y urbanas a 0.5mg/L mensual, esto a través de las Normas NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-002-SEMARNAT-1996 respectivamente, con esta regulación se inició la búsqueda de alternativas para la reducción de la concentración de Cromo en las aguas residuales, además que género que las grandes industrias destinaran una parte de su presupuesto para el desarrollado de tecnologías limpias, a diferencia de las pequeñas empresas, como es el caso de una tenería artesanal, de la Ciudad de Pátzcuaro Michoacán, la cual no cuenta con los conocimientos, ni recursos para el tratamiento de sus aguas residuales, además que no es regulada, por lo cual desechan el agua utilizada en el proceso en una fosa que se encuentra dentro de la tenería, el único tratamiento que le dan al agua es el de dejarla sedimentarse, retirando el agua en la fosa y el sedimento se junta en un bote para posteriormente tirarlo al carro municipal de la basura, con lo cual el contaminante principal se está acumulando en la fosa, provocando la lixiviación de los metales al suelo y hacia los mantos acuíferos que se encuentran cerca, sí a esto le sumamos que la tenería se

encuentra próxima a los campos de cultivo que se cosechan para su comercio, se genera un círculo de contaminación.

RESUMEN

En México el 80% de la producción de piel curtida es originada por los estados de Guanajuato y Jalisco, el 10% por los estados del Norte y el otro 10 % por tenerías artesanales del estado de Michoacán, estas tenerías, producen de 3 a 5 pieles diarias, un porcentaje mínimo respecto a la producción de las grandes empresas, no obstante se utiliza una gran cantidad de agua, los contaminantes generados son los mismos, aunque en menor proporción que los de las grandes empresas de curtición, la diferencia radica en que esta pequeñas tenerías no cuentan con sistemas de tratamiento de su agua residual, esto ocasionado por el hecho de que estas pequeñas industrias no están reguladas respecto a sus efluentes, además se suma el bajo presupuesto que manejan. Al verter el agua residual del proceso de curtición sin ningún tratamiento previo y al no contar con un sistema de alcantarillado adecuado para el desecho de esta agua, estas pequeñas tenerías son un foco de contaminación. Hecho que motivo esta investigación; en donde se trató el agua residual de una Tenería ubicada en la Ciudad de Pátzcuaro Michoacán con carbón activado modificado con el biopolímero quitina (CAQ). El desarrollo de la trabajo consistió en la obtención del CAQ, así como de sus precursores Carbón Activado (CA) y Quitina (Q); de su caracterización, posteriormente se determinaron los parámetros de Cantidad de CAQ, Velocidad de agitación y Tiempo de contacto, subsecuentemente se realizó el tratamiento del agua con el composito CAQ, finalmente se encontró que el CAQ es un material que adsorbe el Cromo del agua residual, lo que fue comprobado por las técnicas de EDS y SEM.

Palabras clave: Carbón Activado, Quitina, Adsorción, Cromo.

ABSTRACT

In Mexico 80% of production of tanned skin is caused by the states of Guanajuato and Jalisco , 10% by the states of the North and the other 10% by artisanal tanneries in the state of Michoacan , these tanneries generate an output of 3 to 5 tanned daily , is a lower percentage compared to the production of large enterprises , however to that a large amount of water used and pollutants generated are the same as large companies tanning , the difference is that this small tanneries you do not have treatment systems residual water, this caused by these small industries are not regulated regarding their effluents also adds the low budget they manage. When pouring the wastewater from the tanning process without any pretreatment and not having an adequate sewage system for disposal of this water, these small tanneries are a source of contamination. Why in this investigation wastewater from a tannery located in the city of Patzcuaro Michoacan with a modified biopolymer chitin with (CWC) was treated activated carbon. The development of the research was obtaining the CAQ and its precursors Activated Carbon (AC) Chitin (Q) characterization , then the parameters of size, speed and contact time were determined subsequently was performed water treatment the CWC, finally caught the CAQ is a material that adsorbs chromium wastewater , checked by EDS and SEM techniques .

Keywords: Activated Carbon, Chitin, Adsorption, Chrome.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

La contaminación de los recursos hídricos existe desde los orígenes de la humanidad, esta contaminación se incrementó drásticamente con la revolución industrial, porque desde su inicio y durante largo tiempo los contaminantes inmersos en los vertidos de aguas residuales de las diferentes industrias no eran depurados. Fue hasta finales de la década de los Sesenta que inicio la preocupación política por el medio ambiente, generando una serie de legislaciones en países desarrollados y posteriormente en los países subdesarrollados¹.

La primera ley de carácter ambiental en México fue la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental publicada en 1971, posteriormente surgieron una serie de legislaciones ambientales, las cuales fueron la base para el inicio de la cultura ambientalista, las grandes empresas y el sector gubernamental comenzaron a destinar una parte de su presupuesto al tratamiento de aguas residuales, poniendo gran énfasis en el tratamiento de los vertidos con alto contenido de metales pesados, por el daño al medio ambiente y al ser humano que genera.

De los diferentes metales que existen, el Cromo es utilizado en una diversidad de procesos químicos, como es el caso de la industria del curtido, la cual ha sido considerada desde su inicio como una actividad sucia y altamente contaminante, porque los vertidos de sus aguas conllevan grandes cantidades de Cromo y Sulfatos entre otros contaminantes, puesto que en su proceso se emplea ácido crómico (H_2CrO_4), cloruro de sodio (NaCl), sulfuro de sodio (Na_2SO_4), hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$, ácido bórico (H_3BO_3) y grandes cantidades de agua. Con las regulaciones ambientales se ha propiciado el desarrollo de tecnologías limpias, sistemas de recuperación y reciclaje de subproductos, además de la reducción de los efectos dañinos al medio ambiente².

Desafortunadamente no solo existen grandes industrias de curtición, también existen en gran cantidad pequeñas tenerías, o talleres artesanales, que aunque su producción es menor en comparación con la de grandes industrias, emplean el mismo método y materiales, se distinguen en que no generan

ningún tratamiento a su agua residual, la cual tiran al alcantarillado público o son vertidas en fosas sépticas, provocando una contaminación a los mantos acuíferos y al suelo, además que se genera un círculo de contaminación con repercusiones a corto y largo plazo al medio ambiente y a la comunidad cercana. Lo cual se encontró en la tenería de estudio situada en la Cd. de Pátzcuaro Michoacán.

Razón por la cual esta investigación se centró en el tratamiento del agua residual de dicha tenería, usando Carbón Activado Vegetal Modificado con el Biopolímero Quitina (CAQ), este material conjunta el poder adsorbente del carbón activado, el cual es utilizado como agente descontaminante desde 400 a. c. por Hipócrates para eliminar olores y sabores del agua y el poder quelante de la quitina la cual es utilizada en procesos de Biosorción para la eliminación de metales pesados⁴, propiciando un mejor rendimiento en la reducción de la concentración de Cromo en el agua residual. Para el desarrollo de esta investigación se realizaron diferentes análisis, en donde se determinaron las condiciones de cantidad, velocidad de agitación y tiempo de contacto, condiciones que propiciaron un aumento en el porcentaje de reducción de la concentración de cromo en el agua.

1.1 Hipótesis

El Carbón Activado Modificado con Quitina (CAQ) reducirá en mayor proporción la concentración de cromo en el agua residual, comparado con el uso del Carbón Activo y la Quitina por separado.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Reducir la concentración de Cromo presente en el agua residual de una tenería utilizando Carbón Activado Vegetal Modificado con Quitina (CAQ).

1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Generar un material con propiedades mejores para el tratamiento de agua mediante la remoción de metales pesados.
- Caracterización del composito en polvo Carbón Activado y Quitina
- Corroborar la eficiencia del composito en polvo Carbón Activado y Quitina, para la remoción de metales pesados.
- Caracterizar el agua residual de la tenería artesanal.

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

CAPÍTULO II MARCO TEORICO

2.1 Curtición

La curtición es el proceso para la conservación de la piel, sin que ésta sufra el proceso de putrefacción y mejorando las propiedades de resistencia al desgaste, a la humedad, flexibilidad, aspecto exterior agradable al tacto y a la vista⁸. La mayor parte de las pieles que se tratan son de bovino, porcino, caprino, ovino y en menor cantidad de equino⁹.

2.1.2 Historia de la industria de la Curtición.

La curtición de pieles es una de las actividades más antiguas, desde la antigüedad es considerada una de las industrias más sucias, por los olores que desprende la piel de los animales, razón por la cual las tenerías eran situadas a las afueras de las poblaciones, las técnicas de curtido implementadas anteriormente eran: Curtición al humo, donde la piel tenía contacto con el humo de las fogatas; Curtición al vegetal, en esta técnica se sumergía la piel por varios días en charcos de agua que contenían hojas y corteza, además se situaban cerca de árboles; Otra técnica que se implementaba era el secado de la piel por exposición al sol, en esta técnica se extendía la piel para que tuviera contacto con el sol por varios días, lo que ocasionaba que se endureciera mucho, pero quitaba el olor a putrefacción de las pieles¹⁰

Su desarrollo evoluciono lentamente, ya que no fue hasta el siglo XIX que se inició el avance tecnológico de la curtiembre, con la propuesta de realizar el curtido con sales de cromo por el francés Cavalin en 1853, posteriormente en 1858 Knapp patentó el uso del cromo como material curtiente a dos baños, con lo cual se lograron cueros con características nunca antes obtenidas, tales como: resistencia a la ebullición, al desgarre, buena elasticidad y permeabilidad al vapor de agua, posteriormente en 1870 se formuló el curtido a base de sales de hierro, práctica que solo fue empleada durante la Segunda Guerra Mundial por la escases del cromo en esa época, subsecuentemente en 1933 se patentó la modalidad a base de sales de circonio, en 1892 el Alemán August Schultz logró la primera curtición al cromo en un solo baño y desde entonces no ha disminuido el manejo de cromo para curtir, a pesar de que se han buscado

otras alternativas. En la actualidad el 80% de las pieles curtidas a nivel mundial, se confeccionan con el uso del cromo en un solo baño¹¹.

2.1.3 Etapas de curtición

El proceso de curtición se divide en 3 etapas principales, las cuales son: Rivera, la cual contempla desde la recepción del material hasta su lavado; Curtición, en donde se realiza el cambio de piel a cuero; y finalmente la etapa de terminado, cada etapa se subdivide en diferentes pasos, a continuación se describe cada etapa¹².

Cabe señalar que la descripción de cada etapa es acorde al proceso que se realiza en la tenería artesanal donde se realizó este estudio, por lo cual puede haber alguna diferencia en la secuencia, respecto a otras tenerías, además de las discrepancias con las grandes industrias en las que la mayoría de las etapas están automatizadas.

2.1.3.1 RIVERA

En esta etapa se prepara la piel que se recibió para tratarla, la piel se puede recibir en tres diferentes formas: verde, salada o fresca, la etapa de Rivera se subdivide en 5 fases, las cuales se describen a continuación:

- a) **Remojo:** En esta etapa se hidrata la piel, también, se limpia de toda la sangre contenida en ella, algún vestigio de estiércol o químico para conservar la piel, para lo cual primeramente se le da un pequeño lavado con abundante agua, posteriormente se coloca la piel en biombos con agua y sal, por un lapso de 6 a 24 horas, dependiendo de la dureza de la piel y el contenido de sangre en ella.
- b) **Descarne:** Cuando la piel se puede manipular libremente, se coloca la piel en la mesa de trabajo y se extiende, si la piel está cerrada (generalmente la piel de conejo) se voltea, posteriormente se procede a retirar de forma manual, con ayuda de un cuchillo la mayor parte carne y/o grasa adherida a la piel, se realizan pequeños lavados con agua, esta etapa es clave para determinar la calidad de la piel, si se realiza

algún daño como una perforación, además que en esta etapa se obtiene la carnaza, la cual se puede reutilizar.

- c) **Pelambre:** En esta etapa se realiza una limpieza completa de la piel, mediante un ataque químico, donde se elimina el pelo, epidermis, colágeno, nervios, vasos sanguíneos, músculos, etc. Esto se hace colocando los cueros en contenedores que contienen una solución de cal $\text{Ca}(\text{CO}_3)_2$ y sulfuro de sodio.
- d) **Desencalado:** Es el lavado del cuero con soluciones de cloruro de amonio NH_4Cl y sulfato de amonio $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)$, para retirar la cal $\text{Ca}(\text{CO}_3)_2$ y productos alcalinos que se acumulan en la epidermis, en el paso anterior.
- e) **Lavado:** Para limpiar de todos los agentes químicos adicionados en las etapas anteriores, se limpia con chorro de agua la piel, la cual al término de este paso queda con un aspecto blanquecino, en algunos de los casos se pueden observar poros.

2.1.3.2 CURTICIÓN

El objetivo de esta etapa es la obtención de cueros estables, imperecederos, sometiendo a la piel al contacto con sustancias químicas, esta etapa se subdivide en 3 pasos, **piquelado, curtido y lavado**.

- a) **Piquel o pre curtido:** En esta etapa se prepara la piel para la curtición, la piel es sumergida por un lapso de 12 horas en una solución de ácido sulfúrico (H_2SO_4), ácido fórmico (CH_2O_2), Sulfato de Cromo ($\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$) y Cloruro de sodio (NaCl), las cantidades de estos reactivos dependen del peso de las pieles a tratar. Al término del tiempo de contacto se saca la piel y se le da un pequeño lavado con agua,
- b) **Curtición:** Esta es una de las etapas críticas, tanto en el área productiva, por en esta etapa se define la calidad, propiedades tales como suavidad, grueso, etc., como en el área ambiental. En esta etapa

las pieles pre-tratadas se agregan a la solución curtumbre, la cual contiene: Sulfato de cromo $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$, Sulfato de amonio $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)$, ácido sulfúrico (H_2SO_4) , ácido fórmico (CH_2O_2) y Bisulfito de Sodio (NaHSO_3) , el tiempo de contacto es de 5 a 15 días, dependiendo de la cantidad de piel y el grueso que esta tenga. Durante este tiempo se mueve la solución con las pieles 3 veces al día. Al quinto día se realiza una pequeña prueba para determinar si la piel esta lista o no, esta prueba puede ser desde hacer un pequeño rasguño a una orilla de la piel, si queda blanca, esta lista, si queda azul, aun no está curtida, la otra técnica es cortar un pequeño pedazo de piel y colocarlo dentro de agua hirviendo, si se queda lisa ya está curtida y si se enrosca, el proceso aún no está terminado⁸.

- c) **Lavado.** Cuando la piel quedo curtida se saca de los contenedores, se coloca en la mesa de trabajo con abundante agua y un cepillo se lava la piel para retirar todos los sólidos que se pudieron adherir a la piel durante el proceso anterior.

2.1.3.3 TERMINADO

En esta etapa del proceso de curtición, se dan las características requeridas, tales como color, grueso, ablandado, etc., por lo cual las etapas, que contemplan a este último paso, dependerán de lo requerido, algunos pasos son:

- a) **Secado.** Efecto natural, colgadas al aire libre.
- b) **Pigmentar.** Mediante este efecto conseguiremos aplicarle a la piel la laca y el colorido de acabado
- c) **Engrase.** Para obtener tacto blando, mediante aceites sintéticos.
- d) **Cepillado:** Con esta etapa se logra darle brillo a la piel.

2.2 NORMATIVA DEL AGUA

En México la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) es la institución en cargada de verificar los impactos ambientales que se generan al ambiente, por medio del cumplimiento las Normas Oficiales Mexicanas (NOM).

Las NOM establecen los límites máximos permisibles de contaminantes, técnicas de muestreo y/o análisis, según sea el caso y contempla todos los sectores, tanto los recursos hídricos, suelo, flora, fauna, aire, etc.

2.2.1 Normas aplicables al agua residual del proceso de curtición.

- I. NOM-001-SEMARNAT-1996: Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las aguas de descargas de aguas residuales en agua y bienes nacionales¹³.
- II. NOM-002-SEMARNAT-1996: Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en la descarga de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal¹⁴.
- III. NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002: Protección Ambiental, Salud Ambiental -Residuos Peligrosos Biológico-Infecciosos y Especificaciones de Manejo¹⁵.
- IV. NOM-147-SEMARNAT/SSA: La cual establece los criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por Arsénico, Bario, Berilio, Cadmio, **Cromo** Hexavalente, Mercurio, Níquel, Plata, Plomo, Selenio, Talio y/o Vanadio¹⁶.

2.2.2 Límites Máximos de contaminantes en el agua.

La cantidad de cromo y agua utilizada en el proceso de curtición, generan efluentes con altas concentraciones de este metal, de acuerdo a las Normas NOM-001--SEMARNAT-1996 y NOM-002--SEMARNAT-1996, antes de ser

desechadas, deben cumplir ciertos parámetros de concentraciones, los cuales se encuentran en las tablas 1 y 2 que se presentan a continuación.

Tabla 1. Límites Máximos Permisibles para Metales pesados y Cianuros, vertidos en aguas Nacionales¹⁷.

| LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS Y CIANUROS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---------------------------|------|------------------------|------|---------------------------------|------|-----------------------------------|------|------------------------|------|---|------|----------------|------|---------------|------|---------------------------|------|-------------------------|------|
| PARÁMETROS (*) | RÍOS | | | | | | EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES | | | | AGUAS COSTERAS | | | | | | SUELO | | | |
| (miligramos por litro) | Uso en riego agrícola (A) | | Uso público urbano (B) | | Protección de vida acuática (C) | | Uso en riego agrícola (B) | | Uso público urbano (C) | | Explotación pesquera, navegación y otros usos (A) | | Recreación (B) | | ESTUARIOS (B) | | Uso en riego agrícola (A) | | HUMEDALES NATURALES (B) | |
| | P.M. | P.D. | P.M. | P.D. | P.M. | P.D. | P.M. | P.D. | P.M. | P.D. | P.M. | P.D. | P.M. | P.D. | P.M. | P.D. | P.M. | P.D. | P.M. | P.D. |
| Arsénico | 0.2 | 0.4 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.4 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.4 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.4 | 0.1 | 0.2 |
| Cadmio | 0.2 | 0.4 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.4 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.4 | 0.1 | 0.2 | 0.05 | 0.1 | 0.1 | 0.2 |
| Cianuro | 1.0 | 3.0 | 1.0 | 2.0 | 1.0 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 1.0 | 2.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 3.0 | 1.0 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 1.0 | 2.0 |
| Cobre | 4.0 | 6.0 | 4.0 | 6.0 | 4.0 | 6.0 | 4.0 | 6.0 | 4 | 6.0 | 4 | 6.0 | 4.0 | 6.0 | 4.0 | 6.0 | 4 | 6.0 | 4.0 | 6.0 |
| ⇒ Cromo | 1 | 1.5 | 0.5 | 1.0 | 0.5 | 1.0 | 1 | 1.5 | 0.5 | 1.0 | 0.5 | 1.0 | 1 | 1.5 | 0.5 | 1.0 | 0.5 | 1.0 | 0.5 | 1.0 |
| Mercurio | 0.01 | 0.02 | 0.005 | 0.01 | 0.005 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.005 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.005 | 0.01 | 0.005 | 0.01 |
| Níquel | 2 | 4 | 2 | 4 | 2 | 4 | 2 | 4 | 2 | 4 | 2 | 4 | 2 | 4 | 2 | 4 | 2 | 4 | 2 | 4 |
| Plomo | 0.5 | 1 | 0.2 | 0.4 | 0.2 | 0.4 | 0.5 | 1 | 0.2 | 0.4 | 0.2 | 0.4 | 0.5 | 1 | 0.2 | 0.4 | 5 | 10 | 0.2 | 0.4 |
| Zinc | 10 | 20 | 10 | 20 | 10 | 20 | 10 | 20 | 10 | 20 | 10 | 20 | 10 | 20 | 10 | 20 | 10 | 20 | 10 | 20 |

(*) Medidos de manera total.

P.D.= Promedio Diario, P.M.= Promedio Mensual; N.A.= No es aplicable (A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

Tabla 2 Límites Máximos Permisibles de metales pesados, vertidos en alcantarillado público¹⁸.

| LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES | | | |
|--|------------------|-----------------|-------------|
| PARAMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra) | PROMEDIO MENSUAL | PROMEDIO DIARIO | INSTANTÁNEO |
| Grasas y aceites | 50 | 75 | 100 |
| Sólidos sedimentables (mililitros por litro) | 5 | 7.5 | 10 |
| Arsénico total | 0.5 | 0.75 | 1 |
| Cadmio total | 0.5 | 0.75 | 1 |
| Cianuro total | 1 | 1.5 | 2 |
| Cobre total | 10 | 15 | 20 |
| ⇒ Cromo hexavalente | 0.5 | 0.75 | 1 |
| Mercurio total | 0.01 | 0.015 | 0.02 |
| Níquel total | 4 | 6 | 8 |
| Plomo total | 1 | 1.5 | 2 |
| Zinc total | 6 | 9 | 12 |

Si los efluentes de aguas residuales son vertidos en el suelo, por un tiempo prolongado, se genera un aumento en la concentración de los contaminantes. La NOM-147-SEMARNAT/SSA, proporciona una tabla en donde se establece la concentración máxima de metales pesados que puede presentar el suelo, si la concentración de alguno de los contaminantes mostrados en la tabla, es

superior, la Norma anterior indica que es necesario realizar un tratamiento de remediación del suelo. Los contaminantes y concentraciones máximas de acuerdo al uso del suelo se puede observar en la tabla 3.

Tabla 3. Concentración de referencias totales por tipo de suelo ¹⁹.

| Concentraciones de referencia totales (CR_T) por tipo de uso de suelo. | | |
|---|--|-------------------------------|
| Contaminante | Uso agrícola/residencial /comercial (mg/kg) | Uso industrial (mg/kg) |
| Arsénico | 22 | 260 |
| Bario | 5 400 | 67 000 |
| Berilio | 150 | 1900 |
| Cadmio | 37 | 450 |
| Cromo Hexavalente | 280 | 510 |
| Mercurio | 23 | 310 |
| Níquel | 1 600 | 20 000 |
| Plata | 390 | 5 100 |
| Plomo | 400 | 800 |
| Selenio | 390 | 5 100 |
| Talio | 5,2 | 67 |
| Vanadio | 78 | 1000 |
| NOTA: a. En caso de que se presenten diversos usos del suelo en un sitio, debe considerarse el uso que predomine. b. Cuando en los programas de ordenamiento ecológico y de desarrollo urbano no estén establecidos los usos del suelo, se usará el valor residencial. | | |

El método de la determinación de la concentración de cada uno de los contaminantes de la tabla, se establece en la Norma NOM-147-SEMARNAT/SSA.

2.2.3 Manejo de los Residuos del Agua de la Curtiduría

La SEMARNAT en conjunto con el estado de Guanajuato realizó un manual en donde propone recomendaciones de cómo tratar el agua residual de las tenerías artesanales y de las grandes fábricas. Recomendaciones que se muestran en las tablas 4 a 6.

Tabla 4. Alternativas generales para el manejo de los residuos de la curtiduría¹⁰.

| Conceptos generales | Tipo de desecho | Alternativas de manejo |
|------------------------------|---|---|
| Drenaje | Efluentes salinos, alcalinos y ácidos | <p>Contar con un sistema interno de drenaje que evite la mezcla de descargas salinas, efluentes alcalinos y efluentes ácidos</p> <p>Durante el tratamiento interno de los efluentes del proceso no deben formarse sustancias tóxicas que contaminen la atmósfera, por ejemplo H₂S. Además, debe evitarse diluir las sales de sodio</p> <p>Los efluentes que se envíen al sistema de drenaje municipal deben cumplir con la normatividad vigente</p> |
| Fosas | Lodos | <p>Cada efluente debe contar con fosas de decantación, o sistemas para retener los sólidos. Las fosas deberán limpiarse periódicamente y los lodos tratarse de acuerdo a los procedimientos específicos</p> |
| Envases y aditamentos | <p>Recipientes vacíos que contuvieron sustancias orgánicas solubles en agua</p> <p>Recipientes vacíos y aditamentos que contuvieron sustancias tóxicas insolubles en agua</p> | <p>Seguir las indicaciones de la cédula 15 del apéndice A</p> <p>Los recipientes podrán ser entregados al proveedor o reutilizados para ser llenados con el mismo producto. En este último caso, la operación de llenado no debe contaminar el ambiente ni poner en riesgo a los operarios</p> <p>Enviar a confinamiento controlado</p> |
| Seguridad | No aplica | <p>Se recomienda cumplir con las medidas de seguridad indicadas en el Apéndice A para cada operación. En términos generales se deben utilizar mascarillas en las áreas que los operarios están en contacto con sulfuros o sales de amonio, o se manejan residuos que los contengan</p> |
| Almacenaje | No aplica | <p>Establecer un área específica para almacenar los desechos sólidos que no sean enviados directamente a tratamiento, protegida de la intemperie, lejos de cualquier drenaje o alcantarillado, con piso aplanado e impermeable. Todos los recipientes que se utilizan para almacenar residuos deben de estar identificados. Si se almacenan residuos clasificados como peligrosos el área de almacenamiento temporal debe cumplir con la normatividad vigente</p> |

Tabla 5. Alternativas para el manejo de los residuos de la curtiduría generados en las Operaciones para el tratamiento de la piel en tripa antes de curtido¹⁰.

| Etapas Ribera | Tipo de desecho | Alternativas de manejo |
|---|---|--|
| 1.6 Descarnado en cal 1.7 Divido en cal o tripa | Recortes con grasa y cal, S^{2-} y Na^+ , pH \approx 12.5 | A. 20 Reusar, comercializar con empresas autorizadas, considerando la oxidación de los sulfuros se recomienda evitar usar agua oxigenada, permanganato de potasio o cualquier oxidante cuya producción tenga un costo ambiental muy alto A.21 Enviar el efluente al drenaje alcalino para su posterior tratamiento dentro de la tenería o en una planta general A.22 Se puede optar por un reciclado considerando el manejo de purgas y lodos |
| 1.8 Reencalado 1.9 Lavado | Efluente que contiene cal, y vestigios de sulfuro y materia orgánica | A.23 Reemplazar el sulfato de amonio por CO_2 , bisulfito de sodio o ácidos dicarboxílicos. Optimizar el proceso para utilizar menores cantidades de desencalante, considerando la solubilidad de los reactivos químicos A.24 Utilizar en la purga, enzimas puras y mezcladas con bajo contenido de sulfato de amonio. A.25 Enviar el efluente alcalino y tratar dentro de la tenería o en una planta general. Si cumple con los parámetros de la normatividad vigente puede enviarse al drenaje |
| 1.10 Desencalado 1.11 Rendido o purga enzimática | Efluente con enzimas, proteínas, grasas emulsionadas, tensoactivos, sales de calcio, amonio, sodio y, en ocasiones, vestigios de pelo y aserrín | A.26 Se puede optar por un reciclado si se utilizan enzimas selectivas A.27 Si la concentración de los contaminantes es baja, especialmente de sales y cumple con las normas federales y estatales vigentes para el control de la calidad del agua, puede enviarse al drenaje municipal o utilizarse para riego. A.28 Puede unirse al efluente alcalino para su tratamiento dentro de la tenería o en una planta general |
| 1.12 Lavado (opcional) | Agua con presencia de cal y vestigios de compuestos orgánicos, enzimas y sal | |

Tabla 6. Alternativas para el manejo de los residuos de la curtiduría generados en las operaciones de Curtido al Cromo¹⁰

| Etapas Curtido | Tipo de desecho | Alternativas de manejo |
|--|---|--|
| 2.1 Pickle (Acondicionado) | Efluente con ácidos minerales, orgánicos y sales (separación opcional) | A.29 Es posible reciclar el baño separando el efluente en este punto o en el siguiente (Fig. 2), utilizando este baño para el curtido A.30 Se puede sustituir el uso de ácido fórmico, sal y ácido sulfúrico por mezclas de ácidos sulfónicos que no requieren sal |
| 2.2 Difusión o Curtido | Efluente que contiene ácidos y sales de cromo y sodio (separación opcional) | A.31 Agotar los baños de cromo mediante el control de pH, temperatura y tiempo de reacción. Probar productos para la curtiduría que permitan un mejor agotamiento A.32 No mezclar con efluentes alcalinos sin neutralizar previamente hasta un pH mayor a 7 |
| 2.3 Fijación o Basificado | Efluente con sólidos solubles y suspendidos: sales de sodio, cromo III y magnesio, ácidos minerales y orgánicos | A.33 Precipitar el cromo y enviar los lodos a empresas que lo recuperen. Alternativamente el precipitado puede acidificarse para reutilizarse en los baños de pickle |
| 2.4 Lavado opcional 2.5 Escurrido | W E T Pequeñas cantidades del efluente de fijación | A.34 Unir al efluente de las operaciones anteriores (curtido) |
| 2.6 Recorte en azul 2.7 Raspa en azul | B L U E Material orgánico con cromo | A.35 Reuso: Pueden comercializarse con empresas autorizadas para alimento de mamíferos carnívoros, por ejemplo perros, gatos, cuidando que la dosis sea adecuada, o recuperación de cromo y proteínas, para fabricar cuero sintético, recurtientes proteínicos, u otros usos. También puede confinarse en sitios autorizados que cumplan con la normatividad vigente |

*Las recomendaciones de las tablas 5 y 6 se realizaron de acuerdo a la técnica registrada por las industrias y tenerías del estado de Guanajuato.

* Los conceptos de las tablas se encuentran en el apéndice A.

2.3 VARIABLES MEDIBLES EN EL AGUA RESIDUAL.

La calidad del agua se puede medir por diversos factores, los cuales se dividen en: Físicos, Químicos y Biológicos.

2.3.1 Parámetros Físicos:

La mayoría de estas cuantificaciones son determinaciones organolépticas, sin unidad de medida (Olor y sabor), así mismo en este grupo existen variables que son medibles²², las más representativas son:

2.3.1.1 Temperatura:

Este es un parámetro importante, porque de ella dependen varios procesos biológicos, desarrollo de actividad bacteriana. Su rango óptimo es de 25°C a los 35°C, si se acerca a los 50°C, los procesos de digestivos aerobios y nitrificación bacteriana se detienen, si la temperatura baja a los 5°C la actividad microbiana se inhibe²³.

2.3.1.2 Conductividad Eléctrica:

La conductividad eléctrica se define como la capacidad del agua para conducir la electricidad, a mayor cantidad de iones presentes en el agua, la conducción eléctrica es incrementada y por lo tanto indica que existen impurezas presentes en el agua. Se puede usar como sustituto de la concentración de sólidos disueltos totales (SDT) mediante la ecuación²³.

$$\text{SDT (mg/L)} = \text{CE} * \text{KE}$$

Dónde:

SDT = Sólidos disueltos en el Agua

CE= Conductividad en (dS/m)

KE = Factor de correlación (este factor depende el líquido utilizado).

2.3.1.3 Turbidez:

Es la dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos y que se presentan principalmente en aguas superficiales, en general son muy difíciles de filtrar y pueden dar lugar a depósitos en las conducciones. La medición se hace por comparación con la turbidez inducida por diversas sustancias, la medición en ppm de SiO₂ ha sido

muy utilizada, otra forma es mediante célula fotoeléctrica, existen numerosos tipos de turbidímetros²².

2.3.1.4 Sólidos Disueltos Totales:

Es la cantidad total de sólidos disueltos en el agua, está relacionada con la Conductividad Eléctrica se mide en ppm²². Mendonca (2000) los clasifican en sólidos suspendidos y sólidos filtrables. La fracción de sólidos que queden retenidos en un filtro de membrana con un tamaño de poro de 1.2µm, constituyen los sólidos suspendidos, el resto los sólidos filtrables²³.

2.3.2 Parámetros Químicos:

Es el factor principal en el análisis del agua residual, en este grupo se encuentran las siguientes variables:

2.3.2.1 pH:

Es el potencial hidrógeno, mide la concentración de iones Hidrógeno, se define como el Logaritmo del inverso de la concentración de iones²⁴. Se expresa matemáticamente de la siguiente manera: $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$. Es importante en el impacto ambiental porque determina los efectos tóxicos por las sustancias inmersas en el agua²⁶. El rango permisible de pH (en las descargas de aguas residuales es de 10 (diez) y 5.5 (cinco punto cinco) unidades¹⁸.

2.3.2.2 Dureza:

Mide la capacidad de un agua para producir incrustaciones, es generada por la presencia de sales de calcio y magnesio, las aguas con menos de 50 ppm de CO_3Ca se llaman blandas, a partir de 200 ppm de CO_3Ca , se denomina agua dura²².

2.3.2.3 Alcalinidad:

Es la presencia de soluciones salinas, principalmente iones bicarbonato (CO_3H), carbonato ($\text{CO}_3=$), y hidroxilo (OH^-), pero también los fosfatos, ácido silicio u otros ácidos de carácter débil. Se mide en las mismas unidades que la dureza.

2.3.3 Parámetros Biológicos

Estos parámetros son indicativos de la contaminación orgánica y biológica; tanto la actividad natural como la humana²⁵.

2.3.3.1 Demanda Biológica de Oxígeno (DBO):

Mide la cantidad de oxígeno consumido en la eliminación de la materia orgánica del agua mediante procesos biológicos aerobios, se mide en ppm de O₂ que se consume. Su valor en las aguas residuales domésticas se sitúa entre 100 y 350 ppm, en las aguas industriales puede alcanzar varios miles de ppm²⁴.

2.3.3.2 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Mide la capacidad de consumo de un oxidante químico respecto a la orgánica e inorgánica, se mide en ppm de O₂²⁴.

2.3.3.3 Carbón Orgánico Total (COT):

Este factor mide el contenido de materia orgánica del agua²⁴.

2.4 CROMO

El cromo es un elemento que se encuentra en el medio ambiente en varias formas, las más comunes son; el cromo (0), cromo (III) y el (VI). El cromo III es el más abundante en la naturaleza, las presentaciones de (0) y el (VI) generalmente son el resultado de procesos industriales.

El cromo entra en contacto con el medio ambiente de 2 formas principalmente;

- a) En forma de partículas de polvo se introduce en el aire, consecutivamente se deposita en el suelo, adhiriéndose en la superficie, posteriormente por la humedad se disuelven pequeñas cantidades de cromo y se filtra a los mantos acuíferos y/o al subsuelo.
- b) Inmerso en el agua residual de alguno proceso que utilice cromo en su desarrollo, cuando estos efluentes son vertidos sobre el alcantarillado o los

recursos hídricos, entran en contacto con el agua y se pueden depositar en los sedimentos y se absorbe el cromo por el subsuelo²⁰.

En ambas formas de intermediación, si el manto acuífero y/o la extensión territorial en donde se deposita el cromo están cerca de alguna zona agrícola y/o área urbana, se propicia una fuente de contaminación a corto y largo plazo²⁰.

2.4.1 EXPOSICION DE CROMO

La exposición al cromo se presenta por diversas alternativas, las más frecuentes son las siguientes:

- Ingesta de alimentos que contienen cromo.
- Inhalando aire contaminado.
- Adsorbido por vía cutánea.
- Ingeriendo agua con altos contenidos de Cromo.

2.4.2 EFECTOS DEL CROMO EN LA SALUD Y EL MEDIO AMBIENTE

Concentraciones elevadas y/o exposición prolongada de cromo (VI) genera alteraciones al ser humano, en diferentes sistemas:

- En el sistema respiratorio genera irritación en la nariz, hemorragias nasales, úlceras, perforaciones en el tabique nasal, daño en los pulmones y cáncer en la faringe.
- En el sistema digestivo, se presenta malestar estomacal, úlceras, convulsiones, daño al hígado y el riñón.
- En el sistema tegumentario²¹, causa dermatitis, ulceración de la piel y cáncer en la piel.

2.5 Carbón Activado (CA)

El carbón activado es un material obtenido sintéticamente a partir de cualquier material que contenga carbón, es caracterizado por presentar una elevada área superficial y una baja selectividad de retención, por tal motivo es considerado un adsorbente universal. Posee una estructura cristalina reticular similar a la del grafito²⁷.

Sus aplicaciones son muy diversas y en diferentes sectores, algunos ejemplos son:

- En el área Médica: Se implementa en el tratamiento por envenenamiento.
- En el Sector Ambiental: Es uno de los sectores con más aplicaciones, principalmente es utilizado en el tratamiento de agua residuales y en el tratamiento de aires contaminados.
- En la Industria Química: recuperación de solventes.
- En la Industria Metalúrgica: Para la obtención de oro y algunos otros minerales.
- En la industria alimenticia: como adsorbente de la humedad en el transporte de productos perecederos para la conservación.

2.5.1 Historia del Carbón Activado

Los primeros registros del uso del carbón activado se encontraron en un papiro que data del año 1550 a.C, donde se describe que en la Ciudad de Tebas (Grecia) se utilizó el CA (Madera carbonizada) con fines médicos. El siguiente registro es del año 400 a.C. cuando Hipócrates recomendó filtrar el agua con CA para eliminar malos olores y sabores para prevenir enfermedades, posteriormente se encontró que desde el año 450 a.C hasta el siglo XVIII los barcos fenicios almacenaban el agua para beber en barriles con la madera parcialmente carbonizada por su cara interna para prolongar el suministro de agua en los viajes transoceánicos. La documentación de la aplicación del CA en sistemas gaseosos se tiene hasta el año 1793, con el uso del CA para mitigar los olores emanados por la gangrena por el Dr. D. M. Kehl, además recomendó filtrar el agua con carbón vegetal para evitar enfermedades.

La primera industria que utilizó el CA en su proceso, fue la industria azucarera en Inglaterra en el año 1794, utilizando el CA como agente decolorante. En 1854 Se realizó la primera aplicación a gran escala del CA en fase gas, con la instalación de filtros de CA en los sistemas de ventilación de las cloacas de Londres, en 1872 aparecieron las primeras mascarillas con filtros de CA.

La Primera Guerra Mundial, genero la necesidad de desarrollar filtros de CA para máscaras de gas. Siendo el punto de partida para el desarrollo de la industria del CA, desarrollando desde entonces y hasta la fecha una diversidad de aplicaciones y métodos de obtención²⁸.

2.6 Quitina

Es un polisacárido que se encuentra en la naturaleza, especialmente en crustáceos, insectos, hongos y fermentos (tabla 7), se puede obtener industrialmente, es insoluble en agua, ácidos minerales diluidos, álcalis fríos y solventes orgánicos, su estructura es similar a la de la celulosa²⁷.

Sus características principales son:

- Biodegradable
- Biocompatible
- No toxico
- Agente Hemostático
- Cicatrizante de heridas
- Grupos aminos reactivos

2.6.1 Historia de la Quitina

El estudio de la quitina ha sido paulatino, desde que el estadounidense Braconno la sintetizo por primera vez en 1811, posteriormente entre 1930 y 1940 fueron registradas 50 patentes sobre su obtención, pero los altos costos y el uso de polímeros sintéticos detuvo las investigaciones realizadas. En 1970 el reglamento ambiental de los Estados Unidos prohibió el desecho de desperdicios marinos a las aguas costeras, impulsado así nuevamente la búsqueda de aplicaciones a estos productos²⁷.

CAPÍTULO III

METODOLOGIA

CAPITULO III METODOLOGIA

3.1 Materiales, Equipos y Reactivos.

Los materiales y equipos que fueron manejados en esta investigación son mostrados en la tabla 6, cabe señalar que estos, a excepción de los Microscopios se obtuvieron previamente por medio del proyecto de investigación de la CIC 20.8, donde la M.C. Ma. Aida Béjar Ubaldo funge como responsable.

Tabla 7 Reactivos y materiales utilizados en la investigación

| Material de Laboratorio | Equipo |
|--------------------------------|-------------------------------------|
| Vaso de Precipitado de 1L. | Tamiz con malla de 300 μ m |
| Vaso de Precipitado de 250 ml. | Reactor Tubular de Acero inoxidable |
| Pipeta de 10 ml. | Parrilla eléctrica con agitación |
| Matraz Elenmeyer de 1 L. | Estufa de calentamiento |
| Matraz de Elenmeyer de 250ml | Mufla |
| Agitador de vidrio | Espectrofotómetro |
| Papel Filtro Watman | Becker programable |
| Mortero con vástago | Agitador Magnético |
| Papel indicador de pH | Microscopio Electrónico de Barrido |
| Tubos de Ensaye | Molino para Granos |
| Viales | Microscopio de Fuerza Atómica |
| Celdas para espectrofotómetro | pH metro |
| | Termómetro de 400 °C |

Los reactivos que se utilizaron son reportados en la tabla 8.

Tabla 8 Reactivos utilizados
En la Investigación

| |
|--------------------------|
| Polvo de cascara de Coco |
| Hidróxido de Potasio |
| Ac. Clorhídrico |
| Agua Destilada |
| Quitina |
| Ácido Láctico |
| Solución Búfer pH 7 |
| Agua residual |
| Ac. Crómico. |

3.2 Desarrollo

Esta investigación se realizó de acuerdo al método descrito en la figura 1.

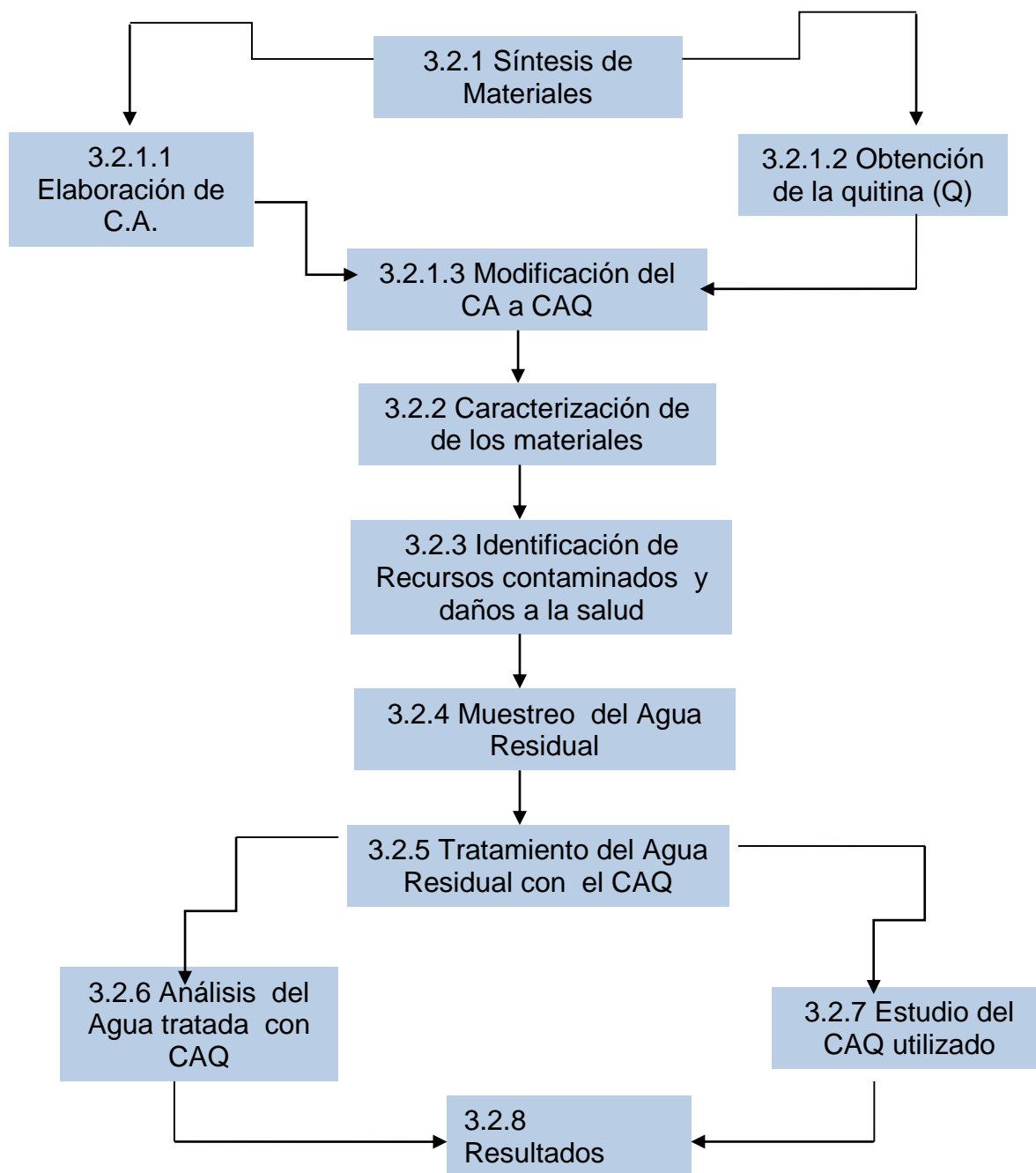


Figura (1) Diagrama del método realizado para la eliminación de Cromo.

3.2.1. Síntesis de Materiales.

El primer paso realizado para el desarrollo de esta investigación fue el obtener el CAQ, para lo cual se tuvieron que sintetizar previamente los materiales de partida (CA y Q), esto se realizó como se describe a continuación.

3.2.1.1 Elaboración de Carbón Activado.

El carbón activado fue sintetizado en el laboratorio de Química Orgánica de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Michoacana San Nicolás de Hidalgo, por el método de activación química con pirolisis en una etapa³⁰.

Esta etapa se subdividió en 3 pasos, los cuales son:

- **Preparación de la materia prima:** En este paso se molió la cascara de coco utilizando el molino eléctrico para granos (figura 2) hasta obtener un polvo que pasara por un tamiz con malla 300.



Figura 2. Molino de Granos

- **Activación química por pirolisis:** Aquí se mezcló el agente activante en proporción 1:2 respecto al precursor en un reactor tubular de acero inoxidable (figura 3), se selló y se introdujo en una mufla marca Feliisa (figura 4) a la temperatura y tiempo determinado en la bibliografía.



Figura 3. Reactor Tubular



Figura 4. Mufla Feliisa

- **Terminado:** En esta sub etapa se lavó el CA hasta obtener un pH de 5 (Figura 5), posteriormente se secó en la estufa a temperatura constante, por 24hrs (Figura 6), finalmente el CA fue etiquetado y almacenado.



Figura 5 Lavados de CA

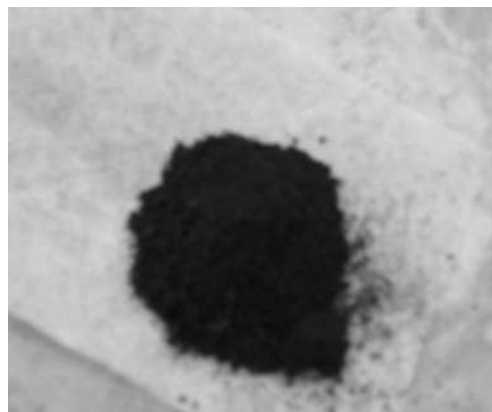


Figura 6. Carbón Activado Obtenido

3.2.1.2 Obtención de Quitina.

La materia prima para la elaboración de la quitina fue la cascara de camarón, la técnica implementada fue la consultada previamente³¹, dicho procedimiento se subdivide en 3 etapas que a continuación se describen:

- **Preparación de la materia prima:** En este paso se retiró toda la materia orgánica incrustada, posteriormente se fragmentó la cascara de camarón.
- **Transesterificación:** Para el desarrollo de este apartado se agregó la materia prima a una solución de Hidróxido de Sodio (NaOH), la cual fue calentada a temperatura y tiempo establecido, posteriormente se dejó enfriar a temperatura ambiente, subsecuentemente se volvió a realizar el calentamiento en 2 ocasiones más.
- **Terminado:** Al término de los calentamientos, el soluto resultante fue neutralizado, posteriormente se bañó con Acetona, consecutivamente se secó al aire y sin presencia de luz visible, finalmente se almacenó para su posterior caracterización.

3.2.1.3 Modificación del Carbón Activado.

La impregnación del biopolímero quitina sobre el carbón activado se realizó por medio de la técnica de sol-gel. Esta etapa se dividió en 3 pasos:

- **Realización del gel:** En el primer paso se agregó 5 g de quitina, a solución de Ácido Láctico al 15% solución (Figura 7), esta mezcla se calentó a cierta temperatura durante 2 horas en una parrilla de calentamiento con agitación magnética (figura 8), al término de este tiempo se apagó la fuente de calentamiento, la agitación continuo hasta un periodo de 24 hrs



Figura 7. Quitina en solución con de Ac. Láctico



Figura 8. Quitina en Agitación por 2 Hrs.

- **Impregnación de la quitina sobre el Carbón Activado** En este paso se agregó 0.5g del gel obtenido en el paso anterior a una solución con 5g de CA, esta solución se agito durante 6hrs a temperatura ambiente (Figura 9).



Figura 9. CA y gel de Quitina en agitación

- **Etapla final:** Al término de la agitación, el CAQ fue secado en la estufa de calentamiento, consecutivamente fue almacenado para su posterior caracterización.

3.2.2 Caracterización de los materiales

Las técnicas de identificación se realizaron de acuerdo a cada material y a la información característica de cada técnica, las técnicas utilizadas fueron.

3.2.2.1 DIFRACCION DE RAYOS X

Con la técnica de Rx se analizaron los tres materiales, para corroborar su estructura reticular.

El análisis del CA se realizó en el difracto metro Siemens D500 del Instituto de Metalurgia de la UMSNH, las condiciones de operación fueron las siguientes: tiempo de paso de 6s, con un incremento de 0.02° en un intervalo de análisis de 5 a 85° , el voltaje utilizado correspondió a 30KV , la intensidad de corriente 20 mA y a una temperatura de 25°C . Para la realización de este análisis no se necesitó una preparación especial, el material a estudiar, se depositó sobre el CA en el porta muestras del equipo y se introdujo para su análisis. En las figuras 10 a 12, se observan los Difractogramas del CA, CAQ y CAQ utilizado en el tratamiento del agua residual (CAQF)

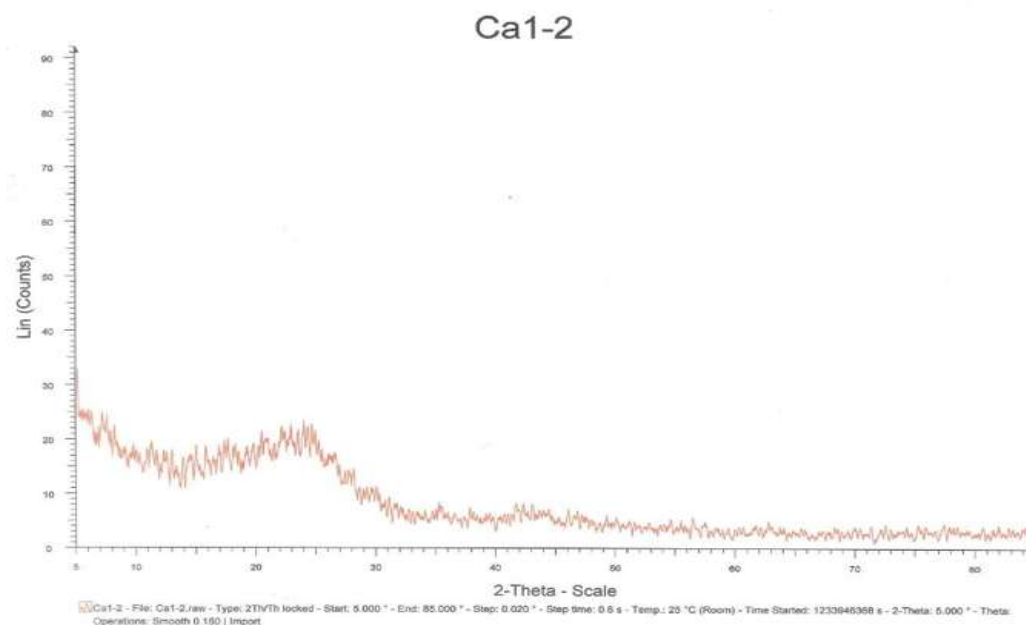


Figura 10. Difractograma del CA

En la figura 10 se corroboró que el CA carece de una estructura reticular definida.

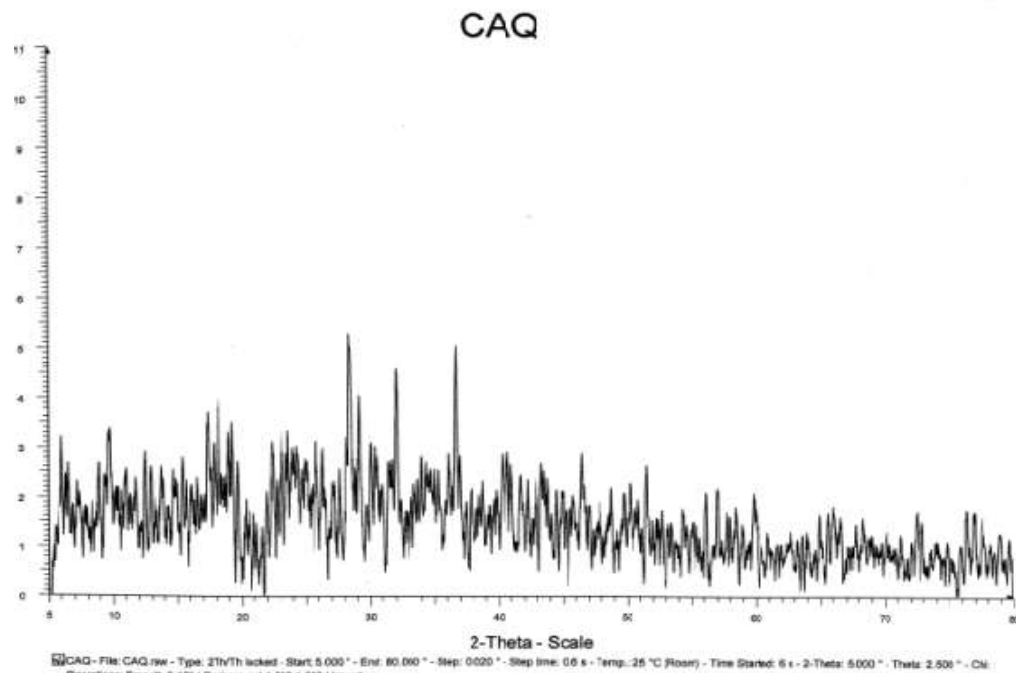


Figura 11 Difractograma de CAQ

En la figura anterior se observó que la estructura reticular del CA predominó.

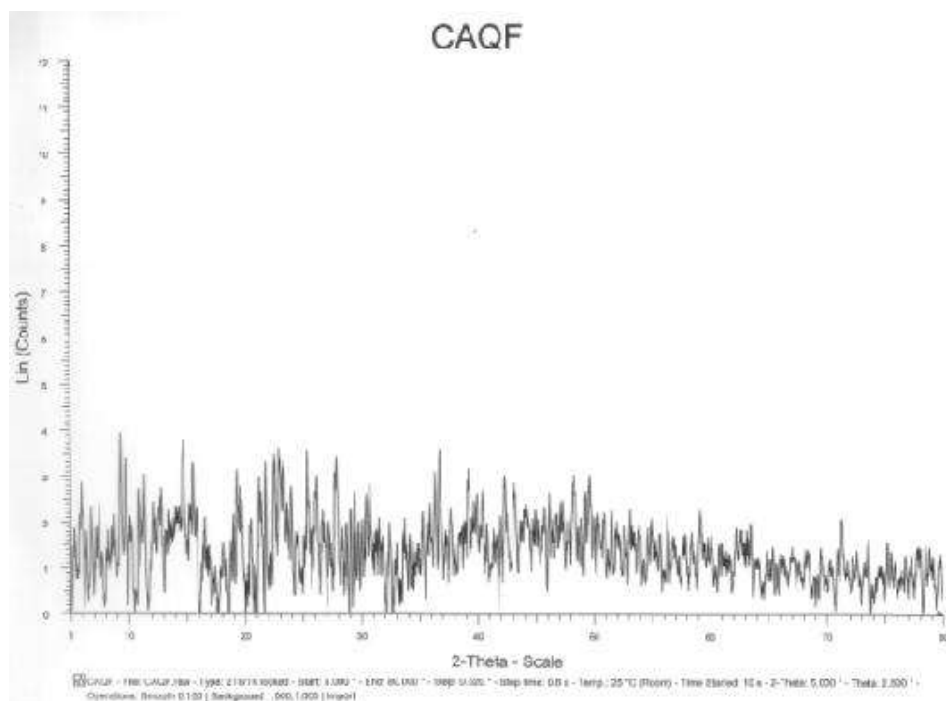


Figura 12 Difractograma del CAQF

En la figura anterior se encontró que no se modificó la estructura del CAQ al tratar el agua residual.

3.2.2.2 Microscopia Electrónica de Barrido

Con el microscopio electrónico de barrido se analiza con alta resolución la superficie de los materiales sólidos³⁴. Por lo cual para analizar la morfología de los tres materiales, se utilizó el Microscopio Electrónico de Barrido que se encuentra en el Instituto de Física de la UNAM, campus Cuernavaca. La preparación de la muestra consistió en un baño de Cobre durante un lapso de 30 min, para mejorar la visibilidad de las imágenes obtenidas por el microscopio. En las figuras 13 a 16 se muestran las micrografías de cada material.

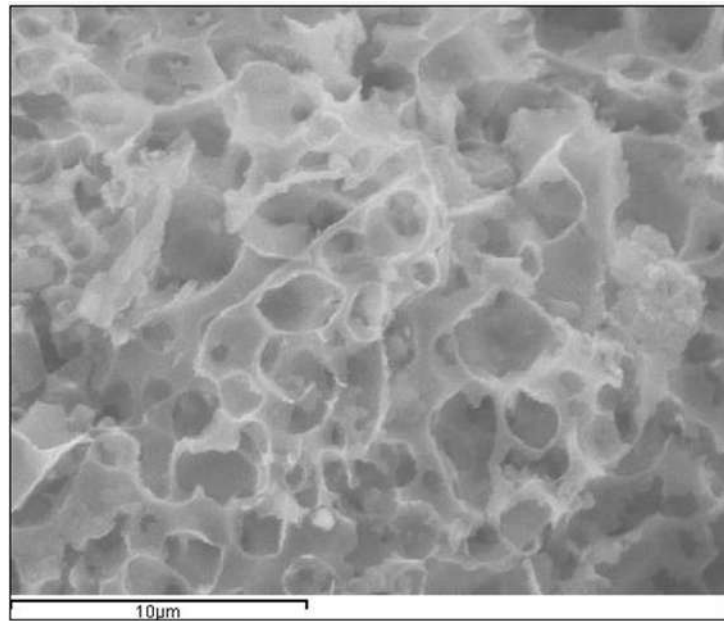


Figura 13. Micrografía de C.A a 5000X

En la figura 13. Se Observa que en la superficie del material analizado se encuentran una gran cantidad de poros de diferentes tamaños y distribuidos en forma desordenada, característico del CA, por lo cual se concluye que se logró obtener el CA.

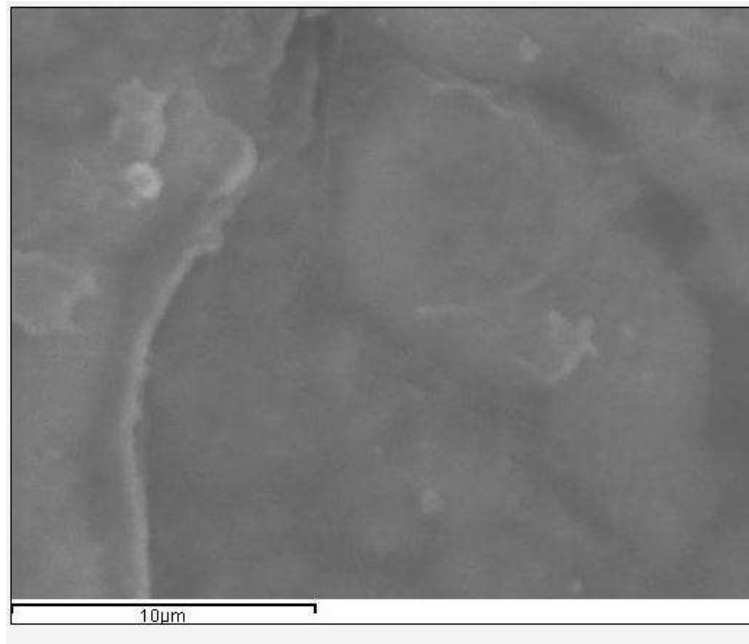


Figura 14. Micrografía de Q. a 5000X

En la Figura 14 se muestra que la quitina tiene una morfología plana, con algunas líneas en su superficie.

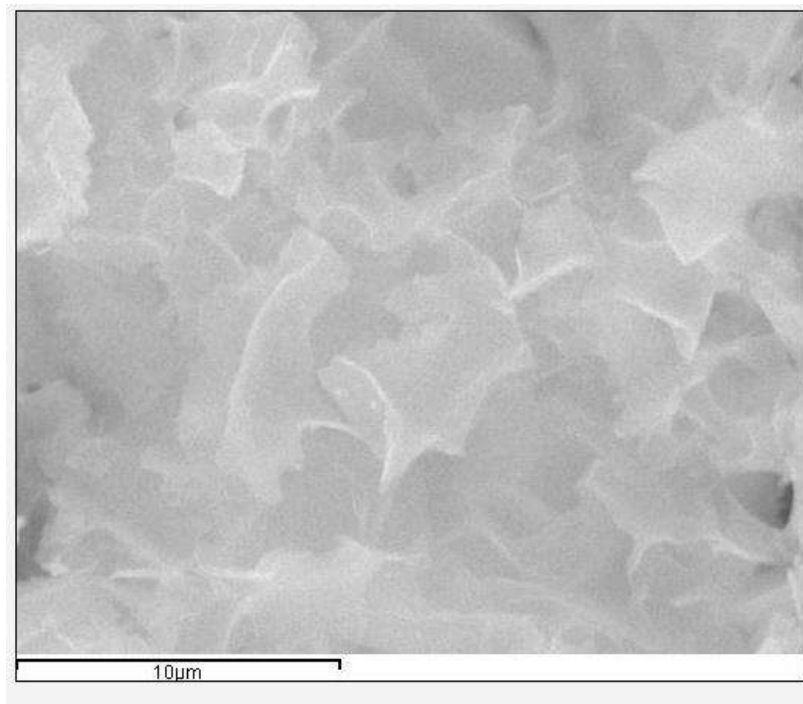


Figura 15. Micrografía del CAQ a 5000 X

En la Figura 15 se muestra como la Q. se depositó sobre los poros del CA.

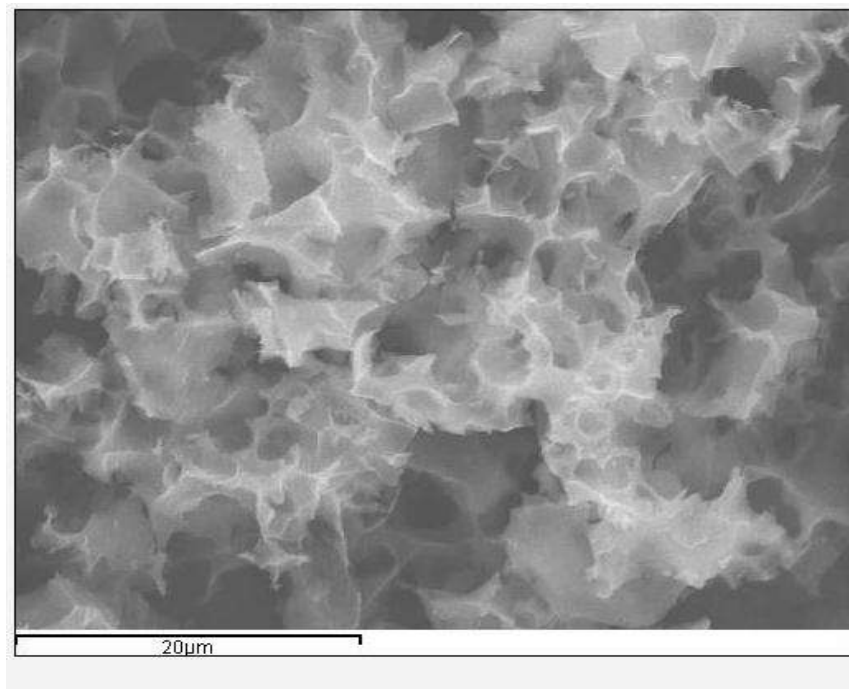


Figura 16 Micrografía del CAQ a 2500 X.

En la figura 16 muestra a menor aumento del CAQ, en esta figura se observa que toda la superficie del CA no está impregnada de la Q. con lo cual se conserva el poder adsorbente del CA, se le adiciona el poder quelante y se incrementa el poder de adsorción con la quitina.

3.2.2.3 Espectroscopia Infrarroja.

Con esta técnica se puede identificar los grupos funcionales a través de las bandas características de los grupos funcionales de la muestra a analizar³⁴. En esta técnica solo se analizó el CAQ, por que la Q. El difracto grama correspondiente se puede observar en la figura 17.

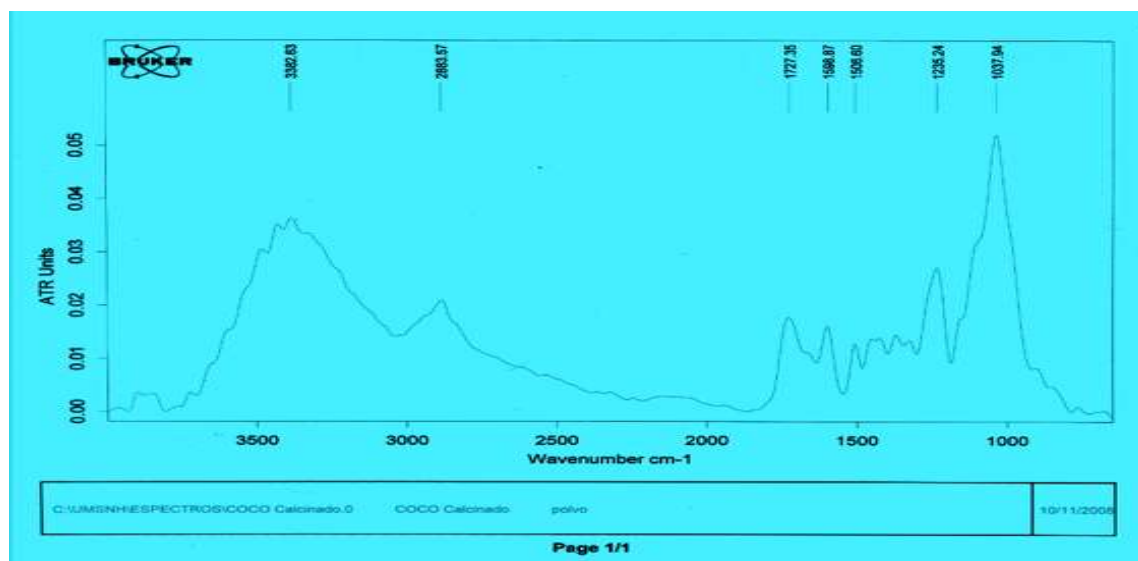


Figura 17 Difractograma del Carbono Activado

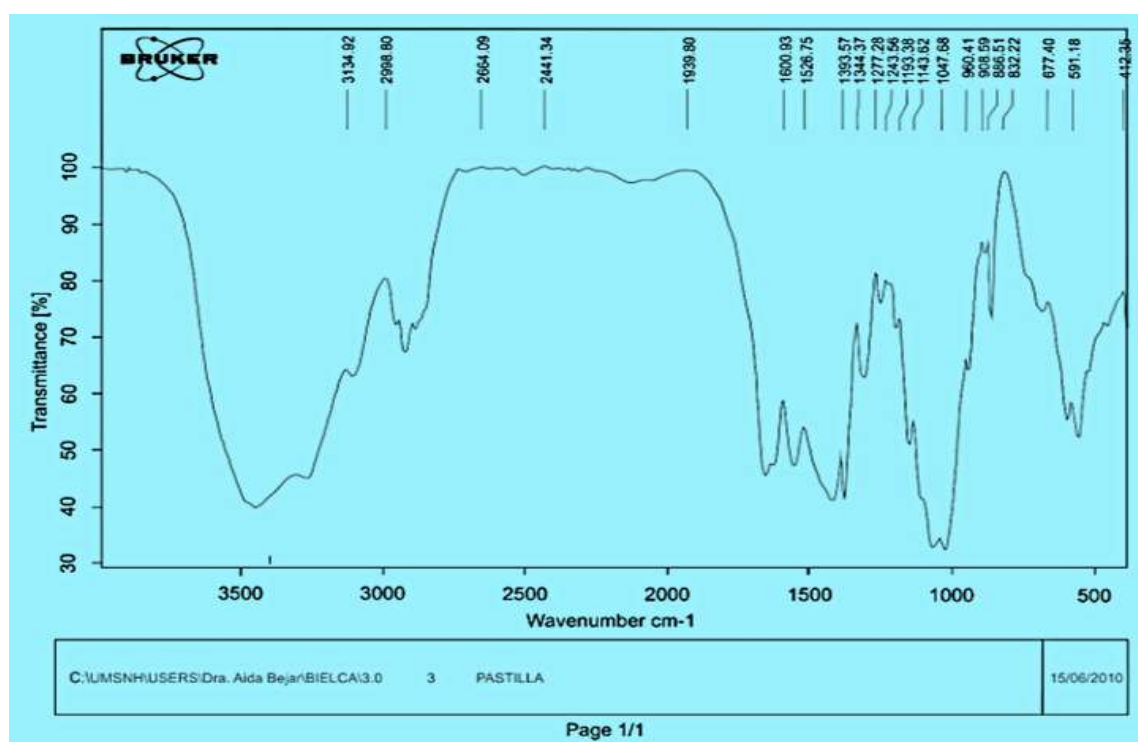


Figura 18. Difractograma de la Q.

En la figura 17 se localizaron los grupos funcionales característicos del CA, respecto a la Figura 18 se encontraron las bandas en una longitud de onda de 3434 correspondiente al grupo amino NH_2 , hidroxilo OH en 3261, la presencia del grupo carbonilo CO aparece en una banda de 1086 y el alquilo CH_3 se presenta en una longitud de 2913 y 1435, grupos propios de la quitina.

3.2.3 Identificación de Recursos contaminados y daños a la salud

Para la identificación de las fuentes de contaminación, zonas dañadas y riesgos a la salud generadas por el proceso de curtición de la tenería, se realizó un diagrama donde se muestra la problemática, el cual se observa en la figura 19.



Figura 19. Diagrama de la tenería.

En la figura 19 se Observa que la fuente de contaminación al medio ambiente y a la salud humana es por diversas formas, tales como:

- **Contaminación al aire:** En el proceso de la curtición se puede presentar en forma de Cromo particulado y una fracción se puede filtrar al aire en forma de pequeñas partículas, por consiguiente lo respira los habitantes de la propiedad, y los vecinos aledaños, acumulándose en el sistema respiratorio, además de que las partículas no depositadas en los pulmones de las personas expuestas se puede depositar en el suelo, sembradíos cercanos y/o recursos hídricos.

- **Contaminación a Mantos acuíferos:** Por la cantidad de agua que se requiere en el proceso, los residuos desprendidos de esta actividad, la falta de equipo de protección en el desarrollo de su proceso y de algún tratamiento al agua, se genera una contaminación al agua aledaña a la propiedad, además que el contacto directo del agua con la piel de los trabajadores, ocasiona un deterioro al sistema dérmico del ser humano.
- **Contaminación al suelo:** Con la descarga de los efluentes del proceso, sin ningún tratamiento a una fosa séptica, tomando en cuenta que esta técnica se ha llevado a cabo por aproximadamente 30 años, tiempo propicio para que se realizara una acumulación de los contaminantes pro del agua de curtición en el subsuelo, además que con la cercanía de sembradíos de auto consumo y para comercialización en la comunidad, estos productos están contaminados, por que absorbieron los contaminantes del suelo, con la ingesta de estos alimentos, se genera un daño a todo el sistema.

3.2.4 Muestreo del Agua Residual

El muestreo del agua residual de curtición se obtuvo de la tenería “Don Luis” situada en la reviera de la Cd. De Pátzcuaro Michoacán., a una temperatura ambiente de 22°C, se tomaron tres muestras de tres puntos diferentes de cada contenedor (Figura 20 y 21), en donde se almacena el agua del proceso de curticion, para su sedimentación y posterior deshecho a una fosa sanitaria.



Figura 20 Muestreo del agua



Figura 21. Toma de la temperatura.

3.2.5 Tratamiento del Agua Residual

Para la realización de esta etapa, se subdividió en las siguientes etapas:

3.2.5.1 Caracterización del agua residual. En este paso el agua residual recolectada con anterioridad se analizó los parámetros fisicoquímicos, de Olor, color, Conductividad, pH y Absorbancia.



Figura 22. Agua Residual Recolectada

El agua de la figura 21, era de color azul oscuro, su olor era de pelo quemado, la conductividad presentada era de 1090 dS, el pH era de 1 y la absorbancia de 9.998.

3.2.5.2 Determinación de parámetros para la reducción de Cromo.

En esta etapa fue necesario encontrar las condiciones de Cantidad de CAQ, Velocidad y tiempo que favorecen la reducción de la concentración de cromo, con ayuda de un Becker (Figura 23) este paso se realizó fijando 2 variables y modificando una.



Figura 23. Equipo Becker

- Para el caso de la cantidad de CAQ, se estableció un tiempo de 2 hrs y a una velocidad de 200 rpm, la dosis de CAQ fue modificada en intervalos de 0.25 g hasta 1 g³⁵. En cada corrida se tomaron alícuotas para medir los parámetros de pH y conductividad³⁵.
- En la Obtención de la velocidad. Se utilizó la cantidad obtenida anteriormente, el mismo tiempo del paso 1 y la velocidad se varió en diferentes corridas en intervalos de 50 rpm desde hasta 250 rpm, nuevamente se tomaron alícuotas y se midió el pH y conductividad.
- En la elección del tiempo, los valores de la cantidad y velocidad utilizados fueron los que se determinaron con anterioridad, el tiempo fue modificado en intervalos de 15 min hasta 120 min, nuevamente se tomaron alícuotas y se midió la conductividad y el pH.
- Finalmente con los parámetros de Cantidad, Velocidad y Tiempo establecidos, se trató el agua residual.

3.2.6 Análisis del Agua tratada

Al término de la serie de análisis, el agua residual tratada (A₂) con el CAQ fue analizada bajo los mismos parámetros fisicoquímicos que el agua residual no tratada (A₁), los resultados se observan en la tabla 8.

Tabla 9. Variables fisicoquímicas antes y después de ser tratada

| Variable medida | A ₁ | A ₂ |
|--------------------|-----------------|----------------|
| Color | Azul oscuro | Azul claro |
| Olor | Cabello Quemado | Sin aroma |
| pH | 1.31 | 4.3 |
| Conductividad (μs) | 1090 | 319 |
| Absorbancia | 0.998 | 0.251 |

3.2.7 Estudio del CAQ

Posteriormente para la corroboración de que el Cromo fue adsorbido por el CAQ, este fue analizado por las técnicas de: Microscopia Electrónica de barrido (SEM), Análisis Puntual (EDS) y finalmente se realizaron mapeos de la composición del área estudiada, estos resultados se muestran en el capítulo IV.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y

DISCUSIÓN DE

RESULTADOS

CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSION DE RESULTADOS

4.1 Reporte del análisis de agua residual

En el desarrollo de la investigación se determinaron los parámetros de cantidad de CAQ, la velocidad y el tiempo de contacto, la técnica para el desarrollo de estos pasos se describieron en el capítulo III. La primera variable en determinarse fue la cantidad de CAQ, los resultados de este análisis se muestran en la tabla 9.

Tabla 10. Resultados de la cantidad de CAQ.

| CAQ (g) | Conductividad (μ s) | pH | Adsorbancia (450nm) | Color |
|---------|--------------------------|------|---------------------|-------------|
| 0.0 | 1090 | 1.31 | 0.508 | Azul Oscuro |
| 0.25 | 701 | 3.27 | 0.346 | Azul |
| 0.50 | 667 | 3.43 | 0.277 | Azul |
| 0.75 | 526 | 3.54 | 0.196 | Azul cielo |
| 1.0 | 778 | 3.36 | 0.184 | Azul |

En la tabla anterior se observa como los valores de Adsorbancia disminuyen considerablemente en cada una de las corridas, al igual que la Conductividad, respecto al pH este se vio aumentado. Estos resultados nos muestran que el CAQ es un buen material para tratar este tipo de aguas residuales.

- **La cantidad de CAQ** escogida es la de 0.5 g, porque a pesar de que la cantidad de 0.75g es la que presenta un mejor comportamiento, la diferencia entre ambos es de un 7.37% en el parámetro de la conductividad y de un 0.91% en el pH, valores aceptables, además que al requerir menor cantidad de CAQ el costo de operación es menor.
- **Para la determinación de la velocidad óptima** se siguió el procedimiento descrito en el capítulo III. Para este caso se midió la conductividad y pH en cada corrida, en la tabla 10 se muestra la variación de la conductividad a diferentes velocidades.

Tabla 11. Comportamiento de la conductividad a diferentes velocidades

| tiempo | Conductividad a 50 rpm | conductividad a 100 rpm | conductividad a 150 rpm | conductividad a 200 rpm |
|--------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 0 | 1090 | 1090 | 1090 | 1090 |
| 15 | 981 | 969 | 858 | 980 |
| 30 | 714 | 945 | 663 | 944 |
| 45 | 522 | 465 | 461 | 845 |
| 60 | 906 | 792 | 769 | 975 |
| 75 | 590 | 625 | 796 | 982 |
| 90 | 445 | 532 | 672 | 920 |
| 105 | 482 | 390 | 666 | 644 |
| 120 | 670 | 349 | 879 | 595 |

En la tabla anterior se muestra como varia la conductividad a diferentes velocidades, para entender mejor el proceso se tomaron alícuotas en intervalos de tiempo. También se puede observar gráficamente en la figura 21.

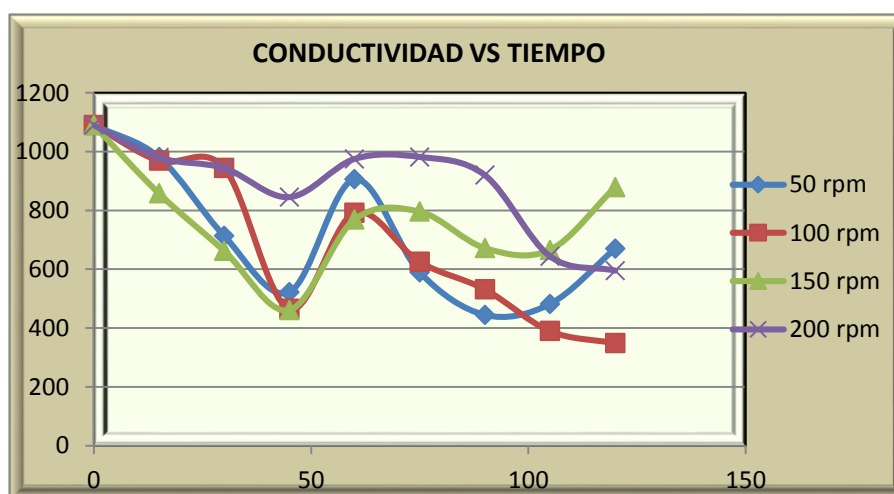


Figura 24. Grafica del comportamiento de la conductividad al variar la velocidad

En la figura anterior se observa que el mejor comportamiento de la conductividad es a una velocidad de de 100 rpm. Para corroborar este dato se midió el pH en los mismos puntos que en la conductividad.

Tabla 12 Variación del pH de acuerdo a la velocidad

| Tiempo (min) | pH a una vel. de 50 RPM | pH a vel. De 100 RPM | pHa vel de 150 RPM | pH a vel. De 200 rpm |
|--------------|-------------------------|----------------------|--------------------|----------------------|
| 0 | 1.31 | 1.31 | 1.31 | 1.31 |
| 15 | 2.13 | 2.25 | 2.21 | 2.15 |
| 30 | 2.15 | 2.63 | 2.23 | 2.45 |
| 45 | 2.28 | 2.96 | 2.24 | 3.18 |
| 60 | 2.06 | 3.13 | 2.2 | 3.26 |
| 75 | 2.07 | 3.34 | 2.19 | 3.75 |
| 90 | 2.08 | 3.65 | 2.18 | 3.84 |
| 105 | 2.18 | 3.66 | 2.25 | 3.96 |
| 120 | 2.05 | 3.84 | 2.27 | 4.01 |

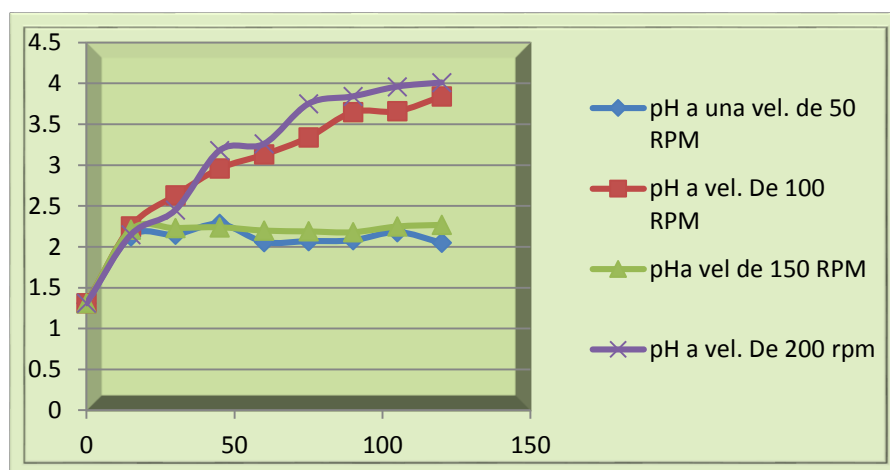


Figura 25. Grafica del comportamiento del pH al variar la velocidad

Los valores obtenidos en los diferentes puntos se realizaron con más muestras de las alícuotas tomadas para la medición de la conductividad, en este análisis también se determinó que la mejor velocidad es la de 100 rpm, porque el valor del pH es incrementado aceptable.

- **En la determinación del tiempo:** Para encontrar el tiempo de contacto óptimo se siguió la misma metodología anterior y se midieron los mismos parámetros. En las figuras 26 y 27 se muestra como varia la conductividad y pH respectivamente, a modificar el tiempo de contacto.



Figura 26. Grafica de Conductividad vs Tiempo.

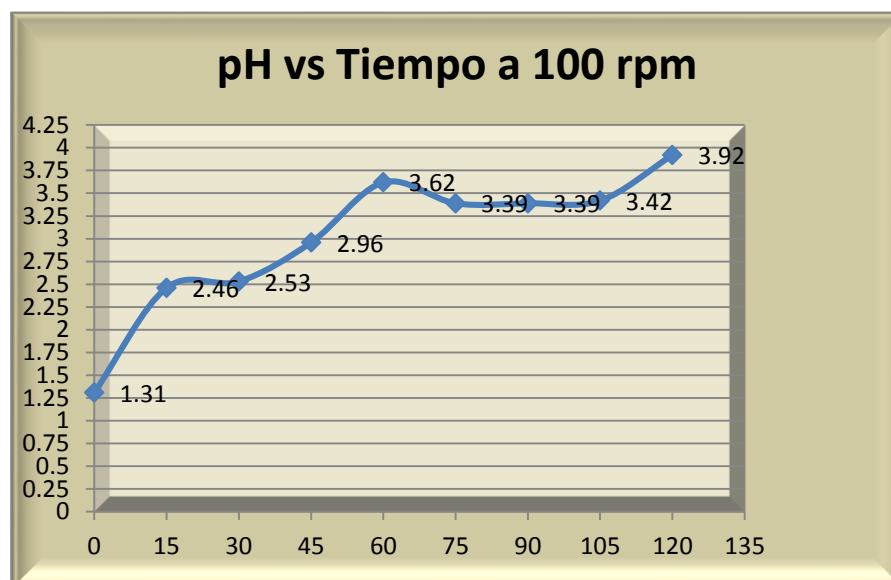


Figura 27. Grafica del cambio del pH al modificar el tiempo de contacto

En las figuras previas se observa que a los 60 min los valores de conductividad y pH bajan considerablemente, además que hay un estancamiento en el intervalo de tiempo de 75 a 105 minutos, al minuto 120 se inicia nuevamente el descenso de las variables de pH y conductividad, por lo cual el tiempo escogido es el de 60 minutos.

Los parámetros para la corrida final fueron:

- Cantidad de CAQ: 0.5 g
- Velocidad: 100 rpm
- Tiempo 60 min

Cabe señalar que estos parámetros son exactamente la mitad de lo establecido en la bibliografía. Con estos parámetros se encontraron los siguientes valores:

| Variable medida | A ₁ | A ₂ |
|---------------------------------|-----------------|----------------|
| Color | Azul oscuro | Azul claro |
| Olor | Cabello Quemado | Sin aroma |
| pH | 1.31 | 4.3 |
| Conductividad (μS) | 1090 | 319 |
| Absorbancia | 0.998 | 0.251 |

4.2 Análisis del CAQ después de tratar el agua

Para la comprobación de que el CAQ utilizado en el tratamiento del agua residual adsorbió Cromo se analizó el CAQ por la técnica de SEM, XPS y se obtuvieron mapeos, este análisis se realizó en el Microscopio Electrónico de Barrido que se encuentra en el instituto de Metalurgia de la UMSNH. El resultado se observa en las figuras 28.

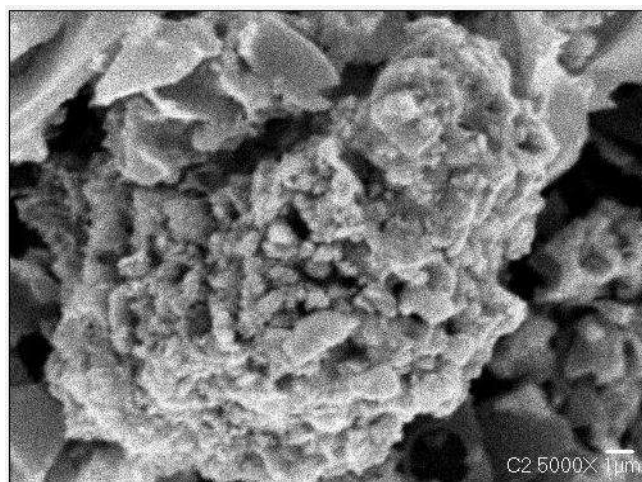


Figura 28. Micrografía a 5000 X del CAQ posterior al tratamiento

En la Figura anterior se observa como el cromo fue depositado en el CAQ



Figura 29. Mapeo a 5000X del CAQ después de tratar el agua

En la figura 29 se examinó el área mostrada en la figura 28, se encontraron los elementos de, Oxígeno, Carbón, Hierro y Cromo, los 2 primeros elementos son propios del CA y la Q, el Hierro es un elemento propio de la preparación de la muestra, al encontrar el Cromo se corroboró que el CAQ, elimino Cromo del agua tratada. Posteriormente se realizó un análisis puntual (EDS) en la zona en donde realizo el mapeo, los resultados se muestran en la figura 30.

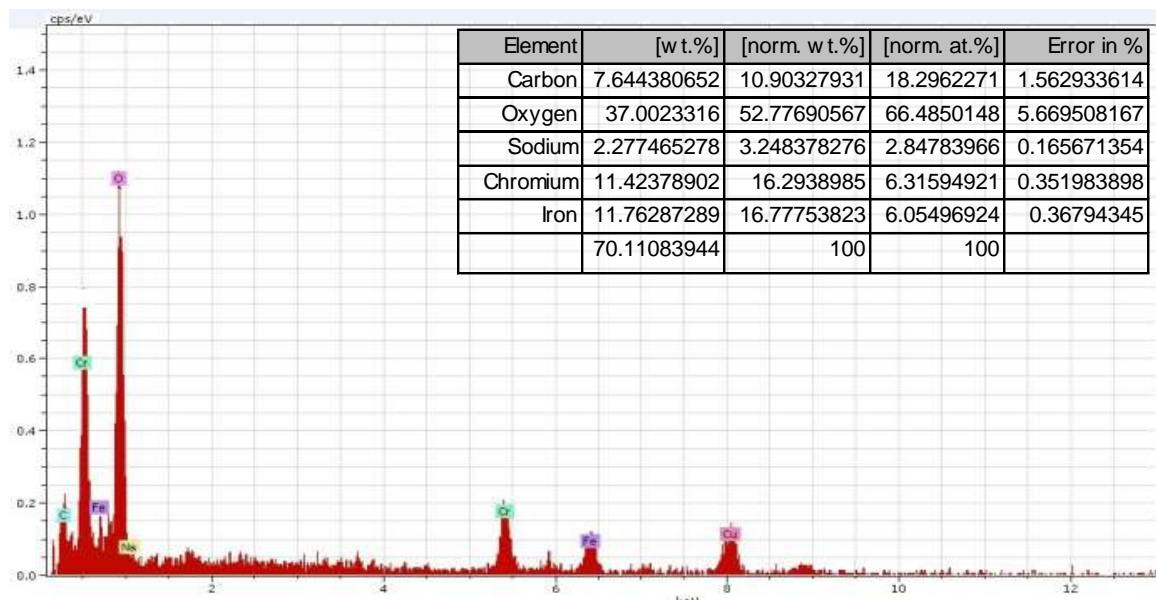


Figura 30. Grafica del análisis puntual de la figura 28

En la gráfica de la figura previa se observa que hay presencia del Cromo, así como de elementos propios del material, en la misma imagen se muestra una tabla que indica el porcentaje de cromo presente en el área de análisis.

4.3 Determinación de cantidad de Cromo removido.

La cantidad de Cromo adsorbido por el CAQ fue determinada mediante la siguiente ecuación:

$$Y = ((C_2 - C_1) * V_l) / m_{ads.}$$

Dónde:

Y= Cromo Adsorbido

C₂= Concentración fina = 0.323 g/l

C₁= Concentración Inicial = 0.634g/l

V_l= Volumen de la Solución = 0.5 l

M_{ads}= Masa del Adsorbente = 0.5 g

Los valores obtenidos de la medición de la Absorbancia del agua residual antes y después del tratamiento con CAQ fueron interpolados estos valores en la curva de calibración realizada previamente, se obtuvieron los valores de concentración inicial y final, los cuales posteriormente fueron sustituidos en la ecuación anterior, quedando de la siguiente forma.

$$Y = ((0.326 - 0.634) * 0.5) / 0.5_{ads.}$$

$$Y = 0.308 \text{ g}$$

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

Y

RECOMENDACIONES

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Después de analizar los resultados se llegó a las siguientes conclusiones:

- La hipótesis fue comprobada.
- Se logró obtener un material con propiedades mejores para el tratamiento de agua de metales pesados.
- Se caracterizó el CA, con lo cual se corrobora que la técnica desarrollada fue eficaz para la obtención del CAQ
- Se corrobora que el CAQ es capaz de remover de metales pesados.
- El porcentaje de adsorción fue de un 48.58%

5.2 Recomendaciones

La recomendación realiza para esta problemática es el desarrollo de un sistema, ya sea un filtro o una columna, que utilice el CAQ en su sistema. Alternativa que con la que se trabajara en un futuro.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

1. Alan L. Myers, *Thermodynamics of Adsorption*. Perteneciente a la publicación Chemical Thermodynamics for Industry. Ed T.M Letcher, 2004.
2. José A. Peña, *Gestión ambiental del agua en las empresas de curtiembre*, Pertenece a la publicación CONAMA, 2008, Venezuela.
3. F. Rodríguez Reinoso y M. Molina Sabio, *El Carbón Activado en Procesos de Descontaminación*, Departamento de Química Inorgánica. Universidad de Alicante. España.
4. Perez Mora, B; Candia, L.; Ottaviano, N.; Fantini, N.; Blanes, P.; Frascaroli, M. I.; García, S. I.; González, J.C.; Sala, L. F. *Biosorción de Cromo Usando el Polímero Natural Quitina*, España., 2001.
5. <http://www.inecc.gob.mx/sqre-temas/763-aqre-metales> (consultado el 23 de Septiembre del 2014).
6. <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/MetalesPes.htm> (consultado el 23 de Septiembre del 2014).
7. <http://es.wikipedia.org/wiki/Cromo#Aplicaciones> (consultado del 24 de Septiembre del 2014)
8. Adelaida Quintana García, *Curtido de Pieles*, Tesis para Obtención del título Médico Veterinario Zootecnista, México 2010.
9. <http://www.pielesycurtidos.com/blog/2010/01/que-es-curtido-pieles-curtidos-curticiones-cuero> (consultada el 24 de Septiembre del 2014)
- 10 Manual de Procedimientos para el Manejo Adecuado de los Residuos de la Curtiduría
11. <http://www.cueronet.com/hpiel/historia6.htm> (Consultado el 27 de Septiembre del 2014).
12. Guía Ambiental para la Industria de Curtido y Preparado de Cueros, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial República de Colombia.
- 13.- <http://www.agua.org.mx/index.php/biblioteca-tematica/marco-juridico-del-agua/1186-normas-oficiales-mexicanas/27369-normas-oficiales-mexicanas-nom-001-semarnat-1996-nom-002-semarnat-1996-nom-003-semarnat-1997> (Consultada el 01 de Octubre de 2014).
- 14 <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFs/D02763.pdf>. (Consultada el 04 de Octubre del 2014).
15. <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/087ecolssa.html> (consultada el 07 de Octubre del 2014).
16. http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/1392/1/nom-147-semarnat_ssa1-2004.pdf (consultada el 07 de Octubre del 2014).
17. NOM-001-SEMARNAT-1996
18. NOM-002-SEMARNAT-1996
19. NOM-147-SEMARNAT/SSA.
20. CROMO, Agency for Toxic, Substances and disease registry Division of Toxicology, Núm. 7440-47-3, EUA, Febrero 2001.
- 21 http://www.ehowenespanol.com/funciones-piel-sistema-excretor-sobre_352452/ (consultada el 10 de octubre de 2014)

22. <http://www.bonsaimenorca.com/articulos/articulos-tecnicos/parametros-de-calidad-de-las-aguas-de-riego> (Consultada el 10 de octubre del 2014)
23. Oscar Delgadillo, Alan Camacho, Luis F. Pérez, Mauricio Andrade. *Depuración de Aguas Residuales por medio de Humedades Artificiales*, Centro Andino para la Gestión de Uso del Agua., Bolivia, 2010.
24. D. Calderón, *Interpretación de Análisis de Aguas*.
25. http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Aguas/Interpretacion_Analisis_de_Aguas.htm (consultada el 10 de Octubre de 2014).
26. <http://www.planetseed.com/es/sciencearticle/impacto-ambiental> (Consultada el 10 de Octubre de 2014).
- 27 F. Rodríguez Reinoso y M. Molina Sabio. *El Carbón activado en Procesos de Descontaminación*. Universidad de Alicante. España 2002.
28. Manual del carbón Activo, Master en Ingeniería del Agua, E.I. Politécnica, U. Sevilla, España
- 29 .Donaciano Luna, Armando González, Manuel Gordo, Nancy M. *Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco*, UAM–Azcapotzalco, Area Termofluidos, México, 16 de febrero del 2007.
- 30.- Zulay Marmol, Gisela Paez, *Quitina y Quitisano Polímero Amigables. Una Revisión a sus Aplicaciones*. Revista Tecno científica, España 2011.
31. Gema J. Niño Ortega, A. Bejar, *Factibilidad de Preparación de Carbones Activados a Partir de la Cascara de Coco*, México 2008.
32. Bielca N. Pompo, *Aprovechamiento del Exoesqueleto del camarón*, Tesis para obtener el grado de Ingeniero Químico, México 2010,
- 33 técnicas de impregnación.
- 34 Pascual Bartolo Pérez, *Espectroscopias Electrónicas Técnicas avanzadas para el estudio de materiales sólidos*, Centro de Investigación en Corrosión, Universidad Autónoma de Campeche Departamento de Física Aplicada, CINVESTAV-IPN, Unidad Mérida, 2009.
34. X-RAY DATA BOOKLET, Center for X-ray Optics and Advanced Light Source,
- 35 López-Ramírez, J.A.; Sales, D.; Quiroga, J.M. Optimización de tratamientos físicoquímicos. Ensayos de laboratorio. Tratamiento de Aguas Residuales, pp. 151-156, Febrero 2000.

Apéndice I

Apéndice I

CÉDULA 1

ETAPA: RIBERA

OPERACION: RECEPCIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN:

Esta es la etapa donde llegan las pieles en el transporte. Cuando están saladas, generalmente son descargadas y dispuestas en estibas, para posteriormente ser partidas por la mitad, cargadas en los tambores o paletos para proseguir a las siguientes etapas de remojo y pelambre. En algunas tenerías las pieles no se parten.

Si las pieles vienen frescas (en sangre), se comienza el proceso inmediatamente.

1.2 EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL RECOMENDADO:

- Guantes
- Faja
- Botas de hule
- Lentes de seguridad
- Mandil

1.3 DISPOSICIONES A OBSERVAR SOBRE HIGIENE Y PREVENCIÓN DE RIESGOS EN ESTA ETAPA

La sal es un agente que puede causar irritación si se pone en contacto con las Mucosas. La piel a pesar, de su conservación contiene bacterias, por lo que es importante el aseo personal de los trabajadores al término de la jornada.

MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA EL MANEJO ADECUADO DE LOS RESIDUOS DE LA CURTIDURÍA

CÉDULA 2

OPERACION: REMOJO

2.1 DESCRIPCIÓN:

Consiste en un tratamiento de la piel en bruto (Verde Salado, Seca) con agua y que tiene como objetivo limpiar de estiércol, sangre y productos empleados en la conservación, disolver parcialmente las proteínas solubles en agua y/o en agua salina, y llevar la piel al estado de hidratación que tenía en el animal vivo. La piel en sangre solamente requiere un lavado.

2.2 FORMA Y ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LAS PIELES

a).- Pieles Conservadas por Sal: Si están bien conservadas, es conveniente el empleo de algún bactericida y tensoactivo; en caso contrario, si están mal conservadas, se requiere de un lavado para eliminar el medio nutriente de las bacterias y luego el remojo en un baño nuevo con adición de bactericidas y tensoactivos, al igual que en el caso anterior.

b).- Pieles Secas: El proceso de conservación se lleva a cabo mediante una Deshidratación por exposición al ambiente donde no se usan generalmente sal o bactericidas. Al momento del remojo habrá posibilidades de una rápida

descomposición de la piel por la presencia de bacterias que comenzaron a atacarla, durante el secado.

Es importante mencionar que en este caso se requiere de un tiempo mayor de remojo, adición de bactericidas y tensoactivos

c).- Piel en Sangre: cuando se procesan pieles en sangre se recomienda dar un primer lavado. Posteriormente se añaden pequeñas cantidades de sal para solubilizar proteínas, esta sal se agrega en base al peso de la piel. En esta operación también se utilizan bactericidas en pequeñas cantidades.

2.3 PRODUCTOS QUÍMICOS UTILIZADOS:

Cantidades sobre el peso del cuero verde salado o peso en sangre

PRODUCTO CANTIDADES

AGUA 100 – 300 %

BACTERICIDA 0.05-0.10 %

TENSOACTIVO 0.2 - .1.5 %

CARBONATO DE SODIO (Na_2CO_3) 0.10 – 0.30%

2.4 EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL RECOMENDADO:

- Guantes
- Botas de hule
- Mandiles de plástico
- Fajas

MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA EL MANEJO ADECUADO DE LOS RESIDUOS DE LA CURTIDURÍA

2.5 DISPOSICIONES A OBSERVAR SOBRE HIGIENE Y PREVENCIÓN DE RIESGOS EN ESTA ETAPA

- Aseo personal una vez concluida la jornada.
- Es importante extremar las precauciones durante la carga del tambor. En tambores mayores de 5 toneladas, deberán emplearse mínimo dos personas.
- Es importante exigir al proveedor de materiales químicos las hojas de seguridad (M.S.D.S.)⁵ que de acuerdo a la normatividad en materia de higiene y seguridad por obligación tiene que proporcionar y darlas a conocer a todo el personal.
- Los recipientes de los productos químicos deberán de contar con la caracterización de la NFPA⁶.

CÉDULA 3

OPERACION: DESCARNADO EN PELO

3.1 DESCRIPCIÓN: Es una operación que se lleva a cabo manual o mecánicamente que consiste en retirar de la piel, la endodermis, formada por tejido proteico y grasa. Existe el descarnado en pelo, que se realiza después del remojo y el descarnado en cal, realizado después del pelambre.

3.2 EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL RECOMENDADO:

- Guantes
- Mandil
- Botas de hule

3.3 DISPOSICIONES A OBSERVAR SOBRE HIGIENE Y PREVENCIÓN DE RIESGOS EN ESTA ETAPA

- Extremar las precauciones a la hora de introducir la piel a la máquina descarnadora.
- Revisar antes de empezar a trabajar el estado de los paros automáticos de seguridad de la maquinaria.

MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA EL MANEJO ADECUADO DE LOS RESIDUOS DE LA CURTIDURÍA

CÉDULA 4

OPERACION: PELAMBRE

4.1 DESCRIPCIÓN: Esta etapa consiste en: separar el pelo o lana de la piel, destruir la epidermis, hinchar y separar las fibras y fibrillas del colágeno, destruir proteínas no estructurales así como nervios, vasos sanguíneos y músculos. Con el objeto de preparar químicamente la piel para tener un mejor aprovechamiento de los curtientes.

4.2 PRODUCTOS QUÍMICOS UTILIZADOS:

Cantidades basadas en un proceso de curtido tipo sobre el peso del cuero verde salado

C A N T I D A D E S

PRODUCTO CANTIDADES

AGUA

Dependiendo si el proceso se lleva a cabo en tambor o en paleta

80.00-250.00%

TENSOACTIVO 0.2 – 1.00 %

SULFURO DE SODIO (Na_2S) 0.80 - 2.50 %

CAL (CaOH)₂ 3.50 - 6.00 %

SULFHIDRATO DE SODIO (NaSH) 0.10 - 1.50 %

DERIVADOS DEL PETRÓLEO 7 0.50 - 1.50 %

ENZIMAS 8 0.05 - 1.50 %

4.3 EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL RECOMENDADO:

- Lentes de seguridad
- Protección respiratoria contra polvos
- Protección respiratoria contra ácidos
- Botas de hule
- Guantes

4.4 DISPOSICIONES A OBSERVAR SOBRE HIGIENE Y PREVENCIÓN DE RIESGOS EN ESTA ETAPA

- Toda persona deberá utilizar protección respiratoria contra vapores ácidos al destapar el tambor en esta etapa del proceso.
- El personal que lleve a cabo esta operación deberá utilizar protección respiratoria contra polvos en el momento de la adición de los productos químicos (sulfuro de sodio, sulfhidrato de sodio y cal).
- Aseo personal una vez concluida la jornada.

- Es importante extremar las precauciones durante la carga del paleta o tambor. En tambores mayores de 5 toneladas, deberán emplearse mínimo dos personas.
- Es importante extremar las precauciones durante la carga del paleta o tambor.
- Es importante exigir al proveedor de materiales químicos las hojas de seguridad (MSDS) que por obligación tiene que proporcionar y darlas a conocer a todo el personal.
- Los recipientes de los productos químicos deberán de contar con la caracterización de la NFPA.
- Por lo general no se utilizan por no estar autorizados, y afectar la calidad final del producto.
- Son procesos alternativos que se encuentran en etapa de pruebas.

CÉDULA 5

OPERACIÓN: DIVIDIDO EN CAL O TRIPA:

5.1 DESCRIPCIÓN: Operación mecánica que consiste en separar en dos capas (flor y carnaza), la piel mediante una cuchilla sinfín.

5.2 EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL RECOMENDADO:

- Mandil
- Lentes de seguridad
- Botas de hule
- Guantes

5.3 DISPOSICIONES A OBSERVAR SOBRE HIGIENE Y PREVENCIÓN DE RIESGOS EN ESTA ETAPA

- Extremar las precauciones al introducir la piel a la máquina de dividir.
- Revisar antes de empezar a trabajar, el estado de los paros automáticos de seguridad de la maquinaria.

APENDICE II

Tabla del Anexo II.1 Frecuencias características de la Absorción Infrarroja

| Enlace | Tipo de Compuesto | Intervalo de frecuencia cm^{-1} | Referencia |
|--------------------------|--|--|------------|
| C-H | Alcanos | 2850-2960 | Sec. 16.18 |
| | | 1350-1470 | |
| C-H | Alquenos | 3020-3080 (m) | Sec. 16.18 |
| | | 675-1000 | |
| C-H | Anillos aromáticos | 3000-3100 (m) | Sec. 16.18 |
| | | 675-870 | |
| C-H | Alquinos | 3300 | |
| C-C | Alquenos | 1640-1680 (ν) | Sec. 16.18 |
| $\text{C}\equiv\text{C}$ | Alquinos | 2100 - 2260 (ν) | Sec. 16.18 |
| C=C | Alcoholes, éteres, ácidos, carboxílicos, ésteres | 1080 - 1300 | Sec. 18.11 |
| | | | Sec. 19.18 |
| | | | Sec. 23.22 |
| | | | Sec. 24.25 |
| C=O | Aldehidos, cetonas, ácidos carboxílicos, ésteres | 1690 - 1760 | Sec. 21.16 |
| | | | Sec. 23.22 |
| | | | Sec. 24.25 |
| O - H | Alcoholes monómeros, fenoles | 3610 - 3600 (ν) | Sec. 18.11 |
| | | | Sec. 28.14 |
| | Alcoholes con puentes de hidrógeno, fenoles | 3200 - 3600 | Sec. 18.11 |
| | | | Sec. 28.14 |
| | Acidos carboxílicos | 2500 - 3000 | Sec. 23.22 |
| N - H | Aminas | 3300 - 3500 (m) | Sec. 27.21 |
| C - N | Aminas | 1180 - 1360 | Sec. 27.21 |
| $\text{C}\equiv\text{N}$ | Nitrilos | 2210 - 2260 (ν) | |
| $-\text{NO}_2$ | Compuestos nito | 1515 - 1560 | |
| | | 1345 - 1385 | |

Todas las bandas son intensas, salvo las marcadas: m, moderada; ν , variable

OBTENIDO DEL LIBRO “QUÍMICA ORGÁNICA”, DEL AUTOR MORRISON Y BOYD, QUINTE EDICIÓN;
UNIVERSIDAD DE NEW YORK

GLOSARIO

GLOSARIO

Carbón Activado: Material obtenido sintéticamente a partir de materiales orgánicos, el cual posee un elevado grado de porosidad por su área superficial elevada y baja selectividad.

Adsorción: La adsorción es un proceso por el cual átomos, iones o moléculas son atrapados o retenidos en la superficie de un material.

Biosorción: eliminación de metales pesados por la unión pasiva de biomasa no viva a partir de soluciones acuosas.

Contaminación: es aquella alteración en el medio ambiente por presencia de sustancias químicas o físicas diferentes al medio, puede provocar daños en un ecosistema, en el medio físico o en los seres vivos

Difusión: La difusión es un proceso físico irreversible, en el que partículas materiales se introducen en un medio que inicialmente estaba ausente, aumentando la entropía (Desorden molecular) del sistema conjunto formado por las partículas difundidas o soluto y el medio donde se difunden o disuelven. Normalmente los procesos de difusión están sujetos a la Ley de Fick. La membrana permeable puede permitir el paso de partículas y disolvente siempre a favor del gradiente de concentración. La difusión, proceso que no requiere aporte energético, es frecuente como forma de intercambio celular.

Aguas residuales

Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas¹².

Contaminantes básicos

Son aquellos compuestos y parámetros que se presentan en las descargas de aguas residuales y que pueden ser removidos o estabilizados mediante tratamientos convencionales. En lo que corresponde a la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT sólo se consideran los siguientes: grasas y aceites, materia flotante, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno⁵, nitrógeno total (suma de las concentraciones de nitrógeno Kjeldahl, de nitritos y de nitratos, expresadas como mg/litro de nitrógeno), fósforo total, temperatura y pH¹².

Cuerpo receptor

Son las corrientes, depósitos naturales de agua, presas, cauces, zonas marinas o bienes Nacionales donde se descargan aguas residuales, así como los terrenos en donde se infiltran o inyectan dichas aguas cuando puedan contaminar el suelo o los acuíferos¹².

Descarga

Acción de verter, infiltrar, depositar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor en forma continua, intermitente o fortuita, cuando éste es un bien del dominio público de la Nación¹².

Límite máximo permisible

Valor o rango asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en la descarga de aguas residuales¹².

Metales pesados y cianuros

Son aquéllos que, en concentraciones por encima de determinados límites, pueden producir efectos negativos en la salud humana, flora o fauna, La Norma Oficial Mexicana NOM-001- SEMARNART-1997 sólo se considera los siguientes: Arsénico, Cadmio, Cobre, Cromo, Mercurio, Níquel, Plomo, Zinc y Cianuros¹².

Parámetro

Variable que se utiliza como referencia para determinar la calidad física, química y biológica del agua¹².

Residuos peligrosos

Todos aquellos residuos que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables y biológico-infecciosas, que representan un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente¹⁴.