

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, LEÓN

UNAN – LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE QUIMICA



Tema:

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL PROCESO DE CURTIDO EN  
TENERÍAS DE LA CIUDAD DE LEÓN, MEDIANTE UN PROCESO DE ADSORCIÓN  
CON BIOMASA

MONOGRAFÍA PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
LICENCIATURA EN QUIMICA

Autores: Br. María Luisa Ramos Solano

Br. Claudia Carolina Valle Laguna

Br. Sintia Yazmín Vallesterero Mayorga

Tutores: MSc. Vernon Sandoval

MSc. Jairo Salazar



## DEDICATORIA

Al creador de todas las cosas, el que nos ha dado fortaleza para continuar cuando hemos estado desanimada; que ha levantado nuestras alas como las águilas y me tiene en el hueco de su mano, dedico primeramente mi trabajo a Dios.

A nuestros padres por su apoyo en todo el transcurso de nuestros estudios gracias a ellos fue posible llegar hasta esta etapa de nuestras vidas.

A nuestros maestros que con su enseñanza y solidaridad fue posible la formación de nuestra carrera, por ayudarnos aprender de nuestros errores y seguir en el camino correcto para poder llegar a ser profesionales con valor y ética.



## AGRADECIMIENTO

A Dios: por permitirnos alcanzar esta etapa de nuestras vidas gracias a su poder y amor, por llenarnos de sabiduría y darnos bienestar para así poder terminar nuestros estudios, ya que sin él no fuese posible nada en el mundo.

A nuestros padres y familiares, por brindarnos su apoyo incondicional en cada una de las necesidades que se cruzaron en el camino y así poder terminar nuestra monografía.

Agradecemos a todas las personas que nos ayudaron y que estuvieron involucradas en la elaboración de este proyecto monográfico, por lo que sin su apoyo no hubiese sido culminada este trabajo.

A nuestros tutores MSc Vernon Sandoval y MSc Jairo Salazar por regalarnos su tiempo y conocimientos sin ninguna restricción en cada paso, para poder realizar nuestra monografía, gracias maestros.



## Índice

### 1 Contenido

I. Resumen.....	7
II. Introducción.....	8
III. Objetivos.....	9
III.1 Objetivo General.....	9
III.2 Objetivos Específicos.....	9
IV. Planteamiento del problema.....	10
V. Justificación.....	11
VI. Antecedentes históricos.....	12
VII. Marco teórico.....	13
VII.1 Contaminación del agua.....	13
VII.2 Aguas residuales industriales.....	13
VII.3 Aguas residuales provenientes de tenerías.....	13
VII.4 Contaminación del agua por metales pesados.....	14
VII.5 Generalidades del cromo.....	14
VII.6 Reacciones y mecanismos del cromo en sistemas acuosos.....	14
VII.7 Propiedades Redox del Cromo.....	15
VII.8 Distribución del Cr (VI) en el medio ambiente.....	17
VII.9 Distribución de las especies de cromo en el agua.....	17
VII.10 Efectos sobre la salud.....	18
VII.11 Efectos en el medio Ambiente.....	19
VII.12 Toxicidad del cromo.....	20
VII.13 Toxicidad del cromo en sus dos estados de valencia.....	21
VII.14 Tratamientos tradicionales para la eliminación de Cr (VI).....	22
VII.15 Mecanismos de captación de metales pesados.....	23
VII.16 Variables que influyen en el proceso de adsorción de metales pesados.....	24
VII.16.1 Influencia del pH en la adsorción.....	24
VII.16.2 Efecto de la dosis de Adsorbente en la adsorción.....	24



VII.17	Mecanismo de adsorción del Cromo hexavalente.....	25
VII.17.1	Mecanismo de óxido-reducción indirecto .....	25
VII.17.2	Mecanismo oxido-reducción directo.....	25
VII.18	Sorción para la eliminación de Cr (VI) .....	26
VII.19	Generalidades del Carbón Activado.....	27
VII.20	Estructura del Carbón Activado .....	27
VII.21	Composición del carbón activado .....	28
VII.21.1	Composición química.....	28
VII.21.2	Composición física .....	29
VII.22	Importancia y uso del carbón activado.....	29
VII.23	Tipos de adsorbentes.....	30
VII.24	Isotermas de adsorción .....	31
VII.24.1	Isoterma de Langmuir.....	32
VII.24.2	Isoterma de Freundlich .....	33
VII.25	La espectrofotometría.....	34
VII.26	Leyes de la espectrofotometría.....	35
VII.27	Método espectrofotométrico para determinar cromo.....	36
VII.28	Caracterización de la tenería en León.....	37
VII.29	Operaciones y procesos para la producción de cuero.....	37
VII.31	Tratamiento estadístico .....	40
VII.	Metodología.....	42
VIII.	<i>Muestreo y recolección de la muestra</i> .....	43
IX.	Materiales y Reactivos .....	44
X.	Preparación de Soluciones .....	45
XI.	Procedimientos .....	46
XII.	Análisis de resultados .....	49
XII.1	Porcentaje de influencia del tamaño de partícula del carbón activado para el proceso de adsorción .	49
XII.2	Calibración del espectrofotómetro.....	50
XII.3	Curva de calibración normal .....	50
XII.4	Adsorción de cromo VI en muestras de estándares y muestras recolectadas en la tenería de León	54
XII.5	pH en el porcentaje de remoción de cromo VI.....	56
XII.6	Análisis de datos para la isoterma de Langmuir y Freundlich .....	57



# Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua UNAN-LEON.

---

XII.7	Absorbancia vs tiempo .....	59
XII.8	Porcentaje de cromo adsorbido en mallas de 100 y 230 MESH en concentraciones de 2-14 ppm ...	60
XII.9	Cinética de adsorción .....	63
XIII.	Conclusiones.....	65
XIV.	Recomendaciones.....	66
XV.	Bibliografía .....	67
XVI.	Anexos.....	71



## I. Resumen

Las aguas residuales de efluentes de tenería, suelen contener una gran variedad de contaminantes, con efectos nocivos sobre los ecosistemas, la remoción de estos contaminantes requiere de tecnologías efectivas y por ende costoso, por lo que en las últimas décadas se han desarrollado técnicas de limpieza que tratan esta problemática.

Este trabajo estudió la adsorción de Cromo (VI) utilizando la cascara del fruto de la planta (*Cocos nucifera L.*) como biomasa orgánica. El seguimiento a la variación de la concentración de Cr (VI) en el estudio, se realizó por el método espectrofotométrico a una longitud de onda de 351 nm. Los parámetros empleados para el estudio realizados a muestras de aguas residuales fueron: pH 2, tiempo de contacto de 30 min, tamaño de partícula 0.063mm y dosis de adsorbente de 5g en 40mL de agua residual, dando como resultado una remoción del 87% de Cr (VI). El proceso puede ser estudiado a través de los modelos de Langmuir y de Freundlich, ya que los coeficientes de correlación obtenidos para ambos modelos fueron de 0,9933 y 0,9997 respectivamente.

El modelo cinético que mejor se ajusta al estudio es de primer orden adaptado a la curva experimental del proceso. El método presentó buena correlación lineal con un valor de  $R^2$  de 0.9989. De acuerdo a los resultados anteriores se establece que, el método utilizado de análisis espectrofotométrico UV-vis, proporciona resultados confiables. Se comprobó que el carbón activado a partir de cascara de coco presenta buenas propiedades de adsorción para remoción de Cr (VI) y es un diseño de bajo costo. Por tanto, dicho estudio permitiría a la industria del cuero implementar medidas que minimicen el impacto ambiental generado.



## II. Introducción

En el departamento de León se encuentran empresas dedicadas al proceso de curtido de cuero, los cuales utilizan sales de cromo (III) para la formación de un cuero resistente a la degradación física y biológica, destinados a la fabricación de elementos basados en este material, esta especie de cromo puede oxidarse a cromo hexavalente, que es la especie de mayor toxicidad. Este sector industrial de las curtiembres genera descargas con volúmenes altos de concentrados de cromo al Río Chiquito. El problema que presenta el uso de sales de cromo en el curtido de pieles, es generado por gran cantidad de curtiente que no se fija y finalmente se descarga al ambiente en las aguas residuales, generando efectos negativos en el ambiente y a la salud humana.

En la salud humana se presentan afectaciones como: enfermedad diarreica aguda, enfermedad respiratoria aguda, enfermedades en el sistema reproductivo y cáncer; en el ambiente se producen efectos negativos en la vida acuática.

Los diversos métodos que se aplican en la actualidad, suelen ser costosos o no resultan del todo eficaces para cumplir con las regulaciones ambientales. Resulta necesario entonces, contar con nuevas alternativas para enfrentar este tipo de problemática. La adsorción con biomasa puede ser una técnica novedosa; entre sus ventajas se destacan ser un proceso muy rápido, eficaz y menos costoso, frente al tratamiento de grandes volúmenes de efluentes con concentraciones de metales.

En el presente trabajo de investigación se implementó, un método de análisis para determinar la concentración de Cr (VI) en muestras de agua residuales provenientes del proceso de curtido. El método empleado fue espectrofotometría UV-vis, que es uno de los métodos más utilizados en los laboratorios analíticos para identificar especies absorbentes.

El método espectrofotométrico UV-vis, en la determinación de Cromo (VI) en agua residuales, se fundamenta en su adsorción con el carbón activado a partir de cascara de coco, estableciendo así el mejor agente adsorbente, de bajo costo y de mucha abundancia. Las muestras de aguas residuales, fueron leídas a una longitud de onda de 351 nm.

Los parámetros considerados en este estudio fueron: pH, dosis de adsorbente y el tamaño de partícula. Estos parámetros son de mucha importancia ya que brindan resultados confiables para los fines propuestos.



## III. Objetivos

### III.1 Objetivo General

Estudiar la eficacia o rendimiento en la remoción de cromo (VI) mediante el uso de carbón activado extraído de biomasa.

### III.2 Objetivos Específicos

- ❖ Analizar factores que intervienen en la capacidad de adsorción, tales como: tamaño de partícula y pH.
- ❖ Evaluar mediante la cinética de adsorción, el tiempo óptimo de contacto de la biomasa con el metal.
- ❖ Estimar la capacidad de adsorción de la cascara de coco, en la remoción de Cromo (VI) en aguas residuales de tenerías de la ciudad de León.



#### IV. Planteamiento del problema

La industria del curtido probablemente represente los niveles más contaminantes en términos de descarga sólida, líquida y gaseosa al medio ambiente. Asimismo, debido a que el proceso de curtido se realiza en soluciones acuosas, el agua residual retirada contiene materias orgánicas e inorgánicas, convirtiéndose esta descarga en uno de los principales problemas ambientales que enfrentan las curtiembres.

Durante el proceso productivo, vierte considerable volumen de residuales líquidos con contenido de Cr (VI), producto de las materias primas que ingresan en el proceso tecnológico, los cuales se vierten al Río Chiquito afectando el equilibrio ecológico e influyendo la forma negativa en el medio ambiente. Este fenómeno tiene gran impacto en la sociedad, ya que este tipo de contaminante es el causante de desarrollar diferentes enfermedades que afectan al ser humano.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha determinado que muchos de ellos son tóxicos y están presentes debido a su uso extendido como reactivo y solvente en varias industrias.

Para este estudio se formula una interrogante que estará en prueba durante el análisis:

**¿Habría remoción de Cr (VI) con carbón activado a partir de cascará de coco para el tratamiento de aguas residuales en curtiembres por el método espectrofotométrico?**



## V. Justificación

La pequeña industria de cuero para ser más competitiva en la comercialización de su producto, debe disponer de un sistema organizativo que le permita la optimización de sus procesos siendo la adsorción con carbón activado a partir de cascara de coco, una alternativa para disminuir la contaminación como un excelente absorbente, de bajo costo.

La investigación pretende contribuir a establecer una tecnología de filtros para la reducción de concentraciones de Cr (VI) en aguas residuales de las tenerías de León, por el proceso de adsorción química con biomasa.



## VI. Antecedentes históricos

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el agua está contaminada cuando su composición o condición se ve alterada, de modo que resulte menos apta para todas las funciones y propósitos para los que sería apropiada en su estado natural. Esta definición incluye alteración de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, debido a la descarga de sustancias líquidas, gaseosas o sólidas que puedan producir molestias o conviertan esta agua en un peligro para la salud o bienestar humano. También se extiende a aquellas actividades que impidan su uso doméstico, comercial, industrial, agrícola o recreativo. (Eddy., 2003)

Un método que ha mostrado buenos resultados en cuanto a la remoción de metales pesados es el carbón activado. Éste, es un material producido mediante la combustión en condiciones especiales y controladas de sustancias orgánicas que presenta una gran superficie expuesta, permitiendo la retención por absorción y adsorción de partículas suspendidas y aún sustancias disueltas. (Schifini., 1996)

(Selvi, 2001), estudiaron la adsorción Cr (VI) sobre un carbón activado fabricado a partir de cáscara de coco y encontraron que la máxima capacidad de adsorción ocurrió a pH=3, pero esto se debió a que Cr (VI) se redujo a Cr (III) a este pH. En estudios de (Leyva R, 2008), el Cr (VI) en solución acuosa puede formar diferentes hidrocomplejos, los cuales dependen del pH de la solución y de la concentración total de Cr (VI). Este comportamiento se atribuyó a las interacciones electrostáticas entre los aniones de Cr (VI) en solución y la carga superficial de fibra de carbón activado (FCA). El hidrocomplejo que más se adsorbió sobre la FCA es el bicromato ( $HCrO_4^-$ ) a un pH de 6 de la distribución molar de las especies de Cr (VI) en 74 % y 26% como  $CrO_4^{2-}$ .

También (Primera O., 2010) de la Universidad de Cartagena Colombia, trabajaron con carbones activados a partir de bagazo de caña de azúcar y zuro de maíz para la adsorción de cadmio y plomo. Concluyeron que los carbones activados obtenidos fueron más selectivos para absorber cadmio que plomo y que la remoción de estos metales pesados fue de mayor facilidad cuando se encontraban solos que combinados.

Así mismo (Karen J., 2012) trabajaron en la “Preparación de carbón activado a partir de cáscara de naranja por activación química. Caracterización física y química”, concluyeron que el incremento en la concentración de la solución de ácido fosfórico como agente activante, desarrolla en las muestras una mayor área superficial y una tendencia similar en cuanto al volumen de microporo; además presenta influencia sobre la química superficial del material carbonoso.

En el mismo año (Garzon, 2012). Investigaron la “Adsorción de Cr (VI) utilizando carbón activado a partir de cáscara de naranja”, determinaron que el pH con mayor eficiencia para la adsorción de Cr (VI) resultó ser de 3 con un 86.05% de remoción en 60 minutos y para valores inferiores se produce una competencia entre los iones de Cr (VI) y  $H^+$  por los lugares activos.



## VII. Marco teórico

### VII.1 Contaminación del agua

La contaminación del agua es causada principalmente por las actividades antropogénicas, ya que comienza a desarrollarse desde los primeros intentos de industrialización, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el agua está contaminada cuando su composición o condición se ve alterada de modo que resulte menos apta para todas las funciones y propósitos para los que sería apropiada en su estado natural, lo que incluye alteración de sus propiedades físicas, químicas y biológicas debido a la descarga de sustancias líquidas, gaseosas o sólidas que puedan producir molestias o conviertan esta agua en un peligro para la salud o bienestar humano. (Metcalf, 2003)

Los contaminantes pueden encontrarse en forma disuelta o en suspensión, y por su naturaleza química ser orgánicos o inorgánicos, además dependiendo del efluente se pueden encontrar modificaciones organolépticas, de pH, presencia de materia orgánica, grasas, sólidos en suspensión, material coloidal, trazas de metales pesados, contaminantes orgánicos especiales. (Carabias J, 2005.)

### VII.2 Aguas residuales industriales

Proceden de los procesamientos realizados en fábricas y establecimientos industriales y contienen aceites, detergentes, antibióticos, ácidos y grasas y otros productos y subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal. Su composición es muy variable, dependiendo de las diferentes actividades industriales. (López., 2011)

### VII.3 Aguas residuales provenientes de tenerías

El agua residual proveniente del proceso de curtido de cuero realizado en las tenerías contiene ciertos contaminantes muy perjudiciales. Son aguas catalogadas como tóxicas y peligrosas, dado su alto contenido en cromo y sales neutras, que se generan en el curtido de la piel que se realiza con sales de cromo. El cromo trivalente, es el que se encuentra en mayor cantidad en estos efluentes, no es de gran toxicidad, pero bajo ciertas condiciones del medio, puede oxidarse pasando a cromo hexavalente, el cual es de muy alta toxicidad, afectando los ciclos biológicos y al ser humano, por esto su concentración está muy limitada en los vertidos a cauces y colectores. En estos efluentes, también se encuentra la presencia de sulfuros, los cuales son utilizados para la eliminación del pelo. (Rodas Quiroz, 2016)



## VII.4 Contaminación del agua por metales pesados

La presencia de metales pesados en solución acuosa representa un serio peligro para la salud humana ya que muchos de estos metales son tóxicos. De acuerdo a la lista de contaminantes prioritarios de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA), incluyen a los siguientes elementos: arsénico, cromo, cobalto, níquel, cobre, zinc, plata, cadmio, mercurio, titanio, selenio y plomo. (Graeme, 1998)

Estos metales pesados son emitidos al medio ambiente por fuentes naturales como las erupciones volcánicas y fuentes antropogénicas tales como las descargas de aguas residuales industriales y municipales. Entre los principales metales tóxicos destacan el plomo, cadmio, cromo y mercurio. (Leyva R, 2008)

## VII.5 Generalidades del cromo

El cromo es un elemento metálico de amplia distribución en la naturaleza. Ocupa el cuarto lugar entre los 29 elementos biológicamente más importantes de la corteza terrestre. Su estado de oxidación más alto es el +6, aunque estos compuestos son muy oxidantes.

El cromo se comporta en dos formas diferentes al ponerse en contacto con el ser humano. El cromo (III) es un oligoelemento, indispensable para procesos bioquímicos y fisiológicos necesarios para la vida, específicamente tiene acciones en el metabolismo de la glucosa, el colesterol y los ácidos grasos, además de desempeñar un papel muy importante en diferentes reacciones enzimáticas. El cromo (VI) es un elemento altamente tóxico para el ser humano y está clasificado por la IARC (International Agency for Research on Cancer) en el grupo I (cancerígeno comprobado en humanos) ya que en exposición ocupacional produce cáncer en el sistema respiratorio.

El Cr (VI) se utiliza ampliamente en metalurgia para aportar resistencia a la corrosión y un acabado brillante. El cromo metálico se utiliza para la fabricación de acero, en tanto que el cromo hexavalente y trivalente se usan para cromados, fabricación de pinturas y pigmentos, curtido de cueros, en torres de refrigeración de purga, chapado, galvanoplastia, anodización, baños, agua de lavado, como catalizadores y conservador de madera. (Mohana Dinesh, 2006).

## VII.6 Reacciones y mecanismos del cromo en sistemas acuosos

En situaciones en las que existe contaminación, la concentración de Cr (VI) es muy pequeña como resultado de la oxidación del Cr (III), siendo este la forma prevalente. La humedad de la tierra y de



los sedimentos en equilibrio con el oxígeno atmosférico proporcionan las condiciones necesarias para que la reducción y la oxidación ocurran simultáneamente.

Las especies de Cr (III) pueden ser oxidadas a Cr (VI) por compuestos oxidantes que existen en la tierra, como por ejemplo el dióxido de manganeso. Al mismo tiempo las especies de Cr (VI) pueden ser reducidas también a Cr (III) en presencia del óxido de manganeso reducido (MnO) y ácidos orgánicos presentes en la materia orgánica de la tierra. (Jaraba, 2012)

La presencia de cromo hexavalente en sistemas acuáticos, ha llamado la atención de las autoridades debido a su elevada toxicidad y propiedades mutagénicas lo que ha llevado a restringir cada vez más los niveles de Cr (VI) presente en ellos.

Por otra parte, el cromo trivalente, no presenta estas características sumado al hecho que, de acuerdo al pH del medio, es fácilmente removido desde los sistemas acuosos lo que no ocurre con el Cr (VI) quien se encuentra en forma de cromato o dicromato, ambas muy solubles en agua.

Desde el punto de vista termodinámico, la reducción del dicromato en agua está favorecida, sin embargo, éste es estable en soluciones acuosas ácidas debido a fenómenos cinéticos por el requerimiento de un alto sobre-potencial para que la reacción se lleve a cabo. Por el contrario, a pH básicos, el Cr (VI) es mucho más estable (Font, 2006). Las reacciones químicas siguientes muestra los valores de los potenciales normales de reducción del Cr (VI)/Cr (III) a pH ácido y a pH básico.

	<b>Semi Reacción</b>	<b>Potenciales de Reducción</b>
<b>pH ácido</b>	$Cr_2O_7^{-2} + 14H^+ + 6e^- \rightarrow 2Cr^{+3} + 7H_2O$	1.33 V
<b>pH básico</b>	$CrO_4^{-2} + 4H_2O + 3e^- \rightarrow Cr(OH)_3 + 5OH^-$	-0.13 V

## VII.7 Propiedades Redox del Cromo

El sistema Cr(II)/Cr es bastante reductor, lo que condiciona que el metal se disuelva fácilmente en ácido clorhídrico, concentrado y diluido, con desprendimiento de hidrógeno. En ausencia de aire (atmósfera inerte) se obtiene Cr (II) y en presencia de aire, Cr(III) o mezcla de Cr(II) y Cr(III).

El ácido sulfúrico diluido ataca lentamente al cromo, con desprendimiento de hidrógeno y formación de Cr(II), o Cr(III), según o no exista, oxígeno presente. El ácido sulfúrico concentrado y caliente disuelve fácilmente al cromo originando Cr (III) y desprendiendo SO<sub>2</sub>.



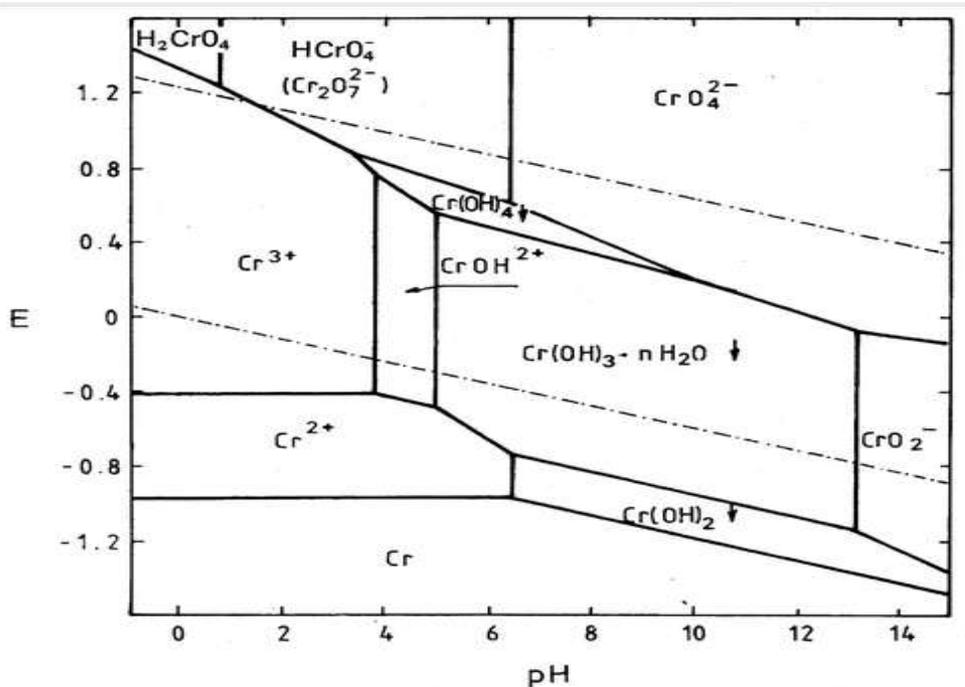
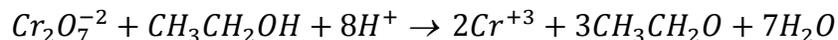
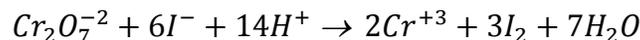
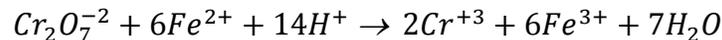


Figura 1: Diagrama de potencial de pH del cromo

El ácido nítrico diluido o concentrado no ataca al cromo, sino que lo pasiva por formación de una capa de óxido, con lo que se hace insoluble en los ácidos, incluso en el sulfúrico concentrado y frío y en el agua regia. El efecto pasivo hace que el metal no se ataque por el cloro seco, vapores nitrosos, dióxido de azufre, Sulfhídrico, álcali cáustico, etc. El ácido perclórico concentrado sí ataca y disuelve al cromo y a sus aleaciones, originando Cr (VI) (dicromato).

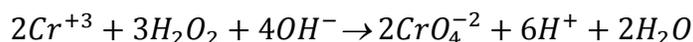
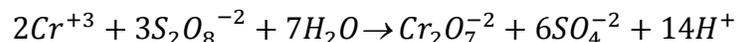
El Cr (II), muy reductor en todo el margen de pH, es muy fácilmente oxidado a Cr (III), incluso por el oxígeno disuelto o el ambiental por lo que apenas tiene existencia en medio acuosa. El potencial del sistema Cr (VI)/Cr (III) depende del pH del medio. En el diagrama se observa como en medio suficiente ácido, las sales de Cr (VI) y de dicromato, son oxidantes energéticos que oxidan cuantitativamente (dicromatometrías) al  $Fe^{2+}$ ,  $Sn^{2+}$ ,  $S_2O_3^{2-}$ ,  $C_2H_5OH$  entre otros.



A medida que el pH aumenta, el Cr (VI) se hace menos oxidante, por lo que la utilización de cromatos como oxidantes en medios alcalinos es muy restringida. En medio alcalino la oxidación puede verificarse con peróxido (en frío; en caliente puede haber violentas proyecciones), peróxido de hidrógeno, perborato sódico, halógenos, hipohalogenitos, ferricianuro potásico o dióxido de plomo.



Por vía seca las sales crómicas se oxidan a cromato por fusión con carbonato sódico, e hidróxido sódico y un oxidante ( $\text{KNO}_3$ ,  $\text{KClO}_3$  o  $\text{Na}_2\text{O}_2$ ). Para verificar esta oxidación en medio ácido se necesitan oxidantes energéticos cuyo potencial normal supere 1,30 V que suele alcanzar el sistema Cr (VI) / Cr (III) en dicho medio. A continuación, se exponen algunos ejemplos de estas oxidaciones:



Algunos compuestos de cromo se atacan por una mezcla de los ácidos sulfúricos y clorhídricos concentrados en caliente, dando lugar al cloruro de cromilo,  $\text{Cl}_2\text{CrO}_2$ . Los grados de oxidación Cr (IV) y Cr (V) se forman como intermediarios (no estables) en las reacciones redox en que interviene el sistema Cr (VI)/Cr (III). (Burriel L. Marti, 1983)

## VII.8 Distribución del Cr (VI) en el medio ambiente

La mayoría de las especies de Cr (VI) en sistemas acuáticos son de alta toxicidad a niveles traza y además son solubles en toda la gama de pH, estas condiciones también pueden variar por la temperatura del agua. La movilidad del Cr (VI) en el suelo va a depender del pH de éste, ya que en suelo ácido se disuelve y se vuelve disponible, provocando su migración a cuerpos de agua subterránea. Por otro lado, puede ocasionarse que algunos compuestos de cromo, depositados en el suelo, se difundan en el aire debido a la erosión del mismo y migren a cuerpos de agua superficial. (Nriagu, 1988)

## VII.9 Distribución de las especies de cromo en el agua

Los estados de oxidación del cromo más comúnmente encontrados en la naturaleza son Cr(III) y Cr(VI). El Cr (VI) se encuentra principalmente bajo la forma de los oxianiones como bicromato ( $\text{HCrO}_4^-$ ), cromato ( $\text{CrO}_4^{-2}$ ), y dicromato ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$ ).

La proporción de cada ión depende del pH como se puede apreciar en la Figura 2, a valores de pH neutro y alcalinos el cromato es la forma predominante, conforme disminuye el pH la concentración de dicromato aumenta, mientras que a pH bajos la especie dominante es el bicromato (Cruz, 2009).

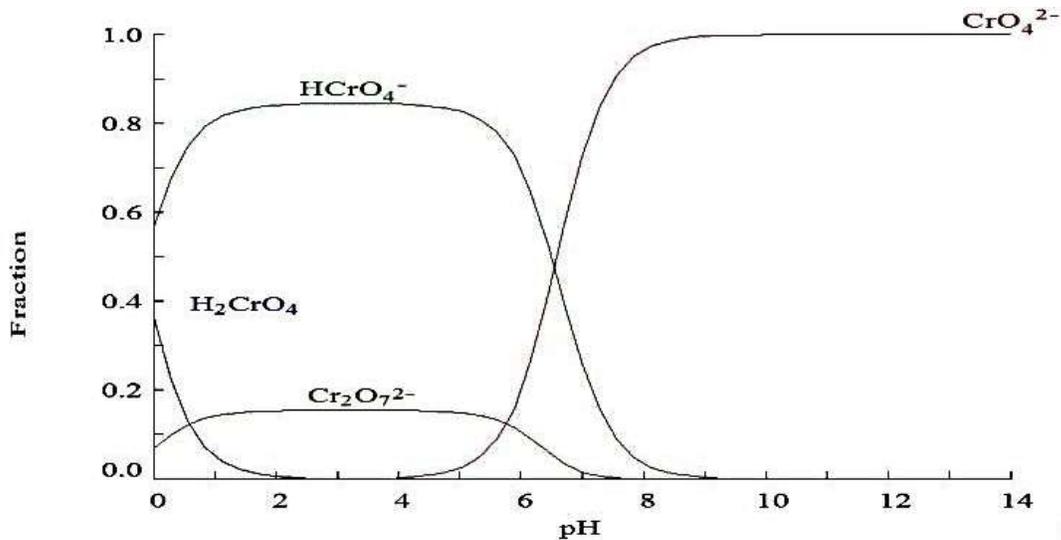
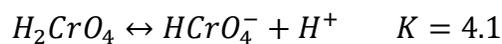
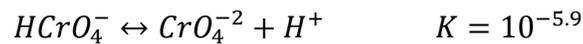


Figura 2. Distribución de especies de Cr (VI). (Medusa, 2014)

En soluciones básicas cuyo pH es superior a un valor 6, el  $\text{CrO}_{3(s)}$  forma el ión cromato ( $\text{CrO}_4^{2-}$ ), de color amarillo; entre pH 2 y 6 ( $\text{HCrO}_4^-$ ), y el ión dicromato ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ). están en equilibrio y a valores de pH bajos la principal especie es ( $\text{HCrO}_4^-$ ). Los equilibrios son los siguientes:



#### VII.10 Efectos sobre la salud

Existen referencias sobre el cromo; que indican que es un metal pesado que funciona químicamente con distintas valencias: bivalente, trivalente y hexavalente, siendo este último de gran importancia por su alto poder tóxico. El cromo trivalente y el cromo hexavalente en particular es un desnaturalizador de proteínas y precipitante de los ácidos nucleicos; además, es considerable la acción cancerígena de los cromatos sobre el pulmón y el aparato digestivo. (Quer Brossa, 2007)

El envenenamiento agudo por ingestión produce vértigo, sed intensa, dolor abdominal, vómito, choque y oliguria o anuria. La muerte se produce por uremia. La inhalación de vapores de cromo por largos periodos, causa ulceración indolora, hemorragia y perforación del tabique nasal, acompañado de secreción nasal fétida, también se ha observado conjuntivitis, lagrimeo y hepatitis aguda con



ictericia. Los datos de laboratorio indican que en personas que sobrepasan el valor máximo permisible hay hematuria y proteinuria y deterioro de la función hepatocelular; así mismo, que el cromo y los cromatos son irritantes y destructores para todas las células del organismo. (Dreisbach, 2007)

### VII.11 Efectos en el medio Ambiente

El cromo contamina el aire mediante procesos de soldadura, principalmente, con acero inoxidable, y también por el uso de productos químicos que contienen cromo hexavalente como algunas pinturas. La contaminación en el agua ocurre mediante desechos de la industria textil y las curtidoras de cuero; por el contrario, la contaminación de suelos se efectúa mediante residuos de cromo de la industria y cenizas de carbón provenientes de plantas de electricidad. Este proceso de contaminación se ilustra en la figura 3. (Duarte Palomera, 22 de enero del 2008)

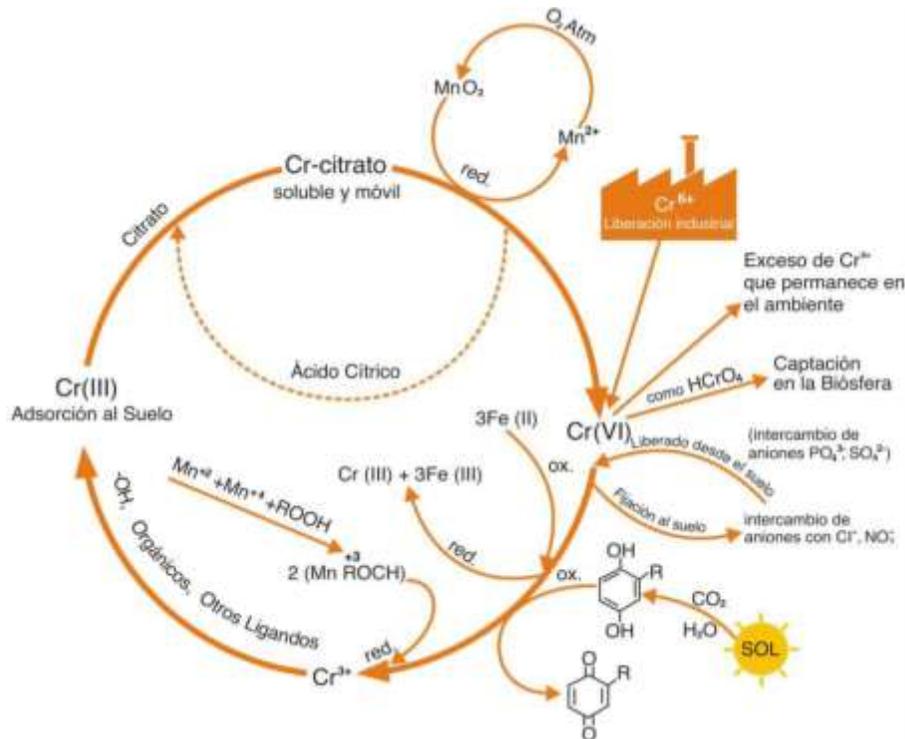


Figura 3: Ciclo del cromo en el medio ambiente. (Bartlett, 1991)



## VII.12 Toxicidad del cromo

Los efectos tóxicos del cromo dependen de su forma química, solubilidad, valencia y concentración. Está reportado que todos los compuestos de cromo son tóxicos, sin embargo, el más tóxico y carcinogénico es el Cr (VI). El Cr (VI) es muy soluble y tóxico debido principalmente a sus propiedades oxidantes. (EPA, 1998)

Debido a los daños a la salud en específico del Cr (VI) la Agencia de Protección al Ambiente (EPA), la Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA), la Administración de Drogas y Alimentos (FDA), la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR) y el Instituto Nacional de Salud y Seguridad Ocupacional (NIOSH) desarrollan reglamentos para este tipo de sustancias tóxicas. Las recomendaciones proveen instrucciones valiosas para proteger la salud pública, pero no pueden imponerse por ley. En la tabla 1. Se dan a conocer los límites máximos permisibles de algunas de estas instituciones

**Tabla 1: Límites permisibles de cromo según instituciones**

Organización	Concentración cromo
EPA	La exposición a más de 1 mg/L en el agua potable durante 1 ó 10 días causará efectos adversos en un niño.
FDA	Los niveles de cromo en el agua en botella no deben exceder 0.1 mg/L.
USEPA	LMP es de 0.1 mg/L para agua potable
OSHA	Establece límites legales en el aire del trabajo de 0.0005 mg/m <sup>3</sup> para cromo (VI), 0.5 mg/m <sup>3</sup> para cromo (III) y 1.0 mg/m <sup>3</sup> para cromo (0) como promedios durante una jornada diaria de 8 horas.
Canadá (NHW)	LMP 0.05 mg/L para agua potable
Internacional (WHO)	LMP 0.05 mg/L para agua potable

En México la NOM-127-SSA 2002 regula los límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización, en donde para el cromo total se tiene 0.05 mg/L. La NOM-002-SEMARNAT-1996 establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano y municipal. En donde para el cromo hexavalente el Límite Máximo Permissible (LMP) promedio al mes es de 0.5 mg/L y el LMP promedio al día es 0.75 mg/L.



## VII.13 Toxicidad del cromo en sus dos estados de valencia

Las características tóxicas del Cr (III), en contraste con las del Cr (VI), son actualmente objeto de considerables discusiones entre autoridades sanitarias de diferentes países, y representantes de la industria curtidora e institutos de investigación. Si bien en defensa del Cr (III) se exponen los argumentos para demostrar que no existen razones científicamente demostrables para establecer límites tan estrictos para la descarga del Cr (III) a distintos cuerpos receptores, autoridades sanitarias de muchos países, en actitud conservadora, mantienen límites rigurosos.

Conjuntamente con la comparación de los efectos tóxicos entre el Cr (III) y el Cr (VI), un aspecto que merece ser considerado con dedicación es la posibilidad de que el Cr (III) pudiera ser oxidado a Cr (VI) en las diferentes condiciones que ofrece el medio natural. El mayor peligro para los humanos, sobre todo por Cr (VI) es su elevada carcinogenicidad. Los compuestos de cromo (VI) son tóxicos si son ingeridos, siendo la dosis letal de unos pocos gramos. En niveles no letales, el Cr (VI) es cancerígeno. La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda desde 1958 una concentración máxima de 0.05 mg/L de cromo (VI) en el agua de consumo. (OMS , 2003).



## VII.14 Tratamientos tradicionales para la eliminación de Cr (VI)

Varios procesos de tratamiento se han desarrollado para eliminar los metales presentes en agua residual proveniente de la industrial. Los métodos más comúnmente usados para reducir la concentración de cromo en solución acuosa son intercambio iónico sobre resinas poliméricas, adsorción, métodos químicos de tratamiento, ósmosis inversa, precipitación, tecnología de membrana y métodos electroquímicos. (Leyva Ramos, 2000)

Los métodos tradicionales de tratamiento de efluentes industriales suelen tener una aplicación restringida por razones técnicas o económicas, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2: Tecnologías convencionales para la eliminación de Cromo (VI) en efluentes (Volesky, 2001)

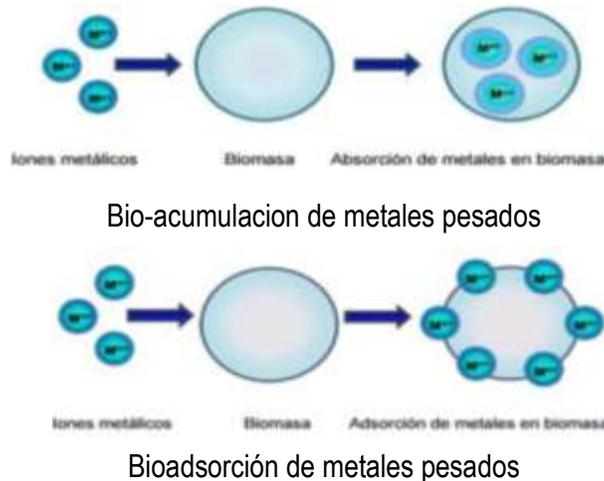
Método	Desventajas	Ventajas
Oxidación química o reducción	Se necesitan reactivos químicos, en algunos casos sensible a la temperatura	Control de cada reacción, temperaturas bajas, costos bajos de operación, menos subproductos
Tratamientos electroquímicos	Requiere concentraciones muy diluidas, caro si se necesita acondicionamiento constante, algunos electrodos se pasivan y el tiempo de tratamiento y consumo de energía aumenta	Permite la recuperación de metales, el principal reactivo es el electrón, considerado como reactivo limpio
Ósmosis inversa	Altas presiones, alto coste para el cromo, alto consumo energético, requiere mantenimiento frecuente	Efluente puro podrá ser reciclado, medianamente selectivo y tolerancia a los cambios de pH
Intercambio iónico	Sensibles a las partículas, resinas caras, en la presencia de sodio, calcio y magnesio disminuye su rendimiento, es necesario manejar los reactivos para ajustar los niveles de pH, la regeneración de éstos va de 2 a 5 horas o más	Efectiva al poder utilizar resinas catiónicas o aniónica y se pueden regenerar
Adsorción	Tecnología convencional Carbón activado, la capacidad de la adsorción depende del pH, es necesario eliminar los materiales en suspensión antes de que el efluente sea tratado	Altamente efectivo a bajas concentraciones de metal, fácil de operar, la recuperación del metal es posible, no hay cambios químicos en la composición del agua

Pero debido a la ineficacia de algunos métodos comentados anteriormente se han realizado estudios para la eliminación de Cr (VI) a través de la adsorción y la bioadsorción. El carbón activo es el adsorbente más usado para eliminar impurezas de naturaleza orgánica en las aguas residuales.

### VII.15 Mecanismos de captación de metales pesados

Los metales pesados pueden llegar a tener efectos letales en la biomasa viva; por tal razón, ésta tiene la capacidad de poner en funcionamiento ciertos mecanismos para contrarrestar los efectos tóxicos de los metales. Los dos mecanismos diferenciados para la captación de los metales pesados por parte de la biomasa son:

- Bio-acumulación:** Basada en la absorción de las especies metálicas mediante los mecanismos de acumulación en la parte interna de las células de biomasa vivas.
- Bio-adsorción:** Basada en la adsorción de los iones por biomasa muerta tratada con sustancias químicas y sin tratar. El fenómeno puede ocurrir por intercambio iónico, precipitación, complejación y atracción electrostática.



**Figura 4:** *Mecanismo de Captación de Metales Pesados* (Reyes, 2016)

El uso de biomasa inactiva tiene ventajas sobre la utilización de biomasa viva, ya que en este último no es necesario adicionar nutrientes, el adsorbente resulta inmune a la toxicidad o a condiciones de operación adversas, los procesos no están gobernados por limitaciones biológicas, la recuperación de metales es más fácil y la biomasa se comporta como un intercambiador de iones.

No obstante, lo anterior, se deben tener en cuenta los inconvenientes que este proceso conlleva tales como: una rápida saturación del sólido, alta sensibilidad hacia los cambios de pH, y el hecho que el estado de valencia del metal no puede ser alterado biológicamente, entre otros. (Bedoya, 2008)

Algunos de estos tipos de biomasa que adsorben metales en cantidades elevadas, sirven como base para los procesos de biosorción de metales, previendo su uso particularmente como medios muy competitivos para la destoxificación de efluentes industriales que contienen metales.



## VII.16 Variables que influyen en el proceso de adsorción de metales pesados

El proceso de sorción puede ser lento o rápido, dependiendo mucho de la composición del sorbente, del adsorbato, del pH, de la temperatura y otros factores que se describen a continuación.

### VII.16.1 Influencia del pH en la adsorción

El valor del pH de la fase acuosa es el factor más importante tanto en la adsorción de cationes como de aniones, siendo el efecto distinto en ambos casos. Una baja en el pH causa la protonación de la superficie del adsorbente, lo que induce una fuerte atracción por los iones Cromo (VI) de la solución cargados negativamente, por lo que la bioadsorción incrementa al aumentar la acidez de la solución. Sin embargo, cuando el pH aumenta, se incrementa la concentración de iones  $\text{OH}^-$ , induciendo cambios en la superficie del adsorbente, impidiendo la bioadsorción de los iones Cromo (VI) cargados negativamente, lo cual disminuye la adsorción del metal a esos valores de pH. Según (Acosta, 2010)

Existen tres vías de influencia del pH en la adsorción del metal (Jaraba, 2012):

- ❖ El estado químico del sitio activo (aquel sitio de interacción entre el catión metálico y la superficie polar o cargada del adsorbente) podría cambiar con el valor del pH.
- ❖ Valores extremos de pH, como los empleados para la regeneración del carbón activo, podría dañar la estructura, creando pérdidas significativas de peso y el descenso de capacidad de absorción.
- ❖ La especiación (formación de nuevas especies) del metal en solución depende del pH, ya que los metales en soluciones acuosas se encuentran como iones hidrolizados a pH bajos, especialmente aniones de metales de alta carga y pequeño tamaño.

### VII.16.2 Efecto de la dosis de Adsorbente en la adsorción

La cantidad de adsorbente es el factor que va a limitar hasta cierto punto la concentración de metal que se adsorbe, es decir a mayor cantidad de adsorbente, obtendremos una mayor adsorción, pero lo ideal es llegar a una relación de equilibrio, entre la cantidad de adsorbente y la concentración de metal, para un óptimo resultado de adsorción. (Volesky B. , Detoxification of metal-bearing effluents: biosorption for the next century. Hidrometallurgy, 2001 pag. 203-2016)



## VII.17 Mecanismo de adsorción del Cromo hexavalente

Según (Jaraba, 2012), de acuerdo a diversos estudios realizados para diferentes especies de cromo en fase sólida y acuosa, se ha demostrado que el principal mecanismo de eliminación de Cr (VI) para distintos biomateriales fue la reacción de óxido-reducción de Cr (VI) a Cr (III).

Los biomateriales pueden remover el Cr (VI) del medio acuoso mediante dos mecanismos, el primero es el mecanismo de óxido reducción directo y el segundo es el mecanismo de óxido reducción indirecta, el cual se describe a continuación:

### VII.17.1 Mecanismo de óxido-reducción indirecto

Este mecanismo consta básicamente de tres pasos:

- ❖ La unión del Cr (VI) a los grupos cargados positivamente, los cuales se encuentran en la superficie del biomaterial.
- ❖ La reducción del Cr (VI) a Cr (III) por los grupos donadores de electrones adyacentes del biomaterial.
- ❖ Liberación del Cr (III) reducido en la fase acuosa debido a la repulsión electrostática entre los grupos con carga positiva y el Cr (III), este último proceso se denomina elución o desorción.

### VII.17.2 Mecanismo oxido-reducción directo

En la figura 5 se observa la reducción de Cr (IV) a Cr (III) que transcurre en la fase acuosa por contacto con los grupos dadores de electrones, cuyo potencial de oxidación es menor que el del Cr (IV). Los iones de Cr (III) resultantes permanecen en la disolución o forman complejos con los grupos de enlace próximos.

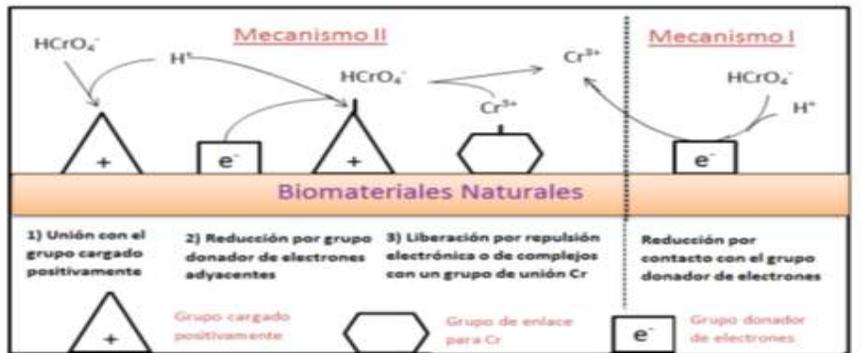


Figura 5: Mecanismo de adsorción del cromo hexavalente en fase acuosa (Seong-Rin., 2010)

### VII.18 Sorción para la eliminación de Cr (VI)

La sorción es un término que describe la remoción de contaminantes de soluciones acuosas. Este término incluye la adsorción, absorción e intercambio iónico. Por otro lado este mecanismo implica la transferencia de una sustancia de una fase líquida o gaseosa para acumularse en un sólido. (Davis, 2003)

El proceso de sorción involucra una fase sólida (sorbente) y una fase líquida (solvente, que es, normalmente el agua) que contiene las especies disueltas que van a ser sorbidas (sorbato, por ejemplo iones metálicos). Debido a la gran afinidad del sorbente por las especies del sorbato, este último es atraído hacia el sólido y enlazado por diferentes mecanismos. Este proceso continúa hasta que se establece un equilibrio entre el sorbato disuelto y el sorbato enlazado al sólido (a una concentración final o en el equilibrio).

La afinidad del sorbente por el sorbato determina su distribución entre las fases sólida y líquida. La cantidad de sorbente está dada por la cantidad de sorbato que puede atraer y retener en forma inmovilizada. (Ahalya, 2005). Los tipos de sorción que existen son: fisisorción, quimisorción e intercambio iónico.

**Fisisorción:** La adsorción física está causada principalmente por las fuerzas de Van der Waals y electrostáticas, dándose éstas entre las moléculas del adsorbato y los átomos que componen la superficie del adsorbente. Estos adsorbentes están caracterizados principalmente por las propiedades de la superficie, como su área superficial y polaridad. El tamaño de poro determina la accesibilidad de las moléculas de sorbato a la superficie sorbente.

La IUPAC reconoce en tres tipos de poros según su diámetro, los Microporos  $d < 2$  nm, Mesoporos  $2 < d < 50$  nm y Macroporos  $d > 50$  nm.



**Quimisorción:** La especie adsorbida (quimisorbida) sufre una transformación, más o menos intensa, para dar una especie distinta. La adsorción química es debida a fuerzas de naturaleza química, pero en este caso comparten electrones el contaminante y el sólido formando enlaces químicos.

**Intercambio iónico:** Este es el proceso donde hay una reacción entre los iones de fase líquida y de fase sólida. Esto pasa debido a que los iones que se encuentran en la superficie del sólido por fuerzas electrostáticas que se intercambian por otros iones de carga similar.

Todos estos tipos diferentes de sorción no tienen por qué darse de una forma independiente unos de otros. De hecho, es sabido que en sistemas naturales se dan diversas formas de sorción en la misma superficie sólida.

### VII.19 Generalidades del Carbón Activado

Los carbones activados (CA) son productos carbonosos con estructura porosa atrapan en su superficie una alta gama de moléculas. Industrialmente se producen a través de la reacción con gases, por activación física, o por medio de la adición de químicos en el proceso llamado activación química. (Alexander Gomez, 2004)

El carbón activado remueve las especies principalmente por una adsorción tipo hidrofóbica. Se utiliza para absorber muchas especies inorgánicas como As, Cr, Ag, Co, Sn, Zr, B entre otras. Su limitante es la regeneración del carbón gastado.

### VII.20 Estructura del Carbón Activado

Su volumen de poros es, en general, mayor a 0,2 ml/g y su superficie interna mayor a 400 m<sup>2</sup>/g. El ancho de sus poros se extiende desde 0.3 hasta varios miles de nm (nanómetros). En el proceso de fabricación del carbón activado se realizan pre tratamientos a la materia prima que incluyen algunas de las siguientes etapas: molienda, tamizado, oxidación, y secado. Posteriormente se realizan los procesos térmicos que incluyen la carbonización de la materia prima y su gasificación parcial o activación. Estos dos procesos pueden realizarse de manera simultánea o separada, lo que se designa como proceso de activación en una o dos etapas, respectivamente.

La carbonización de la materia prima se lleva a cabo por medio de su degradación térmica o pirolisis. Esta etapa del proceso se realiza normalmente en atmósfera inerte y constituye la preparación de la estructura porosa para su posterior activación. Durante la activación se presentan reacciones químicas tanto heterogéneas, entre el agente de reacción y el carbonizado, como homogéneas, entre los productos y agente de reacción. De estas reacciones las principales son las reacciones heterogéneas, las cuales dependen del tipo de agente de reacción que se use:



El grado de activación o de quema del carbonizado determina las propiedades del carbón activado producido. Las condiciones óptimas de producción se establecen para el mayor rendimiento en masa, o en volumen (densidad a granel), del carbón activado, de acuerdo al área superficial desarrollada.

Se debe considerar adicionalmente, la distribución adecuada de los macro y mesoporos, ya que éstos permiten el transporte de la fase gaseosa o líquida que se pretende filtrar hasta los microporos, los cuales son los responsables directos del área superficial del carbón activado y de la adsorción. (Gomez, 2004).

## VII.21 Composición del carbón activado

El Carbón activado es un medio filtrante tan útil en el empleo e incorporación de los procesos de descontaminación de líquidos y gases es preciso estudiar la composición y estructura del mismo, y es aquí donde tiene importancia el proceso de sorción que el carbón activado realiza. Los procesos de sorción son muy importantes en el tratamiento de aguas por su aplicación a la remoción de diferentes contaminantes.

La absorción es un proceso en el cual las moléculas de un fluido penetran entre las de otro material absorbente, líquido o sólido, para acumularse dentro de éste. La absorción supone la partición de un contaminante de una fase en otra. (Romero, 2006)

La adsorción, fenómeno que ocurre cuando moléculas en solución golpean la superficie de un sólido adsorbente y son adheridas a su superficie. El material concentrado mediante fuerzas químicas o físicas constituye el adsorbato y el material que adsorbe es el adsorbente.

### VII.21.1 Composición química

La composición química del carbón activado es aproximadamente de un 70- 80% de C, del 5 al 10% de cenizas, del 60% de oxígeno y 0,5% en hidrógeno. Dicha composición química del carbón activo es prácticamente pura, al igual que lo es el grafito, el diamante y los diversos carbones minerales. (Perdomo, 2011)

Todos ellos tienen la propiedad de adsorber, la misma que consiste en un fenómeno fisicoquímico en el que un sólido llamado adsorbente atrapa en sus paredes a cierto tipo de moléculas, llamadas adsorbatos y que se encuentran contenidas en un medio líquido o gaseoso.



## VII.21.2 Composición física

Esta estructura que presenta el carbono activado da razón a una distribución de poros de tamaños. Los carbones conformados se pueden obtener por extrusión de carbón en polvo luego de ser mezclado con diferentes tipos de aglomerantes. (Perdomo, 2011)

## VII.22 Importancia y uso del carbón activado

El carbón activado se denomina un adsorbente debido a su gran capacidad de absorción de sólidos, vapores y gases. Por tal motivo puede usarse en tecnologías actuales o futuras para satisfacer cualquier necesidad según lo demandado por las industrias alimenticias, químicas, petroquímicas, azucarera, farmacéutica, etc. (Gonzalez, 2007)

Siendo una tecnología implementada en la actualidad en las diferentes industrias su importancia radica en ser un proceso eficaz y eficiente en remoción de contaminantes. La utilización de carbón activo ya sea granular o polvo, es dependiente de la operación a realizar.

La adsorción es un proceso mediante el cual se extrae materia de una fase y se concentra sobre la superficie de otra fase (generalmente sólida). Por ello se considera como un fenómeno sub-superficial. La sustancia que se concentra en la superficie o se adsorbe se llama "adsorbato" y la fase adsorbente se llama "adsorbente".

A continuación, se muestra la tabla 3 que nos da a conocer las ventajas y desventajas según el tipo de carbón activado.



Tabla 3: ventajas y desventajas según el carbón activado. (Carrillo.V.Y, 2013)

CARBÓN ACTIVADO GRANULAR		CARBÓN ACTIVADO PULVERIZADO	
VENTAJA	DESVENTAJA	VENTAJA	DESVENTAJA
Es empleado para la eliminación entre el 80 y 98 % de la contaminación inicial. Quiere decir que puede remover en mayor porcentaje al carbón activado en polvo.	Depende de la variación en la concentración del contaminante para su correcta absorción. Unos contaminantes pueden fijarse en mayores cantidades que otros y otros contaminantes pueden desplazar a otros ya adsorbidos esto es llamado desorción.	Según el contaminante a remover se puede escoger la dosis a usar para la eliminación de dicho contaminante	La dosis de carbono depende la concentración de equilibrio del contaminante residual en el agua. Está involucrada con la pendiente de la isoterma y el porcentaje de remoción del contaminante.
Se puede aprovechar el producto por su propiedad de regeneración	Puede ser posible la formación de microorganismos en los lechos de carbón activo	La instalación del carbón activo en polvo es simple, y similar a otros productos que se emplean en el tratamiento del agua	Puede ser posible la formación de microorganismos en los lechos de carbón activo
	Necesita instalaciones con estructuras más complejas y de mayor costo inicial.	Mayor Disponibilidad.	La regeneración es más compleja

### VII.23 Tipos de adsorbentes

Entre los principales tipos de adsorbentes se encuentran el carbón activado, arcillas, polímeros sintéticos, sílice, zeolitas, alúmina, entre otros. Dentro de los adsorbentes naturales o biosorbentes se hayan la cascara de naranja, hojas de almendras, cáscara de coco, de nuez, de avellana, etc. (Lesmana, 2009)

El sólido adsorbente debe ser de tamaño muy pequeño y con gran porosidad; mientras más pequeña sea una partícula, más grande es su área superficial; sin embargo, la configuración también es importante por su efecto sobre el área superficial.



Tabla 4: Capacidad de adsorción de Cr (VI) por algunas biomásas de especies microbianas. (Perez Silva, Julio 2014)

Biosorbente	$Q_{\max}$ (mg.g <sup>-1</sup> )	Referencias
<i>Aspergillus foetidus</i>	2,0	Prasanjit y Smathi (2005)
<i>Aspergillus niger</i>	117,33	Khammbhaty et al. (2009)
<i>Rhizopus nigricans</i>	47,0	Bai y Abraham (1998)
<i>Rhizopus oligosporus</i>	126,0	Aniff et al. (1999)
<i>Rhizopus arrhizuz</i>	11,0	Bai y Abraham (1998)
<i>Rhizopus arrhizuz</i>	78,0	Aksu y Balibek (2007)
<i>Rhizopus sp</i>	4,33	Zafar et al. (2007)
<i>Mucor hiemalis</i>	53,5	Tewan et al. (2005)
<i>Bacillus coagulans</i>	39,9	Srinth et al. (2002)
<i>Bacillus megaterium</i>	30,7	Srinth et al. (2002)
<i>Zoogloea ramigera</i>	2,0	Nourbakhsh et al. (1994)
<i>Streptomyces noursei</i>	1,2	Mattuschka y Straube (1993)
<i>Chlorella vulgaris</i>	3,5	Nourbakhsh et al. (1994)
<i>Cladophora crispate</i>	3,0	Nourbakhsh et al. (1994)
<i>Dunaliella sp</i>	58,03	Donmez y Aksu (2002)
<i>Pachymeniopsis sp</i>	225,0	Lee et al. (2000)
<i>Cocos nucifera L.</i>	1,862	Pérez Silva (2014)

La adsorción en el carbón se debe a un desequilibrio de fuerzas que se genera en toda superficie formada por átomos de carbono. Este desequilibrio se debe a que los átomos de carbono tienden a formar sus cuatro enlaces perfectamente distribuidos en las tres coordenadas en el espacio. Ya que esto no sucede en los átomos de carbono que forman parte de la superficie sólida, éstos tienden a formar enlaces del tipo de Van der Waals, con las moléculas del fluido adyacente.

#### VII.24 Isotermas de adsorción

Tanto experimental como teóricamente, la descripción cuantitativa más conveniente de un fenómeno de adsorción en equilibrio hace uso de relaciones a temperatura constante (isotermas). La isoterma de adsorción puede definirse como la relación de equilibrio entre la concentración del adsorbato en la fase fluida y la concentración de partículas de adsorbente, a una temperatura determinada.

Si se adsorbe un soluto sobre una superficie, la isoterma de adsorción es una función del tipo  $n_{ads} = f_t(C)$ , donde  $n_{ads}$  representa la cantidad de adsorbato presente en la interfase en equilibrio con una concentración  $C$  del mismo adsorbato en una disolución a una temperatura dada.

Para el caso de adsorción en disolución, se tienen 2 principales clases de isotermas ambos con base teórica diferente tal y como se describe a continuación: Isoterma de Langmuir e Isoterma de Freundlich.



### VII.24.1 Isoterma de Langmuir

Este modelo se desarrolló originariamente para representar la adsorción gas-sólido con carbón activo. En este modelo la atracción entre los iones de metal y la superficie del sorbente se basa principalmente en fuerzas físicas y no tiene en cuenta las agrupaciones moleculares ni las variaciones de energía de la interacción con el material. La principal hipótesis del modelo es que la superficie de adsorción es uniforme. (Varela., Agosto 2014.)

La expresión matemática de la ecuación de Langmuir es la siguiente:

$$q_e = \frac{q_{max}(C_0 - b)}{(1 + bC_e)}$$

$q_e$ = la cantidad de metal retenida por parte del material (mmol metal/g sorbente)

$q_{max}$ = la capacidad máxima de sorción del material (mmol metal/g sorbente)

$b$ = un término relacionado con la afinidad entre el sorbente y el sorbato

$C_e$ = (mmol de metal) la concentración de equilibrio del metal en disolución

$C_0$ = es la concentración inicial de la solución (mg/L)

El cálculo de  $q_e$  se realiza con los datos experimentales según la Ecuación:

$$q_t = \frac{(C_0 - C_e)v}{w}$$

$q_t$ = es la cantidad de metal adsorbido (mg/g de adsorbente)

$C_0$ = es la concentración inicial de la solución (mg/L)

$C_e$ = la concentración del equilibrio al tiempo  $t$

$V$ = es el volumen de la solución (L)

$w$ = la masa de adsorbente (g)

La isoterma de Langmuir tiende a un límite de adsorción, que podemos interpretar en términos de recubrimiento completo de la superficie por una cantidad  $n_{m\acute{a}x}$  de adsorbato (límite de monocapa).

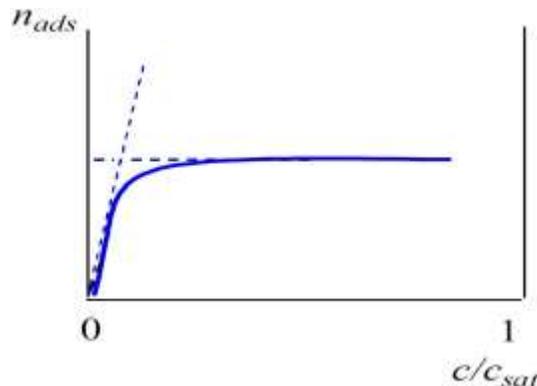


Figura 6: Isoterma de Langmuir



Este tipo de isoterma es típica de superficies homogéneas. La isoterma de Langmuir tiene la forma:

$$\theta = \frac{kc}{1+kc}$$

Donde  $\theta$  es la fracción de la superficie sólida cubierta por las moléculas adsorbidas y  $k$  es una constante a temperatura constante.

$$\theta = \frac{N}{N_m}$$

Donde  $N$  es el número de moles adsorbidas por gramo de sólido para un soluto en equilibrio de concentración  $c$  y  $N_m$  es el número de moles por gramo que son necesarios para formar una monocapa. Ordenando la ecuación obtenemos:

$$\frac{c}{N} = \frac{c}{N_m} + \frac{1}{kN_m}$$

De esta manera, podemos reajustar la ecuación de Langmuir a una ecuación lineal, al graficar  $C$  vs  $C/N$ .

## VII.24.2 Isoterma de Freundlich

Este modelo tiene un origen empírico y, al igual que la isoterma de Langmuir, la sorción es función de la concentración de equilibrio, sin tener en cuenta la presentación de otros iones en disolución o variaciones del pH. En este caso, la superficie se supone heterogénea. La expresión empírica de la isoterma de Freundlich es la siguiente:

$$q_e = K * c_e^{\frac{1}{n}}$$

Siendo  $q_e$  el valor de extracción de metal (mmol metal/g biosorbente),  $C_e$  la concentración de equilibrio del metal en disolución,  $K$  una constante de equilibrio y  $n$  una constante referida a la energía de adsorción entre adsorbente y adsorbato. (Varela., Agosto 2014.)



Para este caso de superficies heterogéneas, la isoterma de adsorción no presenta un límite claro de adsorción en monocapa en particular, la adsorción de moléculas pequeñas sobre carbón activado es un fenómeno intermedio entre una isoterma de Langmuir y Freundlich.

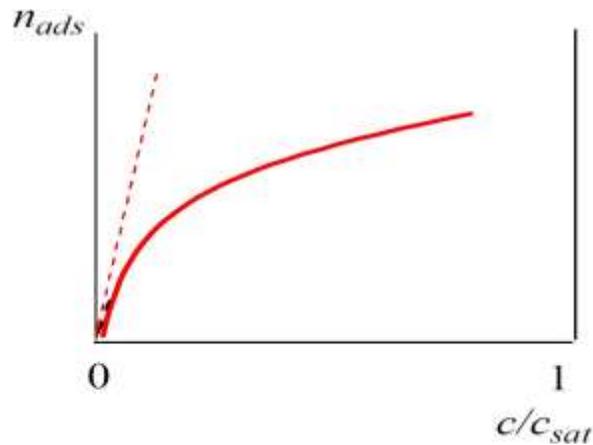


Figura 7: Isotherma de Freundlich

La ecuación general de la isoterma de Freundlich es:

$$y = kc^{1/n}$$

Donde K y n son constantes empíricas. Esta ecuación, para poder obtener una ecuación lineal, podemos utilizarla de forma logarítmica: (Brenda D, 2010).

$$\text{Log } y = \text{Log } k + \frac{1}{n} \text{Log } c$$

## VII.25 La espectrofotometría

La espectrofotometría es el método de análisis óptico más usado en las investigaciones químicas y biológicas. El espectrofotómetro es un instrumento que permite comparar la radiación absorbida o transmitida por una solución que contiene una cantidad desconocida de soluto y una que contiene una cantidad conocida de la misma sustancia.

Todas las sustancias pueden absorber energía radiante, aun el vidrio que parece ser completamente transparente absorbe radiación de longitudes de ondas que no pertenecen al espectro visible; el agua absorbe fuertemente en la región del infrarrojo. La absorción de las radiaciones ultravioletas, visibles e infrarrojas depende de la estructura de las moléculas, y es característica para cada sustancia química.

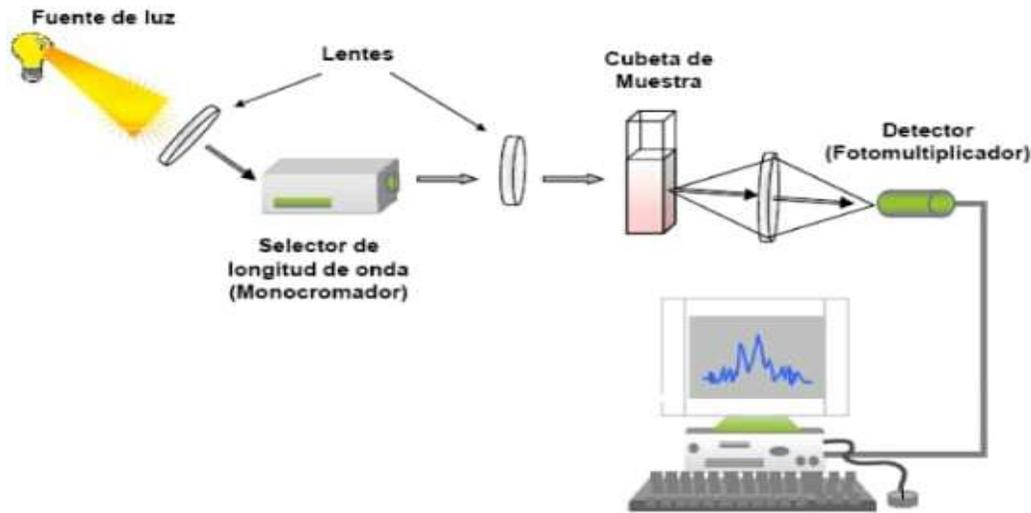


Figura 8: Esquema de un espectrofotómetro

### VII.26 Leyes de la espectrofotometría

Cuando un haz de energía monocromática incide sobre una capa homogénea de una sustancia transparente, parte de la energía es absorbida y el resto transmitida, aunque en realidad una pequeña parte es reflejada. Si la energía radiante incidente tiene longitudes de onda en la región visible del espectro y el medio a través del cual tiene que pasar, absorbe selectivamente ciertas longitudes de ondas, el color observado corresponderá a las longitudes de ondas de la energía transmitida. (Holler., 2001)

La gran difusión de esta técnica es consecuencia de los siguientes factores:

- ❖ El amplio intervalo de longitudes de onda o de frecuencia de energía radiante y sus diferentes modos de interacción con la materia.
- ❖ La existencia en el mercado de instrumentos de medida cada vez más precisos.
- ❖ La ventaja inherente al método: Generalmente, el análisis es muy rápido una vez que se ha establecido el método, a no ser que se requiera un tratamiento previo para eliminar interferencias. El método es, por tanto, muy cómodo para medidas repetidas de un mismo constituyente.
- ❖ Además, el método es en general, aplicable a la determinación exacta de cantidades de constituyente mucho menores que con los métodos gravimétricos o volumétricos, es por tanto muy adecuado para el análisis de trazas.



## VII.27 Método espectrofotométrico para determinar cromo

La espectrofotometría ultravioleta-visible es una técnica analítica cuantitativa interesada en la absorción ultravioleta (180-390) nm o visible (390-790) nm.

La absorción de radiación por moléculas se usa frecuentemente para el análisis cuantitativo debido a la relación directa existente entre la absorción y la concentración como lo describe la ley de Lambert-Beer, esta ley establece que la absorbancia es proporcional a la concentración de las especies absorbentes. (Lemus., 1976)

### Ley de Beer

La ecuación fundamental para aplicar la Espectrofotometría en química analítica se denomina Ley de Lambert-Beer o simplemente Ley de Beer. Esta ley establece que la absorbancia es proporcional a la concentración de las especies absorbentes.

La ecuación es:  $A = a \cdot b \cdot c$

En donde:

A = es la absorbancia.

a = es la absorptividad.

b = longitud del recorrido óptico

c = concentración de la muestra.

Absorbancia, A, es el logaritmo en base 10 del recíproco de la transmitancia, T, en el que el disolvente puro es el material de referencia; esto es:

$$A = \log_{10} 1/T = -\log_{10} T$$

### Desviaciones de la ley de Beer

Las desviaciones con respecto a la Ley de Beer se clasifican en tres categorías: Reales, Instrumentales y Químicas.

**Reales:** Se originan en cambios del índice de refracción del sistema analítico. A concentraciones de  $10^{-3}$  o menor, el índice de refracción es constante, pero a concentraciones altas el índice de refracción puede variar considerablemente.

**Instrumentales:** Aparecen cuando la absorbancia se mide con un fotómetro de filtro en el que la radiación incidente está incluida en una banda amplia de longitudes de ondas sobre todo si el centro de la banda no coincide con la longitud de onda para la que se mide con máximo de absorción.

**Químicas:** Causados por desplazamientos de un equilibrio químico o físico en el que participa la especie absorbente, efectos de pH, hidrólisis. (Douglas Skook, 2001)



## VII.28 Caracterización de la tenería en León

La elaboración de cuero en Nicaragua procede, en su mayoría de pieles de ganado vacuno obtenidas de mataderos industriales y rastros municipales, siendo el 55% abastecido por los mataderos industriales.

La mayoría de los teneros elaboran sus productos a través de procesos totalmente artesanales y en lotes que no siempre son continuos. La cantidad de pieles procesadas por mes, varía entre 120 como mínimo hasta 1000 como máximo para obtener cuero en una gran variedad y cuero azul como productos semielaborados para comercializarse en otras industrias.

Impactos al medio ambiente: Los vertidos orgánicos e inorgánicos cuando son descargadas directamente al cuerpo de agua del río Chiquito ocasionan daños como contaminación del agua y del suelo en el hábitat natural. (Torrez T., 2016)

## VII.29 Operaciones y procesos para la producción de cuero

Las operaciones y proceso para la producción de cuero se agrupan en tres etapas:

### **Etapas de la ribera**

Comprende aquellas operaciones y procesos que permiten la eliminación del pelo de la piel, en esta etapa se presenta el mayor consumo de agua y su efluente presenta un pH elevado. Las operaciones y procesos que comprenden esta etapa son: remojo, pelambre y descarnado.

- ❖ Remojo: Consiste en un tratamiento de la piel en bruto con agua abundante, cuyo objetivo es la desinfección y limpieza de la piel y llevar la piel al estado de hidratación que tenía en el animal vivo, es decir ablandarla y flexibilizarla.
- ❖ Pelambre: Las pieles son puestas en un baño de cal hidratada entre un 3-10% durante uno o más días, para acelerar el proceso se agrega sulfuro de sodio. El objetivo principal es separar las fibrillas del colágeno y facilitar el descarnado por el hinchamiento de la carne y el otro objetivo es preparar químicamente la piel para tener una mayor reacción con los curtientes. Además, la presencia de sulfuro y cal, mantienen un pH aproximado.
- ❖ Descarnado: Es una operación mecánica que elimina las carnazas y grasas unidas a la piel en estado de tripas, estos residuos presentan gran porcentaje de humedad. El descarnado es necesario en la endodermis (parte de la piel en contacto con el animal) quedan restos de carne y grasa que deben eliminarse, para evitar el desarrollo de bacterias sobre la piel.



## **Etapas de curtido**

Comprende las operaciones y procesos que preparan la piel para ser curtida (es decir transformarla en cuero), constituyen esta etapa los siguientes procesos: Desencalado, pickle, curtido y neutralizado. El consumo de agua no es tan alto como en la etapa de ribera.

- ❖ **Desencalado:** Proceso donde se remueve la cal y el sulfuro de la piel para evitar el hinchamiento alcalino de la piel apelambrada, se puede decir que se trata de una operación de limpieza, que tiene por objetivo dejar la piel libre de sustancias químicas que no sean colagénicas, ya que solamente estas últimas se transforman en cuero al curtirse. El pH queda entre 8-9. El producto utilizado es sulfato de amonio.
- ❖ **Piquelado:** Este proceso prepara la piel para la penetración subsecuente del material curtiente. Emplea cloruro de sodio que protege la piel de la acción posterior de los ácidos que bajan el pH a niveles de 2.5-3. Los ácidos más utilizados son el sulfúrico y el fórmico. Esta etapa solamente es para pieles que se curten al cromo.
- ❖ **Curtido:** Proceso por el cual se estabiliza el colágeno de la piel mediante agentes curtientes minerales o vegetales, siendo las sales de cromo las más utilizadas ya que el cromo, es altamente versátil, le proporcionan a la piel una estabilidad hidrotermica suave al tacto, además de lo relativamente barato y fácil de trabajarlo. La sal empleada es el sulfato básico de cromo. El pH para iniciar este proceso debe de ser bajo, generalmente en presencia de una parte del agua del pickle, aquí se genera un efluente con pH bajo generalmente entre 3.8-4.
- ❖ **Neutralizado:** Se efectúa agregando bicarbonato de sodio sólido o formiato de sodio al 0.5% al cuero curtido, con el fin de disminuir la acidez lo que permite una mayor penetración de los materiales empleados en los procesos posteriores, así como darle homogeneidad de cargas permitiendo de esta forma una mayor uniformidad de materiales empleados en el recurtido teñido-engrase, genera un efluente con pH neutro, ver figura 9.

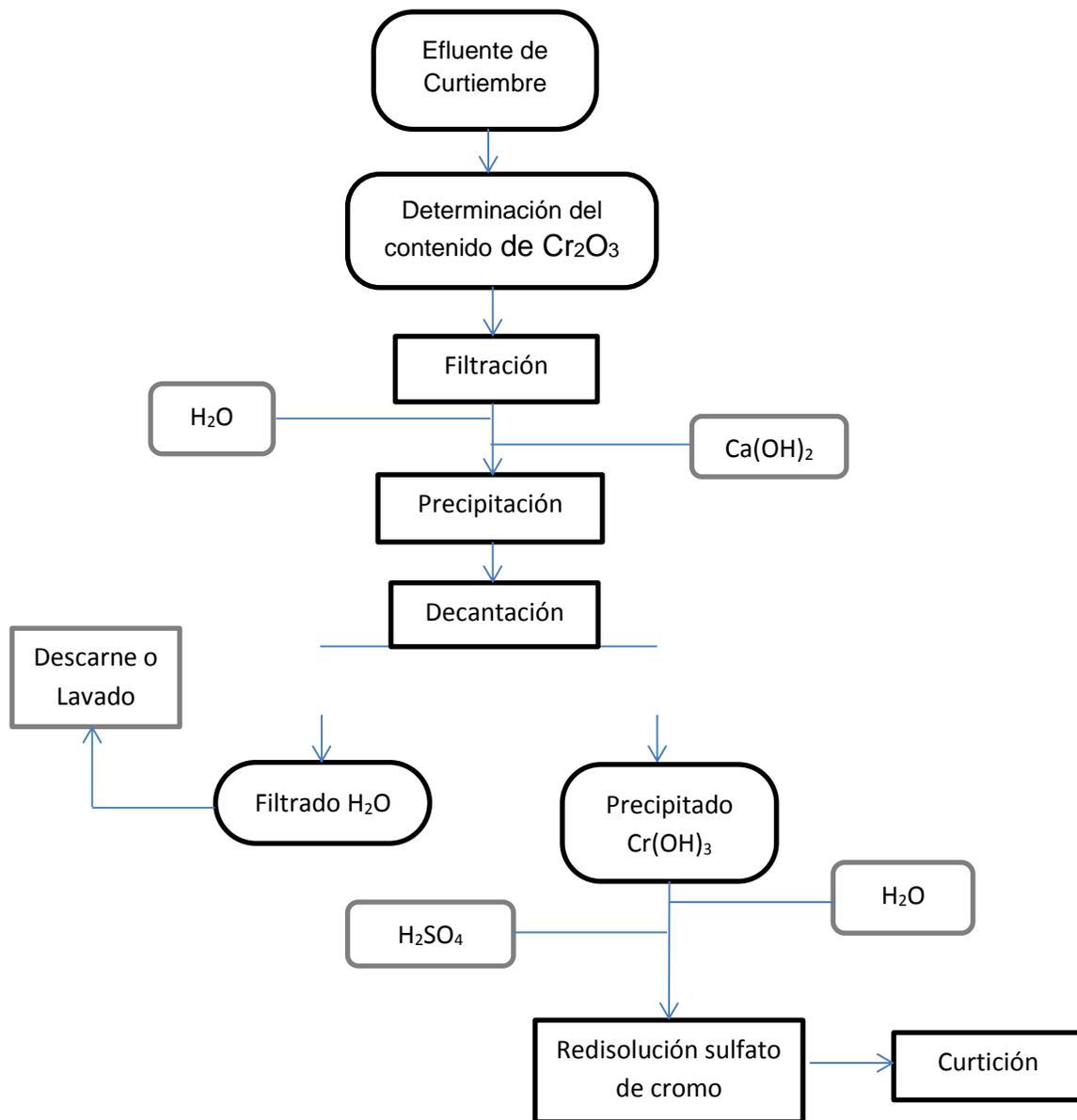


Figura 9: flujograma del proceso general del curtido (Madrigal., 1999)



## Etapa de acabado

Comprende las operaciones y procesos que le dan al cuero las características que requieren para la confección de diferentes artículos. En esta etapa se procede al recurtido, teñido, ablandado o suavizado, pintado, planchado y laqueado

- ❖ Recurtido: Se hace con el fin de rellenar los espacios blandos y endurecerlos, así como darle uniformidad de curtido al cuero.
- ❖ Teñido: Se emplean tintes con bases de anilinas.
- ❖ Secado: Se enmarcan las tiras ya teñidas y son puestas al sol por poco tiempo.
- ❖ Ablandado: El cuero ya lubricado se pasa por una máquina ablandadora la cual ablanda la piel para conferirle al cuero flexibilidad.
- ❖ Acabado: Se conoce con este nombre a la etapa final que consta del pintado, planchado y laqueado. (Madrigal., 1999)

## VII.31 Tratamiento estadístico

Son eficaces para los diferentes parámetros en el análisis de estudio ya que nos facilita la información adquirida de los resultados de cada uno de ellos.

La validez y utilidad de estas interferencias dependen de cómo el estudio ha sido diseñado y ejecutado, por lo que la estadística debe considerarse como una parte integrante del estudio.

**Linealidad:** La linealidad es una propiedad importante de los métodos utilizados para efectuar mediciones en un intervalo de concentraciones.

Análisis de regresión lineal: Permite hallar el valor esperado de una variable aleatoria **a** cuando **b** toma un valor específico. La aplicación de este método implica un supuesto de linealidad cuando la demanda presenta un comportamiento creciente o decreciente, por tal razón, se hace indispensable que previo a la selección de este método exista un análisis de regresión que determine la intensidad de las relaciones entre las variables que componen el modelo.

**Coefficiente de Determinación:** ( $R^2$ ) Es una medida descriptiva que sirve para evaluar la bondad de ajuste del modelo a los datos, ya que mide la capacidad predictiva del modelo ajustado. Se define como el cociente entre la variabilidad explicada por la regresión y la variabilidad total.



**Pendiente:** Indica la sensibilidad de calibración del método y se expresa en unidades de respuesta sobre unidades de concentración o cantidad del analito, se calcula mediante la ecuación.

$$\text{Su ecuación: } b_1 = \frac{(x_1 - \bar{y})(y_1 - \bar{y})}{\sum(x_1 - \bar{x})^2}$$

$b_1$  = coeficiente de regresión poblacional (pendiente de la línea recta)

$x_1$  = los valores de la población

$\bar{x}$  = media de  $x_1$

$y_1$  = son los puntos de datos respectivamente

$\bar{y}$  = media de  $y_1$

**Intercepto:** Es el estimador que se relaciona con la presencia de interferencias o errores sistemáticos. El intervalo de confianza del intercepto debe incluir al cero para cumplir con el requisito de proporcionalidad en los métodos.

$$\text{Su ecuación: } a = \bar{y} - b_1 \bar{x}$$

Las ventajas de las gráficas de control son:

- ✓ Sirve para determinar es estado de control de un proceso.
- ✓ Diagnostica el comportamiento de un proceso en el tiempo
- ✓ Indica si un proceso ha mejorado o empeorado.
- ✓ Sirve como una herramienta de detección de problemas.

**Coefficiente de Variación:** El coeficiente de variación (también llamado coeficiente de variación de Pearson), es el cociente entre la desviación típica y la media.

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \times 100\%$$

Dónde:

CV= coeficiente de variación

s = desviación estándar de la muestra

$\bar{x}$  = media aritmética de la muestra

El coeficiente de variación sólo se debe calcular para variables con todos los valores positivos. Todo índice de variabilidad es esencialmente no negativo. Debemos trabajar con variables positivas para asegurarnos de que la media es mayor a cero (recuerda que una división entre cero es una indeterminación).



**Composición porcentual:** es posible saber el porcentaje de masa con el que cada elemento que forma dicho compuesto está presente en el mismo, se trata de una serie de pasos a seguir que ya están expuestos lo que nos muestra, se enfoca mirar la masa del elemento usado y multiplicarlo por 100 según la formula siguiente:

$$E_R = \left( \frac{C_0 - C}{C_0} \right) \times 100$$

Dónde:

$E_R$ = eficiencias de remoción  
 $C_0$ =Concentración inicial del Cr (VI)  
 $C$ =concentración a un tiempo t.

## VII. Metodología

### Generalidades de la investigación

#### Tipo De estudio

Para el cumplimiento de los objetivos, se realizó una investigación de tipo cuantitativa experimental ya que se realizan las actividades en un laboratorio equipado con material y equipo necesario para este estudio, donde se observó las relaciones de las variables como diámetro de la partícula, pH y relación biomasa-solución, y se determinó la concentración de cromo retenida por la biomasa.

#### Absorbente estudiado

La cascara seca del fruto de la planta de coco obtenido del mercado Raúl Cabezas Lacayo León, esta es secada en una estufa a 105 °C previa a la operación de molienda y tamizado utilizando tamiz de 100 y 230 MESH.

#### Método Utilizado

La unidad de análisis son las aguas residuales que provienen del curtido de piel de ganado vacuno, cuyas muestras se obtuvieron de forma aleatoria de los botaes de Piquelado y del curtido del cuero azul (wet blue) en donde se aplicó la técnica de espectrofotometría ultravioleta-visible para determinar la concentración de cromo VI.



## ***VIII. Muestreo y recolección de la muestra***

La toma y conservación de las mismas, se realizó mediante la metodología establecida en el Standard Methods (APHA, 1998, 1060C.):

- ❖ Se utilizó recipientes polietileno ámbar de 1000 ml. Debido a que algunos cationes se pierden por adsorción en las paredes de los envases de vidrios o por intercambio iónico con ellas.
- ❖ El recipiente se acidificó con ácido nítrico antes de agregar la muestra. Para reducir al máximo la precipitación y la adsorción en las paredes del envase.
- ❖ Agua proveniente del taban de las tenerías de León, se lavó tres veces el recipiente con el agua analizar y luego se toma la Muestra.
- ❖ La muestra se colocó en un termo para ser trasladada al laboratorio de análisis de la universidad UNAN-LEON.
- ❖ Cuanto menor sea el tiempo que transcurre entre la toma de la muestra y su análisis, más fiable será el resultado del mismo.



## IX. Materiales y Reactivos

### Equipos:

Espectrofotómetro Thermo Scientific Génesis 10S UV-Vis

Balanza analítica Sartorius modelo BP 210 S

pH-metro Tacussel.

### Materiales:

- ❖ Pipetas volumétricas de 1 ml, 2 ml, 20ml, 25ml, 50ml
- ❖ Pipetas graduadas de 5 ml, 10ml
- ❖ Balones aforados de 50 ml, 100ml, 250ml y 1000ml
- ❖ Agitador de vidrio
- ❖ Erlenmeyer de 250mL
- ❖ Beaker de 10 ml, 100ml, 250ml.
- ❖ Goteros, pizetas, cocinas, espátula
- ❖ Mortero
- ❖ Vidrio de reloj
- ❖ Plato petry
- ❖ Frascos plástico
- ❖ Papel filtro
- ❖ Dispensador
- ❖ Mallas de 230 y 100 MESH.

### Reactivos:

- ❖ Cromato de Potasio (Merck), 99.9 %
- ❖ Hidróxido de sodio (Mallinckrodt), 98.7%
- ❖ Ácido sulfúrico (Merck), GR
- ❖ Agua Destilada
- ❖ Ácido Nítrico



## X. Preparación de Soluciones

### Procedimientos:

#### **Solución de dicromato de potasio 500mg/L:**

Se pesaron 0.05 g de dicromato de potasio en una Balanza analítica Sartorius modelo BP 210 S, se disolvió en 10 ml de ácido sulfúrico 0.005 M en un Beaker de 50 ml y se vertió en un balón de 100 ml hasta aforo con ácido sulfúrico 0.005 M.

#### **Solución de ácido sulfúrico al 0.005 M:**

Se midieron 0.28 ml de ácido sulfúrico concentrado con una pipeta volumétrica de 1 ml y se aforo en un balón de 1000 ml con agua destilada.

#### **Solución estándar de $K_2Cr_2O_7$ :**

**Solución Madre** (500 mg/L de  $K_2Cr_2O_7$ ): Pesar 0.05 g ( $\pm 0.0001$ ) de dicromato de potasio y diluir a 100 ml con ácido sulfúrico 0.005 M.

**Solución hija** (100 mg/L de  $K_2Cr_2O_7$ ): Diluir 10 ml de la solución madre a 50 ml con ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ).



## XI. Procedimientos

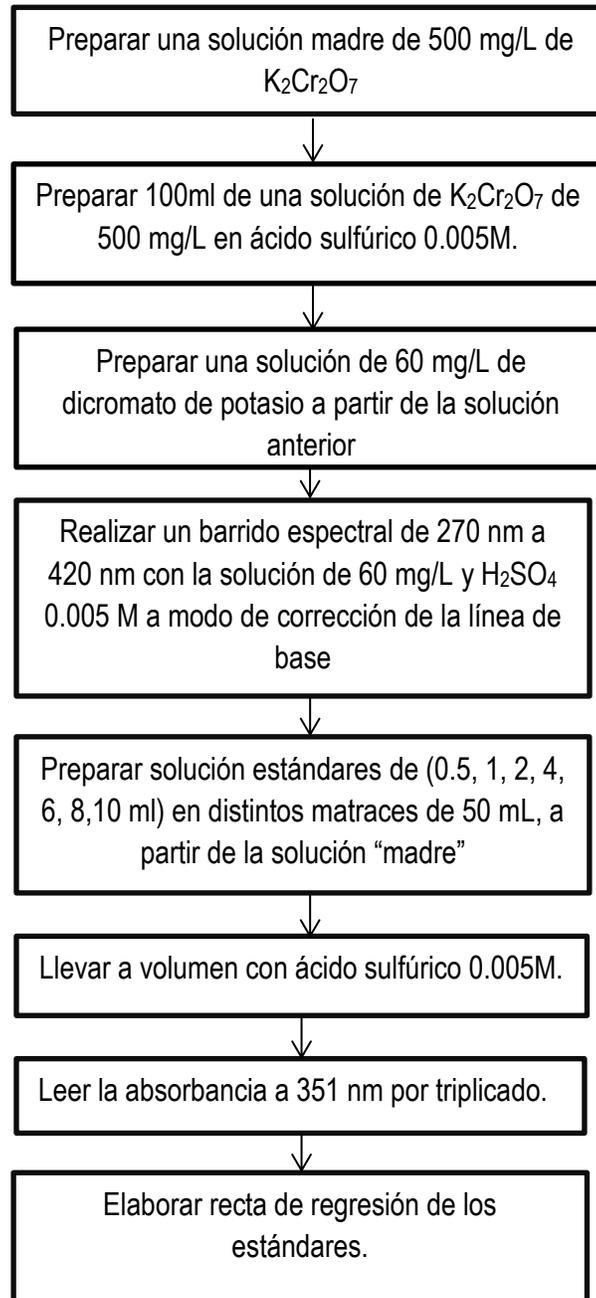
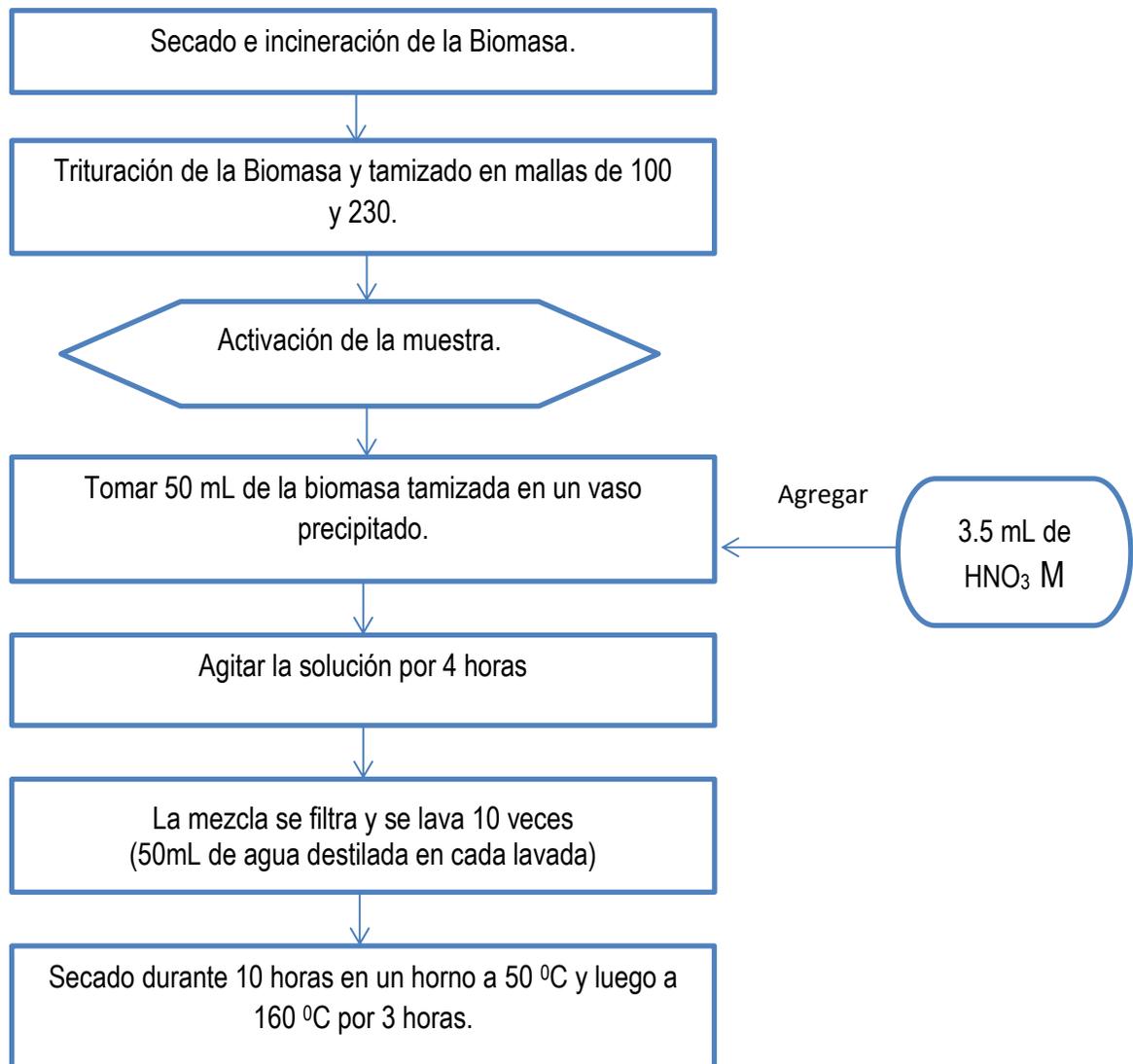


Figura 10: Preparación de los estándares



**Obtención y Activación de la biomasa:**

- ❖ Se realizó una selección favoreciendo a las cáscaras que se encuentren en mejor estado para aprovechar una vida útil mayor.
- ❖ La biomasa (cascara de coco) recolectada es secada e incinerada.
- ❖ Se tritura con ayuda de un mortero y se tamiza con mallas de 100 y 230 reduciendo el tamaño de partícula.
- ❖ Tomar 50 g de la muestra tamizada, agregarle 400 mL de  $\text{HNO}_3$  3.5 M agitando durante 4 horas.
- ❖ La mezcla se filtra con la ayuda de un embudo y papel filtro, y se lava por 10 veces por filtración al vacío (50mL de agua destilada en cada lavada).
- ❖ La biomasa es secada durante 10 horas en un horno a  $50\text{ }^\circ\text{C}$  y luego a  $160\text{ }^\circ\text{C}$  por 3h.



**Figura 11: Flujograma de procedimiento Obtención y Activación de la Biomasa.** (Carriazo, 2010)

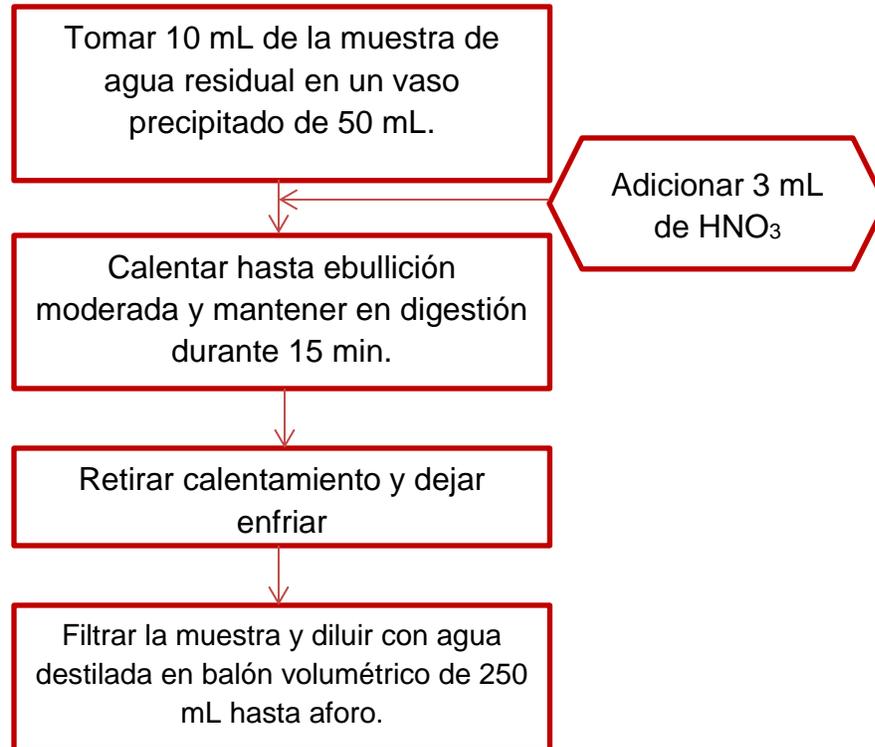


Figura 12: Flujograma de procedimiento Digestión de la muestra de agua residual. (Borda-Prada, 2014)



## XII. Análisis de resultados

### XII.1 Porcentaje de influencia del tamaño de partícula del carbón activado para el proceso de adsorción

Uno de los parámetros estudiados es el tamaño de partícula de la cáscara de coco, la capacidad de adsorción de diferentes materiales varía de acuerdo con el tamaño de partícula. Para el estudio del porcentaje de rendimiento de carbón activado, se evaluó la influencia del tamaño de partícula de cáscara de coco en la eficiencia de remoción de los iones Cr (VI), fueron realizados experimentos utilizando diferentes rangos de granulometría. Se tomaron aproximadamente 12 g de carbón debidamente tamizados (malla 100 y 230 MESH), a los cuales se les realizó la activación correspondiente.

#### VARIACIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA EN CARBÓN ACTIVADO

Se realizó un análisis granulométrico donde se estableció el número de malla y el porcentaje retenido. En la figura 13 se puede observar que se obtiene un mayor porcentaje de rendimiento (74.53%) utilizando una malla de 230 MESH (0.063 mm) contra un 66.47 % de rendimiento para una malla de 100 MESH (0.149mm).

❖ Tabla 5: Análisis de porcentaje de rendimiento de carbón activado.

Carbones (mm)	Peso inicial (g)	Peso Final (g)	% Rendimiento
C1 (0.149)	12.17	8	65.7
C2 (0.063)	12.75	9.4	73.7

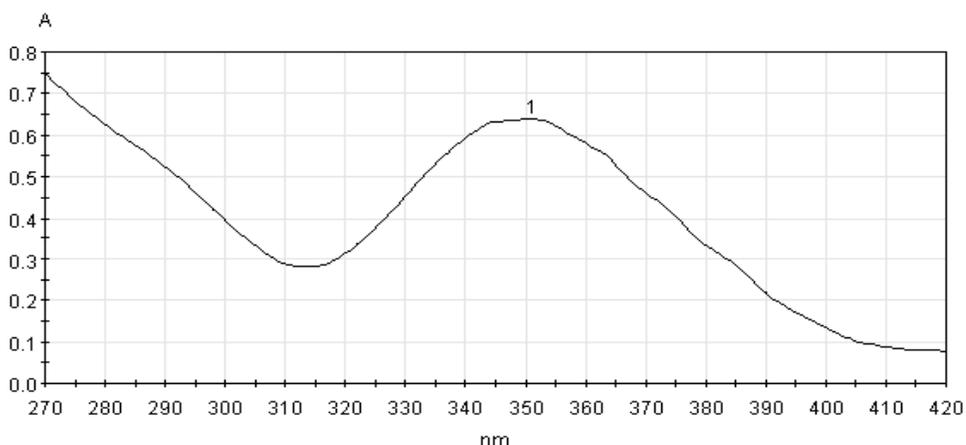


Figura 13: Porcentaje de rendimiento partícula del carbón activado



## XII.2 Calibración del espectrofotómetro

El equipo se calibró realizando un barrido espectral en un rango de lectura de 270- 420 nm con una solución de 60 mg/L de dicromato de Potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) en ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) 0.005M, esta solución presenta un pico de absorción a una longitud de onda de 351 nm con una absorbancia de 0.368 A.



**Figura 14: calibración del espectrofotómetro**

## XII.3 Curva de calibración normal

Para la elaboración de la curva de calibración utilizada a lo largo de este trabajo en el equipo de medición, se partió de una solución con una concentración de cromo (VI) de 500 mg/L. Esta solución, a la que llamamos solución madre, lo cual era utilizada para la preparación de soluciones intermedias o solución estándar. La solución madre era almacenada en un balón de 500 ml cubierta de papel aluminio para evitar contacto con la luz.

La curva de calibración fue construida por dilución de volúmenes de la solución estándar equivalentes a 0.5, 1, 2, 4, 6, 8 y 10 mL obteniendo de esta manera concentraciones de cromo (VI) de 5, 10, 20, 40, 60, 80 y 100 mg/L respectivamente, que constituye el rango de concentraciones en los cuales se aplicará la metodología. Estas concentraciones fueron leídas en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 351 nm por triplicado obteniendo un promedio de absorbancia para construcción de la curva. (Anexo III)



## Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua UNAN-LEON.

Para que la curva de calibración de un resultado confiable el  $r^2$  debe ser lo más cercano a la unidad, en la figura 15 se manifiesta un  $r^2$  de 0,9989 se puede decir que el resultado es aceptable según la ley de Lamber-Beer, lo cual indica confiabilidad y seguridad al momento de aplicar el método de análisis entre la absorbancia y concentración de cromo en cada una de las muestras analizadas de igual manera la curva de calibración nos muestra la ecuación de la recta con un intercepto (-0.0246) y una pendiente (0.011).

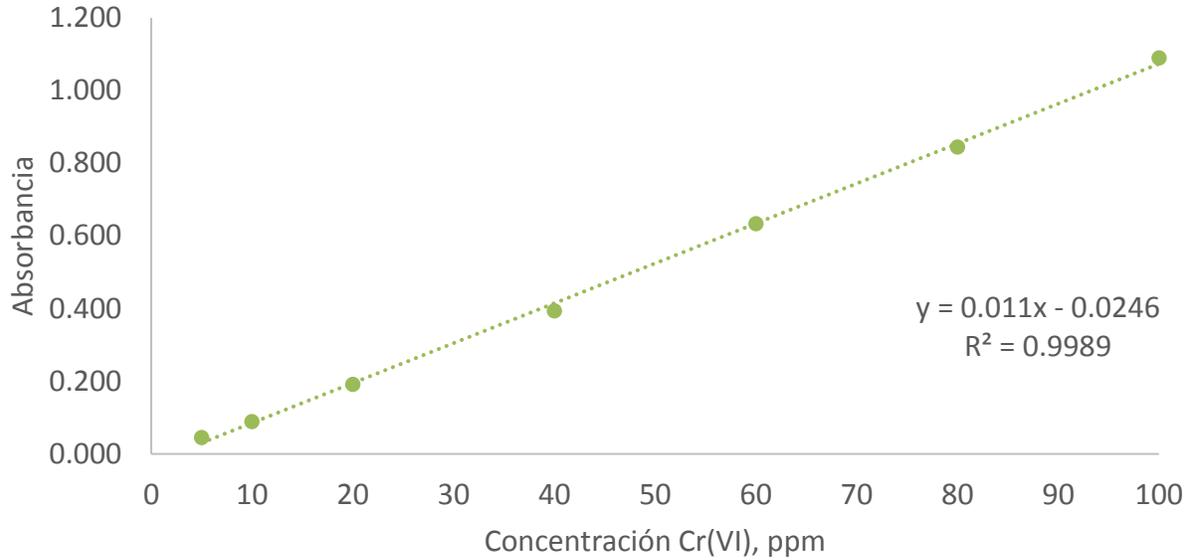
Se elaboró una curva de calibración para el rango de concentraciones de Cr (VI) de 5-100 mg/L, para determinar las concentraciones de las muestras de aguas residuales. Los resultados obtenidos se presentan en tabla 6. La curva manifiesta un  $r^2$  de 0,9989, por lo que se puede decir que existe buena relación lineal, indicando que el método normalizado de análisis, es aceptable lo cual indica confiabilidad y seguridad en los resultados.

Tabla 6: Datos establecidos para obtener resultados de la curva de calibración con estándares de 5-100 mg/L

Concentración de Referencia(ppm)	Absorbancia Promedio
5,0	0.045
10,0	0.089
20,0	0.191
40,0	0.393
60,0	0.634
80,0	0.844
100,0	1.090

Tabla 7: Parámetros estadísticos de Linealidad

<b><i>a</i></b>	<b>-0.0250</b>
<b><i>b</i></b>	0.0110
<b><i>Sa</i></b>	0.0093
<b><i>Sb</i></b>	0.0002
<b><i>r</i><sup>2</sup></b>	0.9989
<b><i>Sx/y</i></b>	0.0147
<b><i>Gl</i></b>	5
<b><i>Fc</i></b>	4425.0533
<b><i>SC</i><sub>regresión</sub></b>	0.9596
<b><i>SC</i><sub>residuales</sub></b>	0.00108



**Figura 15: Curva de calibración normal**

Se realizó un análisis estadístico de la linealidad, obteniendo un  $r^2$  de 0.9989, lo cual demuestra ser un método analítico adecuado ya que presenta un rango lineal confiable para concentraciones de 5-100 mg/L.

La siguiente tabla mostramos los errores residuales obtenidos, los que nos permitió verificar la sensibilidad del espectrofotómetro, resultando ser medidas poco dispersas, indicándonos el grado de aproximación, dándonos un indicio de la calidad de la medida.



Tabla 8: Errores residuales

$y''$	Er	Ls	li
0.030	0.015	0.029	-0.029
0.085	0.004	0.029	-0.029
0.195	-0.004	0.029	-0.029
0.414	-0.021	0.029	-0.029
0.634	0.000	0.029	-0.029
0.854	-0.010	0.029	-0.029
1.074	0.016	0.029	-0.029

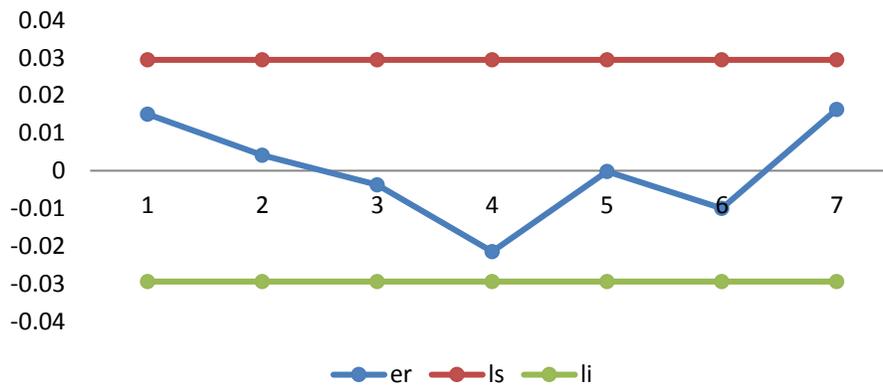


Figura 16: Errores residuales

El análisis de errores residuales indica que los valores de los estándares se encuentran dentro de los límites de control. Adicionalmente los estándares se distribuyen aproximadamente a ambos lados de la línea central (LC), no identificándose una tendencia en los valores.



Tabla 9: Coeficiente de Variación

<b>S</b>	<b>% C.V.</b>
<b>0.001</b>	1.283 %
<b>0.001</b>	0.649%
<b>0.001</b>	0.302%
<b>0.002</b>	0.588%
<b>0.000</b>	0.000%
<b>0.002</b>	0.274%
<b>0.001</b>	0.053%

Para mostrar una mejor interpretación, sobre el error del grado de variabilidad en el estudio, se realizó la comparación del Coeficiente de variación de los conjuntos de concentración y la absorbancia, pertenecientes a poblaciones distintas tomando en cuenta la desviación estándar y la media, teniendo como resultados valores menores que uno por lo que se considera que dentro nuestros datos no existen errores muestrales.

#### XII.4 Adsorción de cromo VI en estándares y muestras recolectadas en la tenería de León

Se compararon los estándares sin y con tratamiento, donde se observa la disminución de absorbancia, siendo evidente la reducción de concentración de cromo (VI) tanto en estándares como en la muestra de agua residual recolectada en la tenería situada en el departamento de León.

En la figura 17 se observa que en los estándares (5-100 mg/L) con tratamiento existe una adsorción máxima en un tiempo de 30 min de contacto con el biomaterial, por lo que se puede decir que este biomaterial como carbón activado a partir de cascara de coco, es muy efectivo para la adsorción de cromo (VI) en agua residuales.

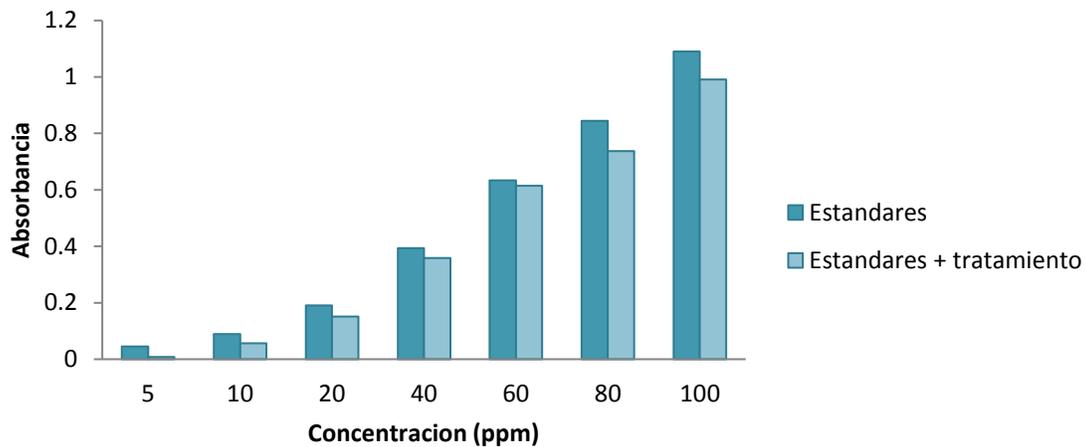


Figura 17: Comparación de estándares con y sin tratamiento

En la figura 18, se reflejan muestras recolectadas en la tenería de la ciudad de León, en diferentes periodos de tiempo (febrero, marzo, abril, julio, agosto, septiembre) del 2018. Se tomaron alícuotas de 50 mL de cada muestra, se digestaron y se procedió a medir su absorbancia con tratamiento y sin tratamiento, obteniéndose los siguientes resultados, lo que indica la capacidad de adsorción que tiene el carbón activado obtenido de la biomasa de cascara de coco. Dicho gráfico nos da como resultado un porcentaje de adsorción de Cr (VI) del 87%, para muestras reales de aguas residuales.

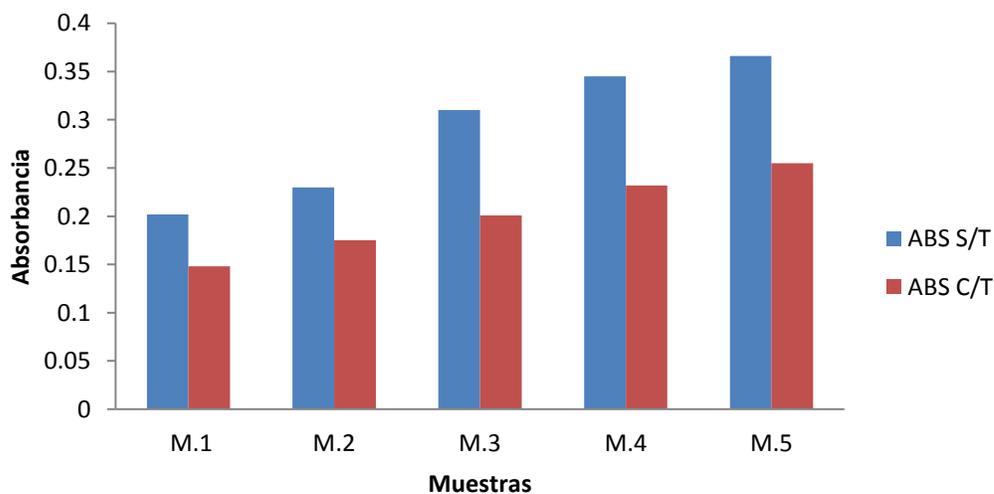


Figura 18: Comparación de muestra recolectada con y sin tratamiento en la tenería de León



En las muestras recolectadas en el mes de febrero y marzo, presentaron una concentración inicial, de 511 mg/L y 514 mg/L en cromo respectivamente, luego con el tratamiento realizado, su concentración disminuyó a 383 mg/L y 447 mg/L respectivamente. Estas concentraciones fueron calculadas por medio de la ecuación de la recta tomando intercepto y pendiente de la curva de calibración, en estas muestras los porcentajes de adsorción obtenidos fueron de 75 y 87 %. También se obtuvieron porcentajes de 67, 69 y 71 % de remoción perteneciente al mes de julio-septiembre.

El porcentaje de adsorción más bajo que se obtuvo, fue en la muestra recolectada y digestada en el mes de abril, con un porcentaje de remoción del 58 %, debido a problemas con la biomasa ya que perdió sus propiedades por el tiempo almacenado.

Tabla 10: porcentaje de adsorción en muestras de tenería

Muestras	% adsorción
M1	75%
M2	87%
M3	67%
M4	69%
M5	71%

### XII.5 pH en el porcentaje de remoción de cromo VI

El pH es una de las variables más importantes en el proceso de remoción de metales pesados, ya que la especiación del metal en la solución puede cambiar dependiendo de este valor. En la figura 19 se muestran los resultados obtenidos, el mayor porcentaje de remoción de Cr (VI) fue observado en un valor de pH igual a 2, al cual corresponde un porcentaje de remoción de 87.4 %; a este valor de pH la especie predominante en la solución es el ion dicromato.

A valores de pH entre 2.4 - 2.6, se observa una disminución del porcentaje de remoción con valores inferiores al 60 %. Los resultados obtenidos muestran claramente la importancia del pH en el proceso de remoción de metales.

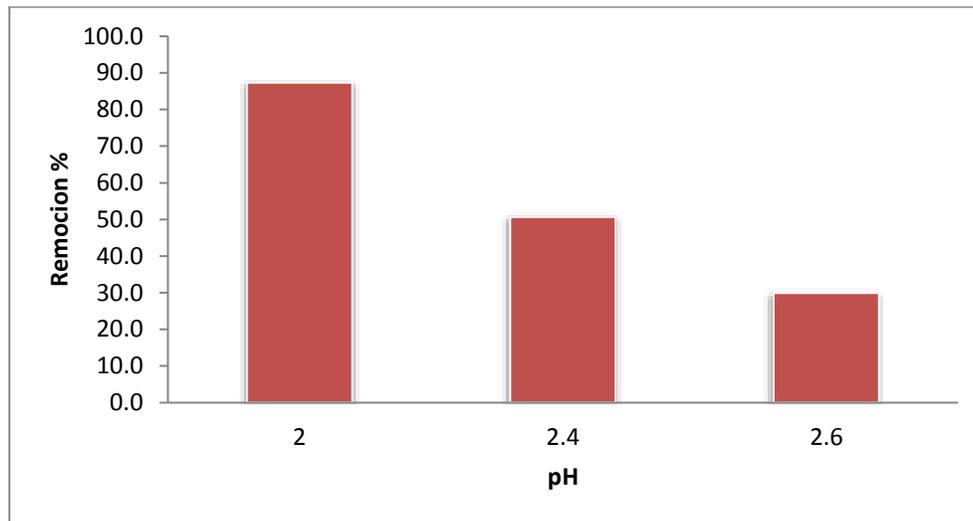


Figura 19: Determinación de pH óptimo

Tabla 11: Datos de pH vs % Remoción

pH	% REMOCIÓN
2	87.4
2.4	50.7
2.6	29.9
2.12	14
2.16	6.8

## XII.6 Análisis de datos para la isoterma de Langmuir y Freundlich

El proceso de adsorción se cuantifico mediante la elaboración de isotermas de adsorción con el fin de obtener la cantidad de biomolécula que se acumuló sobre el carbón activado empleando los modelos matemáticos de Langmuir y Freundlich. Ejemplo de cálculo para el estándar 1.

Formula:  $X = C_0 - C$

Donde  $X$  = Concentración inicial menos concentración final de  $K_2Cr_2O_7$

$C_0$  = Concentración inicial de  $K_2Cr_2O_7$

$C$  = Concentración final de  $K_2Cr_2O_7$

Para 20 mg/L

$$X = (20 - 11.385) = 8.62$$



El modelo de Langmuir es empleado para indicar como las moléculas adsorbidas se distribuyen en la fase líquida y sólida, en esta isoterma se distribuye de forma homogénea hasta llegar al momento en que todos sus sitios se ocupan y no es posible que continúe su adsorción, es decir, se saturan en un determinado número, figura 20.

❖ Tabla 12: Resultados obtenidos para elaborar las isotermas de Langmuir

<b>C</b>	<b>C/X</b>
<b>11.385</b>	1.32
<b>13.566</b>	0.51
<b>15.113</b>	0.34
<b>17.915</b>	0.28
<b>20.11</b>	0.25

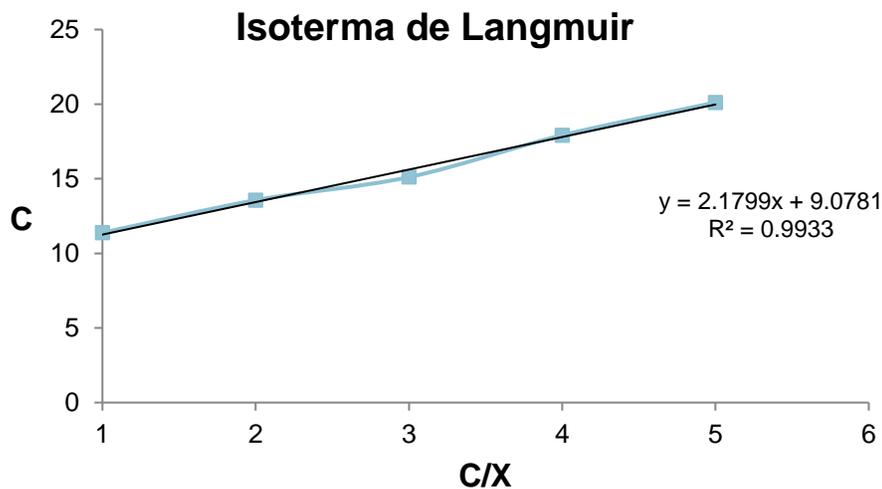


Figura 20: Isoterma de Langmuir

La isoterma de Freundlich fue utilizada para analizar la eficiencia del carbón activado en el proceso de adsorción, en la figura 21 se muestra una linealidad que indica interacción entre el adsorbato y el adsorbente obteniendo un  $r^2$  de 0.9997.



Tabla 13: Datos para isoterma de Freundlich

$\ln C_e$	$\ln q$
2.607	3.552
2.700	3.704
2.885	4.006
3.001	4.194

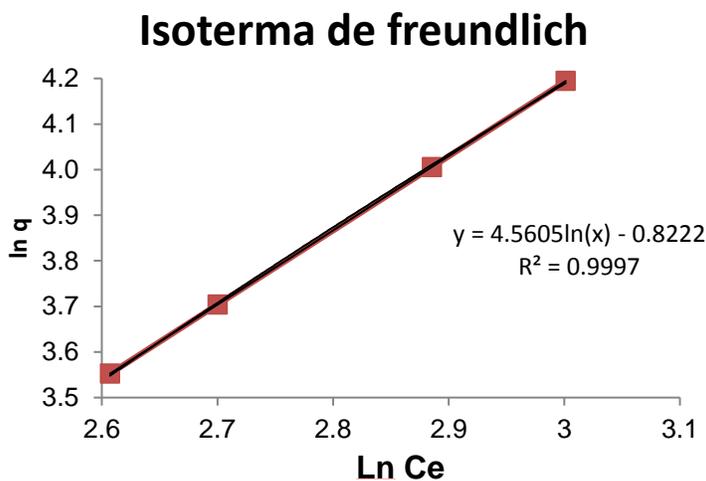


Figura 21: isoterma de Freundlich

## XII.7 Absorbancia vs tiempo

En la figura 22 se presentan los resultados de los ensayos de la absorción versus el tiempo de contacto con el carbón activado a un pH inicial de 2 a una concentración de cromo 5 mg/L.

El gráfico muestra una disminución de la concentración de cromo en función del tiempo, lo cual demuestra que el biomaterial adsorbe gran cantidad del metal, a medida se aumenta el tiempo de agitación. Se evaluó un tiempo de contacto de 1h 40 min, donde se puede decir que a partir de 30 minutos la curva obtenida se mantiene constante, obteniéndose el tiempo óptimo de contacto.

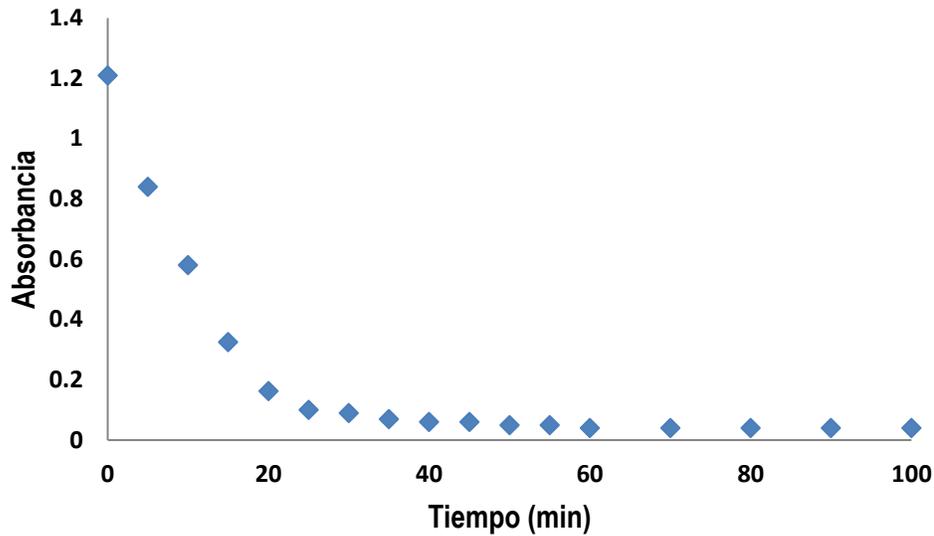


Figura 22: absorbancia vs tiempo

### XII.8 Porcentaje de cromo adsorbido en mallas de 100 y 230 MESH en concentraciones de 2-14 ppm

Se realizó un estudio granulométrico, sobre el porcentaje de cromo adsorbido en mallas de diferentes tamaños (100 y 200 MESH). Obteniéndose los siguientes resultados tabla 14 y 15 respectivamente.

Para malla de 100 MESH

❖ Tabla 14: Resultados obtenidos para el porcentaje de remoción de cromo en concentración de 2-14 mg/L

pH sin tratamiento	pH con tratamiento	Dosis de carbón (g)	Conc. Inicial mg/L	Conc final mg/L	% Remoción
1.56	2.38	0.5	2.08	1.32	63.462
1.79	2.03	0.5	5.04	1.51	29.960
1.59	1.99	0.5	8.8	4.18	47.500
1.71	1.86	0.5	11.03	5.51	49.955
1.75	1.96	0.5	14.2	8.27	58.239

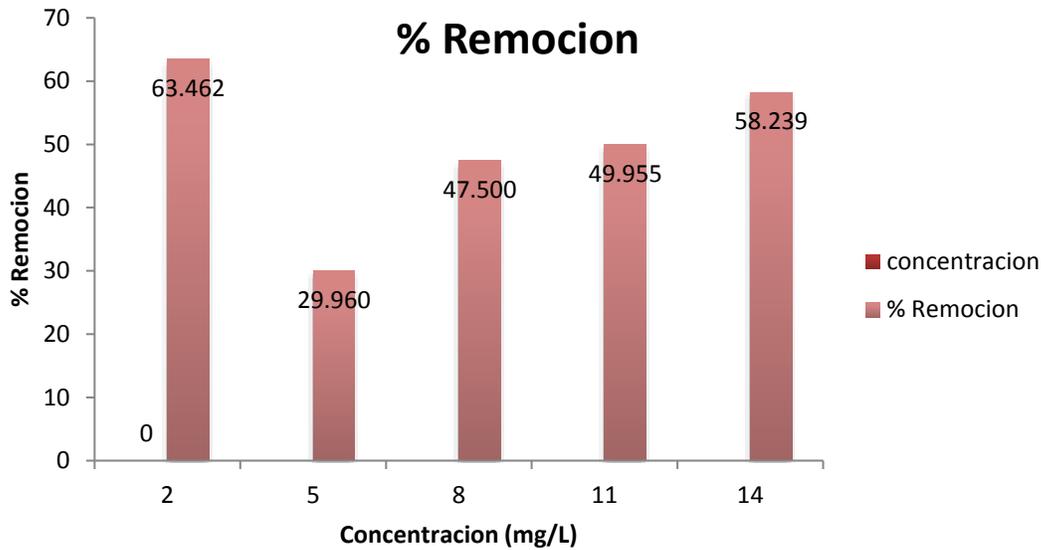


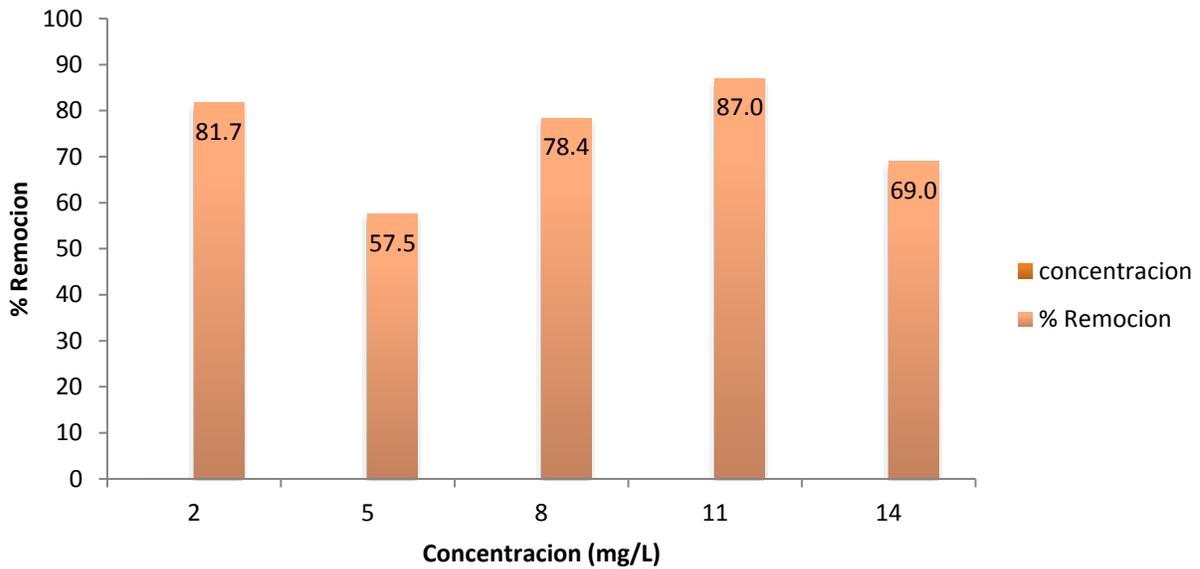
Figura 23: % Remoción de cromo (malla de 100 MESH)

Al utilizar la malla de 100 MESH se obtiene partículas del carbón con un diámetro de 0.149 mm. A este diámetro el porcentaje de remoción más alto obtenido fue de 63 % a una concentración de 2 ppm de cromo (VI).

Para malla de 200 MESH

❖ Tabla 15: Resultados obtenidos para el porcentaje de remoción de cromo en concentración de 2-14 mg/L.

Estándares	pH sin tratamiento	pH con tratamiento	Dosis de carbón	Conc Inicial mg/L	Conc final ppm	% Remoción
2	1.56	2.38	0.5	2.08	1.7	81.731
5	1.79	2.03	0.5	5.04	2.9	57.540
8	1.59	1.99	0.5	8.8	6.9	78.409
11	1.71	1.86	0.5	11.03	9.6	87.035
14	1.75	1.96	0.5	14.2	9.8	69.014



**Figura 24: % Remoción de cromo (malla de 230 MESH)**

En malla de 230 MESH, se obtienen partículas con un diámetro de 0.063 mm, mucho más fina que la utilizada en el ensayo anterior, los datos reflejados en la gráfica 10 afirman que se obtiene un mayor rendimiento de remoción de cromo VI al utilizar este tamaño de partícula, por lo tanto, el biomaterial o carbón activado tiene mayor superficie de contacto con la solución, obteniéndose porcentajes de 82 y 87 por ciento en concentraciones de 2 y 11 mg/L respectivamente.

Para la realización de estos ensayos se fijaron las condiciones experimentales siguientes: pH 2, masa de carbón activado de 0.5 g, y un tiempo de contacto 30 min para las mismas concentraciones.



**XII.9 Cinética de adsorción**

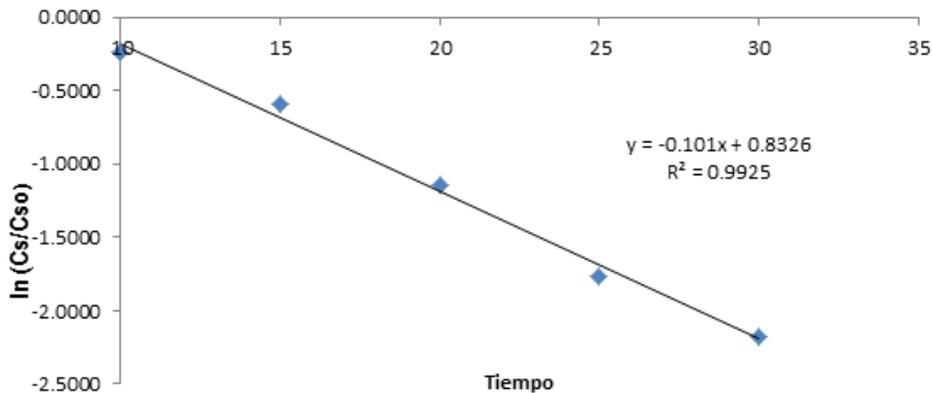
Se determinó los modelos que describen la cinética de adsorción de Cr (VI) sobre carbón activado. El modelo que mejor se ajusta a los datos experimentales es el de orden uno donde se determinó una constante de velocidad de adsorción  $k = 10.0 \left[ \frac{\text{ml}}{\text{min} \cdot \text{gr}} \right]$ .

Para  $n=1$

$$\ln \left( \frac{C_s}{C_{s_0}} \right) = - \frac{m_C}{V_S} * k * t$$

❖ Tabla 16: Determinación del orden de la reacción a concentración de 100 mg/L.

C <sub>s0</sub> (mg/l)	C <sub>s</sub> (mg/l)	C <sub>s</sub> /C <sub>s0</sub>	Ln C <sub>s</sub> /C <sub>s0</sub>	Tiempo (min)
100.01	78.6	0.7859	-0.2409	10
100.01	55.05	0.5504	-0.5970	15
100.02	31.78	0.3177	-1.1465	20
100.02	17.05	0.1705	-1.7692	25
100.01	11.32	0.1132	-2.1787	30



Se nota q se ajusta mejor  $r^2=0.9925$

$$\text{Pendiente} = - \frac{m_C}{V_S} * k = -0.101 \left[ \frac{1}{\text{min}} \right]$$

$$k = 0.0691 * \frac{V_S}{m_C} = 0.101 \left[ \frac{1}{\text{min}} \right] * \frac{50 \text{ ml}}{0.5 \text{ gr}} = 10.1$$



La ecuación cinética:

Reemplazando

$$\frac{dC_S}{dt} = -\frac{m_C}{V_S} * k * C_S^n$$

$$\frac{dC_C}{dt} = r = 10.1 * C_S^1$$

Para n=2

❖ Tabla 17: determinación cinética de adsorción segundo orden:

Cso (mg/l)	Cs (mg/l)	Tiempo (min)	(1/Cso-1/Cs)
100.01	78.6	10	-0.0027
100.01	55.05	15	-0.0082
100.02	31.78	20	-0.0215
100.02	17.05	25	-0.0487
100.01	11.32	30	-0.0783

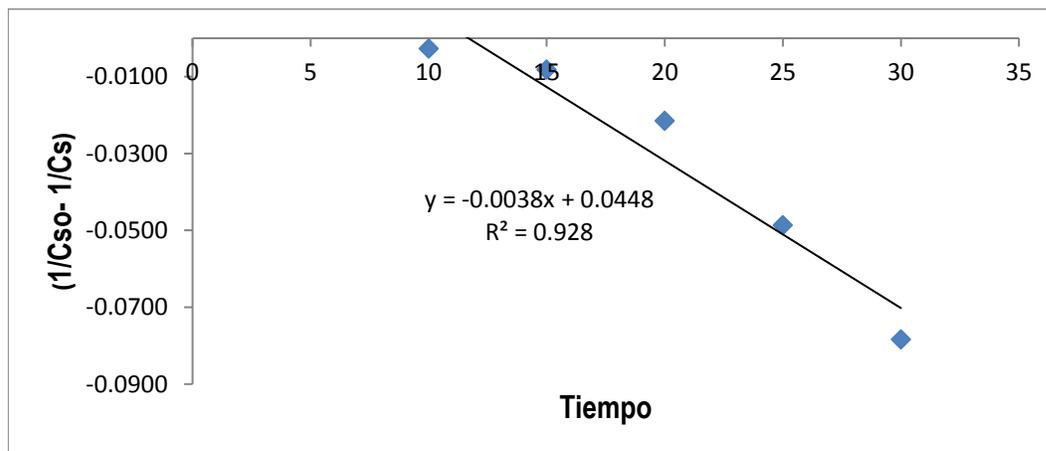


Figura 26: cinética de adsorción de 2 orden.

$$\left( \frac{1}{C_{S_0}} - \frac{1}{C_S} \right) = -\frac{m_C}{V_S} * k * t$$

Se ve que no se ajusta la recta



## XIII. Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos podemos concluir que, la biomasa obtenida a partir de cascara de coco resulta ser excelente, adsorbiendo Cr (VI) en aguas residuales de tenerías, alcanzando una remoción del Cr (VI) del 87%.

Los parámetros óptimos a tomar en cuenta para dicho tratamiento de aguas residuales resultaron ser: pH de 2, tiempo de contacto óptimo de 30 minutos y el tamaño de partícula para la biomasa obtenida de 0.063 mm.

El proceso puede ser estudiado a través de los modelos de Langmuir y de Freundlich, ya que los coeficientes de correlación obtenidos para ambos modelos fueron de 0,9933 y 0,9997 respectivamente. El modelo cinético que mejor se ajusta al estudio es de primer orden adaptado a la curva experimental del proceso. El método presentó buena correlación lineal con un valor de  $R^2$  de 0.9989, en el rango comprendido de 5-100 mg/L.

De acuerdo a los resultados anteriores se establece que, el método utilizado de análisis espectrofotométrico UV-vis, proporciona resultados confiables. Se comprobó que el carbón activado, a partir de cascara de coco, presenta buenas propiedades de adsorción para remoción de Cr (VI) y es una biomasa de bajo costo.

Por tanto, dicho estudio permitirá a la industria del cuero implementar medidas que minimicen el impacto ambiental generado.



#### XIV. Recomendaciones

- ❖ Desarrollar estudios sobre la capacidad de adsorción de otras biomásas que correspondan a materiales residuales abundantes y de bajo costo.
- ❖ Utilizar carbón activado con diámetro menores a 0.063 mm para una mejor adsorción.
- ❖ Realizar un análisis químico con todos los parámetros necesarios para cuantificar mejor el grado de contaminación del río chiquito en la ciudad de León.
- ❖ Implementar otros sistemas de recuperación de metales tóxicos utilizados al nivel industrial para disminuir la contaminación ambiental.



## XV. Bibliografía

- Acosta, L. C. (2010). *Remocion de Cromo VI en solucion acuosa por la biomasa de la cascara de tamarindo*. (Vol. Vol 14 No. 3). Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería.
- Ahalya, R. a. (2005). *Biosorption of Heavy Metals*.
- Alexander Gomez, W. K. (2004). *Proceso de produccion de carbon activado a partir de cascara de palma de aceite en un horno rotatorio y su aplicacion en la limpieza de NO*. Alemania: Palmas Vol 25 No. Especial, Tomo II.
- Bartlett, R. (1991). *Chromium Cycling in soli and water . Links, gaps , and methods*.
- Bedoya, P. (2008). *Caracterizacion de la cascara de naranja para su uso como material biosorbente*.
- Borda-Prada, O. L. (2014). Evaluación y reducción de los niveles de cromo en muestras de aguas residuales provenientes de curtiembres. *Revista L'éstrit Ingénieux*, pp. 6-12.
- Brenda D, C. S. (2010). *Procesos de adsorcion en solucion*. Peru. Falcultad de Ciencias e Ingeniería.
- Burriel L. Marti, L. C. (1983). *"Quimica Analitica Cuantitativa", 11 va Ed. . Paraninfo S.A, Madrid*.
- Carabias J, L. R. (2005.). *Agua, Medio Ambiente y Sociedad, Hacia la gestion integral de los recursos hidricos en Mexico*.Pag.33. Mexico, UNAM,COLMEX.
- Carriazo, J. G. (2010). Propiedades adsortivas de un carbón activado y determinación de la ecuación de Langmuir empleando materiales de bajo costo. *Educación química, 21(3)*, 224-229.
- Carrillo.V.Y, S. M. (2013). *Elaboracion de un filtro a base de carbon activado obtenido del endocarpo de coco con el proposito de reducir la dureza en el agua potable . San Salvador , Centro America*.
- Cruz, V. (2009). Tesis de grado: Maestría. Contaminación de agua potable por Cromo hexavalente. Caso de Estudio: Colonia Lechería, municipio de Tultitlan, Estado de México. Instituto Politécnico Nacional.
- Davis, T. v. (2003). *Review of the biochemistry of heavy metal biosorpiton by brown algae*.
- Douglas Skook, J. H. (2001). *Principio de analisis instrumental. Quinta edicion*. España.
- Dreisbach, R. ., (2007). *Biorremediacion de cromo VI de aguas residuales de curtiembres por Pseudomonas sp y su efecto sobre el ciclo celular de Allium cepa*.p.33. Revista medica Vallejana.
- Duarte Palomera, R. R. (22 de enero del 2008). *Riesgos del cromado-ciencia y Desarrollo, Articulos conaciyt*.



- Eddy., M. y. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment, and Reuse*. New York.
- EPA. (1998). *Toxicological review of hexavalent chromium*. Washington : Environmental protection Agency.
- Font, M. (2006). *Calidad para la produccion de piel y cuero libre de cromo (VI)*.
- Garzon, J. L. (2012). *Adsorcion de Cr(VI) utilizando carbon activado a partir de cascara de naranja*.
- Gomez, A. (2004). *Wolfgang Klose Sonia L. Rincon wolfgang Wiest PALMAS-Vol. 25 No.Especial, Tomo II*.
- Gonzalez, M. N. (2007). *Obtencion de carbon activado a partir de la cascara de coco*. Mexico: UAM-Iztapalapa, Depto.Quimica.
- Graeme, K. (1998). *Heavy metal toxicity part II : lead and metal fume fever. p.171-177*. The Journal of Emergency Medicine.VOL 16.
- Holler., D. A. (2001). *Principios de analisis instrumental . quinta edicion*.
- Huerta, V. (2007). *Biosorcion de cobre (II) por biomasa pretratada de cascara de citrus Sinensis(naranja), Citrus limonium(limon) y Opuntia Ficus ( Palmeta de nopal)*. el 27 de enero del 2014.
- Jaraba, L. Y. (2012). *Evaluacion de la capacidad de adsorcion de la cascara de naranja modificada con quiotosano para remocion de cromo VI en aguas residuales*. 18 de noviembre 2013.
- Karen J., L. G. (2012). *Preparacion de carbon activado a partir de cascara de naranja por activacion quimica. caracterizacion fisica y quimica*. (Vol. vol.41). Colombia.
- Lemus., B. (1976). *Evaluacion de la contaminacion por metales toxicos en aguas superficiales y sedimentos de la cuenca hidrografica del rio Acelhuate y zona metropolitana*. San salvador.
- Lesmana, F. S. (2009). *Studies on potential applications of biomass for the separation of heavy metals from water and wastewater*.
- Leyva R, F. J. (2008). *Adsorcion de cromo VI en solucion acuosa sobre fibra de carbon activado* . Vol 19(5),27-36.
- Leyva Ramos, R. R. (2000). *Remocion de cromo hexavalente y trivalente de solucion acuosa por medio de resinas de intercambio ionico*. Rubio y Mendoza Barron.
- López., G. Y. (2011). *Composicion de las aguas residuales*.
- Madrigal., M. d. (1999). *Estimacion del grado de agotamiento de productos quimicos en los procesos de pelambre y curtido de pieles*.



- Medina, V. (2002). *Estudio sobre la factibilidad de preparar carbones activados a partir de recursos biomásicos tropicales.*
- Metcalf, E. (2003). *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y Reutilización. Pag. 360-369.*
- Mohana Dinesh, C. U. (2006). *Activated carbons and low cost adsorbents for remediation of tri-and hexavalent chromium from water.* Journal of Hazardous Materials B137.
- Nriagu, N. (1988). *Chromium in the natural and human environments.* (Vol. Vol.20). New York.
- OMS . (2003). *Documento de referencia para la elaboración de las guías de la OMS para la calidad del agua potable .* Suiza.
- Perdomo, A. (2011). *Monografias.com Obtencion de carbon activado.*
- Perez Silva, R. M. (Julio 2014). *Adsorción de Cr (VI) por cocos nucifera L. en residuales de fibrocemento en Santiago de Cuba.* Universidad Nacional de Colombia Bogota, Colombia: Rev. Colomb. Biotecnol.Vol. XVI No. 1.
- Primera O., C. F. (2010). *Carbones activados a partir de bagazo de caña de azúcar y zuro de maíz para la adsorción de cadmio y plomo.* Colombia.
- Quer Brossa, S. (2007). *Biorremediación de cromo VI de aguas residuales de curtiembres por Pseudomonas sp y su efecto sobre el ciclo celular de Allium cepa.* Revista Médica Vallejana, 33.
- Reyes, Y. V. (2016). *Cotaminación por metales pesados: Implicaciones en la salud, ambiente y seguridad alimentaria.* Ingeniería Investigación y Desarrollo, 16 (2), 66-77.
- Rodas Quiroz, Ñ. T. (2016). *Estudio de adsorción de cromo hexavalente en columna de lecho fijo con biomasa de tamarindo.* 5.
- Romero. (2006). *Purificación del agua.* Bogota: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Schifini. (1996). *Nuevos desafíos para la potabilización del agua.*
- Selvi, P. y. (2001). *Removal of Cr(VI) from Aqueous Solution by Adsorption onto Activated Carbon.*
- Seong-Rin., P. y. (2010). *Reliable evidences that the removal mechanisms of hexavalent chromium by natural biomaterials is adsorption-coupled reaction.*
- T, E. (2010). *Tratamiento de aguas.*
- Torrez T., S. E. (2016). *Determinación del grado de pureza de reactivo químico que se utilizan en la producción artesanal de cuero en la TENERIA TEGUESA de la ciudad de Leon.* 8.



- Varela., C. B. (Agosto 2014.). *Remocion de cromo hexavalente utilizando un sistema de filtracion con alfa-alumina*. Mexico.
- Violeta, L. (2011). *Evaluacion de un sistema redox-bimetalico acoplado a biosorcion para remocion de Cr (III) Y Cr (VI) Presente en solucion acuosa*.
- Violeta, L. (2011). *Evaluacion de un sistema redox-bimetalico acoplado a biosorcion para remocion de Cr(III) y Cr (VI) presente en solucion acuosa*.
- Violeta, L. (2011). *Evaluacion de un sistema redox-bimetalico acoplado a biosorcion para remocion de cr(III) Y cr(VI) presente en solucion acuosa*.
- Violeta, L. (2011). *Evaluacion de un sistema redox-bimetalico acoplado a biosorcion para remocion de Cr(III) Y Cr(VI) presente en solucion acuosa*.
- Violeta, L. (2011). *Evaluacion de un sistema redox-Bimetalico acoplado a biosorcion para remocion de cr(III) Y cr(VI) presente en solucion acuosa*.
- Volesky. (2001). *Detoxification of metal-bearing effluents: biosorption for the next century*.
- Volesky, B. (1990). *Removal and recovery of heavy metals by biosorption*.
- Volesky, B. (2001 pag. 203-2016). *Detoxification of metal-bearing effluents: biosorption for the next century. Hidrometallurgy*.
- Zibettia, B. C. (s.f.). *Elaboracion de carbon activado: Contenidos celulares Vs Carbon fijado en tres especies de interes forestal de la provincia de formosa*. Argentina: UNaf. Formosa 3600.



**XVI. Anexos**

**ANEXO I**

❖ **Cascara de coco y su proceso a carbón activado**



**Biomasa recolectada.**



**Secado de muestra.**



**Trituración de la biomasa.**



**Lavado de carbón activado**



ANEXO II

❖ Recolección y Digestión de muestra recolectada en tenería de León



Recolecta de muestra en tenería



Envasado de agua residual



Muestra + 3 ml de  $\text{HNO}_3$



Mezcla de agua + carbón en agitación



### ANEXO III

Otros equipos y materiales utilizados durante los análisis en el laboratorio:



Espectrofotómetro  
UV-VIS Génesis.



pH-metro Tacussel.



Malla de 230ETI-A0349.

### ANEXO IV

- ❖ Tabla de datos requeridos de réplicas de estándares para un promedio de Abs para la curva de calibración:

Réplicas de Estándares para la curva de Calibración				
5-100 mg/L				
Estándares	1ra Replica	2da Replica	3ra Replica	PROMEDIO
5	0.046	0.045	0.045	0.045
10	0.089	0.09	0.089	0.089
20	0.191	0.191	0.192	0.191
40	0.396	0.392	0.392	0.393
60	0.634	0.634	0.634	0.634
80	0.847	0.843	0.843	0.844
100	1.089	1.09	1.09	1.090



❖ Tabla de datos requeridos para la comparación de estándares con y sin tratamiento:

Concentración	Estándares	Estándares + tratamiento
5	0.045	0.008
10	0.089	0.056
20	0.191	0.151
40	0.393	0.359
60	0.634	0.614
80	0.844	0.737
100	1.09	0.991

❖ Tabla de datos para realizar la cinética de adsorción a concentración de 5.0 mg/L.

Co	C	C/Co	ln C/Co	T
5.04	4.56	0.905	-0.100	30
5.04	4.08	0.810	-0.211	35
5.04	2.94	0.583	-0.539	50
5.04	2.27	0.450	-0.798	60
5.04	1.7	0.337	-1.087	70

❖ Tablas de datos requeridos para la elaboración de isothermas de Langmuir y Freundlich respectivamente:

Co	C	C/X
20	11.385	1.32
40	13.566	0.51
60	15.113	0.34
80	17.915	0.28
100	20.11	0.25

Co	Ce	X(Co-Ce)	m(mg)	X/m	Ce/(X/m)	Y(log(X/m))	X(log(Ce))
20	11.38	8.62	500	0.01724	660.092807	1.0404	1.056
40	13.56	26.44	500	0.05288	256.429652	1.1294	1.132
60	15.11	44.89	500	0.089774	168.344955	1.2296	1.179
80	17.91	62.09	500	0.12418	144.226123	1.3309	1.253
100	20.11	79.89	500	0.15978	125.860558	1.4447	1.303



ANEXO V

Hoja de seguridad de reactivos utilizados en los análisis de este estudio:

<b>HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD ACIDO SULFURICO</b>	
<p>Rótulo NFPA</p>	<p>Rótulos UN</p>
<p>Fecha Revisión: 27/12/2005</p>	
<b>SECCIÓN 1: PRODUCTO QUÍMICO E IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA</b>	
<b>Nombre del Producto:</b>	ACIDO SULFURICO
<b>Sinónimos:</b>	Aceite de vitriolo, Acido para baterías, Sulfato de hidrógeno, Acido de decapado, Espíritus de Azufre, Acido electrolito, Sulfato de dihidrógeno
<b>Fórmula:</b>	H2SO4
<b>Número interno:</b>	
<b>Número UN:</b>	1830 al 1832
<b>Clase UN:</b>	8
<b>Compañía que desarrolló la Hoja de Seguridad:</b>	Esta hoja de datos de seguridad es el producto de la recopilación de información de diferentes bases de datos desarrolladas por entidades internacionales relacionadas con el tema. La alimentación de la información fue realizada por el Consejo Colombiano de Seguridad, Carrera 20 No. 39 - 62. Teléfono (571) 2886355. Fax: (571) 2884367. Bogotá, D.C. - Colombia.

<b>EFFECTOS ADVERSOS POTENCIALES PARA LA SALUD</b>	
Inhalación	Irritación, quemaduras, dificultad respiratoria, tos y sofocación. Altas concentraciones del vapor puede producir ulceración de nariz y garganta.
Ingestión	Corrosivo. Quemaduras severas de boca y garganta, perforación del estómago y esófago, dificultad para comer, náuseas sed, vomito con sangre y diarrea.
Piel	Quemaduras severas, profundas y dolorosas. Si son extensas pueden llevar a la muerte.
Ojos	Es corrosivo y puede causar severa irritación.
Efectos Crónicos	La repetida exposición a bajas concentraciones puede causar dermatitis.



## HOJA DE SEGURIDAD VI ACIDO NITRICO

**FORMULA:** HNO<sub>3</sub>

**PESO MOLECULAR:** 63.02 g/mol.

**COMPOSICION:** H: 1.6 %; N: 22.23 % y O: 76.17 %.

### GENERALIDADES:

El ácido nítrico es un líquido cuyo color varía de incoloro a amarillo pálido, de olor sofocante. Se utiliza en la síntesis de otros productos químicos como colorantes, fertilizantes, fibras, plásticos y explosivos, entre otros. Es soluble en agua, generándose calor. No es combustible, pero puede acelerar el quemado de materiales combustibles y causar ignición. Es corrosivo de metales y tejidos. Si además, contiene NO<sub>2</sub> disuelto, entonces se conoce como ácido nítrico fumante y su color es café-rojizo. Actualmente, se obtiene por oxidación catalítica de amoníaco.

### NUMEROS DE IDENTIFICACION:

UN: 2031

2032 ( fumante)

NIOSH: QU 5775000)

QU 5900000 (fumante)

NOAA: 7198

HAZCHEM CODE: 2PE

CAS: 7697-37-2

STCC: 4918528

RTECS: QU5775000

NFPA: Salud:3 Fuego: 0 Reactividad: 0 Especial: Oxidante

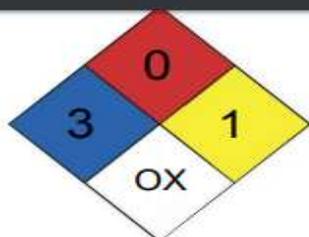
Salud:3 Fuego: 0 Reactividad: 1 Especial: Oxidante (fumante)

Se encuentra incluido en: CERCLA, EHS y 313

MARCAJE: SUSTANCIA CORROSIVA OXIDANTE

### EFFECTOS ADVERSOS POTENCIALES PARA LA SALUD

Inhalación	Produce estornudos, ronquera, laringitis, problemas para respirar, irritación del tracto respiratorio y dolor del tórax.
Contacto con los ojos	Produce irritación, dolor, lagrimeo, ceguera.
Contacto con la piel	Es peligroso tanto líquido como forma de vapor. Causa quemaduras severas, la piel adquiere un color amarillo.
Ingestión	Este ácido es muy corrosivo y puede destruir los tejidos gastrointestinales.
Carcinogenicidad	Se han informado de casos en los que se relaciona a los vapores de este ácido junto con trazas de metales carcinogénicos.



NFPA 704

**HOJA DE SEGURIDAD  
POTASIO CROMATO**

TELEFONOS: PBX (571) 2401800 Bogotá D. C.



**IDENTIFICACIÓN**

**Sinónimos:** Cromato Potásico, Bicromato de Potasio, Cromato de Dipotasio, Sal Dipotásica del Acido Crómico, Cromato de Potasio Amarillo, Cromato de Potasio Neutro, Silvita.

**Fórmula:**  $K_2CrO_4$

**Peso molecular:** 194.19 g/mol

**Composición:**  $K_2CrO_4$

**Código Interno:** R6954, R6955, R6956

**Número CAS:** 7789-00-6

**Número ONU:** 3288

**Clase ONU:** 6.1

**Usos:** Su principal aplicación es como fertilizante. También tiene uso en la fabricación de hidróxido, carbonato, sulfato. Reactivo para análisis en laboratorio. Indicador en argentometría.

**IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS**

**Pictogramas de peligro:**



**EFFECTOS ADVERSOS POTENCIALES PARA LA SALUD**

Inhalación	Altamente tóxico. Produce irritación del sistema respiratorio, dolor en el pecho, dificultad respiratoria.
Ingestión	Altamente tóxico. Produce irritación en la boca, daños internos, inapetencia, náuseas, gastritis, úlcera duodenal y colitis.
piel	Puede ser fatal si se absorbe por la piel.
ojos	Irritación y conjuntivitis.
Efectos Crónicos	Neumonitis y bronquitis crónica. Sensibilización, dermatitis y úlceras por el contacto prolongado.