



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL**

**“EFECTO DEL TIPO DE CARBÓN ACTIVADO EN LA ADSORCIÓN
DE CROMO DEL AGUA RESIDUAL DE LA ETAPA DE CURTIDO”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTOR:

PARRAVICINI CASTRO, JUSTO WILFREDO

ASESOR:

Ing. MORENO EUSTAQUIO, WALTER

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

CALIDAD Y GESTION DE LOS RECURSOS NATURALES

TRUJILLO – PERÚ

2016

DEDICATORIA

De manera especial a mi Madre Melva, pues ella es y fue el principal cimiento de la construcción de mi vida profesional, la cual me inculco los deseos de superación, también al cariño y apoyo brindado por Jesús, Valery, Ana, Nasho, Gasdaly, Karen y Carlos, quienes a diario sentaron en mí las bases de la responsabilidad y el respeto, además del amor y la calidez de la familia.

Al hombre el cual me dio la vida, a pesar de haberlo perdido a muy temprana edad, ha estado siempre cuidándome y guiándome desde el cielo.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecer a mi asesor Ing. Walter Moreno Eustaquio, por brindarme los conocimientos necesarios para el desarrollo de la tesis.

A el Ing. José Rivero Méndez, quien me ayudo a sacar la tesis adelante, buscar variables, métodos y formas de poder ayudarme a lograr mis objetivos, y por haberme cedido su laboratorio para poder analizar las muestras de mi tesis y la búsqueda de mis resultados.

A la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, la cual cedió las instalaciones de su laboratorio para poder realizar algunas pruebas.

A mis compañeros y amigos, en especial a Salaverry, Tamayo, Guevara, Mudarra, Ramírez, Espinoza, quienes sin esperar nada a cambio compartieron sus conocimientos, alegrías y tristezas en la búsqueda de lograr nuestros objetivos.

PRESENTACIÓN
TÍTULO

“EFECTO DEL TIPO DE CARBON ACTIVADO EN LA ADSORCION DE CROMO DEL AGUA RESIDUAL DE LA ETAPA DE CURTIDO”

AUTOR

Parravicini Castro, Justo Wilfredo.
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental.
Facultad de Ingeniería.

ASESOR:

Asesor Metodológico:

Dr. Quezada Álvarez, Medardo Alberto

Asesor Especialista:

Ing. Moreno Eustaquio, Walter.

TIPO DE INVESTIGACIÓN:

De acuerdo al fin que se persigue:

Investigación aplicada, también llamada práctica porque aplica las bases teóricas y la investigación científica para dar solución a la realidad problemática y así proponer soluciones.

De acuerdo al régimen de investigación:

Investigación libre, ya que el tema de investigación fue elegido por decisión propia.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Calidad y gestión de los recursos naturales

LOCALIDAD

Curtiembre Rebaza, Trujillo- Porvenir - 2016

DURACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Fecha de Inicio: septiembre - 2016

Fecha de término: diciembre – 2016

Índice

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
PRESENTACIÓN	4
TÍTULO	4
RESUMEN.....	7
ABSTRACT	8
INTRODUCCION.....	9
1.1. Realidad Problemática	9
1.2. Trabajos previos.....	10
1.3. Teorías relacionadas al tema	13
1.3.1. Marco teórico:	13
1.4. Formulación del problema	19
1.5. Justificación del estudio.....	19
1.6. Hipótesis.....	19
1.7. Objetivos.....	20
1.7.1. Objetivo General.....	20
1.7.2. Objetivos Específicos.....	20
2. MÉTODO.	20
2.1. Diseño de investigación.	20
2.2. Variables, Operacionalización.....	22
2.2.1. Identificación de variables:.....	22
2.3. Población y muestra.	25
2.3.1. Población.	25
2.3.2. Muestra.	25
2.3.3. Unidad de análisis.....	25
2.4.Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad ..	25
2.4.1. Técnicas.....	25
2.4.2. Validación y confiabilidad.....	25
2.5. Métodos de análisis de datos.	26
2.5.1. Desarrollo metodológico.	26
2.6. Aspectos éticos.	27
3. RESULTADOS.....	28
4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	33

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	37
APENDICE A: CALIBRACIÓN DE EQUIPOS UTILIZADOS.	40
APENDICE B: ANALISIS MATEMATICOS Y ESTADISTICOS REALIZADOS A LA MUESTRA DE AGUA DE CURTIDO.....	47

Índice de tablas

Tabla n°1. Tabla de diseño de investigación.....	¡Error! Marcador no definido.1
Tabla n° 2. Operacionalización de variables.....	¡Error! Marcador no definido.3
Tabla n° 3: Caracterización de la muestra.....	28
Tabla n°4. Concentración inicial de cromo en el agua residual.....	28
Tabla n° 5: Datos de adsorción de cromo (ppm) obtenidos en función del tipo de carbón activado.....	29
Tabla n°6. Datos de concentración promedio de cromo (ppm).....	30
Tabla n°7. Prueba de efectos inter- sujetos – Prueba de hipótesis.....	31
Tabla n°8.Datos de sub conjuntos homogéneos.....	31
Tabla n°9. Tabla de determinación del mejor tipo de granulometría.....	32
Tabla n°10. Muestras y medición de absorbancia.....	41
Tabla n° 11°: Promedio de ppm de cromo.....	49
Tabla n° 12. Estadísticos descriptivos.....	50
Tabla n°13. Homogeneidad de varianzas.....	¡Error! Marcador no definido.0
Tabla n°14. Datos de comparaciones múltiples de la adsorción de cromo..	¡Error! Marcador no definido.1
Tabla n°15. Datos de concentración de cromo(ppm) obtenidos en función del carbón activado de plátano y su granulometría.....	¡Error! Marcador no definido.2
Tabla n° 16. Datos de concentración de cromo(ppm) carbon activado de cascara de naranja.....	¡Error! Marcador no definido.3

RESUMEN

En esta investigación se determinó la adsorción de cromo presente en aguas residuales de la etapa de curtido de una curtiembre, mediante tratamientos de tres tipos de carbón activado (carbón activado de cascara de coco, cascara de naranja y cascara de plátano) y tres granulometrías (G:1, G:2, G:3). La determinación de la concentración inicial de cromo presente en la muestra, se realizó por el método de titulación, también se utilizó un ESPECTOPHOTOMETER NV 230 para la determinación de cromo final presente en la muestra; la muestra está dado por 3.6 litros de agua procedente de la etapa de curtido y una unidad de análisis de 100ml. Los tratamientos se desarrollaron bajo las variables independientes (tipo de carbón activado y granulometría), las cuales se desarrollaron bajo condiciones de: temperatura (23°C), pH (original de la muestra), velocidad de agitación (200rpm), tiempo(1 hora). Se determinó que la modificación de la superficie de los adsorbentes, afecta el grado de adsorción de cromo presente en la muestra, observando así que la granulometría G:2 y el carbón activado de la cascara de coco muestran la mayor eficiencia de remoción en un 70%, como también se determinó que el carbón activado de cascara de plátano y la granulometría G:1 muestran la menor eficiencia de remoción de cromo 63%.

Palabras claves: carbón activado, granulometría, eficiencia de remoción.

ABSTRACT

The adsorption of chromium present in the tanning stage of a tannery was determined by treatments of three types of activated charcoal (coconut shell, orange peel and banana peel) and three granulometries (G: 1, G: 2, G: 3). The determination of the initial concentration of chromium present in the sample was carried out by the titration method; a ESPECTOPHOTOMETER NV 230 was also used to determine the final chromium present in the sample; The sample is given by 3.6 liters of water from the tanning stage and a unit of analysis of 100 ml.

The treatments were developed under the independent variables (type of activated charcoal and granulometry), which were developed under conditions of: Temperature (23 ° C), pH (original sample), stirring speed (200rpm), time (1 hour). It was determined that the modification of the surface of the adsorbents affects the degree of adsorption of chromium present in the sample, observing that the G: 2 granulometry and activated carbon of the coconut shell show the highest removal efficiency in a 70 %, As it was also determined that banana peel activated carbon and G: 1 granulometry show the lowest removal efficiency of chromium 63%.

Keywords: activated carbon, granulometry, removal efficiency.

INTRODUCCION

1.1. Realidad Problemática

En la mayoría de los países, los cuales se encuentran en vías de desarrollo, la supervivencia de las empresas y las organizaciones están condicionadas a su capacidad para generar productos los mismos que deben satisfacer las necesidades de los clientes.

Esta realidad no escapa a la industria de las curtiembres, es por ello que en esta industria curtidora es reconocida por la transformación de pieles en cuero las cuales son procesadas eliminando la grasa, carne y filamentos, como preparación para el de curtido. Antes de curtir las pieles, es necesario suavizarlas en lavados alcalinos y salados, produciendo aguas servidas con altos niveles de ácidos y sales. El proceso de curtido se efectúa lixiviando las pieles con cromo, tanino vegetal, alumbre, sales metálicas y formaldehídos. Es así que esta operación origina una gran cantidad de efluentes líquidos que contienen altos niveles de metales tóxicos. (Garzon Santamaria, y otros, 2012).

En el proceso de curtido de pieles genera efluentes con altas concentraciones de cromo (Cr), debido a que en esta etapa solo se aprovecha 70% del total de cromo utilizado, y queda una solución remanente que tiene un impacto negativo en la salud del personal de la empresa y los habitantes de zonas aledañas. Esta concentración está muy por encima del límite máximo permisible (LMP) y lo recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), por lo que es necesario tratar el efluente. Es necesario establecer métodos amigables y responsables que puedan, simultáneamente, remediar este problema y apoyar la producción manufacturera. Entonces la presencia de metales pesados en una solución acuosa representa un serio peligro para la salud humana ya que muchos de estos metales

son tóxicos y por ende peligrosos, tanto para el ambiente como a la salud de los seres vivos. Entre los principales metales tóxicos destacan el Plomo, Cadmio, Cromo y Mercurio. (Kelly, 2016)

Actualmente en el mundo el rubro de las curtiembres está en auge y en pleno crecimiento. Es por eso que en el desarrollo de la actividad de la curtiembre se ha determinado un uso peculiar para los cueros, los cuales son tratados por procesos químicos.

Varios procesos se han desarrollado para eliminar el cromo presente en aguas residuales industriales. Los métodos más comúnmente usados para reducir la concentración de Cr en solución acuosa son intercambio iónico sobre resinas poliméricas, coagulación-floculación, adsorción sobre carbón activado y sedimentación.(Leyva Roberto, 2007).

Es por ello que el método a utilizar en esta investigación es la utilización de tres tipos de carbón activado, en tres diferentes tamaños, para la adsorción de cromo en agua residual de la etapa de curtido de una curtiembre.

1.2. Trabajos previos

Para el desarrollo del presente trabajo se tomó como sustento los siguientes antecedentes que hacen referencia al tema a investigar:

“Adsorción de níquel y cobalto sobre carbón activado de cascarón de coco” en el año 2015 por Dr. Penedo Medina Margarita y otros, de la revista Scielo, versión on-line issn 2224-6185. Vol.35. refiere que:

El carbón activado de coco mostro un resultado aplicando un diseño factorial, considerando como efectos principales la concentración inicial de la solución, pH y dosis de adsorbente. La capacidad de adsorción de Co(II) alcanzó valores entre 0.70 y 9.94 mg/g; para Ni(II) alcanzó valores entre 2.62 y 98.21mg/g. La concentración inicial de la solución y dosis de adsorbente tuvieron influencia significativa en la capacidad de adsorción. El pH ejerció una influencia significativa en

el porcentaje de adsorción. La capacidad de adsorción se favoreció en el nivel superior de concentración inicial y nivel inferior de dosis de adsorbente, a pH 5; siendo el porcentaje de adsorción elevado (99.6% de cobalto y 98.21% de níquel).

También, en la tesis “Bioadsorción de Cromo con borra de café en efluentes de una industria curtiembre local” en el año 2016 por Lagos Araujo, Lesly Kelly, Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería. En esta tesis se investigó sobre el uso de la borra de café como bioadsorbente para tratar los efluentes provenientes de una curtiembre local. Se encontró que a pH 5 y tres horas de agitación, se obtiene un coeficiente de adsorción, de $9,19 \pm 0,43$ mg/g, mayor que la capacidad de adsorción observada por algunos bioadsorbentes como aserrín de distintas maderas y de cáscara de maní.

También en la tesis realizada por Roberto Leyva, José V. Flores titulada “Adsorption of Chromium (VI) from Aqueous Solution on to Activated Carbon Fiber” en el año 2007, de la Universidad autónoma de san Luis Potosí, de la facultad de ciencias químicas; se llegó a las siguientes conclusiones: la presencia de metales pesados en solución acuosa representa un serio peligro para la salud humana ya que muchos de estos metales son tóxicos. Entre los principales metales tóxicos destacan el Plomo, Cadmio, Cromo y Mercurio.

Varios procesos se han desarrollado para eliminar el cromo presente en aguas residuales industriales. Los métodos más comúnmente usados para reducir la concentración de Cr en solución acuosa son intercambio iónico sobre resinas poliméricas, coagulación-floculación, adsorción sobre carbón activado y reducción / precipitación química / sedimentación. Este último método es el más usado, pero es muy ineficaz, ya que se produce una gran cantidad de lodos y no se puede recuperar el cromo precipitado, y esto hace que sea muy costoso.

Además, en la revista Ingenierías, vol9 de Porras Chávez, Álvaro encontramos un estudio que tiene como título “Descripción de la nocividad del cromo proveniente de la industria curtiembre y de las posibles formas de removerlo”, en el año 2010. De la universidad de Medellín; nos dice que el uso del Cr como agente se debe a la calidad del cuero que se genera; las sales generan un curtido más uniforme y rápido, y se obtiene, además, una mayor superficie. En contraste con las sales de aluminio, estas hacen que el cuero se “hinche” y en ebullición se convierta en un material de consistencia gelatinosa, debido a que los complejos de Al que se unen a las proteínas se hidrolizan fácilmente. Con SiO₂ (óxido de silicio) la penetración del agente es irregular, haciendo cueros duros, de menor resistencia al desgarre y poca afinidad con los colorantes. Con agentes vegetales es lenta, tanto que puede durar desde 70 días hasta dos años. La industria tiene un enorme impacto, dadas las características de los efluentes que elimina; ello determinó que se hicieran esfuerzos para el desarrollo en el área de los insumos químicos, para responder por productos menos agresivos. Este enfoque implica modificar el concepto de utilización y preservación de los recursos naturales, corregir acciones de gestión productiva con escaso o ningún control, fomento en la inversión y reconversión tecnológica mediante beneficios tributarios, basados en el decreto 1594 de 1984, que establece como límite máximo permisible 0.5 mg/L de Cr hexavalente para vertimiento.

Del mismo modo en la tesis de Navarrete Aguirre, Diana Fernanda y Quijano Arteaga, Nadia Rosaura y Vélez Sancán, Cristian Douglas que tiene como título “Elaboración de Carbón Activado a partir de materiales no convencionales, para ser usado como Medio Filtrante”, De la escuela superior politécnica del litoral, de la facultad de ingeniería en ciencias de la tierra, de Guayaquil, Ecuador en el año 2014. Nos dice que en cuanto a su producción los carbones activados

deben obtenerse de una materia prima con propiedades bien definidas como pueden ser la abundancia del material, la dureza, el alto contenido de carbono y el bajo contenido de ceniza. Esto se puede obtener de materiales orgánicos tales como la madera, huesos, endocarpio, cáscaras de semillas de frutos, breas, turba, etc. En la industria se ha incursionado con la generación del carbón activado a base de la corteza de cocos, pino seco, cáscaras de nuez, etc.

1.3. Teorías relacionadas al tema

1.3.1. Marco teórico:

1.3.1.1. Materias primas para la fabricación de carbón activado:

Entre las materias primas más utilizadas para fabricar el carbón activado, tenemos las maderas poco duras como las maderas de pino, los carbones minerales y cáscaras de vegetales o semillas de frutas, cáscara de coco, semillas de aceitunas, cáscara de nuez, etc.

Y los carbones activados que se fabrican de minerales poseen en su distribución de poros una amplia gama, esto ayuda para retener compuestos de distintos tamaños moleculares. (Carbón Activado, 2010).

1.3.1.2. Métodos de activación del carbón

Existen dos tipos de activación: activación física (llamada también térmica) y activación química (llamada también deshidratación química).

1.3.1.2.1. Activación física:

Es activado mediante un agente oxidante, los agentes más utilizados en la activación física son el vapor de agua, seguido del dióxido de carbono y el aire, a una temperatura del orden entre 700°C y 900°C generalmente superior a la alcanzada en la etapa de carbonización, durante tiempos entre 30 minutos y varias horas. (Ariza, 2012).

1.3.1.2.2. Activación química:

Este tipo de activación consiste en adicionar un agente activante al precursor antes de realizar la carbonización, con el fin de reducir la formación de materia volátil y alquitranes y, por lo tanto, evitar la obstrucción de los poros consiguiendo también un aumento en el rendimiento en carbono sólido. (Nakagawa Molina, 2007)

1.3.1.3. Condiciones óptimas de activación:

La condición óptima de activación del carbón activado es: concentración del 1% p/p (1 gramo de soluto sobre 100 de solución) de NaOH (hidróxido de sodio), temperatura de activación de 600 °C y tiempo de activación de 30 min. (Rice Husk - Based Adsorbents In The Removal Of Chromium From Tanning Industry Efluents, 2012).

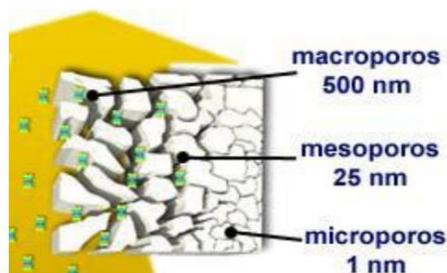
1.3.1.4. Estructura del carbón activado:

El carbón activado tiene una estructura molecular parecida a la del grafito. Esto da una distribución de poros bien determinada. De acuerdo a su tamaño los poros del carbón activado se dividen en tres:

- Microporos.
- Poros medios o mesoporos.
- Macroporos.

Y que la distribución del tamaño de los poros en el carbón activado depende de tres factores fundamentales los cuales son: La materia prima, el proceso de activación y la duración del proceso. (Yadira Carrillo Verena, 2013)

figura n°1: representación de los poros de un carbón y clasificación de poros según el tamaño de su partícula.



Fuente: (Yadira Carrillo Verena, 2013).

1.3.1.5. Clasificación de los carbones activados:

Los carbones activados según el tamaño de sus partículas pueden clasificarse en Carbón Activado en polvo (CAP) y carbón activado granular(CAG). Los CAP tienen tamaños menores a 100 μ m (micrómetro), los tamaños típicos fluctúan entre 15 y 25 μ m. Los CAG tienen un tamaño entre 1 y 5mm (milímetro). Los CAG se dividen en dos clases:

- carbón activado sin forma y
- carbón activado con forma específica.

Los carbones sin forma se obtienen por molienda, tamizado y clasificación de trozos más grandes. Los carbones conformados se pueden obtener por extrusión de carbón en polvo luego de ser mezclado con diferentes tipos de aglomerantes. El carbón activado en polvo se utiliza en la purificación de líquidos, para el carbón granular depende de los diferentes rangos de partículas que se puede tamizar según el número de la malla. (Carbon Activado, 2010)

1.3.1.6. Propiedades de adsorción del carbón activado:

Los parámetros que influyen sobre las propiedades de adsorción del carbón activado, son:

1.3.1.6.1. Composición del carbón activado:

El carbón activo se compone en un 75-80% en carbono y un 5-10% en cenizas (ella es función del grado de activación del carbón). (Yadira Carrillo Verena, 2013)

1.3.1.6.2. Tamaño del Poro:

La correcta distribución del tamaño de poros es necesaria para facilitar el proceso de adsorción (suministrando los sitios de adsorción, los 43 poros finos, y los canales de transporte adecuados para el manejo del adsorbato (Solís J., 2012).

1.3.1.6.3. Tamaño de partículas:

El tamaño de partículas no influye sobre el área superficial total. El área superficial total es definida por el grado de activación y por la estructura de los poros del carbón. (Yadira Carrillo Verena, 2013).

1.3.1.6.4. Temperatura:

Las temperaturas bajas aumentan la capacidad de adsorción de cromo. (Leyva Roberto, 2007).

1.3.1.6.5. Concentración del Adsorbato:

La capacidad de adsorción es proporcional a la concentración del adsorbato (altas concentraciones proveen grandes fuerzas de empuje durante el proceso de adsorción). (Navarrete Aguirre Diana Fernanda, 2014).

1.3.1.6.6. pH:

La capacidad de Adsorción aumenta bajo condiciones de pH, que disminuye la solubilidad del absorbente (pH normalmente más bajo). (Navarrete Aguirre Diana Fernanda, 2014).

1.3.1.6.7. Tiempo de Contacto:

Para alcanzar el equilibrio en la adsorción y maximizar su eficiencia, se requiere de suficiente tiempo de contacto. (Navarrete Aguirre Diana Fernanda, 2014).

1.3.1.6.8. Densidad Aparente:

Es utilizada para indicar la actividad de un volumen de carbón. Esta es significativamente más baja que la densidad teórica del sólido (La actividad volumétrica es proporcional a la densidad aparente). (Yadira Carrillo Verena, 2013).

1.3.1.7. Cantidad de curtiembres en la ciudad:

Trujillo, es el segundo productor de pieles y cueros después de Lima, contando con 122 curtiembres formales, distribuidas de siguiente manera: distrito de Trujillo 17.21%, Porvenir 24.59%, Florencia de Mora 8.20%, La Esperanza 46.72% Laredo 0.82% y Moche 2.46% (Biorremediación de cromo VI de aguas residuales de curtiembres por *Pseudomonas* sp y su efecto sobre el ciclo celular de *Allium cepa*, 2008).

1.3.2. Marco Conceptual:

1.3.2.1. Carbón activado:

El carbón activado es un material carbonoso, micro-cristalino y no grafitico, preparado por carbonización de materiales orgánicos, especialmente de origen vegetal, que se ha sometido a un proceso de activación con gases oxidantes, o bien a un tratamiento con adición de productos químicos, con el objeto de aumentar su porosidad y desarrollar su superficie interna, lo que confiere a los carbones activados una alta capacidad adsorbente. (Ariza, 2012)

1.3.2.2. Granulometría:

Es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado, tal como se determina por análisis de tamices. Es la medición de los granos de una formación sedimentaria y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica (Granulometria, 2016)

1.3.2.3. Proceso de Adsorción del carbón activado:

En un proceso de adsorción el adsorbato es adsorbido por el carbón activado de forma que su concentración a la salida del lecho es cero. A medida que avanza el proceso la cantidad de adsorbato que se adsorbe va disminuyendo debido al llenado de los poros del carbón activado, y va aumentando su concentración a la salida del lecho. Finalmente, cuando el adsorbente está saturado, la cantidad de adsorbato a la salida del lecho es igual a la de entrada (momento en el que el lecho debe ser cambiado o desorbido). (Ariza, 2012)

1.3.2.4. Generalidades del Cromo:

El cromo es un elemento químico de número atómico 24 que se encuentra en el grupo 6 de la tabla periódica de los elementos. Su símbolo es Cr. Es un metal que se emplea especialmente en metalurgia. Su nombre "cromo" (derivado del griego chroma, "color") se debe a los distintos colores que presentan sus compuestos. Resulta ser un metal de transición duro, frágil, gris acerado y brillante. Es muy resistente frente a la corrosión. Su estado de oxidación más alto es el +6, mientras que los estados más estables son +2 y +3 (Remoción de cromo (VI) de soluciones acuosas por adsorción sobre carbones activados modificados, 2007)

El Cromo es un elemento distribuido extensamente en la corteza terrestre. Puede presentar valencias de Cr^{+2} a Cr^{+6} . Al parecer, los alimentos son en general la fuente principal de ingesta de Cromo. A niveles de traza es otro elemento esencial, pero puede actuar también como un potente agente cancerígeno. Sus propiedades cancerígenas están asociadas con el Cr (VI), el estado superior de oxidación del cromo. (García, 2013)

1.4. Formulación del problema

¿Cuál es el efecto del tipo de carbón activado y de la granulometría en la adsorción de cromo del agua residual de la etapa de curtido?

1.5. Justificación del estudio

En la actualidad el cromo es un metal muy importante para las industrias, por lo que es empleado en grandes cantidades para la fabricación de productos necesarios para la población, al mismo tiempo este metal es sumamente tóxico, mutagénico y cancerígeno, así, su uso intensivo, su inadecuada manipulación y la falta de tratamiento de este metal al ser desechado hacia los cuerpos de agua, suelos y sedimentos causa contaminación en ellos.

Entonces la presente investigación se **justifica** en el aporte que brinda al tratamiento de las aguas contaminadas por este metal, utilizando el carbón activado de coco, plátano y naranja; los cuales ayudaran a remover este contaminante y así contribuir con el cuidado y preservación del ambiente; así mismo, este tratamiento empleado es de un muy bajo costo y de gran utilidad.

1.6. Hipótesis.

El tipo de carbón activado y su granulometría mejora el proceso de adsorción de cromo del agua residual de la fase de curtido.

A través del carbón obtenido de cascara de naranja, plátano y coco, los cuales serán sometidos en el agua residual para la adsorción de cromo y así poder definir el grado de eficiencia en la adsorción de este metal.

1.7. Objetivos.

1.7.1. Objetivo General.

Demostrar que un tipo de carbón activado y la granulometría, mejora el proceso de adsorción de cromo del agua residual de la etapa de curtido.

1.7.2. Objetivos Específicos.

- Determinar la eficiencia de los tres tipos de carbón activado a utilizar en la adsorción de cromo del agua residual de la etapa de curtido.
- Demostrar si la granulometría mejora el proceso de adsorción de cromo en el agua residual de la etapa de curtido.
- Determinar cuál de los tres tipos de carbón activado logra la mayor eficiencia de adsorción de cromo del agua residual de la etapa de curtido.

2. MÉTODO.

2.1. Diseño de investigación.

Esta investigación es de tipo experimental debido a que presenta manipulación de las variables, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de escribir de qué modo y por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular. Se realizó una investigación de tipo cuantitativa experimental, donde se observó las relaciones de las variables como la granulometría (diámetro de la partícula) y el tipo de carbón activado; y se determinó la concentración de cromo retenido por la biomasa (carbón activado), para luego comparar la capacidad de remoción de cromo de los tres tipos de carbón activado.

Se trabajó con un diseño multiplicativo de 3 niveles de granulometría, 1 nivel de muestra (100ml), 1 nivel de cantidad (carbón activado 2g) y 3 tipos de carbón activado (cascara de coco, cascara de plátano y cascara de naranja), por un mínimo de tres repeticiones por experimento, lo cual da un diseño multiplicativo de (3x1x1x3x3), para un total de 27 experimentos.

Tabla n°1. Tabla de diseño de investigación.

		TIPOS DE CARBON ACTIVADO			CONSTANTES DE ANALISIS		
GRANULOMETRIA		Cascara de Coco T1	Cascara de Plátano T2	Cascara de Naranja T3	Unidad De Análisis (ml)	Velocidad de agitación (rpm)	Cantidad De Carbón Activado (gr)
	G1	G1/T1	G1/T2	G1/T3	100	200	2
	G2	G2/T1	G2/T2	G2/T3	100	200	2
	G3	G3/T1	G3/T2	G3/T3	100	200	2

Fuente: elaboración propia.

Dando un total de 27 experimentos.

Donde:

G₁ = Tipo de granulometría (malla n° 20).

G₂ = Tipo de granulometría (malla n° 40).

G₃ = Tipo de granulometría (malla n° 60).

T₁ = Carbón activado de coco 2gr.

T₁ = Carbón activado de coco 2gr.

T₁ = Carbón activado de coco 2gr.

T₂ = Carbón activado plátano 2gr.

T₃ = Carbón activado de naranja 2gr.

T₂ = Carbón activado de plátano 2gr.

T₃ = Carbón activado de naranja 2gr.

T₂ = Carbón activado de plátano 2gr.

T₃ = Carbón activado de naranja 2gr.

T = tiempo de agitación constante (1 hora).

Rpm = velocidad de agitación constante. (200rpm).

2.2. Variables, Operacionalización.

2.2.1. Identificación de variables:

2.2.1.1. Variable independiente.

Una variable independiente es aquella cuyo valor no depende de otra variable. En esta investigación experimental se llama así a la variable la cual será manipulada por el investigador para dar cumplimiento de los objetivos.

En esta investigación las variables independientes son el tipo de carbón activado (cascara de coco, cascara de plátano y cascara de naranja) y la granulometría dada por el número de malla. (G1: "20" (0.850mm)-G2: "40" (0.425mm)-G3 "60" (0.250mm)).

2.2.1.2. Variable dependiente.

Es aquella cuyos valores dependen de los que tomen otra variable. Son las variables de respuesta que se observan en el estudio y que podrían estar influenciadas por el valor que tome la variable independiente la cual es manipulada por el investigador.

En esta investigación la variable dependiente es la eficiencia de adsorción de cromo, definida en la mejora del proceso de adsorción por los tipos de carbón activado y la granulometría.

Tabla 2. Operacionalización de variables.

	VARIABLE	DIMENSION	DEFINICIÓN	OPERACIONALIZACIÓN	ESCALA DE MEDICIÓN
DEPENDIENTE	Adsorción de cromo	Cantidad	Cantidad de cromo adsorbido por litro de solución.	$Acr = \frac{cr(vi)_f - cr(vi)_i}{cr(vi)_i} \times 100$ <p>Donde: Acr= adsorción de cromo Cr(vi)_f=cromo final Cr(vi)_i=cromo inicial</p>	mg/L
	Tipo de carbón activado	Relación: tipo de biomasa/solución	Influencia de la masa del adsorbente con respecto a la fase acuosa del líquido	$x = \frac{v_i - v_f}{m}$ <p>Donde: X=relación de la masa con respecto al adsorbente. V_i= volumen inicial de la muestra. V_f= volumen de la muestra con el carbón activado. m= masa del bioadsorbente.</p>	g/l
INDEPENDIENTE	Granulometría del carbón activado	Tamaño de partícula	Tamaño de la partícula del carbón activado a utilizar.	Nº de malla de malla.	mm
INTERVINIENTES	Temperatura	Constante	Contenido de la energía interna de las moléculas	Termómetro (temperatura ambiente)	°C

Rpm	Constante	Velocidad de frecuencia del cuerpo que gira alrededor de un eje.	Velocidad.(200rpm)	Rpm
Cantidad	Constante	Aspecto o característica de las cosas en virtud de la cual estas son contables o mensurables.	Gramos (gr.)	gr.

Fuente: Elaboración propia.

2.3. Población y muestra.

2.3.1. Población.

La población de esta investigación está definida en el efluente de la etapa de curtido (3 m³ Aproximadamente) utilizados en la etapa de curtido de una curtiembre.

2.3.2. Muestra.

La muestra está definida por 3.6 litros de muestra obtenida del efluente de la etapa de curtido de una curtiembre. (Trabajo a nivel laboratorio)

2.3.3. Unidad de análisis.

Para la unidad de análisis se utilizará 100ml de muestra obtenida del efluente de la etapa de curtido, en la cual se mezclarán con los diferentes tipos y granulometrías de los carbones activados.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.

2.4.1. Técnicas.

Esta muestra será obtenida respetando y cumpliendo el “Protocolo de monitoreo de la calidad de los recursos hídricos – Autoridad Nacional del Agua (ANA), en el cual comprende a aguas de descargas residuales tanto domésticas e industriales.

2.4.2. Validación y confiabilidad.

Los datos que se obtuvieron en los diferentes análisis, se registraron en una tabla de doble entrada en los cuales se encontró un valor promedio, los cuales fueron analizados de manera estadística (Análisis de Varianza). Esto permitió

determinar si existe o no efecto de las variables estudiadas sobre la adsorción de cromo en el efluente de la etapa de curtido de una curtiembre, y se determinó el nivel de adsorción de cada tipo de carbón activado y su granulometría.

2.5. Métodos de análisis de datos.

2.5.1. Desarrollo metodológico.

2.5.1.1. Pre- experimentación.

Etapa 1: Etapa de recepción de la muestra:

En esta etapa se obtendrá la muestra de un botal de la etapa de curtido de una curtiembre. La muestra obtenida será de aproximadamente 3.6 litros, los cuales serán llevados al laboratorio para su estudio.

Etapa 2: Etapa de determinación de cromo inicial:

Esta etapa se desarrollará netamente en el laboratorio, en el cual se procederá a someter la muestra (100 ml) a el método de volumetría, para determinar la cantidad de cromo inicial.

Etapa 3: Etapa de reducción de cromo a través de la utilización de carbón activado de cascara de plátano, naranja y coco:

En esta etapa se evidencia el actuar del carbón activado sobre la muestra, para así captar la mayor cantidad de cromo a través de su porosidad.

Etapa 4: Etapa de determinación de cromo final:

En esta etapa la muestra que paso por el tratamiento de carbón activado, procederá a pasar por el análisis del espectrofotómetro, el cual determinará la cantidad de cromo final presente en la muestra.

Etapa 5: Etapa análisis de datos:

Los datos obtenidos se llevarán a un diseño experimental bifactorial de varias muestras teniendo dos variables independientes: el tipo de carbón activado (T1, T2, T3) y la granulometría (G1, G2, G3) y una variable dependiente: que es la adsorción de cromo, realizándose un total de 27 experimentos.

2.6. Aspectos éticos.

Como investigador me comprometo a respetar la propiedad intelectual, la veracidad de los resultados, la confiabilidad de la muestra y a no revelar la identidad de los individuos que participen en el estudio, así como a tomar los datos consentidos por la empresa que contribuye con el agua de la etapa de curtido, respetando la normativa y políticas adoptadas por la Universidad César Vallejo.

3. RESULTADOS.

A continuación, se muestra la caracterización inmediata de la muestra obtenida de la etapa de curtido, de una curtiembre.

Tabla n° 3: Caracterización de la muestra.

Volumen (Litros)	Temperatura ° C	pH	Conductividad (2-20 mS)
3.6	23	2.82	1.93

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 3, se puede determinar que la muestra presenta una temperatura de 23°C, un pH ácido y una conductividad de 1.93.

Asimismo, a continuación, se muestran los resultados de la concentración inicial de cromo en ppm de tres muestras de 100 ml del agua residual de la etapa de curtido, utilizando el método de volumetría.

Tabla n°4. Concentración inicial de cromo en el agua residual de la etapa de curtido.

Muestra	Concentración Inicial (ppm)
1	6 031.683
2	6 049.015
3	6 049.015
Promedio	6 043.238

Fuente: elaboración propia.

En la tabla n°4 se puede determinar que, al someter la muestra al método de volumetría, en la segunda y tercera repetición la muestra obtuvo una concentración de cromo de 6049.0.15 ppm, en cambio en la primera repetición solo se llegó a obtener 6031.683 ppm de cromo presentes en la muestra; también al promediar estas tres repeticiones nos arroja un resultado de 6043.238 ppm de cromo presente en la muestra.

Los valores obtenidos del tratamiento para la absorción de cromo del agua residual de la etapa de curtido, con los diferentes tipos de carbón activado a partir de cascara de coco, plátano y naranja; empleando granulometrías malla "20" (G1),

malla “40” (G2) y malla “60” (G3) de los diferentes tipos de carbón activado, arrojaron los resultados que se muestran en las siguientes tablas y gráficos:

Tabla 5: Datos de adsorción de cromo (ppm) obtenidos en función del tipo de carbón activado (cascara de coco, cascara de plátano y cascara de naranja) y a la granulometría (G1”20”, G2 “40”, G3”60”). cantidad de carbón activado=2gr, velocidad de agitación=200rpm, tiempo=1 hora.

GRANULOMETRIA			
TIPO DE CARBON	G1: MALLA"20"	G2: MALLA"40"	G3: MALLA"60"
T1: cascara de coco	1939.267	1812.102	1875.684
	1971.058	1812.102	1875.684
	1939.267	1812.102	1907.475
Promedio	1949.864	1812.102	1886.281
Eficiencia %	68	70	69
T2: cascara de plátano	2225.388	1939.267	2130.014
	2257.179	1939.267	2130.014
	2257.179	1939.267	2161.806
Promedio	2246.582	1939.267	2140.611
Eficiencia %	63	68	65
T3: cascara de naranja	2193.597	2161.806	2098.223
	2193.597	2161.806	2130.014
	2161.806	2130.014	2066.432
Promedio	2183	2151.209	2098.223
Eficiencia %	64	64	65

Fuente: elaboración propia.

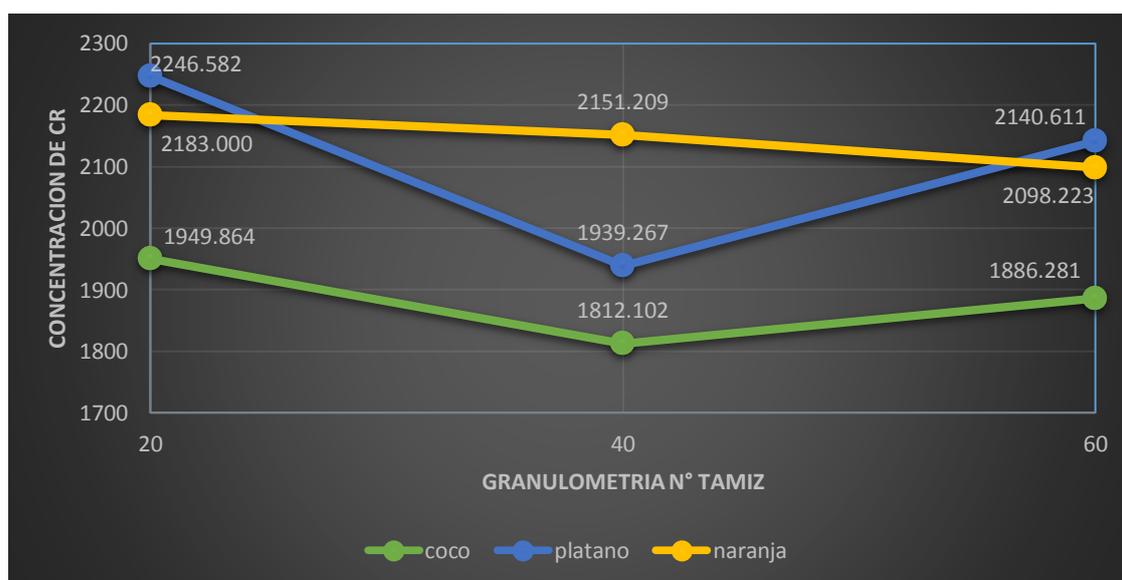
De la tabla n°5, apreciamos que en el primer tratamiento el cual pertenece a el carbón activado de cascara de coco no arroja una diferencia significativa entre sus granulometrías; en cambio en el tratamiento numero dos el cual pertenece a la cascara de plátano, si se puede observar que existe diferencia significativa entre la malla número 20 y numero 40; también en el tercer tratamiento el cual pertenece al carbón activado producido por la cascara de naranja se puede observar que tampoco existe una diferencia significativa entre sus granulometrías.

Tabla 6. Datos de concentración promedio de cromo (ppm) obtenidos en función del tipo de carbón activado (cascara de coco, cascara de plátano y cascara de naranja) y la granulometría (G1 “20”, G2 “40”, G3 “60”). cantidad de carbón activado=2gr, velocidad de agitación=200rpm, tiempo=1 hora.

TIPO DE CARBON ACTIVADO	GRANULOMETRIA/N° MALLA	REMOCION DE CROMO (ppm)
Cascara De Coco	G1: “20”	1949.864
	G2: “40”	1812.102
	G3: “60”	1886.281
Cascara De Plátano	G1: “20”	2246.582
	G2: “40”	1939.267
	G3: “60”	2140.611
Cascara De Naranja	G1: “20”	2183.000
	G2: “40”	2151.209
	G3: “60”	2098.223

Fuente: Elaboración propia.

Figura n° 1. Concentración final promedio del carbón activado de cascara de coco, cascara de plátano y cascara de naranja (ppm) y su granulometría G1”20”, G2”40, G3”60”, cantidad de carbón activado=2gr, velocidad de agitación=200rpm, tiempo=1 hora.



Fuente: Elaboración propia.

De la figura N°01, se puede observar que, si existe diferencia de adsorción de cromo por efecto de los carbones activados, así como también en sus

granulometrías, donde el carbón activado de cascara de coco y su granulometría G:2 malla “40” es la más eficiente ya que logro disminuir de 6043.238ppm a 1812.102ppm y el carbón activado de cascara de naranja en su granulometría G:1 malla “20” es el menos efectivo ya que solo logro disminuir a 2246.582ppm

Tabla n°7. Prueba de efectos inter- sujetos – Prueba de hipótesis.

Variable dependiente:	Pruebas de efectos inter-sujetos				
	Adsorción de cromo				
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	547958,489 ^a	8	68494.811	204.430	.000
Intersección	112944161.735	1	112944161.735	337094.388	.000
Tipo de carbón	362206.327	2	181103.164	540.522	.000
Granulometría	113747.120	2	56873.560	169.745	.000
Tipo de carbón * granulometría	72005.042	4	18001.260	53.727	.000

Fuente: elaboración propia-spss.

Prueba de hipótesis.

H_0 = todos los tratamientos son iguales.

H_1 = al menos un tratamiento es diferente.

Al ser el “sig” menor al nivel de significancia 0.05; entonces aceptados H_1 = “al menos un tratamiento es diferente” y rechazamos H_0 = “todos los tratamientos son iguales”.

Tabla n°8. Datos de sub conjuntos homogéneos del tipo de carbón activado y la determinación del mejor adsorbente de cromo del agua residual de la etapa de curtido.

Tipo de carbón activado		Adsorción de cromo			
		N	Subconjunto		
			1	2	3
HSD Tukey ^{a,b}	Coco	9	1882.74900		
	Plátano	9	2108.82011		
	Naranja	9	2144.23189		
	Sig.		1.000	1.000	1.000
Duncan ^{a,b}	Coco	9	1882.74900		

	Plátano	9		2108.82011	
	Naranja	9			2144.23189
	Sig.		1.000	1.000	1.000
Scheffe ^{a,b}	Coco	9	1882.74900		
	Plátano	9		2108.82011	
	Naranja	9			2144.23189
	Sig.		1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia-spss.

De los resultados y análisis estadísticos de los autores, Tukey, Duncan y Scheffe, se puede apreciar que coinciden en que el mejor adsorbente de cromo es el producido de la cascara de coco, según los datos estadísticos expuestos.

Tabla n°9. Tabla de determinación del mejor tipo de granulometría.

		Adsorción de cromo			
Granulometría	N	Subconjunto			
		1	2	3	
HSD Tukey ^{a,b}	G2 malla 40	9	1967.61389		
	G3 malla 60	9		2041.70511	
	G1 malla 20	9			2126.48200
	Sig.		1.000	1.000	1.000
Duncan ^{a,b}	G2 malla 40	9	1967.61389		
	G3 malla 60	9		2041.70511	
	G1 malla 20	9			2126.48200
	Sig.		1.000	1.000	1.000
Scheffe ^{a,b}	G2 malla 40	9	1967.61389		
	G3 malla 60	9		2041.70511	
	G1 malla 20	9			2126.48200
	Sig.		1.000	1.000	1.000

Fuente: propia –spss.

De los resultados obtenidos y de los autores de las pruebas estadísticas, Tukey, Duncan y Scheffe; concuerdan que la mejor granulometría es la G:2, La cual corresponde a la malla n°40 (0,425mm).

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

En la búsqueda de mejoras ambientales, es que se desarrollan diversas investigaciones para la protección y cuidado del ambiente. Teniendo en cuenta las investigaciones sobre la adsorción de cromo, en las cuales se utilizó carbón activado de diferentes tipos de materias primas y granulometrías, donde se obtuvieron diferentes resultados, los cuales serán analizados a continuación:

Al realizar la investigación sobre la granulometría utilizada por los tres tipos de carbones activados, es que se determinó que la granulometría G:2 malla "40" (0.425mm), del carbón activado de la cascara de coco, muestra una mayor eficiencia de adsorción de cromo del agua residual de la etapa de curtido con un 70%, esto basándonos en los resultados y en las pruebas estadísticas de HSD Tukey, Duncan, Scheffe y en la comparación de los diferentes tipos de granulometría (ver tabla n° 9). Estos resultados los sustentamos en una tesis similar de Navarrete Aguirre Diana (11), obtiene como resultado que el carbón activado obtenido de cascarilla de arroz a una granulometría de 0.5mm muestra una eficiencia del 84%, la cual supera a las granulometrías de 1.6mm obtenida de la cascara de plátano, y de 0.65mm obtenida de la pepa de zapote (11).

Los resultados de adsorción de cromo del agua residual de la etapa de curtido, y basándonos en los resultados obtenidos y en las pruebas estadísticas de los autores, HSD Tukey, Duncan, Scheffe y en la comparación de los diferentes tipos de carbones activados se determinó que el que carbón activado que presento mayor eficiencia de adsorción de cromo presente en el agua residual de la etapa de curtido, fue el carbón obtenido de la cascara de coco con máximo de adsorción de cromo de 70% y un mínimo de 68% (ver tabla n° 5). Resultados muy similares los encontramos en el artículo de Yansy Milena Rodriguez (16) obtuvo una eficiencia de adsorción de cromo de un efluente industrial del 72,8% de la utilización del carbón activado de cascarilla de arroz y un 54,5% en la utilización del carbón activado de la ceniza de cascarilla de arroz.

También encontramos otras investigaciones similares, en las que las conclusiones apoyan a los resultados obtenidos en la presente investigación; así tenemos a Lagos Araujo Lesly(6), nos muestra resultados obtenidos de su investigación,

donde el carbón activado obtenido de la borra de café obtuvo una eficiencia del 94.1% de cromo total en un efluente de una curtiembre. También en la investigación de Garzón Santamaría, Jorge Armando y Gonzales López, Luis Alfredo (4), muestra una eficiencia de remoción de cromo del 68% a partir de la utilización de cascara de naranja, y una eficiencia de remoción del carbón activado con ácido fosfórico de la cascara de naranja de un 98%, pero para llegar a esta eficiencia de adsorción de cromo presente en la muestra, es a partir de mejorar las condiciones de la muestra, como el pH, el tamaño de la partícula y buscando una relación adsorbente/litro de muestra.

Determinando así que al poseer un adecuado tipo de carbón activado y una buena granulometría de adsorción se podrá reducir los niveles de cromo los cuales, según Porras Chávez, Álvaro en su investigación (15), nos dice que para los procesos que utilizan sustancias con contenidos de Cr, es pertinente evaluar las ventajas que podrían prestar los diferentes tratamientos, como los expuestos en esta revisión, con el objeto de minimizar la carga contaminante que se vierte al sistema de alcantarillado.

Así como también en la investigación se determinó trabajar con pesos de 2gr de carbón activado cada 100ml de muestra, a causa de que no es conveniente incrementar la cantidad de carbón activado, ya que esto puede dificultar la agitación, por el aumento exagerado de sólidos presentes en la solución de muestra. Esto también basándonos en la tesis de Navarrete Aguirre Diana (11) donde utilizo de 1 a 2 gramos de carbón activado en 100ml, y en Ariza, Alicia Martínez de Yuso (9) La cual utilizo 0.5 gramos de carbón activado cada 100ml. Y Lagos Araujo Lesly (6) utilizo 1gr de carbón activado cada 100ml.

5. CONCLUSIONES.

En este trabajo de investigación se concluye lo siguiente:

1. Se determinó que la mayor cantidad de adsorción de cromo del agua residual de la etapa de curtido se dio cuando la concentración paso de 6043.238 ppm de cromo a 1812.102 ppm, la cual fue obtenida al utilizar carbón activado de coco y la granulometría G2 malla 40 (0.425mm) con un porcentaje de eficiencia del 70% (ver tabla n° 5).
2. Se demostró que la mejor granulometría es la correspondiente a la G2 malla 40, la cual logra la mayor eficiencia de adsorción de cromo del agua residual de la etapa de curtido, esto basándonos en los resultados y las pruebas estadísticas de HSD Tukey, Duncan, Scheffe y en la comparación de los diferentes tipos de granulometría (ver tabla n° 9).
3. Se determinó que el carbón activado que logró la mayor eficiencia de adsorción de cromo del agua residual de la etapa de curtido, es el carbón activado obtenido de la cascara de coco, esto basándonos en los resultados y las pruebas estadísticas de HSD Tukey, Duncan, Scheffe y en la comparación de los diferentes tres tipos de carbones activados (ver tabla n°8).
4. Finalmente concluimos que el tipo de carbón obtenido de la cascara de coco y la granulometría G2 malla "40" (0.425 mm), mejora el proceso de adsorción de cromo del agua residual de la etapa de curtido.

6. RECOMENDACIONES.

1. Ante casos y/o zonas que no tengan acceso a la materia prima de la cascara de coco, se recomienda la utilización del carbón activado de la cascara de plátano o del carbón activado de la cascara de naranja.
2. Para próximas investigaciones se recomienda utilizar el sistema de medición de partículas (granulometría).
3. Se recomienda utilizar el carbón activado producido de la cascara de coco y la granulometría G:2 malla "40" (0.425 mm), en la adsorción del agua residual de la etapa de curtido o en soluciones que contengan cromo en su solución
4. Se recomienda para futuras investigaciones, utilizar los carbones activados en la adsorción de otros metales contaminantes desechados, los cuales causen daños al ambiente o a la salud de la población.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. CARRILLO VERENA YADIRA, SÁNCHEZ MUÑOZ NANCY. *Elaboración de un filtro a base de carbon activado obtenido del endocarpo de coco con el proposito de reducir la dureza en el agua potable*. Universidad Del Salvador. San Salvador, El Salvador - Centro América : s.n., 2013.
2. CÉSPEDES NUBIA; VALENCIA JESÚS; Y OTROS. *Remoción de cromo VI de soluciones acuosas por adsorción sobre carbones activados modificados*. Revista Scielo. 2007. vol.36. Print version ISSN 0120-2804.
3. CÓRDOVA BRAVO HANSEL MIGUEL, y otros. *Influencia del uso de acomplejantes en el baño de curtido cobre la calidad final del cuero*. Revolución Química Perú. 2011, Vol. 79.
4. GARZON SANTAMARIA, JORGE ARMANDO Y GONZALES LOPEZ, LUIS ALFREDO. *Adsorción de Cr (VI) utilizando carbón activado a partir de cáscara de naranja*. Universidad de Cartagena. Cartagena -Colombia, 2012.
5. KUFFÓ GARCÍA, ALFONSO. *Niveles de Cadmio, Cromo, Plomo, y su bioacumulación por Mytella strigata Delimitando en la Zona urbano-marginal en el estero salado de Guayaquil*. Universidad de Guayaquil, Guayaquil - Ecuador, 2013.
6. LAGOS ARAUJO, LESLY KELLY. *Bioadsorción de cromo con borra de café en efluentes de una industria curtiembre local*. Universidad Católica del Peru, Lima - Peru, 2016.
7. LEYVA ROBERTO, V. JOSÉ. *Adsorption of chromiim (VI) from aqueos solution onto activated carbon fiber*. Información Tecnologica Scielo. 2008. Vol. 19, 27 -36 pp.
8. MARTINEZ MARTINEZ MARIA DEL ROSARIO. *Reutilización de rapa para la eliminación de metales tóxicos en efluentes líquidos*. Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona, España. 2004.

9. MARTÍNEZ DE YUSO ARIZA, ALICIA. *Development of activated carbons from lignocellulosic wastes for toluene and n-hexane adsorption and recovery.* Tesis experimental, Universidad San Jorge, Zaragoza - España, 2012.
10. NAKAGAWA, YOSHITERU; MOLINA SABIO, MIGUEL; RODRÍGUEZ REINOSO, FRANCISCO. *Modification of the porous structure along the preparation of activated carbon monoliths with H₃PO₄ and ZnCl₂. Microporous and Mesoporous Materials.* Vol. 103, Issues 1-3 (20 June 2007). ISSN 1387-1811, pp. 29-34.
11. NAVARRETE AGUIRRE, DIANA FERNANDA; VÉLEZ SANCÁN, CRISTIAN DOUGLAS. *Elaboración de carbón activado a partir de materiales no convencionales, para ser usado como medio filtrante.* Escuela Superior Politécnica Del Litoral, Guayaquil - Ecuador. 2015.
12. NIÑO ARIAS IRMA VIVIANA, RAMIREZ ORTIZ DAVID, *Evaluación de dos clases de carbón activado granular para su aplicación efectiva en la remoción de fenoles en los vertimientos de una empresa de jabones.* Universidad De La Salle. Bogotá. Colombia. 2008.
13. OTINIANO M, TUESTA L, ROBLES H, LUJÁN M. CHÁVEZ M. *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. 2008, 32 - 42 pp.
14. PENEDO MEDINA, MARGARITA. *Adsorción de níquel y cobalto sobre carbón activado de cascarón de coco.* Revista Scielo. 2015. Vol.35. Versión on-line issn 2224-6185.
15. PORRAS CHÁVEZ, ÁLVARO. *Descripción de la nocividad del cromo proveniente de la industria curtiembre y de las posibles formas de removerlo.* Revista Ingenierías Universidad de Medellín. 2010, 41 – 50 pp. ISSN 1692-3324.

16. RODRÍGUEZ YANSY MILENA, SALINAS LIZBETH PAOLA, VARGAS LUZ YOLANDA. *Rice Husk - Based Adsorbents In The Removal Of Chromium From Tanning Industry Effluents*. Información Tecnológica Scielo. 2016. Vol. 10. Print version ISSN 1692-3561.
17. SOLÍS FUENTES, JULIO ALBERTO; MORALES TÉLLEZ, MARIBEL; y otros. *Activated carbon from agroindustrial wastes for color removal from sugarcane juice*. Tecnología, Ciencia, Educación. Veracruz - Mexico. Vol. 27, núm.36-48 pp. 2012. ISSN: 0186-6036
18. SOTO HIGINIO JACINTO. *Potencial contaminación por cromo en el proceso de refinación del petróleo*. Universidad Nacional Mayor De San Marcos. Lima Perú. 2016.
19. URIBE LINA MARCELA, Y OTROS. *Activación de carbón mineral mediante proceso físico en horno tubular horizontal y atmósfera inerte*. Revista Colombiana de Materiales. Colombia. N.4. pp25-40, 2013.
20. FERRO OROSCO MICAELA, CONTRERAS EDGARDO, BERTOLA NORA. *Utilización de barros activados y carbón activado en polvo para la eliminación de Cr(VI) en efluentes industriales*. Universidad Nacional de la Plata. La Plata, Argentina. 2006.

APENDICE

APENDICE A: CALIBRACIÓN DE EQUIPOS UTILIZADOS.

1. Calibración del ESPECTROPHOTOMETER NV 203

Antes de utilizar el espectrofotómetro es indispensable realizar rutinas básicas de calibración para asegurarnos que el aparato proporcione datos y lecturas confiables. Es así que se procedió a:

- La Limpieza de la superficie del instrumento.
- Limpieza de los filtros y fuente de luz (lámpara y condensador).
- Verificación de las instalaciones eléctricas.

Luego se procedió a la operatividad del Espectrophotometer NV203, Siguiendo los siguientes pasos:

- Se enciende el equipo y se deja que caliente por lo menos 15 minutos (sí el aparato es automático, dará una señal cuando esté listo para funcionar).
- Se selecciona la longitud de onda deseada (esto depende de la muestra a ser leída y del reactivo utilizado).
- Se selecciona la función absorbancia o transmitancia.
- Se ajusta el aparato a cero con agua destilada. Si el aparato que se va a utilizar tiene las dos escalas (absorbancia y transmitancia) se ajustan las lecturas a cero de absorbancia y 100% de transmitancia utilizando los controles grueso y fino en vacío.
- Se lee un estándar de concentración conocida y se ajusta el aparato a esa concentración. Si el aparato que se va a utilizar no tiene control estándar, este se utiliza para obtener el factor de calibración, dividiendo la concentración del estándar entre su lectura.

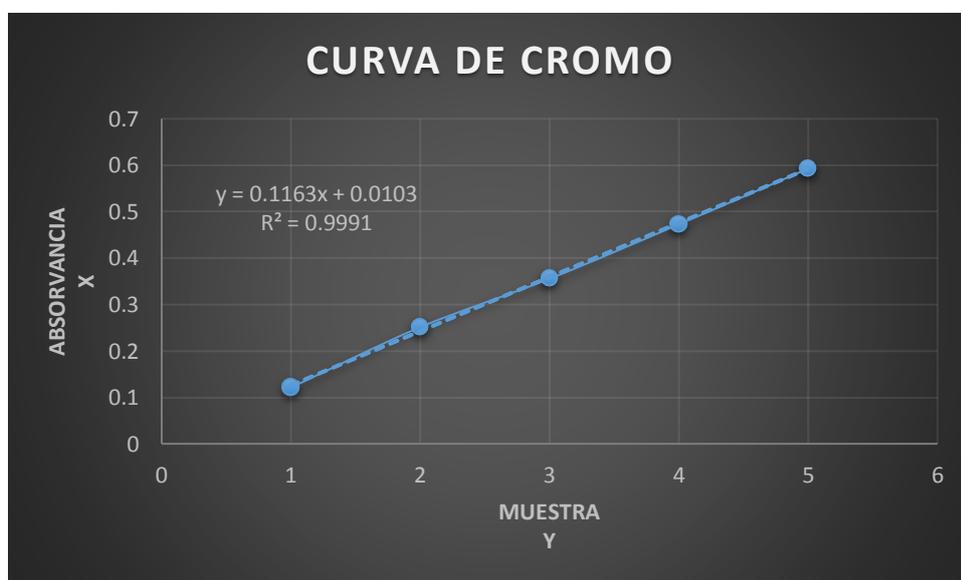
También se realizó la curva de cromo en el Espectrophotometer.

Tabla n°10. Muestras y medición de absorbancia

X muestra	Y abs
1	0.122
2	0.252
3	0.356
4	0.473
5	0.593

Fuente: elaboración propia.

Figura n°2. Curva de cromo.



dato establecido	0.078
Pendiente	0.1163
Intersección	0.0103
coef. De correlación	0.9991

se puede ver que el desarrollo de la medición se acerca a la unidad, por lo que se aprueba la calibración del espectrofotómetro, y se puede empezar a realizar las mediciones necesarias para el estudio.

La curva de cromo fue realizada en el laboratorio RIVELAB, en el SPECTROPHOTOMETER NV 203 a una longitud de onda de 540nm.

2. Calibración de la balanza analítica.

Para calibrar la balanza analítica se tiene que seguir los siguientes pasos:

- Abrir la puerta de la balanza, si es que tiene una.
- Limpiar el polvo o las partículas en la balanza que puedan interferir con el proceso de medición. Utiliza un paño seco o un cepillo suave para esto.
- Cerrar la puerta y tara la balanza con la tecla "tara".
- Deja que la lectura se estabilice durante unos segundos para asegurar que la balanza esté en cero.
- Elegir uno o más pesos para calibrar la balanza. Estos pesos deben ser normalizados a un peso exacto. Entidades como el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología tienen estándares de precisión que los fabricantes comerciales de pesas pueden seguir. Un peso puede ser suficiente para satisfacer las normas de tu laboratorio, y puedes utilizar un peso que sea aproximadamente del mismo peso que la sustancia deseada. Alternativamente, si vas a pesar una gran variedad de artículos a través de una amplia gama, entonces puedes utilizar dos o tres pesos que abarquen la capacidad de la balanza para asegurar la precisión en toda la gama.
- se pueden usar pesas de calibración en pasos de 1g, 5, 10g, 50g, 100g y 500g, teniendo en cuenta que las pesas de calibración deben corresponder a la precisión de la balanza.
- Abrir la puerta, y tomar un peso con pinzas o guantes, ya que tomar los objetos a pesar con las manos puede alterar la lectura.
- Colocar el peso en el centro de la balanza con cuidado.
- Cerrar la puerta y dejar la balanza en equilibrio unos segundos para que se asiente.
- Registrar el resultado y quitar el peso.

3. Calibración del pH-metro

Para la calibración del pH-metro, este deberá contar con lo siguiente:

- Los equipos patrones deberán de encontrarse dentro del periodo de validez de calibración; en el caso de que no estén disponibles, se sustituirán por otros de similar incertidumbre.
- En este caso se trabajará con sustancia tampón que deberán encontrarse dentro del periodo anterior a la fecha de caducidad. Estas deben ser de muy alta calidad, estables y frescas. Una disolución tampón que ha permanecido al aire durante más de una hora no debe ser utilizada.
- Usar buena práctica en la utilización de las sustancias tampón: evitar al máximo la contaminación una vez abierta la botella, no efectuar las medidas directamente de la botella, no devolver nunca a la botella la fracción de disolución sobrante utilizada en cada proceso de puesta a punto de electrodos y pH-metro. Mantener en lugar fresco y poco iluminado las sustancias tampón.
- Tener en cuenta las indicaciones del fabricante para cuando se realicen medidas de pH en los extremos de la escala: error ácido (para valores de pH por debajo de 2) y error alcalino (para valores de pH elevados > 10); la función $E = f(\text{pH})$ deja de ser lineal.
- Realizar una limpieza general y efectuar una inspección visual sobre la legibilidad del marcado de las escalas, clavijas, bornes, etc. Lavar los electrodos con abundante agua destilada, si no se van a utilizar inmediatamente mantenerlos sumergidos en disolución de KCl 3 M.
- Limpiar concienzudamente los contactos de los bornes de los electrodos para eliminar falsos contactos.
- Observar para los electrodos todos los cuidados indicados por los fabricantes sumergirlos en las soluciones tampón o solución problema de forma que al menos toda la membrana quede sumergida en la disolución.

- Antes de conectar el equipo a la alimentación comprobar la tensión de funcionamiento o, en su caso, el estado de las pilas o baterías, y realizar una comprobación de funcionamiento.

Luego de las precauciones tomadas se procederá a:

- Las sustancias tampón patrón de puesta a punto habitual o diaria (pH 4 ± 0.02 , pH 7 ± 0.02 y pH 10 ± 0.05 o similar).
- Como accesorio de este procedimiento y para cada equipo, se utilizará la Ficha de Instrucciones de Calibración del mismo.

Descripción del método a utilizar:

- Puesta a punto de la calibración, Se realizará en su lugar habitual de trabajo y dentro de los márgenes de temperatura adecuados.
- Primero se realizará su puesta a punto habitual o diaria utilizando las disoluciones tampón al efecto de que dispone el usuario. Para ello se seguirá el siguiente proceso:
 - a) El sistema de medida del pH debe estar funcionando durante al menos 30 minutos antes de iniciar el proceso de calibración.
 - b) Ajuste de la compensación manual de temperatura en el valor al cual será realizada la puesta a punto de las soluciones tampón. Este valor se determina midiendo con el termómetro la temperatura de las soluciones tampón.
 - c) Examinar el electrodo para comprobar que no existe defecto alguno o presencia de burbujas de aire en su interior, en el caso de que las hubiere sacudir el electrodo de forma similar a los termómetros clínicos para bajar la temperatura.
 - d) Limpiar el electrodo exteriormente con abundante agua destilada.
 - e) Sumergir el electrodo (o electrodos si no son combinados) en la solución tampón a temperatura controlada. La solución utilizada debe

ser la de pH más próximo al pH interno del electrodo de vidrio, que suele ser pH 7.

f) Esperar el equilibrio térmico durante aproximadamente 1 minuto. Una vez estabilizada la lectura, accionar el mando de punto neutro calibración-estandarización-asimetría hasta conseguir una indicación del pH de la solución tampón.

g) Retirar el electrodo/s de la disolución y lavarlo/s con abundante agua destilada o con la solución tampón que será utilizada a continuación. Pueden secarse los electrodos sin frotar.

h) Sumergir el electrodo en otro vaso que contenga otra disolución tampón de pH diferente a la anterior (suele utilizarse pH 4).

i) Esperar el equilibrio térmico durante aproximadamente 1 minuto. Una vez estabilizada la lectura, accionar el mando de pendiente-escala para ajustar la indicación al valor de pH de la solución tampón utilizada.

De esta forma el aparato queda ajustado en toda su escala y listo para realizar medidas de pH sobre sustancias de pH desconocido. La escala ha quedado ajustada en dos puntos de la recta que relaciona los potenciales (mV) generados por el electrodo en función del pH de las disoluciones en que se sumerge.

Si se requiriese el ajuste empleando además otro punto de calibración (por ejemplo, pH 9) deberán repetirse los puntos g) a i).

4. Calibración de conductímetro.

Para la calibración del conductímetro se deberá con los siguientes materiales:

- Preparar una solución de conductividad, 12.88 mS/cm a 25°C.(HI 7030)
- Un destornillador.
- Un termómetro con una precisión de 1°C.

Luego se seguirá los siguientes pasos:

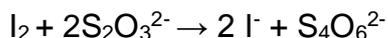
- Echar la solución HI 7030 en un recipiente.
- Introducir la sonda en la solución y esperar a que se produzca el equilibrio térmico.
- Poner el instrumento en marcha y preseleccionar la gama “19,99 mS”.
- Prefijar el botón de coeficiente de temperatura en 2%°C.
- Golpear suavemente el extremo inferior de la sonda y agitarla mientras se hace girar la sonda con el fin de eliminar las burbujas de aire atrapadas en el interior de la solución.
- Con un destornillador, girar el potenciómetro accesible a través de un orificio situado en el lateral de la caja del instrumento, hasta que ne pantalla se visualice “12,88 mS”.
- Así se completó la calibración y el instrumento está listo para ser utilizado con las sustancias a medir.

APENDICE B: ANALISIS MATEMATICOS Y ESTADISTICOS REALIZADOS A LA MUESTRA DE AGUA DE CURTIDO.

1. Determinación de la cantidad de cromo presente en la muestra por volumetría.

Procedimiento:

- Filtrar la muestra y tomar 100 ml en un matraz de 500 ml.
- Agregar 5 ml de H₂SO₄ cc (ácido sulfúrico)
- Agregar 10 ml de HClO₄ cc (ácido perclórico)
- Llevar a digestar hasta obtener un color verde o amarillo.
- Dejar enfriar la muestra.
- Adicionar 200 ml de agua destilada. Enfriar
- Aforar con agua destilada al volumen inicial.
- Adicionamos 15 ml de H₃PO₄ 85% (ácido fosfórico).
- Agregamos 20 ml de KI (yoduro de potasio)
- Agregamos almidón al 1%.
- Se obtiene una muestra oscura entre azul y negro.
- Titulamos con Na₂S₂O₃ (tiosulfato 0.1 N)
- Hasta obtener una solución verde clara o transparente.



Cálculos:

- **Peso específico del cromo:**

$$\text{Cr}_2\text{O}_3 \left(\frac{\text{g}}{\text{Lt}} \right) = \frac{(\text{NNa}_2\text{S}_2\text{O}_3 * \text{VNa}_2\text{S}_2\text{O}_3 * \text{P.E Cr}_2\text{O}_3)}{\text{Vmuestra en mL}}$$

$$\text{P.E Cr}_2\text{O}_3 = \frac{\text{Peso molecular Cr}_2\text{O}_3}{\text{número de electrones}} = \frac{151,99}{6} =$$

25,332

Calculando partículas por millón(ppm) de cromo en la muestra.

Primera corrida.

$$\text{Cr}_2\text{O}_3 \left(\frac{\text{g}}{\text{Lt}} \right) = \frac{(0,1 * 34,8 * 25,332)}{100}$$

$$\text{Cr}_2\text{O}_3 \left(\frac{\text{g}}{\text{Lt}} \right) = 0.8815536$$

$$0.8815536 = \left[\frac{2 * 52}{152} \right] = 0.6031682526 \frac{\text{g Cr}}{\text{Lt}} * 10\ 000$$

$$\text{Cr} = 6031.683 \text{ ppm}$$

Segunda corrida.

$$\text{Cr}_2\text{O}_3 \left(\frac{\text{g}}{\text{Lt}} \right) = \frac{(0,1 * 34,9 * 25,332)}{100}$$

$$\text{Cr}_2\text{O}_3 \left(\frac{\text{g}}{\text{Lt}} \right) = 0.8840868$$

$$0.8840868 = \left[\frac{2 * 52}{152} \right] = 0.6049014947 \frac{\text{g Cr}}{\text{Lt}} * 10\ 000$$

$$\text{Cr} = 6049.015 \text{ ppm}$$

Tercera corrida.

$$\text{Cr}_2\text{O}_3 \left(\frac{\text{g}}{\text{Lt}} \right) = \frac{(0,1 * 34,9 * 25,332)}{100}$$

$$\text{Cr}_2\text{O}_3 \left(\frac{\text{g}}{\text{Lt}} \right) = 0.8840868$$

$$0.8840868 = \left[\frac{2 * 52}{152} \right] = 0.6049014947 \frac{\text{g Cr}}{\text{Lt}} * 10\ 000$$

$$\text{Cr} = 6049.015 \text{ ppm}$$

Promedio de ppm de cromo.

Tabla n° 11°: Promedio de ppm de cromo

CORRIDAS	CANTIDAD DE CROMO	UNIDAD
corrida 1	6031.683	Ppm
corrida 2	6049.015	Ppm
corrida 3	6049.015	Ppm
Promedio	6043.238	Ppm

Fuente: propia.

Se determinó la cantidad de cromo presente en la muestra de la etapa de curtido por el método de volumetría, la cual arrojó que la muestra estaba compuesta por un promedio de 6043.238ppm de cromo.

2. Determinación de la eficiencia de la remoción de cromo del agua residual de la etapa de curtido.

Donde la eficiencia de remoción de concentración contaminante viene dada por:

$$\% \text{ de remocion} = \frac{ci - cf}{ci} \times 100$$

Dónde:

% de remoción: Eficiencia de remoción de cromo por parte del carbón activado.

Cf: Concentración contaminante de salida

Ci: Concentración contaminante de entrada

Procedimiento para el cálculo del porcentaje de remoción

1. En primer lugar, se debe determinar el tipo de contaminante(cromo) y su concentración presente en la muestra a analizar.
2. Se determinan los valores de la concentración inicial (muestra sin tratar) y la final (muestra con el tipo de carbón activado) en ppm.
3. Para el cálculo del porcentaje de remoción se resta el valor de la concentración inicial menos la concentración final, ésta dividida para la concentración inicial y multiplicada por cien.
4. El valor obtenido corresponde al porcentaje de remoción.

3. Análisis estadísticos

Análisis de varianza

Tabla n° 12. Estadísticos descriptivos.

Estadísticos descriptivos				
Variable dependiente: Adsorción de cromo				
Tipo de carbón activado	Granulometría / n° de malla	Media	Desviación estándar	N
Cascara de Coco	G1: "20"	1949.86400	18.354542	3
	G2: "40"	1812.10200	0.000000	3
	G3: "60"	1886.28100	18.354542	3
	Total	1882.74900	61.105695	9
Cascara de Plátano	G1: "20"	2246.58200	18.354542	3
	G2: "40"	1939.26700	0.000000	3
	G3: "60"	2140.61133	18.355120	3
	Total	2108.82011	135.812109	9
Cascara de Naranja	G1: "20"	2183.00000	18.354542	3
	G2: "40"	2151.47267	17.897858	3
	G3: "60"	2098.22300	31.791000	3
	Total	2144.23189	42.356257	9
Total	G1: "20"	2126.48200	136.224985	9
	G2: "40"	1967.61389	148.751176	9
	G3: "60"	2041.70511	119.775329	9
	Total	2045.26700	145.970153	27

Fuente: Propia – spss

se puede observar de la tabla n° 12 que fueron analizados un total de 27 experimentos, los cuales fueron obtenidos de los diferentes tratamientos.

Tabla n°13. Homogeneidad de varianzas

Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error ^a			
Variable dependiente:	Adsorción de cromo		
F	df1	df2	Sig.
2.399	8	18	.059

Fuente: propia –spss.

Prueba la hipótesis nula que la varianza de error de la variable dependiente es igual entre grupos, donde el diseño Intersección + tipo de carbón + granulometría + tipo de carbón * granulometría.

Tabla n°14. Datos de comparaciones múltiples de la adsorción de cromo por parte de la granulometría del carbón activado.

COMPARACIONES MÚLTIPLES							
Variable dependiente: Adsorción de cromo							
(I) granulometría		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%		
					Límite inferior	Límite superior	
HSD Tukey	G1	G2	158,86811*	8.628790	.000	136.84603	180.89019
		G3	84,77689*	8.628790	.000	62.75481	106.79897
	G2	G1	-158,86811*	8.628790	.000	-180.89019	-136.84603
		G3	-74,09122*	8.628790	.000	-96.11330	-52.06914
	G3	G1	-84,77689*	8.628790	.000	-106.79897	-62.75481
		G2	74,09122*	8.628790	.000	52.06914	96.11330
Scheffe	G1	G2	158,86811*	8.628790	.000	135.86124	181.87499
		G3	84,77689*	8.628790	.000	61.77001	107.78376
	G2	G1	-158,86811*	8.628790	.000	-181.87499	-135.86124
		G3	-74,09122*	8.628790	.000	-97.09810	-51.08435
	G3	G1	-84,77689*	8.628790	.000	-107.78376	-61.77001
		G2	74,09122*	8.628790	.000	51.08435	97.09810
DMS	G1	G2	158,86811*	8.628790	.000	140.73970	176.99653
		G3	84,77689*	8.628790	.000	66.64847	102.90530
	G2	G1	-158,86811*	8.628790	.000	-176.99653	-140.73970
		G3	-74,09122*	8.628790	.000	-92.21964	-55.96281
	G3	G1	-84,77689*	8.628790	.000	-102.90530	-66.64847
		G2	74,09122*	8.628790	.000	55.96281	92.21964

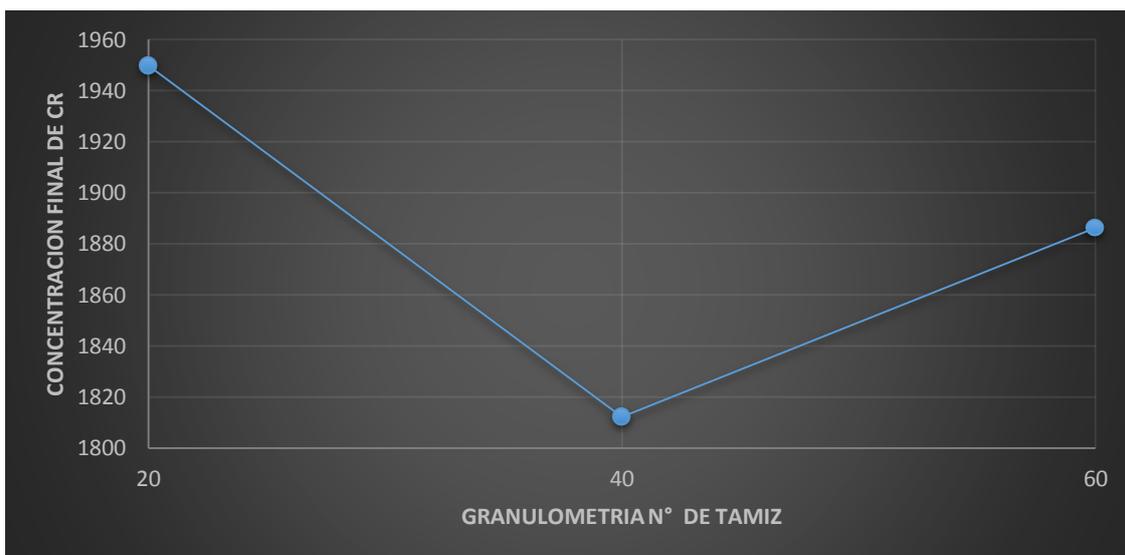
Se basa en las medias observadas.
El término de error es la media cuadrática(Error) = 335,052.
*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

Fuente: elaboración propia-spss.

De la tabla n° 13 se puede observar que, al evaluar las granulometrías entre sí, el nivel de significancia no excede el nivel de confianza "sig" el cual es de 0.05 al trabajarse con un nivel de significancia del 95%.

4. Concentración final promedio de los diferentes tipos de carbón activados y sus granulometrías.

Figura 3. Concentración final promedio del carbón activado de cascara de coco y su granulometría (G1 malla "20", G2 malla "40", G3 malla "60").
 cantidad de carbón activado=2gr, velocidad de agitación=200rpm,
 tiempo=1 hora.



Fuente: Elaboración propia.

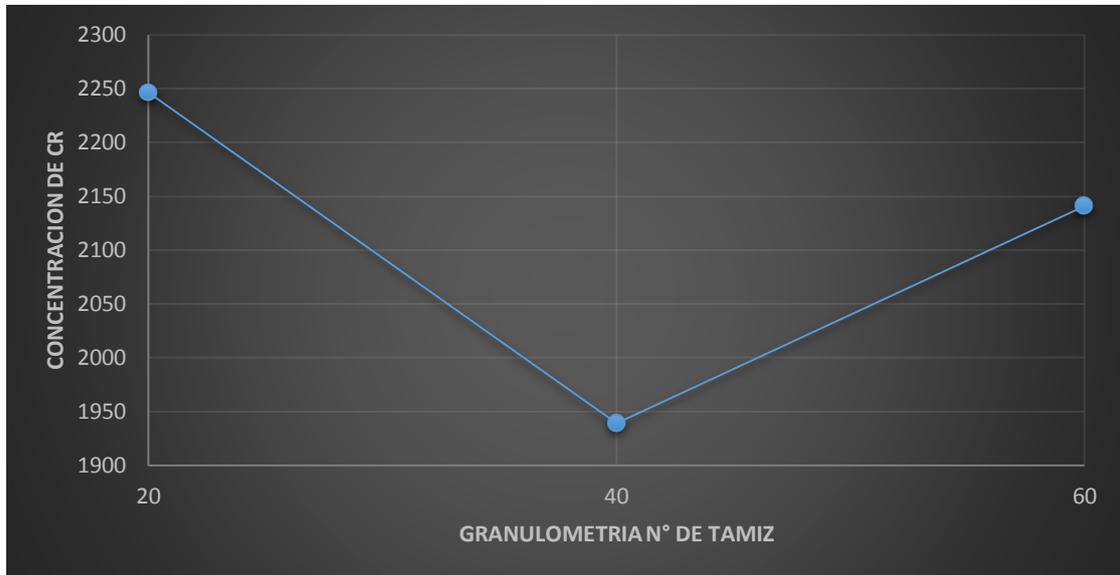
En la adsorción de cromo por parte del carbón activado de la cascara de coco y la granulometría de la malla n° 40 fue la que logro la mayor eficiencia de remoción de cromo.

Tabla 15. Datos de concentración de cromo(ppm) obtenidos en función del carbón activado de plátano y su granulometría (G1"20", G2"40, G3"60").
 cantidad de carbón activado=2gr, velocidad de agitación=200rpm,
 tiempo=1 hora.

TIPO DE CARBON ACTIVADO	GRANULOMETRIA	CONCENTRACION DE CROMO (ppm)	REMOCION DE CROMO(%)
Cascara de plátano	G1: "20"	2246.582	63
	G2: "40"	1939.267	68
	G3: "60"	2140.611	65

Fuente: propia

Figura n°4. Concentración final promedio del carbón activado de plátano(ppm) y su granulometría (G1"20", G2"40, G3"60"). cantidad de carbón activado=2gr, velocidad de agitación=200rpm, tiempo=1 hora.



Fuente: elaboración propia.

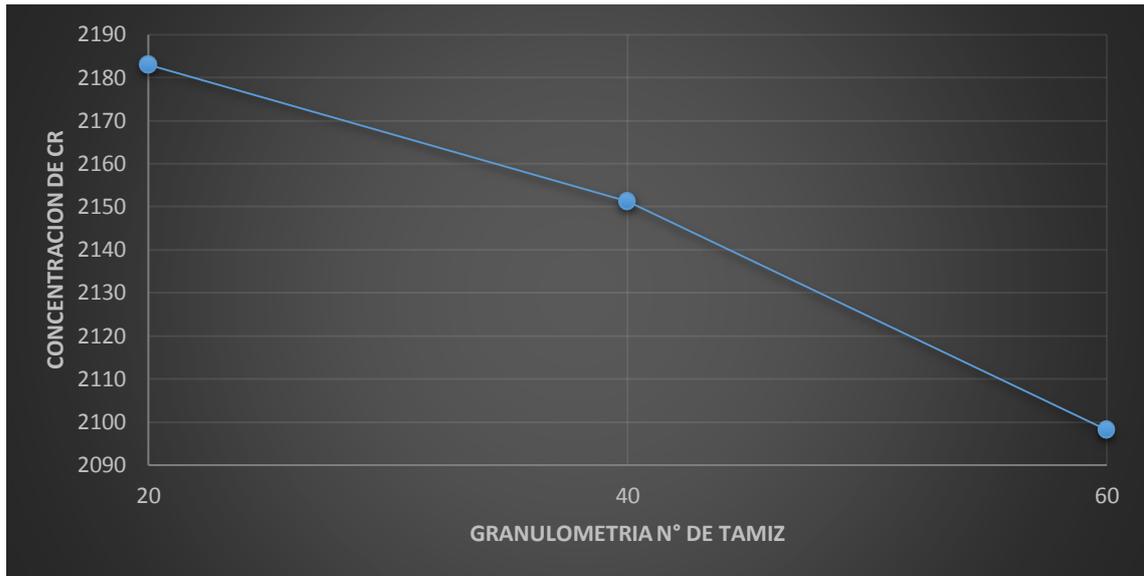
En la adsorción de cromo por parte del carbón activado de la cascara de plátano y la granulometría de la malla n° 40 fue la que logro la mayor eficiencia de remoción de cromo.

Tabla 16. Datos de concentración de cromo(ppm) obtenidos en función del carbón activado de naranja y su granulometría (G1"20", G2"40, G3"60"). cantidad de carbón activado=20gr, velocidad de agitación=200rpm, tiempo=1 hora.

TIPO DE CARBON ACTIVADO	GRANULOMETRIA	CONCENTRACION DE CROMO (ppm)	REMOCION DE CROMO (%)
NARANJA	20	2183.000	64
	40	2151.209	64
	60	2098.223	65

Fuente: elaboración propia.

Figura n°5. Concentración final promedio del carbón activado de naranja(ppm) y su granulometría (G1"20", G2"40, G3"60"). cantidad de carbón activado=2gr, velocidad de agitación=200rpm, tiempo=1 hora.



Fuente: elaboración propia.

Se observa que el carbón activado de cascara de naranja y la granulometría la cual logro la mayor adsorción de cromo del agua residual de la etapa de curtido, fue la malla n°60, disminuyendo de su cantidad inicial hasta 2098.223ppm de cromo en la muestra.