



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“Adsorción con carbón activado modificado para la Remoción de Cr⁶⁺ en efluentes de la industria de Cromado, Lima 2018-2019”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

AUTORES:

Silva Pariona Cherly Stefani (ORCID: 0000-0001-7763-4624)

Flores Campomanez Jean Franco Luis (ORCID: 0000-0002-0054-2980)

ASESOR:

Mg. Alejandro Suarez Alvites (ORCID: 0000-0002-9397-057X)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

Lima - Perú

2019

Dedicatoria

A mi madre Sonia Campomanez, quien es el pilar de mi vida y el motivo de mí existir, que con sus consejos supo orientar mi camino profesional. A mis hermanos Giancarlo, Gianpierre y Angie, que son mis compañeros de vida y amigos incondicionales que Dios me permitió conocer en este mundo. A mi tía Isabel, a mi abuelita Inocenta y a todos mis familiares que por sus palabras de aliento supieron darme más motivación y seguridad para seguir adelante. A mí querida amiga Cherly Silva, que por su perseverancia y precisión se pudo concluir este trabajo de investigación. Finalmente, a todos los docentes, compañeros y amigos, por su apoyo y muestra de confianzas.

Dedicatoria

A mis padres Nancy Pariona y Alfredo Silva quienes son la razón y mi fuerza para salir adelante. A mis hermanos Brandon, Marlon, Jhosep, Lucía y Luana, quienes son la alegría que Dios me permitió conocer para convertirlos en mis amigos incondicionales para toda mi vida. A mi bisabuelo Faustino Pariona y abuelo Hipólito Pariona quienes en vida me dieron consejos que me ayudaron a cumplir uno de mis sueños que es concluir mi carrera profesional, además de formarme con un carácter fuerte con seguridad y decisión. Finalmente, a todos mis familiares, docentes y amigos, quienes han intervenido en este arduo camino profesional, donde ahora con más certeza pretendo seguir y conseguir todos mis sueños con éxito.

Agradecimiento

A Dios por guiarme, ser mi amigo en mis momentos difíciles y permitirme vivir cada día al máximo para poder lograr uno de mis un sinnúmero de metas.

A la Universidad César Vallejo, por apostar por la juventud mejoró las instalaciones, los servicios administrativos y educativos fortaleciendo de esta manera mi desempeño profesional en estos 5 años de carrera.

A los docentes, quienes con su experiencia laboral forjaron conocimientos concretos, principios y valores en beneficio de mi vida profesional y personal.

En especial a mis asesores, Ing. Suarez Alvites Alejandro, Dr. Lorgio Valdiviezo Gonzales y al metodólogo Ing. Ugarte Galván Alfredo quienes me han apoyado durante la realización de la tesis.

Agradecimiento

A Dios por estar siempre presente en cada etapa de mi vida y a mis dos ángeles que desde el cielo iluminan, protegen y guían mi camino ayudándome a superar todos los obstáculos.

A la Universidad César Vallejo, por mejorar sus instalaciones y servicios para dar una educación de calidad para la formación de jóvenes universitarios.

A los docentes, quienes con su experiencia laboral forjaron conocimientos concretos, principios y valores en beneficio de mi vida profesional. En especial a mi asesor, el Ing. Suarez Alvites Alejandro quien con su apoyo se logró realizar esta investigación.

Página del Jurado

Página del Jurado

Declaratoria de Autenticidad

Declaratoria de autenticidad

Yo, Cherly Estefani Silva Pariona con DNI N° 76697602, a efectos de cumplir con los criterios vigentes considerados en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, declaro bajo juramento que toda documentación, información y datos que incorporo en la tesis titulada **“Adsorción con carbón activado modificado para la Remoción de Cr⁶⁺ en efluentes de la industria de Cromado, Lima 2018-2019”**, son verídicas y auténticas.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Lima, 09 de diciembre 2019



Cherly Estefani Silva Pariona

DNI N° 76697602

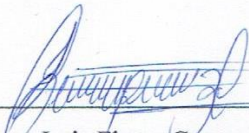
Declaratoria de Autenticidad

Declaratoria de autenticidad

Yo, Jean Franco Luis Flores Campomanez con DNI N° 70893806, a efectos de cumplir con los criterios vigentes considerados en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, declaro bajo juramente que toda documentación, información y datos que incorpore en la tesis titulada **“Adsorción con carbón activado modificado para la Remoción de Cr⁶⁺ en efluentes de la industria de Cromado, Lima 2018-2019”**, son verídicas y auténticas.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Lima, 09 de diciembre 2019



Jean Franco Luis Flores Campomanez

DNI N° 70893806

Índice

Carátula.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento	iv
Página del Jurado.....	vi
Declaratoria de Autenticidad	viii
Índice	x
Índice de Figuras	xii
Índice de Tablas.....	xiii
Índice de Anexos	xiv
Resumen	xvi
Abstract.....	xvii
I. Introducción	1
II. Método	24
2.1. Tipo y Diseño de investigación	25
2.2. Variables y Operacionalización de variables	25
2.2.1. Variables.....	25
2.2.2. Operacionalización de Variables	26
2.3. Población y muestra.....	27
2.3.1. Población	27
2.3.2. Muestra	27
2.4. Técnicas e instrumentación de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	27
2.4.1. Técnicas de recolección de datos.....	27
2.4.2. Instrumento de recolección de datos	28
2.4.3. Validez.....	28
2.5. Descripción del procedimiento	30

2.5.1.	Recolección del efluente.....	30
2.5.2.	Modificación del carbón activado	30
2.5.3.	Determinación de Cromo hexavalente en el Espectrofotómetro UV Visible	30
2.5.4.	Proceso de adsorción con carbón activado modificado con H ₂ O ₂	31
2.5.5.	Materiales y equipos necesarios para el proceso	31
2.5.6.	Diagrama de Análisis de Procesos (D.A.P).....	32
2.6.	Métodos de análisis de datos	33
2.7.	Aspectos éticos	33
III.	Resultados.....	34
IV.	Discusión	45
V.	Conclusiones	48
VI.	Recomendaciones	50
	REFERENCIAS	52
	ANEXOS	68

Índice de Figuras

Figura 1: Estructura propuesta de las capas de carbón activo	10
Figura 2: Estructura de las capas planas del grafito	10
Figura 3: Ramificación del Carbón activado	11
Figura 4: Estructura de carbón activado	11
Figura 5: Diagrama de flujo del Proceso de cromado	19
Figura 6: Diagrama de Análisis del Proceso de Adsorción DAP	32
Figura 7: Efecto de la dosis de carbón para la remoción de Cr6+	37
Figura 8: Efecto del pH del efluente en la remoción de Cr6+	37
Figura 9: Efecto del tiempo en la remoción de Cr6+	38
Figura 10: Modelo de Pseudo primer orden	39
Figura 11: Modelo de Pseudo segundo orden	40
Figura 12: Modelo de Langmuir	41
Figura 13: Modelo de Freundlich	42
Figura 14: Superficie de Respuesta estimada para la % Remoción de Cr6+ en función de la acidez del efluente y la masa del carbón activado, donde a) SR Contorno b) SR tridimensional. Donde X1: dosis de carbón, X2: pH del efluente e Y: % Remoción de Cr6+	44

Índice de Tablas

Tabla 1: Propiedades físicas del cromo	17
Tabla 2: Efectos del Cromo sobre la salud humana	21
Tabla 3: Operacionalización de Variables	26
Tabla 4: Instrumentos de recolección de datos.....	28
Tabla 5: Materiales y Equipos utilizados en los tratamientos	31
Tabla 6: Características Fisicoquímicas del efluente de la Industria de Cromado	35
Tabla 7: Resultados del proceso de Adsorción para remover Cr ⁶⁺ en los efluentes de la industria de cromado	36
Tabla 8: Datos para la determinación del Modelo de Pseudo primer orden.....	38
Tabla 9: Datos para la determinación del Modelo de Pseudo segundo orden.....	39
Tabla 10: Parámetros de los modelos cinéticos de Pseudo primer orden y Pseudo segundo orden	40
Tabla 11: Parámetros para la determinación del Modelo de Langmuir	41
Tabla 12: Parámetros para la determinación del Modelo de Freundlich.....	42
Tabla 13: Parámetros de los modelos cinéticos de Pseudo primer orden y Pseudo segundo orden	43
Tabla 14: Prueba de ANOVA para comparar el efecto del pH, dosis del CACM y su interacción de ambos en el proceso de adsorción.....	43

Índice de Anexos

Anexo 1: Matriz de Consistencia.....	69
Anexo 2: Método EPA 7196A - Digestión ácida para determinar cromo hexavalente.....	70
Anexo 3: Determinación de la curva de calibración Cromo total	71
Anexo 4: Determinación de la curva de calibración cromo hexavalente	72
Anexo 5: Limpieza y Secado del Carbón activado comercial.....	73
Anexo 6: Impregnación del carbón activado comercial limpio con H ₂ O ₂	74
Anexo 7: Proceso de Adsorción utilizando el CACM e diferentes medios de acidez del efluente	75
Anexo 8: Condiciones de operación para determinar la remoción de Cr ⁶⁺ - Primera Repetición.....	76
Anexo 9: Condiciones de operación para determinar la remoción de Cr ⁶⁺ - Segunda Repetición.....	77
Anexo 10: Condiciones de operación para determinar la remoción de Cr ⁶⁺ - Tercera Repetición.....	78
Anexo 11: Condiciones de operación para determinar la remoción de Cr ⁶⁺ - Cuarta Repetición.....	79
Anexo 12: Lectura de las muestras del proceso con el Espectrofotómetro UV visible.....	80
Anexo 13: Determinación de Cromo total del efluentes - Absorción Atómica	81
Anexo 14: Determinación de la cinética de Adsorción del proceso.....	82
Anexo 15: Determinación de los Isotermas de Adsorción del proceso.....	83
Anexo 16: Cálculo para determinar el análisis de varianza ANOVA con la Prueba - F (Distribución de Fisher).....	84
Anexo 17: Cálculo para determinar el modelo matemático factorial del proceso de adsorción.....	85
Anexo 18: Diagrama de Interacción del pH y dosis de carbón sobre la Remoción de Cr ⁶⁺	86
Anexo 19: Autorización de la versión final del Trabajo de Investigación 01	87

Anexo 20: Autorización de la versión final del Trabajo de Investigación 02	88
Anexo 21: F06-PP-PR-02.02	89
Anexo 22: F06-PP-PR-02.02	90
Anexo 23: Turnitin	91
Anexo 24: F08-PP-PR-02.02	92
Anexo 25: F08-PP-PR-02.02	93

Resumen

El presente trabajo de investigación evaluó la eficiencia de adsorción del carbón activado modificado para remover 364 ppm de Cr^{6+} presentes en el agua residual de la Industria de Cromado. El proceso consistió en tratar la superficie del carbón activado granulado, durante 3 horas a 25°C con H_2O_2 al 50% p/v en relación de 1:1 [masa carbón activado (g): volumen agente activante (ml)]. El diseño factorial incluyó la modificación del pH del efluente y las distintas dosis del carbón frente a la eficiencia de adsorción de Cr^{6+} . Las magnitudes de las variables fueron fijadas a cinco niveles con cuatro repeticiones en cada combinación teniendo un total de 100 mediciones. Para todos los experimentos el volumen de efluente fue de 100 ml que fueron puestos en contacto con el carbón por 80 minutos. La máxima remoción obtenida fue de 99.65% usando 5g de carbón a pH 1.0. El análisis de varianza indica que la masa de carbón, el pH y la interacción de ambas son significativas. El espectrofotómetro UV visible fue utilizado para la determinación de Cr^{6+} de las muestras tratadas. Experimentos adicionales fueron realizados para estudiar condiciones de equilibrio en la adsorción y la cinética química envuelta, resultando que el modelo de Langmuir describe adecuadamente el proceso de adsorción, obteniendo una capacidad máxima de adsorción de 7.49 mg/g, consistente con los datos resultados del diseño factorial. Los resultados de cinética de adsorción se ajustaron mejor al modelo de Pseudo segundo orden y predicen que en 80 min se alcanza 98.8% de la concentración en equilibrio de cromo en el sólido, y es consistente con lo obtenido con el diseño factorial. Los resultados abren oportunidades para diseños compactos de procesos por etapas para tratamientos de efluentes conteniendo cromo hexavalente sin producir lodos residuales.

Palabras Claves: Carbón activado, adsorción, remoción.

Abstract

The research paper evaluated the adsorption efficiency of modified activated carbon to remove 364 ppm of Cr^{6+} present in the wastewater of the Chrome Industry. The process consisted of treating the surface of the granulated activated carbon, for 3 hours at 25 ° C with 50% H_2O_2 w/v in a ratio of 1: 1 [mass activated carbon (g): volume activating agent (ml)]. The factorial design included the modification of the pH of the effluent and the different doses of coal versus the adsorption efficiency of Cr^{6+} . The magnitudes of the variables were set at five levels with four repetitions in each combination having a total of 100 measurement. For all experiments, the volume of effluent was 100 ml which was put in contact with the coal for 80 minutes. The maximum removal obtained was 99.65% using 5g of carbon at pH 1.0. The analysis of variance indicates that the mass of coal, the pH and the interaction of both are significant. The visible UV spectrophotometer was used for the determination of Cr^{6+} of the treated samples. Additional experiments were performed to study equilibrium conditions in adsorption and chemical kinetics involved, resulting in the Langmuir model adequately describing the adsorption process, obtaining a maximum adsorption capacity of 7.49 mg / g, consistent with the design results data factorial. The results of adsorption kinetics were better adjusted to the Pseudo second order model and predict that in 80 min 98.8% of the equilibrium concentration of chromium in the solid is reached, and is consistent with that obtained with the factorial design. The results open opportunities for compact process designs in stages for effluent treatments containing hexavalent chromium without producing residual sludge.

Keywords: Activated carbon, adsorption, removal.

I. Introducción

Una de las mayores preocupaciones que embarga al mundo, principalmente en países en vías de desarrollo como el nuestro, es el incremento tecnológico y el impacto negativo que éste ocasiona. Por ello, es necesario implementar medidas que contrarresten, mitiguen o controlen estos impactos que afectan no sólo al ambiente sino también ocasionan daños a la salud pública. De acuerdo a lo mencionado, se describe la **realidad problemática** que causa la contaminación de fuentes de agua y el deterioro de las instalaciones e infraestructura de la red de alcantarillado por la descarga de grandes cantidades de efluentes con concentraciones de Cromo que superan en demasía la norma ambiental. La industria de cromado, es el sector donde se lleva a cabo una serie de procesos para el recubrimiento electrolítico con diversos tipos de metales con el objetivo de añadirle una capa protectora al material plástico o metálico que permita obstruir su corrosión, aumentar su resistencia mecánica y con fines decorativos. Entre los metales que más se utiliza para este fin se encuentra el Oro; Cobre; Estaño, Zinc, Plata, Níquel y Cromo. A esto Vargas, Carriazo y Castillo (2011) añade que la presencia de estos metales pesados en el agua representa un serio peligro para la salud humana, por su toxicidad y su incapacidad para biodegradarse (p.154)

Para fines de estudio y desarrollo de este trabajo de investigación, se consideró a Murgueitio y Landívar (2015) mencionan que el cromo es un ion metálico que dependiendo de su estado de composición puede ser un micronutriente esencial para el metabolismo de todo ser vivo o un agente carcinogénico (p.91). La industria de cromado emplea en todo su proceso electrolítico soluciones químicas con Cr^{6+} , generando efluentes con altas concentraciones de este ion metálico, mismos que son vertidos a la red de alcantarillado sin previo tratamiento, incumpliendo la norma que regula mediante los Valores Máximos Admisibles (VMA), de **0.5 mg/l para Cromo hexavalente**, en descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, establecidas según Decreto Supremo N° 010-2019-Vivienda.

Desde esa perspectiva para apoyar lo argumentado, se sintetiza diversos **trabajos previos** nacionales e internacionales que añadan y sustenten métodos y diseños para la impregnación del carbón activado modificado con peróxido de hidrógeno y otros reactivos que intervienen en el proceso de adsorción de Cromo hexavalente. En consecuencia como trabajo previo internacional se considera a Hao, P. et.al. (2019), en su artículo titulado “Highly efficient oxidation of chromium (III) with hydrogen peroxide in alkaline médium”. Su estudio tuvo como objetivo estudiar el proceso de oxidación del cromo trivalente con peróxido de

hidrógeno en un medio alcalino utilizando diferentes dosis de H_2O_2 y NaOH , consideraron diversos parámetros como el tiempo de reacción, temperatura de reacción y velocidad de agitación sobre la eficacia de la oxidación de cromo. Todos los experimentos se realizaron en un vaso precipitado con un mezclador termostático en baño maría; empleando una predeterminada cantidad de sulfato de cromo $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ y agua desionizada para producir la solución homogénea bajo agitación constante a diferentes temperaturas, luego se añadió el NaOH seguido del H_2O_2 . Para la determinación de cromo trivalente y cromo hexavalente se usó el plasma inductivo acoplado con Espectrómetro de masas Perkin Elmer óptima 6300 DV. El estudio concluyó con la oxidación aproximada del 100%, en condiciones de volumen de H_2O_2 con la masa del $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ a razón de 2.4 ml/g, el tiempo de reacción fue de 90 minutos a una temperatura de 90°C y una velocidad de agitación de 500 rpm.

Attia, A.; Khedr, S y Elkholy, S. (2010), en su artículo titulado: “Adsorption of Chromium ion (VI) by Acid Activated Carbon”. Se evaluó la adsorción de (Cr^{6+}) de soluciones acuosas en carbón activado en medio ácido. Esta investigación experimental utilizó los residuos sólidos del olivo (OS) y carbón activado comercial (CAC) como adsorbente, ambos materiales se impregnaron con ácido sulfúrico (H_2SO_4) en una relación de 1:1 (p/v) seguido de un calentamiento a 373°K en un horno para (OS) por 24 h para producir (OS-S) y pirolisis en un horno a 873°K para (CAC) por 3 horas para producir (CAC-S) completando de esta manera la carbonización y la activación. Luego ambos carbones se lavaron con agua destilada y se remojaron en una solución de bicarbonato de sodio (NaHCO_3) para eliminar cualquier ácido restante, luego ambos (OS-S) y (CAC-S) se secaron a 373°K . Así mismo se preparó la muestra de cromo: disolviendo dicromato de potasio en un agua doblemente destilada, creando 4 concentraciones de 4, 20, 30 y 50 mg/L a diferentes valores de pH (1.5, 5 y 10) mismos que fueron controlados con la adición de NaOH 0.1N o 0.1N H_2SO_4 antes del tratamiento con los carbones activados. Los experimentos de adsorción se realizaron a una velocidad de agitación de 200 rpm a una temperatura de 303°K con agitación magnética utilizando matraces cónicos con tapa rosca bajo condiciones constantes. Este estudio concluyó que la biomasa (OS-S) es un buen adsorbente en comparación al (CAC-S) además en ambos casos hubo alto porcentaje de adsorción del 82% (OS-S) y 90% (CAC-S) utilizando una dosis de adsorbente de 0.25g/L a un pH de 1.5 para tratar una solución de 4 mg/L de Cr (VI).

Londolani, C. et.al., (2018) en su artículo titulado “Adsorptive Removal of Hexavalent Chromium by Diphenylcarbazide Grafted Macadamia Nutshell PowderA”. En este estudio se aumentó la capacidad de adsorción del polvo de la cáscara de nuez activándola con diferentes concentraciones de Peróxido de hidrógeno (H_2O_2), con injerto de 1.5-difenilcarbazida en solución. En la investigación se determinó la funcionalización de la superficie del adsorbente mediante el espectro infrarrojo, la preparación del adsorbente constó del lavado de las cáscaras de nuez con agua de grifo y luego se secaron por 24 h a $105^\circ C$, transcurrido este tiempo las cáscaras de nuez se molieron y tamizaron entre 90 y 150 μm y fue designada como Cáscara de nuez Macadamia cruda (RMNs). Después se realizó la activación con H_2O_2 a tres concentraciones de 20%, 30% y 50% p/v aumentando la formación de grupos funcionales en la superficie de la RMNs donde fueron etiquetados 20MHP, 35 MHP y 50 MHP, luego las muestras fueron mezcladas con la solución de 1.5-difenilcarbazida, se etiquetaron como 20MHPD, 35MHPD y 50 MHPD. El estudio concluyó que la mayor eliminación de cromo hexavalente se logró con pH 2, tiempo de evaluación de 120 min y concentración de (Cr^{6+}) de 150 mg/L y 2.5 g/L, además se comprobó que utilizando 1.5-difenilcarbazida produjo un adsorbente con una eficacia mejorada para (Cr^{6+}).

Doria, G; Paz, P y Hormaza, A. (2013), presentó su estudio titulado “Estandarización de la difenilcarbazida como indicador y acomplejante en la identificación de cromo hexavalente (Cr (VI)).”El objetivo principal fue establecer las mejores condiciones para la implementación de una solución de difenilcarbazida usando 1.5gr como agente acomplejante para la determinación de Cr (VI). En la investigación se utilizó las curvas de calibración bajo el método de adición estándar, donde se utilizaron cantidades conocidas de solución madre de cromo hexavalente con un intervalo entre 0.1 y 4.0 ppm, donde se obtuvieron resultados satisfactorios del 99.11%, 97.35%, y 99.17% con una confiabilidad del 95% .El agente acomplejante agregado es de 20 μL para todo el ensayo, donde se realizaron tres repeticiones para evaluar estadísticamente sus resultados mediante el análisis de varianza, índice de correlación y ANOVA, posteriormente se determinó los límites de cuantificación instrumental y cinética de degradación para poder determinar el promedio y la desviación estándar de cada grupo de datos, también se identificaron los coeficientes de extinción, los efectos del disolvente con acetona, metanol y etanol, por último la adición del acomplejante utilizando la técnica espectrofotometría de UV - visible. En conclusión se obtuvo que el 1.5-difenilcarbazida es un agente acomplejante idóneo para determinar Cr (VI) en solución.

Guangzhou, Q.et.al., (2012) en su artículo “Effect of modification with nitric acid and hydrogen peroxide on chromium (VI) adsorption by activated carbon fiber”. Reporta las influencias de la fibra de carbón activado (ACF) tratados con ácido nítrico (HNO_3) y peróxido de hidrogeno (H_2O_2), a diferentes concentraciones, alcanzando mayor capacidad de adsorción y mejorando la composición química de la superficie del carbón activado. En el procedimiento experimental utilizo fibras de carbón activado que fueron lavados con agua desionizada hervida, después se secó en un horno a 105°C por 24 horas para luego ser cortados en trozos de (20mm x20mm), posteriormente se añadió 50 ml de solución de Ácido Nítrico a cuatro concentraciones de 1, 5, 20 y 40 % denominada (ACF-N) y otra de 50 ml de peróxido de hidrógeno a tres concentraciones de 10, 20 y 30 % denominada (ACF-O), todas las muestras durante su impregnación fueron agitadas lentamente por dos horas a 25°C , después se secaron a 105°C por 24 h. Las muestras tratadas a diferentes pH (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10) se caracterizaron con el espectrofotómetro UV visible usando difenilcarbazida como agente acomplejante. Los grupos funcionales de la superficie de las Fibras de Carbón Activado se determinaron usando el método de titulación de Boehm. Como resultado de esta investigación se encontró que los ACF modificados con 1% de HNO_3 y 10% de H_2O_2 , mejoran su capacidad de adsorción para el Cr^{6+} , además se determinó que aumentando la concentración de HNO_3 y H_2O_2 en la modificación de los AFC disminuyó la capacidad de adsorción.

Castro, S. et al., (2013) en su artículo sobre el “Estudio del equilibrio y cinética de adsorción de Cd (II), Ni (II) y Cr (VI) usando Quitosano y Quitosano modificado con cobre”. Estudió el equilibrio de adsorción y la cinética de adsorción de Cd (II), Ni (II) en Quitosano y Cr (VI) en Quitosano modificado con cobre. Para ello se llevó las soluciones metálicas a diferentes concentraciones en un rango de 25 – 750 mg/l a un pH=4, durante la experimentación se puso en contacto con 2 gramos de adsorbente, considerando una velocidad de agitación de 450 rpm y tiempo de contacto de 120 minutos. Las muestras fueron filtradas y analizadas en un Espectrofotómetro de Absorción Atómica GBC AAS932, para determinar las concentraciones finales del ion metálico en la solución. Los datos experimentales del equilibrio de adsorción de los iones metálicos fueron evaluados aplicando isothermas de Langmuir y Freundlich; mientras que los datos cinéticos fueron evaluados utilizando los modelos cinéticos de pseudo primer orden y pseudo segundo orden. Los resultados del proceso demostraron que los iones fueron eficazmente adsorbidos por el Quitosano (Cd y Ni) y por el Cu – Quitosano (Cr). Además, se comprobó que los datos experimentales del

equilibrio de adsorción de Cr (VI) y Ni (II) se ajustan al modelo de Langmuir; mientras que los datos experimentales del Cd (II) fueron mejor ajustados por el modelo de Freundlich. Mediante el uso de la isoterma de Langmuir se determinó la capacidad máxima de adsorción de cromo (29.7 mg/g Cu-Quitosano), cadmio (102.0 mg/g Quitosano) y níquel (83.31 mg/g Quitosano). Los resultados de la cinética de adsorción de los iones metálicos mostraron que los datos experimentales fueron mejor ajustados por el modelo de pseudo-segundo orden; es decir, el paso limitante en la velocidad es la reacción de adsorción y no la transferencia de masa.

Parravicini, J. (2016) presentó el estudio titulado: “Efecto del tipo de carbón activado en la adsorción de cromo del agua residual de la etapa de curtido”. Cuyo propósito fue determinar la adsorción de cromo que se encontraba en los efluentes de la etapa de curtido, mediante tres diferentes tipos de carbón activado. Esta investigación experimental tuvo un diseño múltiple de cinco factores: tres niveles granulométricos, un nivel de muestra (100ml), tres tipos de carbón activado (cascara de plátano, naranja y coco), un nivel de cantidad (2g de carbón activado) y tres repeticiones por experimento; lo que ocasiono que se realicen 27 experimentos o repeticiones (3x1x3x1x3). Concluyendo que la adsorción fue un método excelente para remover el cromo presente en los efluentes de la etapa de curtido con el carbón activado, donde la mayor concentración de cromo que se removió se redujo de 6043.238 ppm a 1812.102 ppm utilizando carbón activado de coco a una granulometría de tipo 2 (malla 40, 0.425 mm), dando una eficiencia del 70%, un dato muy alto en comparación a la eficiencia de los otros dos carbones.

Córdova, H. et.al., (2014) en su investigación titulada: “Tratamiento de las aguas residuales del proceso de curtido tradicional y alternativo que utiliza acomplejantes de cromo”. En su artículo establece como objetivo evaluar el tratamiento por precipitación química de efluentes mediante procesos tradicionales y alternativos que emplean agentes acomplejantes y basificantes durante el proceso. El estudio experimental empleo diferentes concentraciones de hidróxido de sodio (NaOH), para poder evaluar la influencia del pH en la precipitación, además en el análisis estadístico se empleó el software IBM SPSS Statistics 19, el cuál validó los datos mediante el análisis de varianza (ANOVA) al 95% de confianza. Concluyendo que la eficiencia de la precipitación aumenta cuando el efluente tiene un pH de 7.4 a 10, además la cantidad necesaria para el tratamiento es de 5g/l de Hidróxido de Sodio (NaOH).

Uechi, Julio (2016) presentó su “Estudio del proceso de adsorción de cadmio y cromo presentes en soluciones acuosas utilizando carbones activados modificados”. Tesis presentada para obtener el grado de Magíster en Química en la Pontificia Universidad Católica del Perú. Cuya finalidad fue estudiar la adsorción de cadmio y cromo mediante carbón activado modificado. En la investigación experimental se trabajó la modificación del carbón con ácido clorhídrico (HCl), ácido nítrico (HNO₃), hidróxido de sodio (NaOH), peróxido de hidrógeno (H₂O₂) y cloruro de sodio (NaCl) a diferentes concentraciones; donde la reacción con las soluciones salinas, básicas y ácidas su tiempo de impregnación fue de 24 h a 50° C, en cambio la reacción con el peróxido de hidrógeno fue de 3 h a temperatura ambiente. Además para su caracterización se utilizó diferentes técnicas instrumentales como la espectroscopia infrarroja FTIR, la titulación de Boehm y la microscopia electrónica de barrido SEM. Donde la modificación con ácido clorhídrico, nítrico y agua oxigenada en el carbón activado tuvo un pH ácido, con hidróxido de sodio el pH fue alcalino y en la modificación con la sal iónica el pH del carbón activado se mantuvo neutro. En esta investigación se concluyó que los carbonos modificados con ácido nítrico y peróxido de hidrógeno aumentaron al doble la capacidad de adsorción a Cr³⁺, y los carbonos modificados con hidróxido de sodio su incremento de capacidad de adsorción de Cr³⁺ fue mucho mayor.

Lavado, C; Sun, M y Recuay, N. (2012) en su artículo titulado: “Remoción de Cromo VI empleando carbones preparados por activación química a partir de las astillas de Eucalipto”. Tuvo como propósito preparar y caracterizar los carbones activados hechos a base de astilla de eucalipto, mediante activación química con ácido fosfórico (H₃PO₄) e hidróxido de potasio (KOH), en su aplicación como material adsorbente en la remoción de Cr⁶⁺ presente en diversas soluciones acuosas. En la investigación experimental la activación del carbón activado fue mediante impregnación por vía húmeda, consecutivo a eso pasó por un proceso de carbonización a 600°C, en flujo continuo de N₂ de 100 cm³/min por 1 hora. Las isotermas de adsorción se ejecutaron en un sistema batch a 18°C de temperatura y un pH del efluente de 5. Entre las conclusiones que se obtuvieron: Los carbones activados alcanzaron altas áreas superficiales: de 761 m²/g para la muestra con ácido fosfórico (H₃PO₄) y 519 m²/g con hidróxido de potasio (KOH); obteniendo la máxima remoción a un pH=2, de 75.2 mg/g con ácido fosfórico (H₃PO₄) y 60.68 mg/g con hidróxido de potasio (KOH); donde además se observó que los carbones activados presentaban una micro y meso-porosidad.

Navarrete, Quijano y Vélez (2004) en su estudio titulado “Elaboración de carbón activado a partir de materiales no convencionales, para ser usado como medio filtrante”. El investigador tuvo como propósito modificar el carbón activado hechos a base de residuos vegetales como cascarilla de arroz, pepa de zapote y cáscara de plátano. La investigación experimental consistió en modificar el carbón activado con ácido fosfórico (H_3PO_4) al 40% en relación de 1:2, el cual se calentó en una mufla a 500 °C por 24 horas, para después dejarlo secar hasta la temperatura ambiente, luego se lavó con abundante agua destilada a 70 °C e hidróxido de sodio (0.1 M) para que el carbón obtenga un pH de 4, finalmente se secó el carbón activado en una mufla por 48 h a 110 °C. Concluyendo que el método de activación química tuvo un alto grado de eficiencia, sin embargo el carbón activado a base de cascarilla de arroz tuvo un mejor rendimiento del 84% en comparación con los otros dos.

López, M. (2013) en su investigación titulada: “Estudio Físicoquímico de reducción-adsorción de Cr^{6+} en medio acuoso sobre biomateriales de bajo coste”. Tesis presentada para optar el grado Doctoral en Química, en la Universidad de Coruña. Cuyo objetivo fue aplicar tecnologías limpias en base de materiales de origen natural (biomasa) para disminuir la concentración de cromo hexavalente en soluciones acuosas. La investigación se enfocó en la revisión general sobre la problemática que causa los metales pesados en medios acuosos, además se analizó la interacción entre el carbón activado hecho a base de biomasa natural y el metal. Concluyendo que las isothermas de adsorción son un método eficaz en la remoción de cromo hexavalente, donde la mayor capacidad de adsorción se vio al usar el carbón activado hecho a base de helecho (83 mg/g) a un pH de 2, a comparación con los carbones activados hechos de alga y cáscara de plátano.

Tejada, C.; Villabona, A. y Jiménez, M. (2017) en su artículo titulado: “Remoción de Cromo hexavalente sobre residuos de cacao pre-tratados químicamente”. Cuyo propósito fue evaluar la adsorción de Cr^{6+} en medios acuosos utilizando carbones activados hechos a base de residuos vegetales. La investigación experimental tuvo como objetivo estudiar la capacidad de adsorción de Cr^{6+} usando, como biomasa residual, cáscara de cacao. Utilizando la siguiente metodología: Se retiró las impurezas solubles y suciedad lavando con agua destilada, luego fueron secadas por 24 h en una mufla a 90° C, reducidas a un tamaño inferior de 0,355 mm Luego 20g de biomasa fue tratada con 100 ml de solución (hidróxido de sodio y ácido clorhídrico 1 M) a una temperatura de 30°C durante 24 h, a una agitación constante

de 150 rpm. Luego la biomasa se secó por 12 h en una mufla a 70°C. Concluyendo que el carbón activado modificado hecho a base de cáscara de cacao removió 463 mg/g de Cr⁶⁺.

Acosta, H.; Barraza, C. y Albis, A. (2013) en su artículo titulado: “Adsorción de cromo VI utilizando cáscara de Yuca (*Manihot Esculenta*) con bioabsorbentes: estudio cinético”. Tuvo como finalidad estudiar la influencia de la temperatura y la concentración en la adsorción de Cr⁶⁺ utilizando la cáscara de naranja. Se empleó la siguiente metodología: La disolución de Cr⁶⁺ se preparó al disolver 02 g de dicromato de potasio (K₂Cr₂O₇) en 2 litros de agua destilada y desionizada; hasta obtener tres soluciones con 50, 40 y 30 mg/l. Al terminar se ejecutó el proceso de adsorción en un montaje por lotes; en la que se sometió 300 ml de disolución con cromo a tres temperaturas de 25, 30 y 35°C a un pH constante de 2. Además se tomó 1 g de carbón activado con D_p<130 µm. El proceso tomó 09 alícuotas con 3ml cada una, que fueron llevadas a un agitador magnético por 40 min luego de agregado el carbón activado; Las alícuotas se centrifugaron por 2 min a 5000 rpm durante 2 minutos. Concluyendo que el carbón activado hecho a base de cáscara de yuca genera una reducción en los costos de operación para la remoción de Cr⁶⁺ en aguas residuales que han sido contaminadas con este ion metálico, siendo el equilibrio de adsorción entre 10 y 25 minutos.

Rodríguez, A. et.al., (2017) En su artículo con título “Bioadsorción de Cr⁶⁺ en solución acuosa por la biomasa de amaranto (*Amaranthus caudatus*)”. El objetivo de esta investigación fue analizar la capacidad de remoción de cromo hexavalente en efluentes industriales utilizando el amaranto. La metodología empleada para obtener el amaranto fue de la siguiente forma: el amaranto se lavó 6 veces con abundante agua desionizada, además para eliminar los residuos de materia se tuvo que hervir el amaranto por 1 hora y secarlo en un horno bacteriológico por 12 horas a 80°C, terminada esta operación, el amaranto se molió mecánicamente con una licuadora y se guardó en recipiente de ámbar. Se utilizó una solución de 100 ml compuesta con agua tridesionizada y cromato de potasio, que durante el proceso se ajustó el pH con ácido nítrico (ácido) o hidróxido de sodio (alcalino) ambas a una solución 1M. Concluyendo que el amaranto tuvo una excelente capacidad de adsorción de 1g/l de Cr⁶⁺, donde se utilizó 5g (biomasa) en la incubación de 24 horas a 28°C. Además con 7 días de incubación pudo remover entre el 63% y 72% de un efluente contaminado con este ion metálico utilizando sólo 25 g de biomasa de amaranto, afirmando su alto grado de eficiencia para remediar fuentes de agua contaminadas con Cr⁶⁺.

Luego de examinar algunos artículos y tesis relacionados a la elaboración de este estudio se sugiere tomar en cuenta conceptos que añadan una sustancial información como **teorías relacionadas** a la adsorción de cromo hexavalente con carbón activado modificado con peróxido de hidrogeno.

Carbón Activado es un término utilizado para definir un material rico en carbono con alta porosidad y una extensa área superficial, posee una estructura reticular cristalina similar a la del grafito, pero la estructura es menos perfecta, este material es empleado para tratamientos de aguas contaminadas con iones metálicos como plomo, cobre, cadmio, cromo etc.; mediante el proceso de adsorción (Hanum, Bani y Wirani, 2015, p.2) para continuar Mejía (2004) agrega que el carbón puede ser activado con diversos reactivos químicos que aumenten su capacidad de adsorción ante iones metálicos, con el fin de que estos iones sean retenidos en la superficie interna del carbón compuesta por hidrógeno, oxígeno y carbono (p. 12).

Estructura del carbón activado, está constituida por micro cristales de grafito, conformado por una cadena de anillos aromáticos y formando entre 5 y 15 láminas de planos grafíticos. Los espacios intersticiales entre las láminas aromáticas dan lugar a la creación de poros y la ordenación aleatoria de las capas entrelazadas permitan al carbón activado desarrollar áreas superficiales, haciéndolo atractivo para procesos de adsorción (García y Díaz, 2017, p.18).

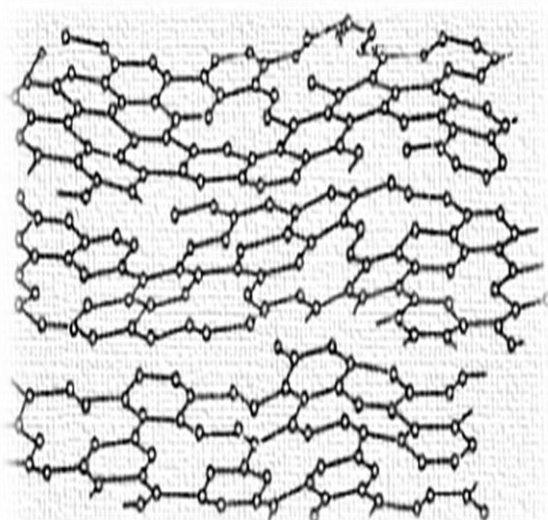


Figura 2: Estructura de las capas planas del grafito

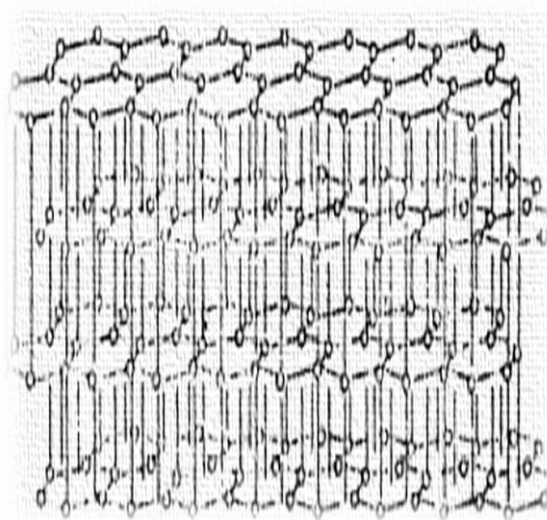


Figura 1: Estructura propuesta de las capas de carbón activo

La Unión internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC) añade que el carbón activado se diferencia de acuerdo al tamaño de sus poros en: macro-poros (entre 50 y 100.000 nm), meso-poros (entre 2 y 50 nm) y micro-poros (menor a 2nm) (p. 920).

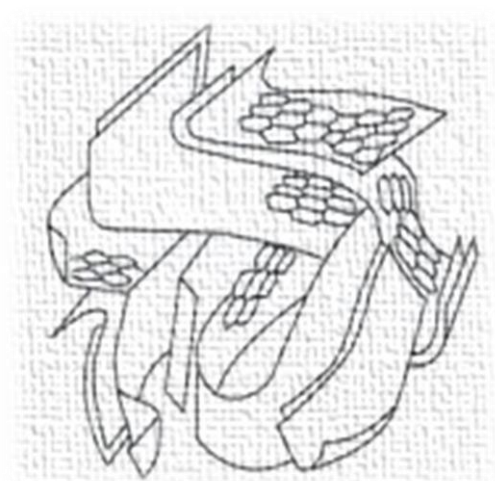


Figura 4: Estructura de carbón activado

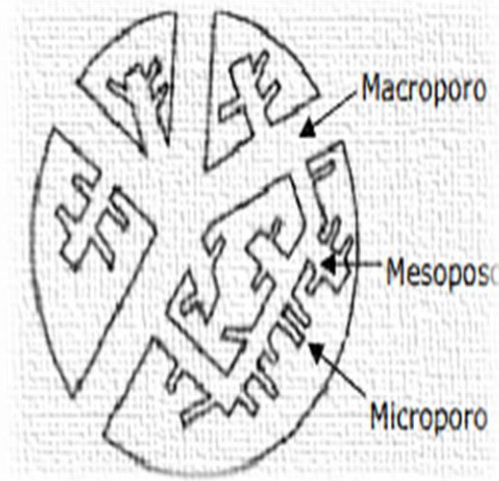


Figura 3: Ramificación del Carbón activado

Forma física del carbón activado, existen diversas formas en la que se encuentra este material adsorbente, es decir que a distintas formas el producto es el mismo, en consecuencia el carbón trabaja con el mismo principio e interviene en diferentes tratamientos para disminuir la concentración de diferentes metales

Carbón activo Pulverizado, este tipo de carbón posee una extensa área superficial, con una estructura porosa constituida por meso-poros y macro-poros; que se utilizan en tratamientos de agua con procesos discontinuos, donde se agrega una determinada dosis al efluente a tratar, para luego ser removido por sedimentación o filtración (Lazo, 2015, p. 41).

Carbón activo Granular, el carbón tiene un tamaño de 0,6 a 4 mm, presenta dos características fundamentales que intervienen para el tratamiento de efluentes: resistencia a la abrasión y su densidad relativa, que acondicionándose pueden soportar distintas operaciones; este tipo de carbón es más costoso comparado con el carbón en polvo y es debido a que no presenta problemas hidrodinámicos, pudiéndose regenerar fácilmente para su reutilización (Manrique, 2013, p. 49)

Carbón activo Peletizado, el carbón se encuentra en forma de cilindro con diámetros idénticos y a distintas longitudes, este material se usa para la purificación de aire o gases; donde se colocan en pequeños filtros que facilitan su purificación (AquaSoft, 2010, p. 7).

La aplicación del carbón activado, este material adsorbente se encuentra en el medio ambiente en diversas formas que facilitan su uso, para Mistar, Musulmán, Alfatah y Supardan (2018) considera que el carbón activado en su forma granular y pulverizada interviene en la catálisis, purificación y recuperación de disolventes e hidrocarburo en medio acuoso a nivel industrial, por otra parte también interviene en los procesos de filtración, decoloración y adsorción de iones metálicos (p. 2). Así mismo Grisales y Rojas (2016) acota que la aplicación del carbón activado también se emplea para almacenar y separar gases; proteger de la radiación en plantas nucleares, desodorizante de alimentos, como filtros de cigarrillos y en la fabricación de plantillas para zapatos, entre otros (p. 25).

Métodos de activación del carbón activado, el carbón es un material de gran versatilidad, ya que de acuerdo a la activación que utilice puede modificar y controlar el tamaño y distribución de sus poros con la finalidad de aumentar la superficie interna del carbón aumentando la capacidad de adsorción. El proceso permite que la superficie del carbón desarrolle una afinidad especial para adsorber contaminantes específicos, como es el caso de la mayoría de iones metálicos como el Cromo, zinc, cadmio y plomo, siendo esta activación de forma química o física (Feng, Zhang y Zhu, 2018, p.2).

Activación física, este proceso es el más utilizado, debido a su bajo costo; esta activación consiste en mezclar el carbón con corrientes gaseosas a temperaturas que van de 800 a 1000 °C, provocando que la estructura del carbón se separe, entre los gases activadores más comunes se encuentra el dióxido de carbono (900°C), aire (600°C) y vapor de agua (1000 °C) (Grisales y Rojas, 2016, p. 22).

Activación química, este proceso suele suceder en vía húmeda, donde se agrega soluciones oxidantes como el hipoclorito de sodio, ácido nítrico, ácido sulfúrico y peróxido de hidrógeno con el fin de crear reacciones que incrementen los grupos funcionales en la superficie del carbón a temperaturas que van de 20° C a 600 °C (Mora, 2010, p. 52).

Modificación química del carbón activado con peróxido de hidrógeno, la superficie del carbón activado actúa como un buen soporte catalítico, por lo que al ser impregnado con el peróxido de hidrógeno, este lo descompone en agua y oxígeno logrando que en la superficie

del carbón, se forme diversos grupos funcionales hidroxilos, carboxilos y fenólicos; ocasionando que la capacidad de adsorción de este material se incremente (Rey, 2010, p.47). Así mismo Xu, Liao, Zheng y Fan (2018) coincide que el peróxido de hidrógeno es un fuerte oxidante que modifica la estructura del carbón incrementando el volumen de sus poros y su área superficial específica, de esta forma produce un alto rendimiento de adsorción antes iones metálicos, e identifica que las variables que intervienen en la modificación son: el tiempo de modificación, la temperatura de modificación y la relación sólido – líquido (carbón activado/peróxido de hidrógeno) (p.3).

Adsorción, es la adhesión o retención de una solución sobre la superficie de un material llamado adsorbente, es decir, que consiste en la captación de componentes químicos, metales pesados y demás sustancias mediante un adsorbente que se encuentra en estado generalmente sólido o líquido, donde la sustancia retenida en la superficie se denomina adsorbato y el sólido que capta las sustancias se denomina adsorbente (Budi, Umiatin, Nasbey, Bintoro, Wulnadari y Erlina, 2018, p.3).

Proceso de adsorción, es un método eficiente para eliminar metales de soluciones acuosas, este tipo de procesos son sencillos y económicos debido a que utilizan residuos del sector agrícola para sus procesos como las cáscaras de coco, naranja, palto y de más vegetales (Mohammad, Shiva y Zahira, 2017, p.2). A esta descripción Ramírez (2016) coincide y afirma que este proceso consiste en captar, adherir o concentrar en la superficie de un sólido las sustancias solubles o disueltas de una solución acuosa como iones metálicos, átomos o moléculas (p.42) finalmente García y Granillo (2017) menciona que en los últimos años el proceso de adsorción se ha vuelto una técnica muy efectiva para remover contaminantes metálicos, donde el empleo del carbón activado destaca más por su alta capacidad de adsorción de metales pesados presente en los efluentes industriales (p. 51).

Capacidad de Adsorción, para Manals, Vendrell y Penedo (2016) considera que la fórmula idónea para determinar la capacidad de adsorción del carbón activado para adsorber iones metálicos debe tener en cuenta las siguientes variables: concentración inicial y final del soluto; la masa del adsorbente y el volumen de la solución (p. 5).

$$q_t = \frac{V(C_i - C_{eq})}{m} \quad (1)$$

Donde C_i es la concentración inicial del contaminante (mg/l), C_{eq} es la concentración en equilibrio en un tiempo t , “V” es el volumen de la solución utilizada en el proceso y “m” es la dosificación en (g) del adsorbente.

Cinética de adsorción, es un método que depende del tiempo, donde determina la rapidez del proceso, con el objetivo de crear un modelo cinético de adsorción y evaluar a los componentes de éste, que son el adsorbato y el adsorbente. Para crear este modelo cinético se considera los modelos de Lagergren de pseudo primer orden y pseudo segundo orden que son comúnmente utilizados para explicar la dinámica de adsorción. (Figueroa, Moreno y Hormoza, 2013, p.7)

A. Modelo de cinética de pseudo primer orden, está representada por la siguiente ecuación:

$$\text{Log } (q_e - q_t) = \log (q_e) - k_1 t \quad (2)$$

Donde k_1 es la constante de velocidad de adsorción de pseudo primer orden (min^{-1}), y q_t y q_e son las cantidades de Cr^{6+} adsorbidos en un tiempo t y en el equilibrio respectivamente. La gráfica que representará este modelo se dará entre el $\text{Log } (q_e - q_t)$ vs t , además los valores de q_e y k_1 , pueden ser determinados a partir del intercepto y la pendiente, respectivamente.

A. Modelo de cinética de pseudo segundo orden, está representada por la siguiente ecuación:

$$\frac{t}{qt} = \frac{1}{k_2 qe^2} + \frac{t}{qe} \quad (3)$$

Donde q_t y q_e son las cantidades de Cr^{6+} adsorbidos en un tiempo (t) y en el equilibrio (mg/g) respectivamente, y k_2 es la constante de velocidad de adsorción de pseudo segundo orden (min^{-1}). La gráfica que representará este modelo se dará entre t/qt vs t , además los valores de q_e y k_1 , pueden ser determinados a partir del intercepto y la pendiente, respectivamente.

Isotermas de Adsorción, es un método para describir la interacción entre el material adsorbente y el contaminante y estimar numéricamente la capacidad de adsorción en el equilibrio. Entre los modelos de isotermas más utilizados para cuantificar la capacidad de

adsorción de los carbones se encuentran los modelos de Langmuir y Freundlich. (Ramírez, Giraldo, Flórez y Acelas, 2016, p. 2)

Modelo de Langmuir, este modelo se plantea diversas suposiciones, entre las que destacan i) La molécula del contaminante ocupa un solo lugar de adsorción sobre la superficie homogénea del adsorbente y ii) Cuando todos los lugares están ocupados el adsorbente se satura y no habrá más adsorción, donde el adsorbato forma una superficie de espesor de una sola molécula (mono capa). El modelo de Langmuir, está representada por la siguiente ecuación:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{Q_m K_L} + \frac{t}{Q_m} \quad (4)$$

Donde C_e y q_e representan la concentración de Cr^{6+} en el equilibrio (mg/l) y la capacidad de adsorción en el equilibrio (mg/g), respectivamente. Además Q_m indica la capacidad máxima de adsorbato (mg/g) adsorbido en el equilibrio cuando el adsorbente está saturado y la constante K_L es proporcional a la energía de adsorción (l/g). La gráfica que representará este modelo se dará entre C_e/q_e vs C_e , donde K_L y Q_m se pueden calcular usando el intercepto y la pendiente respectivamente.

Para determinar si el proceso de adsorción es favorable ($0 < R_L < 1$), lineal ($R_L = 1$), desfavorable ($R_L > 1$) o irreversible $R_L = 0$ se utiliza el factor de separación adimensional, y se representa mediante la siguiente ecuación:

$$R_L = \frac{1}{1 + C_i K_L} \quad (5)$$

Donde R_L es el factor de separación adimensional, K_L es la constante de Langmuir y C_i es la concentración inicial de Cr^{6+} en la solución.

Modelo de Freundlich, este modelo se plantea diversas suposiciones, entre las que destacan i) la energía de adsorción disminuye logarítmicamente con el lineal del número de lugares ocupados en multicapas sobre una superficie heterogénea y ii) No existe límite para la

cantidad de adsorbato que pueda unirse a la superficie del adsorbente. El modelo de Freundlich, está representada por la siguiente ecuación:

$$\text{Log } (Q_e) = \log (K_F) + \frac{1}{n} \log (C_e) \quad (6)$$

Donde K_F es la constante de disociación de Freundlich, la cual presenta altos valores cuando el adsorbato tiene mayor afinidad hacia los lugares de adsorción o enlace y las constantes n es proporcional a la intensidad de reacción. K_F y n se pueden determinar mediante el intercepto y la pendiente de la relación lineal de $\text{Log } (Q_e)$ vs $\text{Log } (C_e)$. Si el R^2 es cercano a 1, describe de manera satisfactoria los datos experimentales. Además los valores de n y $\frac{1}{n}$ brindan información importante sobre la interacción del adsorbato y el adsorbente, si $n = 1$ indica que el proceso de adsorción es lineal, $n > 1$ indica que el proceso es físico y $n < 1$ indica que el proceso es químico.

Superficie de Respuesta, herramienta estadística con la que se determinan la influencia que pueden tener los factores (variables independientes) sobre la respuesta. Esta metodología conlleva a la obtención de una ecuación que genera una superficie de respuesta (Corolla, Sánchez y Montiel, 2009, p. 3)

Diseño Factorial, estos diseños tienen como finalidad estudiar el efecto de varios factores sobre una o varias respuestas. Los factores pueden ser de tipo cuantitativo (temperatura, velocidad, tiempo, humedad, etc.) o tipo cualitativo (máquinas, tipos de material, operador, etc.) (Gutiérrez y De la Vara, 2008, p. 146) de igual forma Montgomery (2007) menciona que para demostrar la interacción de dos o más factores sobre una respuesta se emplea el diseño factorial de dos factores (a y b), donde cada factor puede tener “n” niveles, y como mínimo dos repeticiones ($r \geq 2$) para calcular la varianza, determinando de esta manera “ $a \times b \times r$ ” observaciones durante el experimento. (p.360) Por consiguiente si el estudio contiene dos variables de control con 5 niveles se utilizarán los valores de -2, -1, 0, +1 y +2 para denotar los niveles de muy bajo, bajo, intermedio, alto y muy alto respectivamente; siendo más sencillo ajustar el cálculo del modelo de regresión para determinar si los niveles de cada factor influyen en la variable de respuesta o variable dependiente.

Cromo, es un elemento que se puede detectar normalmente en el medio ambiente como en las rocas, animales, plantas y el suelo. Este tipo de metal se encuentra en formas diferentes,

estas determinan su estado líquido, sólido o gas. Las formas más comunes en las que se encuentra este elemento son como el cromo (0) o metálico, que son utilizados en la fabricación de acero, el cromo (III) y cromo (VI), se emplean en la industria de curtido del cuero, en industrias textiles y cromados, en colorantes, pigmentos, en el tóner para fotocopias y para la preservación de la madera en pequeñas proporciones (Molina, Aguilar, y Cordovez, 2010, p.82).

Nombre	Cromo
Símbolo	Cr
Grupo de la tabla periódica	VI
Número atómico	24
Valencia	2,3,4,5 y 6
Estado de oxidación	+3
Electronegatividad	1.6
Masa Atómica	51.996 g/mol
Punto de fusión	1.857 °C
Punto de ebullición	2.672 °C
Densidad	7.2 g/cm ³
Estructura Cristalina	cúbica centrada en el cuerpo
Aspecto	Plateado metálico.

Tabla 1: Propiedades físicas del cromo

Fuentes ocupacionales de exposición, el origen principal de la exposición al cromo (III) se da en las industrias de curtido de pieles o textileras, las del cromo (VI), se producen en industrias de cromado y ferrocromo. Así mismo la exposición de este metal se encuentra en distintos lugares donde se hayan depositado desechos de cromo como en rellenos sanitarios, confinamientos industriales, fábricas de cementos, en cuerpos de agua que reciban efluentes de industrias de cromado o cromado donde realicen recubrimientos electrolitos con este metal (Escalante y Rivas, 2014.p.24).

Aplicaciones del cromo a nivel industrial, puesto que el cromo posee un alto índice de dureza y resistencia a la corrosión, por ello lo utilizan en diversas industrias como la minería, metalurgia y galvanoplastia. También lo usan en pinturas cromadas como tratamiento antioxidante, sin embargo por su elevado grado de contaminación que éste ocasiona al medio ambiente y a la salud pública, se han llevado a cabo diversas investigaciones que permitan

reemplazar el uso de este material, pero ninguno pudo superar las características fisicoquímicas que este metal posee (Mohammad, Yaakob, Asim y Sopian, 2017, p. 2).

Industria de cromado, esta industria se encarga de modificar las superficies metálicas y no metálicas de un material, con la finalidad de incrementar su dureza, su resistencia a la corrosión y darle un toque decorativo, mediante un proceso electrolítico empleando diversos metales como: cromo, níquel, cadmio, plata, oro y zinc (Olmos y Motto, 2013, p. 14). García y Rodríguez (2016) añade que el recubrimiento electrolítico con cromo emplea una solución acuosa que contiene un anión catalizador, ácido crómico y aditivos especiales que durante el proceso recubren las piezas metálicas, además recomiendan que estas piezas antes de ser sometidas en el proceso deben de ser limpiadas, pulidas, desengrasadas y recubiertas con otra base metálica de hierro, cobre o níquel para un excelente recubrimiento con cromo (p. 21)

Proceso del cromado, este proceso ocurre cuando el cromo se deposita en otro material metálico electroquímicamente mediante una solución líquida que contiene iones básicos como el Cr^{6+} , Cr^{3+} , SO_4^{2-} y algunas soluciones especiales que le dan un aspecto brillante, además de una resistencia a la corrosión y una excelente dureza; normalmente este proceso se realiza como recubrimiento final, ya que anteriormente estas piezas han sido tratadas con otro tipo de recubrimiento metálico, por consiguiente cuando en el tratamiento se aplica a bajos espesores se le denomina cromo decorativo y cuando son espesores altos, cromo duro, todo este proceso ocurre a temperaturas que no sobrepasen a los 60 °C. (Jiménez, 2016, p. 22).

Diagrama de flujo del proceso de cromado

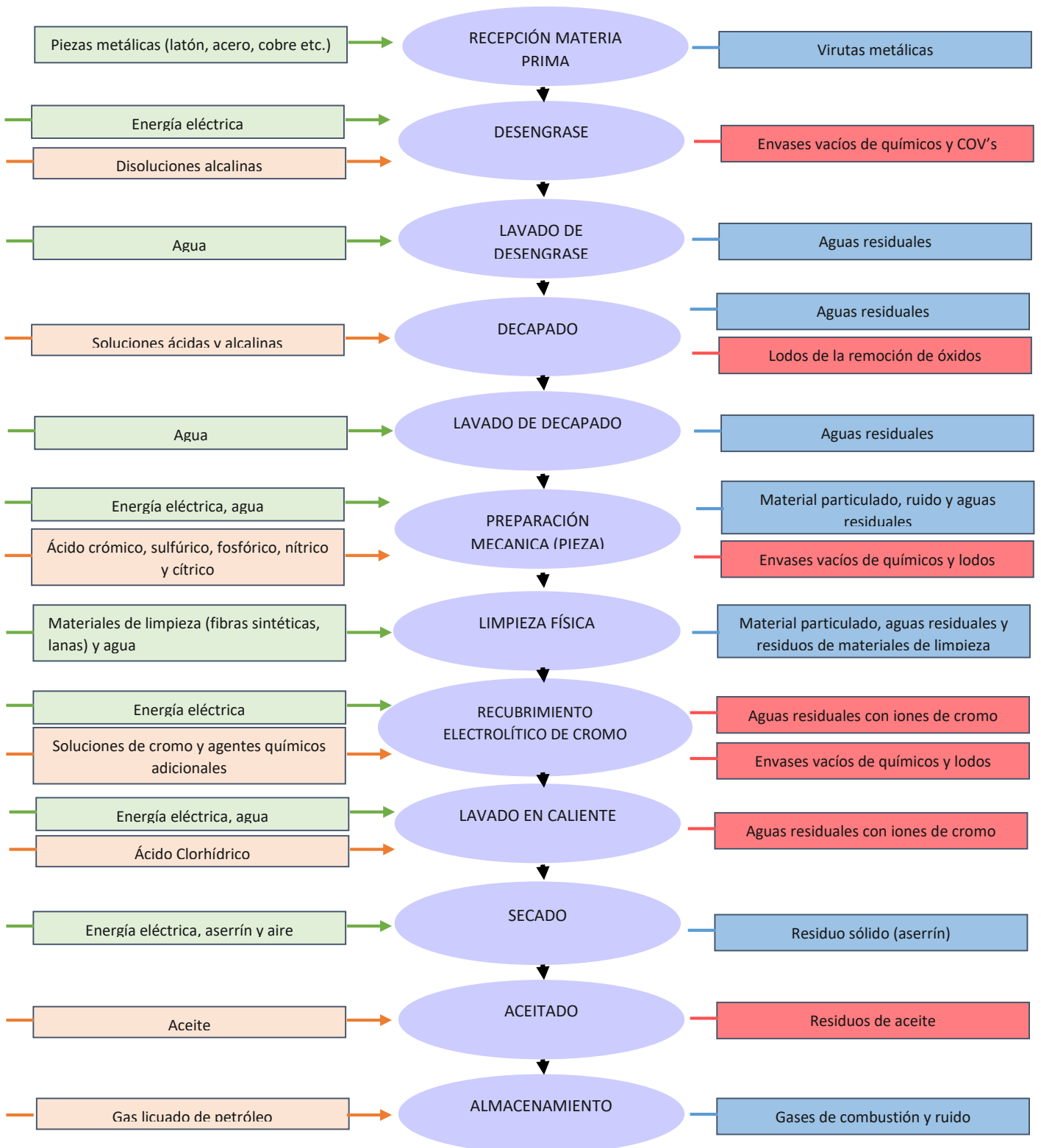


Figura 5: Diagrama de flujo del Proceso de cromado

Efluente de la industria de cromado, es el agua residual que se forma al culminar el proceso de cromado, que normalmente son vertidas a la red de alcantarillado como efluentes cargando en su composición iones metálicos como cromo, zinc, níquel y cobre; además de otras sustancias como ácido nítrico, ácido fosfórico e hidróxido de sodio (Wulan, Cahyaningsih y Djaenudin, 2017, p.2) a su vez Chávez (2008) añade que los efluentes de la industria de cromado que son vertidos a la red de alcantarillado sanitario contienen iones cromato (CrO_4^{2-}) e iones dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$), las cuales se transforman en cromo hexavalente por un proceso de oxidación, ocasionando severos daños al medio ambiente (p.3).

Toxicidad del cromo en el medio ambiente, Deng, Liang, Li y Zhu (2016) sostienen que el cromo es uno de los iones metálicos más tóxicos que genera severos daños al medio ambiente debido al desarrollo industrial que ha logrado el hombre hasta la actualidad; por lo general el cromo tiene dos estados de oxidación en grandes cantidades que son el Cr^{6+} y el Cr^{3+} (p.2), sin embargo si nos enfocamos en su alta toxicidad y basado en estudio epidemiológicos, el Cr^{6+} es 300 veces más tóxico que el Cr^{3+} (International Agency for Research on Cancer, 1987, p. 166). Así mismo Romero (2004) afirma que el metabolismo de los seres vivos permite asimilar el cromo de forma más rápido, en la fauna acuática la ingestión se produce por vías respiratorias, por la superficie corporal y por ingesta de alimentos, una vez en el organismo este puede ser transformado, expulsado o bioacumulado en los órganos internos, ocasionando anomalías en su desplazamiento, equilibrio, crecimiento y alterando su ciclo reproductivo (p.19) por otro lado Díaz (2012) menciona que la acumulación del cromo en las plantas ocasiona la inhibición de la fotosíntesis, la clorosis (daños en la clorofila) y reducción del crecimiento de la planta debido a no captar micronutrientes (p. 46).

Efectos sobre cuerpos receptores de agua, El aumento de uso de metales y soluciones químicas durante los procesos industriales han generado grandes cantidades de aguas residuales que son descargados directamente a un cuerpo de agua produciendo daños severos a la vida acuática y eliminando microorganismos biológicos. Las sales de estos iones metálicos son solubles en agua, por ello no pueden separarse por métodos ordinarios.

Efectos sobre la red de alcantarillado, Los efluentes de la industria de cromado son lanzados directamente a la red de alcantarillado, donde la presencia de estos metales acelera el deterioro de las tuberías y construcciones.

Efectos adversos sobre la salud humana, El contacto directo del hombre con niveles muy altos de Cr^{6+} , puede generar efectos perjudiciales en la salud por ser fuertes agentes oxidantes. Este metal se puede contraer por inhalación y contacto dérmico, por ingestión de agua o alimentos contaminados provocando irritación al tracto respiratorio, ulceraciones, perforación del tabique nasal o cáncer, incluso la muerte (Tejada, 2017, p.26).

Sistema respiratorio	Irritación de la nariz Ataques de asma
Tracto gastrointestinal	Diarrea Sangre en las heces Colapso cardiovascular Necrosis hepática y renal Vómitos muerte
Sentido de la vista	Conjuntivitis Lagrimeo Dolor Infecciones
La piel	Ulceras penetrantes y profundas
Cáncer	Cáncer de pulmón

Tabla 2: Efectos del Cromo sobre la salud humana

Valores Máximos Admisibles (VMA), Según SEDAPAL (2019) menciona que las empresas que viertan sus efluentes no domésticos a la red de alcantarillado sanitario, deben tener en cuenta que las concentraciones de sus elementos, sustancias y parámetros no deben sobrepasar los Valores Máximos Admisibles establecidas mediante D.S. N° 010-2019-Vivienda.

Después de presentar las teorías relacionadas que incluye la realidad problemática, se planteó el **problema general:** - ¿Cuál es la eficiencia en la adsorción con carbón activado modificado para remover Cr^{6+} presentes en los efluentes de la industria de cromado, Lima 2018-2019?, A partir de ello se pudo definir los siguientes problemas específicos: - ¿Cuál es la eficiencia de utilizar distintas dosis de carbón activado modificado para remover el Cr^{6+} presente en el efluente de la industria de cromado? - ¿Cómo influye la variación de la acidez del efluente para remover el Cr^{6+} mediante la adsorción con Carbón activado modificado?

De acuerdo a lo descrito, se plantea la siguiente **justificación teórica**, el carbón activado y modificado con diversos aditivos naturales o Químicos pueden utilizarse para tratar efluentes con altas concentraciones de Cr^{6+} , donde distintos estudios con diferentes fuentes demuestran que el carbón permite adsorber este ion metálico, la explicación de este suceso se da por la formación de una estructura similar al Ester crómico, formado en la superficie del carbón. Como es conocido el carbón es activado con peróxido de hidrogeno el cual puede formar grupos funcionales hidroxilo los cuales reaccionan con el complejo de Cr^{6+} lo que garantiza su adsorción y sirve de base para estudios estructurales que relacione el carbono con el complejo de cromo, lo cual hizo de los resultados predecibles y exitosos. (Ksakas et al., 2015, p.5)

Del mismo modo se propone la **justificación metodológica** de la investigación, siendo esta cuantitativa-experimental. La acidez del medio fue el marco que delinea nuestro diseño de experimentos, esto debido a que los efluentes encontrados con presencia de Cr^{6+} en condiciones ambientales tenían un $\text{pH} = 4.5$, sin embargo al preservarlos a 4°C , la acidez del efluente disminuyó a $\text{pH} = 1.5$. Como consecuencia en los experimentos se modificó la acidez del efluente a magnitudes de pH de 1 - 5. Así mismo la masa del carbón fue otra variable de control durante la experimentación, la cual fue fijada basada antecedentes de previos de otras investigaciones, de este modo se consideró las diferentes cantidades de masa en un intervalo de 1g – 5 g. La modificación del carbón activado se realizó con el peróxido de hidrógeno con el fin de producir grupos funcionales afines con el complejo de Cr^{6+} .

En la actualidad la eliminación del Cr^{6+} sucede mayormente por el proceso de coagulación y precipitación formando lodos con concentraciones elevadas de cromo, esta solución parcial que son empleadas en la reducción de Cr^{6+} no resuelve el problema ambiental como si lo hace la adsorción; por ello se detalla mediante la **justificación tecnológica** el uso de distintos materiales naturales es como las arcillas, zeolitas e hidrotalcitas que son otro ejemplo de mineral estudiado para la eliminación de cromo, puesto que tienen una estructura compleja con espacios o intercapas que contienen un elevado número de aniones intercambiables, característica que los convierte en buenos materiales adsorbentes e intercambiadores iónicos para aniones de Cr^{6+} (López, 2013, p.60). Así mismo Lavado, Sun y Recuay (2012) agrega que el carbón es un mineral natural que posee características favorables para la adsorción debido a que tiene una extensa área superficial, con distintos grupos funcionales en su superficie, que lo convierten en un extraordinario material adsorbente para remover distintas

sustancias orgánicas como aminas, fenoles, pesticidas o nitratos, y diversos iones metálicos presentes en soluciones acuosas como Fe^{2+} , Co^{2+} , Hg^{2+} , As^{3+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} y Cr^{6+} (p.23). Usualmente los efluentes que contienen Cr (VI) tienen un carácter ácido, por lo que la adsorción propuesta conlleva a emplear pH debajo de 7 para evitar adicionar reactivos químicos extras al efluente. Esta tecnología es simple de ensamblaje y atractivo para una solución rápida de control de Cr^{6+} en medio acuoso.

El costo envuelto en el desarrollo de un proceso determina si su inversión es económicamente viable, por ello se describirá la **justificación económica**, donde algunos autores brindaran su sustento sobre métodos que reduzcan la concentración de Cr^{6+} a bajo costo. Para Vargas, Carriazo y Castillo (2011) consideran que para remover metales pesados de efluentes industriales los métodos más comunes son la precipitación, la óxido-reducción y el intercambio iónico, sin embargo estos métodos presentan deficiencias, tales como: formación de lodos, que necesitan tratamientos adicionales, remoción incompleta de metales y elevados costos de operación. En los últimos años el proceso de adsorción se ha convertido en un eficiente método alternativo para remover diversos iones metálicos, en la que emplean una variedad de materiales adsorbentes como zeolitas, arcillas, carbón activado, alúmina y diferentes componentes orgánicos a un costo muy económico (p.2). Así mismo Lavado, Sun y Recuay (2012) menciona que los materiales con alto contenido lignocelulósicos son ideales para preparar carbones activados, tales como cáscara de coco, naranja, palto, pepas de aceituna, etc. que son considerados actualmente desechos agrícolas. (p.23).

De acuerdo a nuestro problema general y específico se planteó la siguiente **hipótesis general**: La Adsorción con carbón activado modificado es eficiente para remover el Cr^{6+} presentes en la industria de cromado, Lima 2018 – 2019. A partir de ello suscitó como **hipótesis específicas**: - La remoción de Cr^{6+} se incrementa conforme aumenta las dosis de carbón activado modificado en el proceso de adsorción. –La remoción de Cr^{6+} aumenta conforme disminuye el pH del efluente en el proceso de adsorción con carbón activado modificado. Finalmente se determinó como **objetivo general**: - Evaluar la eficiencia de adsorción del carbón activado modificado para remover el Cr^{6+} presente en los efluentes de la industria de cromado, Lima 2018-2019. Y como **objetivos específicos**: - Determinar la mejor cantidad de masa de carbón activado modificado para remover el Cr^{6+} presente en el efluente de la industria de cromado. – Determinar el pH idóneo del efluente para remover la mayor cantidad de Cr^{6+} en el proceso de adsorción con Carbón activado modificado.

II. Método

2.1. Tipo y Diseño de investigación

Este proyecto de Investigación es de tipo aplicada, puesto que enfocará en determinar si el carbón activado modificado con peróxido de hidrógeno remueve el Cr^{6+} presentes en los efluentes de la industria de cromado, teniendo como base diferentes investigaciones relacionadas e este fin. Teniendo en cuenta este concepto Tam, Vera y Oliveros (2008) consideran que este tipo de investigaciones tienen como objetivo crear nuevas tecnologías a partir de los conocimientos adquiridos a través de las investigaciones anteriores para determinar si éstos pueden ser útilmente aplicados con o sin mayor refinamiento para los propósitos definidos. (p. 3)

Además este estudio tiene un nivel de investigación explicativo, ya que mediante otras investigaciones vinculadas pretende explicar la influencia del carbón activado modificado para remover el Cr^{6+} , y de esta manera acercarnos a la solución del problema determinando las causas probables que demuestren y consoliden los resultados obtenidos en la investigación.

El diseño de investigación aplicada en este estudio es experimental, ya que para determinar los resultados se realizarán procedimientos experimentales en un laboratorio, en la cual se manipularan ciertas variables con el fin de encontrar los parámetros adecuados para encontrar la máxima remoción de Cr^{6+} durante el estudio.

2.2. Variables y Operacionalización de variables

2.2.1. Variables

V1: Adsorción con carbón activado modificado

Se utilizó diferentes dosis de carbón activado modificado con H_2O_2 en 100 ml de efluente llevados a distintos pH, considerando parámetros constantes como velocidad de agitación y tiempo de operación de 300 rpm y 80 minutos respectivamente a temperatura ambiente

V2: Remoción de Cromo Hexavalente

Se utilizó el Espectrofotómetro UV visible para calcular las concentraciones finales de Cr^{6+} de cada uno de los tratamientos, para después compararlo con la concentración inicial de este ion del efluente sin tratar, de este contraste se obtuvo el porcentaje de remoción de cromo hexavalente del proceso de adsorción.

2.2.2. Operacionalización de Variables

VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO	ESCALA DE MEDICIÓN
REMOCIÓN DE Cr ⁶⁺	Acosta, Cárdenas, Alvarado y Moctezuma (2008) manifiestan que los efluentes con elevadas concentraciones de cromo pueden removerse mediante métodos de reducción, intercambio iónico, electrocoagulación, precipitación química y adsorción; siendo este último favorable económicamente” (p.2).	El efluente que se extrajo como muestra de la industria de cromado contiene 340 mg/l de cromo hexavalente, para realizar este proceso se empleará el método de adsorción, donde se utilizarán distintas dosis de masa de carbón activado modificado impregnado con peróxido de hidrogeno (1,2,3,4,5gr) a distintos pH (1,2,3,4,5), con la finalidad de remover el Cr ⁶⁺ presentes en los efluentes de la industria de cromado.	Variación de la Concentración	Concentración inicial	Espectrofotómetro UV Visible	mg/l
				Concentración final		
			VARIABLE INDEPENDIENTE			Capacidad de Adsorción
Volumen	Probeta graduada	ml				
				Concentración	Espectrofotómetro UV Visible	mg/l
VARIABLE INDEPENDIENTE			DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO	ESCALAS DE MEDICIÓN
ADSORCIÓN CON CARBON ACTIVADO MODIFICADO (C.A.M)	Manrique (2013), considera que el carbón activado, posee una configuración a base de carbono, con altos niveles de porosidad y extensa área superficial, obteniendo buena capacidad de adsorción frente a iones metálicos (p. 2) mismos que pueden ser modificados con hipoclorito de sodio, ácido nítrico y peróxido de hidrógeno con el fin de crear reacciones que incrementen los grupos funcionales en la superficie del carbón activado a temperaturas que van de 20 a 100 °C (Mora, 2010. 52p)	El carbón activado comercial granulado, se impregnará con la solución de peróxido de hidrógeno al 50% p/v a temperatura ambiente con un tiempo de impregnación de 3 horas, luego se secará por 1 hora a 25°C, para luego ser empleado en el proceso de adsorción en donde se tomarán distintas masas de carbón activado y se manipulara el pH del efluente. Finalmente los resultados se analizaran en el Espectrofotómetro UV visible, que mediante los valores de absorbancia determinaremos las concentraciones removidas en cada muestra tratada.	Condiciones de modificación del carbón	Concentración de H ₂ O ₂	experimento laboratorio	% p/v
				Tiempo de reacción	cronómetro	min
				Temperatura	Termómetro	°C
			Condiciones de operación de la Adsorción	masa CAM	balanza analítica	g
				pH efluente	pH metro	0-14
				Tiempo operación	cronómetro	min
				Agitación	Agitador magnético	rpm

Tabla 3: Operacionalización de Variables

2.3. Población y muestra

2.3.1. Población

La población en estudio lo conforma toda el agua residual proveniente de los procesos de recubrimiento electrolítico de la Industria de cromado, que según diversos estudios similares estos efluentes contienen altas concentraciones de Cr^{6+} , y se reconocen fácilmente ya que el efluente presenta un color de tono amarillento verdoso debido a los iones dicromato y cromato. En la industria donde se está llevando a cabo el estudio se determinó que aproximadamente generan 1000 litros de efluente semanalmente que son directamente vertidos a la red de alcantarillado.

2.3.2. Muestra

Para la muestra se efectuó el recojo 50 litros de efluente de la Planta de procesos de la Industria de Cromado para 02 etapas, la primera etapa se realizó caracterización del efluente en el laboratorio para determinar la concentración exacta de cromo total y cromo hexavalente presentes; en la segunda etapa, de la experimentación en el laboratorio se realizaron 25 experimentos con cuatro (04) repeticiones para evaluar la eficiencia de utilizar carbón activado a diferentes medios de acidez. Considerando los procedimientos descritos en el Protocolo para el muestreo de efluentes y cuerpos receptores en el marco de la autorización sanitaria de vertimiento para Cromo hexavalente las muestras recogidas se preservaron a una temperatura de 4°C.

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

2.4.1. Técnicas de recolección de datos

Según Montgomery (2010) menciona que la observación es un método sistemático, válido y confiable que sirve para calificar los comportamientos y las diferentes situaciones observables en categorías y subcategorías que requiera el estudio para su análisis (p. 260)

Considerando el aporte de Montgomery, los datos obtenidos durante la experimentación fueron llenados en una ficha de observación que sirvió para estimar y cuantificar los resultados, además los equipos como el espectrofotómetro UV visible, pH metro y la balanza analítica fueron los que más aportaron para la obtención de los datos experimentales.

2.4.2. Instrumento de recolección de datos

Los instrumentos de recolección de datos, utilizados durante la experimentación son los equipos como el Espectrofotómetro UV visible que determinó las concentraciones de Cr^{6+} , el pH metro que determinó el pH del efluente, la balanza analítica que determinó las cantidades de masa del carbón activado modificado, considerados para el proceso de Adsorción.

INSTRUMENTO	MARCA/MODELO	ETAPA
Espectrofotómetro UV visible	TERMOF ISHER/SG 10S UV VIS	Determinación de las concentraciones de Cr^{6+}
pH metro	HANNA/HI 8424	Regulación del pH del efluente
Balanza analítica	SARTORIUS	Pesaje de las cantidades de masa del Carbón activado modificado

Tabla 4: Instrumentos de recolección de datos

2.4.3. Validez

2.4.3.1. Validez del instrumento

La validación de los instrumentos que se utilizarán durante la ejecución de nuestro proyecto de investigación se realizará mediante sustento bibliográfico de autores que hayan utilizado los mismos instrumentos durante el desarrollo de sus investigaciones.

Espectrofotómetro UV visible

Según Londolani, et al. (2018), hicieron uso del espectrofotómetro UV visible T80 para determinar la concentración de Cr (VI) en su estudio sobre “Adsorptive Removal of Hexavalent Chromium by Diphenylcarbazide-Grafted Macadamia Nutshell Powder” (p. 3). Así mismo Guangzhou, et al. (2012) en su estudio sobre el “Effect of modification with nitric acid and hydrogen peroxide on chromium (VI) adsorption by activated carbon fiber” usó el Espectrofotómetro UV visible para obtener el espectrograma y la concentración de Cr^{+6} haciendo uso del acomplexante difenilcarbazida. (p. 2). Finalmente Attia, A. et al (2010) en su estudio sobre la “Adsorption of Chromium (VI) by acid activated carbon” donde empleó el espectrofotómetro UV visible Perkin Elmer modelo 550S utilizando 1.5 difenilcarbazida en un medio ácido, para determinar los iones de Cr^{6+} , donde la absorbancia se midió a $\lambda = 540 \text{ nm}$ (APHA, 1985) de longitud de onda (p. 2).

Potenciómetro

Según Granados, Bonifacio y Serrano (2009) emplean el potenciómetro digital Cole-Parmer modelo 05669-20 con electrodo combinado de vidrio para determinar el pH de las soluciones acuosas en su “Estudio cinético y termodinámico de la adsorción de Cr^{6+} presente en solución acuosa sobre fosfato de calcio sintético” (p.203). Además Uechi (2016) en su “Estudio del proceso de adsorción de cadmio y cromo presentes en soluciones acuosas utilizando carbones activados modificados” empleó el potenciómetro digital WTW Series modelo PH730 para regular el pH de las soluciones diluidas (p.21). Finalmente Aranda (2010) emplea el uso del Potenciómetro OAKTON, ACOM SERIES para medir el pH de las muestras de soluciones con cromo y níquel en su estudio sobre la “Biosorción de cromo y níquel por la cáscara de la bellota de encino (*Quercus crassipes* Humb. & Bonpl.)” (p. 58).

Turbidímetro

Según Núñez (2017) en su estudio sobre la “Validación de métodos de ensayo para la determinación de compuestos fenólicos y turbidez en agua para el laboratorio de la refinería Esmeraldas” utilizó el Turbidímetro MICRO 1000IR para determinar la turbidez de las muestras (p.25). Así mismo Andrade y Rodríguez (2013) utilizaron el Turbidímetro digital HANNA para determinar la turbidez de muestras de aguas contaminadas con cromo en el estudio sobre el “Efecto de la presión y concentración en el porcentaje de rechazo para aguas contaminadas con cromo por osmosis inversa a nivel de laboratorio” (p. 47). Finalmente Bruzual y Ochoa (2014) en su estudio sobre el “Efecto inhibitorio de cromo, cloruro y sulfuro en bacterias aeróbicos degradadoras de glucosa” emplearon el Turbidímetro ORION AQ 4500 para determinar la turbidez de las aguas residuales (p. 42).

2.4.3.2. Validación de los resultados

Para validar los resultados, los equipos como el pH metro y la balanza analítica fueron calibradas antes y después de cada lectura recogida, con respecto al Espectrofotómetro UV visible la longitud de onda utilizada fue de 540 nm y para determinar el Cr^{6+} se construyó una curva de calibración que se almacenó en el memoria del equipo para iniciar con las respectivas lecturas y recolección de datos.

2.5. Descripción del procedimiento

2.5.1. Recolección del efluente

Espinal (2017) considera que para la extracción de muestras de un efluente, se tiene que seguir una serie de procedimientos según el Protocolo para el muestreo de efluentes y cuerpos receptores en el marco de la autorización sanitaria de vertimiento, con la finalidad de asegurar la composición y calidad de las muestras (p.24).

Según Muestreo de efluentes y cuerpos receptores en el marco de la autorización sanitaria de vertimiento publicada por la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) la manipulación y preservación de muestras de trazas de metales sigue el siguiente procedimiento: Se utiliza frascos de plástico con tapa y limpios, durante el muestreo, el frasco se enjagua por lo menos tres veces con la muestra, luego el frasco lleno se almacena en un contenedor a 4°C aprox., adicionando 1.0 ml de ácido nítrico concentrado, para ser llevado de inmediato al laboratorio; además se identifica el lugar, fecha y hora de muestreo, tipo de muestra, responsable del muestreo y otras observaciones adicionales. Con respecto a la preservación de muestras con cromo hexavalente no necesita ser añadido por ningún preservante, sólo su refrigeración a 4°C. (Anexo N°8, p. 22)

2.5.2. Modificación del carbón activado

Este proceso se realizó en el laboratorio de Biotecnología de la Universidad César Vallejo, el procedimiento consiste en tratar el carbón activado comercial granulado, el cual fue lavado con agua destilada y secado a una temperatura de 80° C por 24 horas hasta conseguir un peso constante, posteriormente se impregnó el adsorbente empleando el H₂O₂ a 200 volúmenes en relación de 1:1 [masa carbón activado (g), volumen agente activante (ml)] por un periodo de 3 horas a temperatura ambiente.

2.5.3. Determinación de Cromo hexavalente en el Espectrofotómetro UV Visible

Para determinar la concentración inicial de Cromo total (APHA 3500 CR-B: 2017) y Cr⁶⁺ (EPA 7196^a:1992) de la muestra recogida de la Industria de Cromado y las muestras obtenidas de cada tratamiento en el proceso de adsorción con diferentes dosis de carbón activado utilizando 100 ml de efluente a diferente pH, se empleó el Espectrofotómetro UV-Visible modelo SG 10S UV VIS a una longitud de onda de 540 nm. Donde se realizó una serie de procedimientos para su determinación como se muestra a continuación: Se preparó una solución estándar de Cr⁶⁺ de 132 mg/l, pesando 0.374 g de Dicromato de

potasio ($K_2Cr_2O_7$), luego se llevó a una estufa a $105^\circ C$ por 1 hora para eliminar la humedad, en seguida se aforo en una fiola de 1000 ml previa adición de ácido nítrico (HNO_3) hasta un $pH < 2$. De esta solución se tomó 1.5 ml de la solución Estándar y se aforó en una Fiola de 100 ml, obteniendo una concentración de 2mg/l. Además se preparó reactivos como: El ácido sulfúrico (1:1), donde mezclo 5 ml de H_2SO_4 del 98% con 5 ml de agua desionizada para obtener 10 ml de H_2SO_4 al 50% p/v. Y 1.5 – Difenilcarbazida, donde se pesó 50 mg de difenilcarbazida y se mezcló con 10 ml de acetona para obtener 1.5 esta solución.

2.5.4. Proceso de adsorción con carbón activado modificado con H_2O_2

La adsorción de Cr^{6+} en carbón activado modificado con peróxido de hidrógeno 50% p/v, se experimentó con diferentes masas de Carbón (1g, 2g, 3 g, 4g y 5g) a diferente pH del efluente para obtener magnitudes de (1, 2, 3, 4 y 5), tomando de referencia el diseño factorial de 2^K factores donde se llevará a cabo 25 (5x5) experimentos con cuatro (04) repeticiones cada una, haciendo un total de 100 observaciones, para los cuales se cuantificaron las concentraciones finales con el espectrofotómetro UV visible.

2.5.5. Materiales y equipos necesarios para el proceso

Materiales		Equipos	Reactivos
Vaso precipitado	Papel filtro N°42	pH metro	Peróxido de hidrógeno
Tubos de ensayo	Bagueta	Agitador magnético	Hidróxido de sodio
Matraz de Erlenmeyer	Balanza analítica	Espectrofotometría UV visible	Dicromato de potasio
Soporte universal	Fiola	Espectrómetro Absorción Atómica	Ácido sulfúrico
Pipetas	Propipeta	Turbidímetro	Acetona
Luna de reloj	embudo	Estufa	Difenilcarbazida
Espátula	Gradilla	Campana extractora	Ácido nítrico

Tabla 5: Materiales y Equipos utilizados en los tratamientos

2.5.6. Diagrama de Análisis de Procesos (D.A.P)

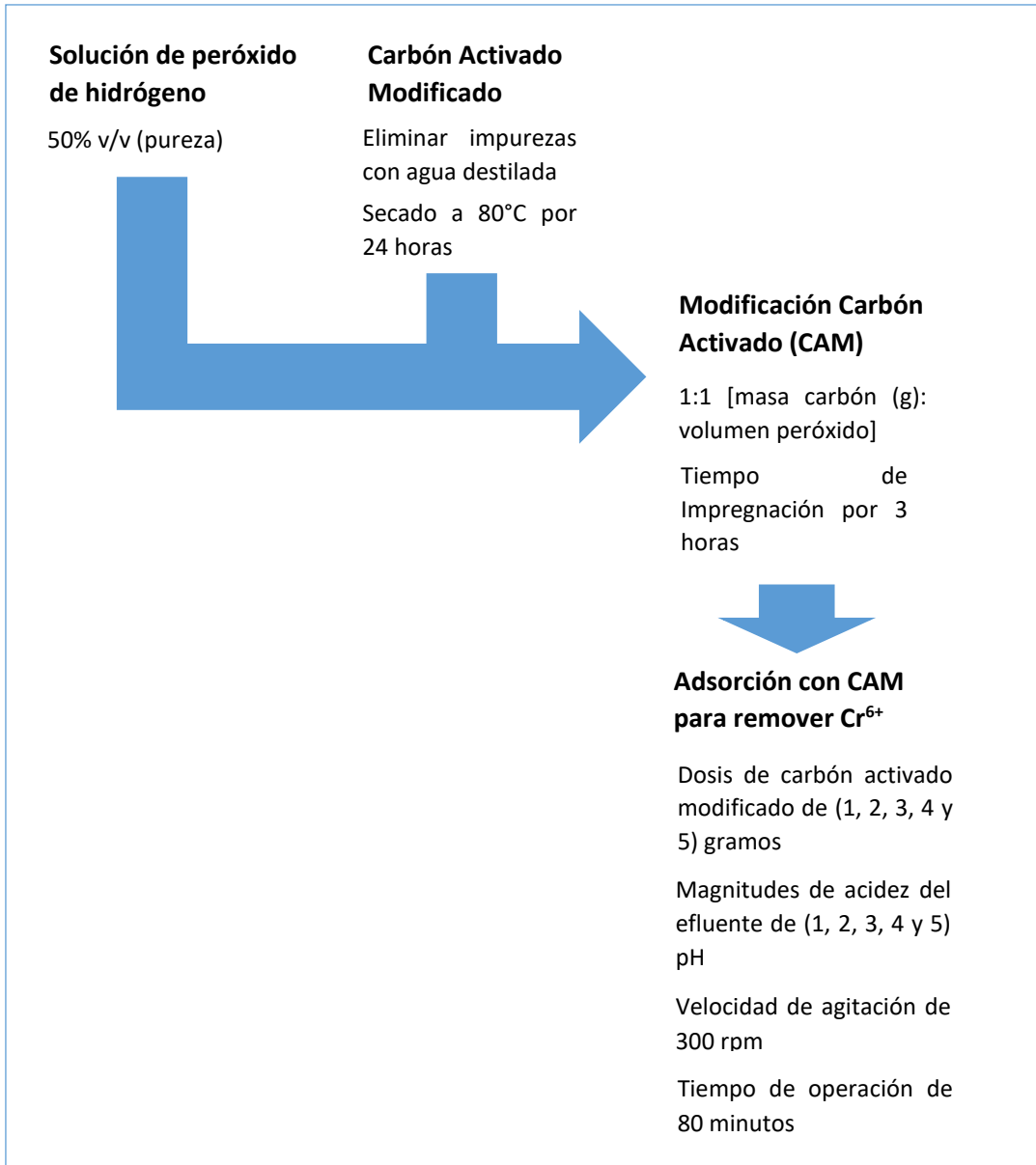


Figura 6: Diagrama de Análisis del Proceso de Adsorción DAP

2.6. Métodos de análisis de datos

El método estadístico que se utilizará para el análisis de datos será el análisis de varianza (ANOVA), con la Prueba-F (distribución de Fisher). Así mismo se utilizará el diseño factorial de 2 factores para investigar todas las posibles combinaciones y así determinar su influencia sobre la variable de respuesta, mediante un modelo matemático de regresión.

2.7. Aspectos éticos

Nuestro compromiso como investigadores con la empresa fue importante en todo el desarrollo del proyecto de investigación, primero porque toda la información, material fotográfico y el efluente utilizado en todas las etapas del estudio, sólo fue expuesto a la información necesaria para salvaguardar la identidad de la empresa, puesto que ante una entidad fiscalizadora del medio ambiente ellos se verían perjudicados, por no regirse a la norma que establece los valores máximos admisibles para vertimientos de efluentes al sistema de red de alcantarillado, respetando de esta manera su privacidad y prestigio; segundo como estudiantes tenemos un compromiso con nuestra Universidad César Vallejo, la que nos lleva a respetar los lineamientos de la política adoptada por esta prestigiosa entidad académica, asegurando que los resultados obtenidos en esta investigación sean veraces y confiables. Además los programas de MathCAD 15 y las hojas de cálculo de Excel tienen permiso de uso por derechos de autor.

III. Resultados

La Tabla 06 muestra las características fisicoquímicas del efluente de la Industria de Cromado, contrastadas con los Valores Máximos Admisibles (VMA) norma que regula las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, establecidas según Decreto Supremo 010-2019-Vivienda.

Parámetros	Mediciones	Valores Máximos Admisibles (VMA)
pH	4.32	6 - 9
Turbidez	34.6	NR
Cromo Total	1173.68 mg/l	10 mg/l
Cromo Hexavalente	364.4 mg/l	0.5 mg/l

Tabla 6: Características Fisicoquímicas del efluente de la Industria de Cromado

Se observa en la siguiente tabla que los parámetros de cromo total y cromo hexavalente no se ajustan a la norma, por ende presenta el incumplimiento de la norma establecida según Decreto supremo 010-2019-Vivienda.

La tabla 07 presenta los parámetros que se consideraron y los resultados que se obtuvieron al efectuar los tratamientos elaborados con el diseño factorial de dos factores con 5 niveles cada uno. Se observa que el carbón activado modificado con peróxido de hidrógeno actúa eficientemente para remover Cr^{6+} a pH ácidos sin embargo la máxima remoción del 99.69% se presenta utilizando un $\text{pH} = 1$, además se muestra que aumentando las dosis de carbón se incrementa la remoción de Cromo hexavalente. La adsorción entre los iones de Cr^{6+} y la superficie de carbón se debe a que en el carbón se encuentran grupos funcionales (hidroxilos y carboxílicos).

Parámetros de la Adsorción		Concentración inicial mg/l	1° REPETICIÓN		2° REPETICIÓN		3° REPETICIÓN		4° REPETICIÓN		PROMEDIO
Dosis de CAM	pH efluente		Concentración final mg/l	%remoción	Concentración final mg/l	%remoción	Concentración final mg/l	%remoción	Concentración final mg/l	%remoción	
1	1	364.4	106.15	70.87	89.97	75.31	111.89	69.30	107.19	70.58	71.52
2	1	364.4	5.04	98.62	12.74	96.50	39.22	89.24	31.79	91.28	93.91
3	1	364.4	6.48	98.22	4.39	98.80	2.69	99.26	2.69	99.26	98.88
4	1	364.4	1.78	99.51	2.17	99.40	2.17	99.40	1.65	99.55	99.47
5	1	364.4	1.13	99.69	1.39	99.62	1.52	99.58	1.13	99.69	99.65
1	2	364.4	182.33	49.96	188.34	48.32	178.03	51.14	187.55	48.53	49.49
2	2	364.4	121.80	66.57	119.32	67.25	107.58	70.48	106.67	70.73	68.76
3	2	364.4	74.32	79.61	76.79	78.93	63.10	82.68	58.92	83.83	81.26
4	2	364.4	39.48	89.16	38.18	89.52	38.57	89.42	42.48	88.34	89.11
5	2	364.4	28.39	92.21	24.74	93.21	25.79	92.92	25.52	93.00	92.83
1	3	364.4	184.68	49.32	159.24	56.30	185.86	49.00	188.86	48.17	50.70
2	3	364.4	130.67	64.14	134.07	63.21	167.72	53.97	170.59	53.19	58.63
3	3	364.4	118.80	67.40	111.89	69.30	106.28	70.83	114.89	68.47	69.00
4	3	364.4	104.06	71.44	93.88	74.24	105.23	71.12	103.93	71.48	72.07
5	3	364.4	89.71	75.38	73.27	79.89	79.79	78.10	67.79	81.40	78.69
1	4	364.4	132.89	63.53	127.41	65.04	99.49	72.70	115.28	68.36	67.41
2	4	364.4	99.10	72.80	106.54	70.76	110.06	69.80	112.28	69.19	70.64
3	4	364.4	70.40	80.68	82.66	77.31	67.01	81.61	89.71	75.38	78.75
4	4	364.4	85.14	76.63	66.49	81.75	73.40	79.86	64.27	82.36	80.15
5	4	364.4	44.96	87.66	53.05	85.44	51.36	85.91	46.66	87.20	86.55
1	5	364.4	173.20	52.47	202.69	44.38	197.86	45.70	177.12	51.40	48.49
2	5	364.4	184.16	49.46	194.21	46.71	180.51	50.46	168.51	53.76	50.10
3	5	364.4	165.51	54.58	159.50	56.23	148.28	59.31	118.54	67.47	59.40
4	5	364.4	117.50	67.76	122.72	66.32	136.15	62.64	127.02	65.14	65.46
5	5	364.4	87.23	76.06	85.93	76.42	92.58	74.59	89.19	75.52	75.65

Tabla 7: Resultados del proceso de Adsorción para remover Cr6+ en los efluentes de la industria de cromado

En la Figura 7 se observa que se incrementa el porcentaje de remoción de Cr^{6+} , cuando se utiliza más dosis de carbón, obteniendo valores altos de remoción utilizando 5 gr. Sin embargo la más alta remoción se da a un $\text{pH}=1$ con 5g, considerando una velocidad de agitación =300 rpm por 80 minutos.

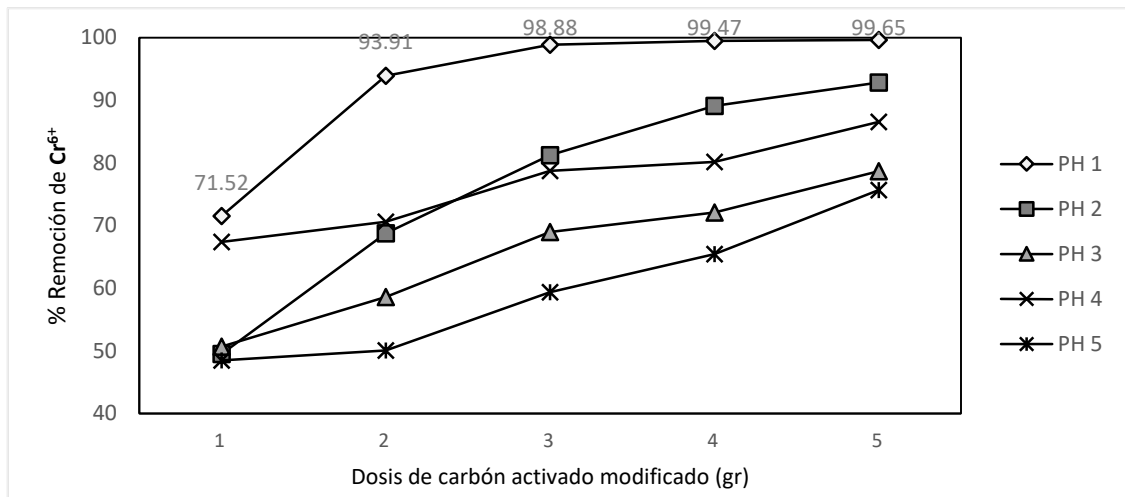


Figura 7: Efecto de la dosis de carbón para la remoción de Cr^{6+}

En la Figura 8 se observa que se incrementa el porcentaje de remoción de Cr^{6+} , cuando el pH de las muestras es más ácido, obteniendo la remoción máxima del 99.65% a un $\text{pH}=1$ con 5g de carbón.

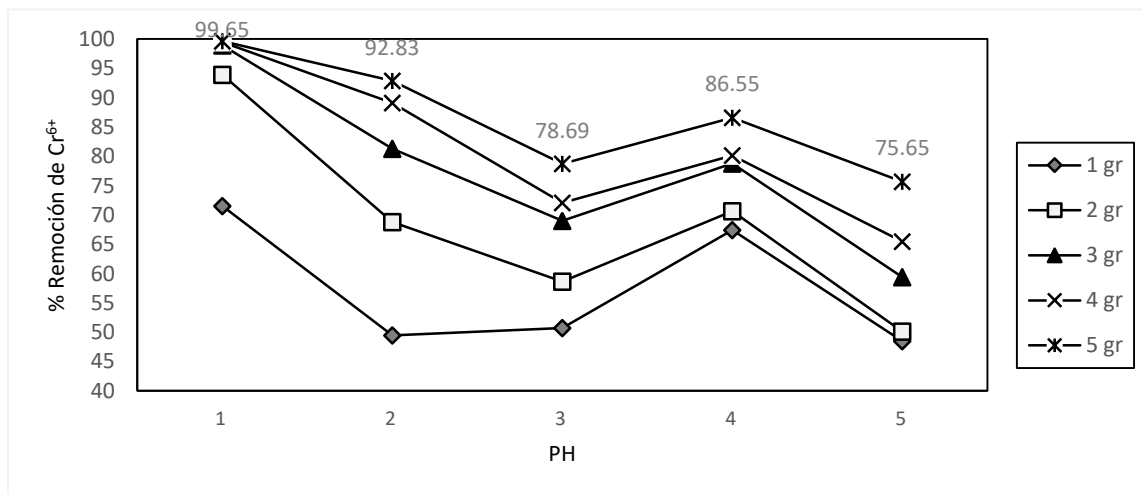


Figura 8: Efecto del pH del efluente en la remoción de Cr^{6+}

En la Figura 9 describe el efecto de la variación del tiempo con la capacidad adsorción del adsorbente (mg/g), Este proceso se realizó teniendo en cuenta los siguientes parámetros: Concentración inicial del efluente = 364.4 mg/L, masa carbón = 5, velocidad de agitación = 300 rpm, tiempo = 80 min y empleando un volumen = 0.1 L. Donde se observa que la mayor capacidad de adsorción de 7.28 mg/g se da a los 80 minutos, y a partir de este tiempo se mantiene constante. Además en los primero 20 minutos ya presenta un elevado porcentaje de retención comparado a la capacidad máxima en un menor tiempo.

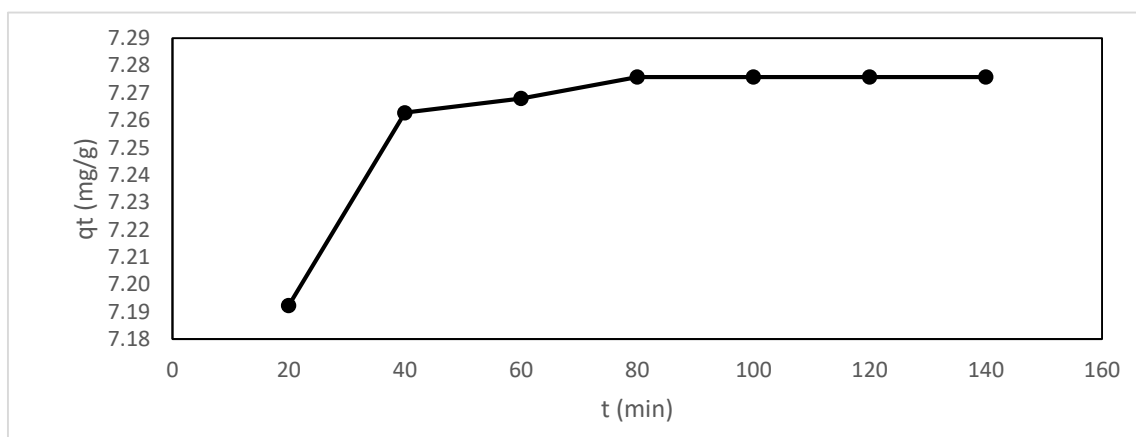


Figura 9: Efecto del tiempo en la remoción de Cr⁶⁺

La Tabla 08 se observa los datos para la determinación de la ecuación de Pseudo primer orden de Lagergren, donde describe el mecanismo de adsorción a diferentes tiempos en un intervalo que va de t = (0, 20, 40, 60, 80, 100, 120 y 140) minutos. De este proceso se determinó el tiempo de equilibrio a los 80 minutos, porque a partir de este tiempo la adsorción se mantuvo constante

Concentración inicial (mg/l)	t (min)	Concentración final (mg/l)	% remoción	Cr ⁶⁺ adsorbido (mg)	qt mg/g	qe (mg)	log(qe-qt)
364.4	0	364.4	0	0	0.00	7.28	0.86
	20	4.78	98.69	359.62	7.19		-1.08
Dosis CAM (gr)	40	1.26	99.65	363.14	7.26		-1.88
5	60	1.00	99.73	363.40	7.27		-2.11
	80	0.61	99.83	363.79	7.28		
Volumen (l)	100	0.61	99.83	363.79	7.28		
0.1	120	0.61	99.83	363.79	7.28		
	140	0.61	99.83	363.79	7.28		

Tabla 8: Datos para la determinación del Modelo de Pseudo primer orden

En la Figura 10 se observa el modelo de Pseudo primer orden que explica el mecanismo de adsorción de Cromo Cr^{6+} , donde se utilizó los siguientes parámetros $m = 5\text{gr}$, PH del efluente = 1, velocidad de agitación = 300 rpm a temperatura ambiente. Sin embargo los valores se encuentra muy dispersos comparado al modelo de Pseudo segundo orden en consecuencia se descarta este modelo Pseudo primer orden.

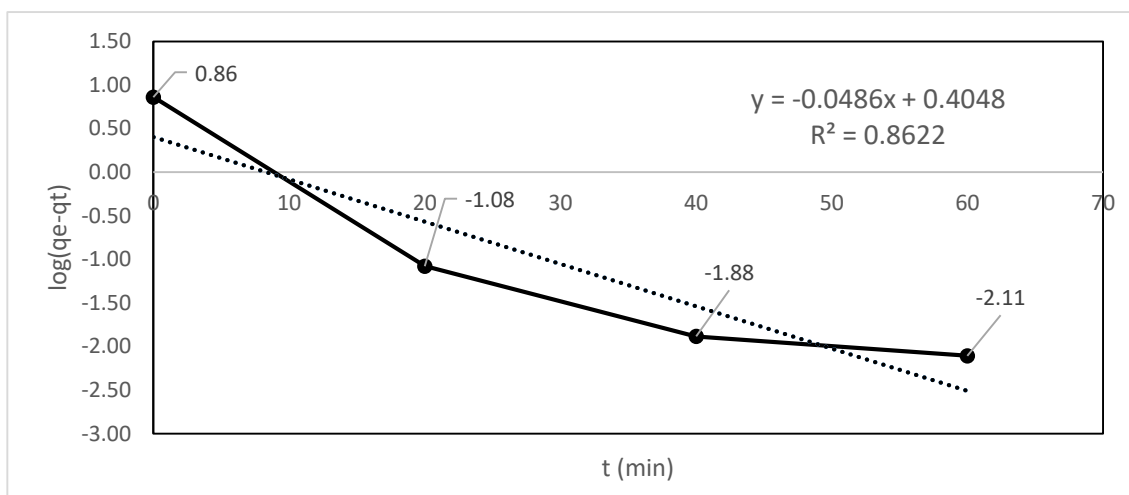


Figura 10: Modelo de Pseudo primer orden

La Tabla 09 se observa los datos para la determinación de la ecuación de Pseudo segundo orden de Lagergren, donde describe el mecanismo de adsorción más detallado a diferentes tiempos en un intervalo que va de $t = (0, 20, 40, 60, 80, 100, 120$ y $140)$ minutos.

Concentración inicial (mg/l)	tiempo (min)	Concentración final mg/l	% remoción	qt (mg)	t/qt
364.4	0	364.4	0.00	0.00	
	20	4.78	98.69	7.19	2.78
Dosis CAM (gr)	40	1.26	99.65	7.26	5.51
5	60	1.00	99.73	7.27	8.26
	80	0.61	99.83	7.28	11.0
Volumen (l)	100	0.61	99.83	7.28	13.74
0.1	120	0.61	99.83	7.28	16.49
	140	0.61	99.83	7.28	19.24

Tabla 9: Datos para la determinación del Modelo de Pseudo segundo orden

En el Figura 11 se observa que la modelo de regresión lineal que representa el modelo de Pseudo segundo orden es una ecuación perfecta. Debido a que su coeficiente de correlación $R^2=1$. Se infiere que este modelo es el más adecuado para describir la cinética de adsorción del proceso para remover el Cr^{6+} con carbón activado modificado.

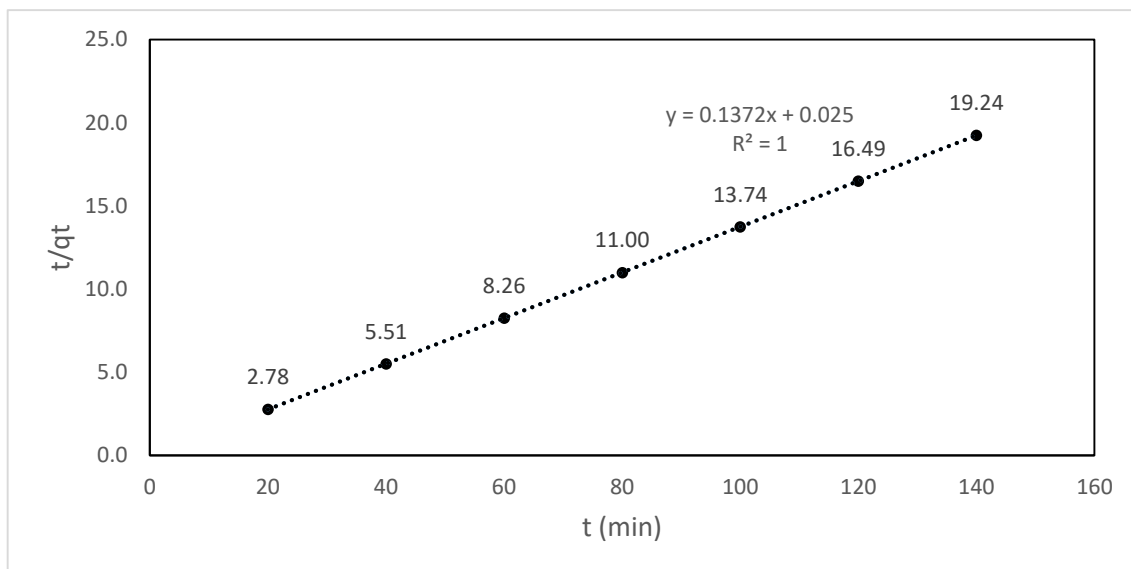


Figura 11: Modelo de Pseudo segundo orden

En la Tabla 10 muestra los parámetros de la cinética de adsorción de los modelos de Pseudo primer orden y Pseudo segundo orden. Para garantizar la eficiencia del proceso de adsorción se tomó como tiempo óptimo de contacto 80 min.

Material	Concentración inicial mg/l	Pseudo primer orden			Pseudo segundo orden		
		qe (mg/g)	k1 (min-1)	R2	qe (mg/g)	k2 (min-1)	R2
CAM	364.4	7.28	0.04855	0.8622	7.28	0.04666	1

Tabla 10: Parámetros de los modelos cinéticos de Pseudo primer orden y Pseudo segundo orden

Con los resultados obtenidos, se observa que el modelo de pseudo primer orden no es el indicado para explicar la cinética de adsorción de los tratamientos experimentales. Esto se puede constatar ya que los valores de R^2 son bajos encontrándose en un intervalo de (0.79 – 0.97), por ello se determina que la cinética de adsorción se explica con el modelo de Pseudo segundo orden, ya que $R^2 = 1$.

En la Tabla 11 se presenta los datos necesarios para elaborar el modelo de Langmuir, este modelo asegura que si el coeficiente de correlación es más cercano a la unidad, la interacción entre el carbón activado modificado y la muestras del efluente llevados a un pH=1 es un proceso de adsorción química y en monocapa. Velocidad de agitación =300 rpm y tiempo de contacto de 80 minutos.

Concentración inicial mg/l	Concentración final mg/l	Ceq mg/l	Cr ⁶⁺ Absorbido	qe (mg/g)	Ceq/qe	qmax	K _L	R _L
500	25.45	25.45	474.55	9.49	2.68	9.49		
450	15.82	15.82	434.18	8.68	1.82		0.68	0.0033
400	1.08	1.08	398.92	7.98	0.14		4.89	0.0005
364.4	1.13	0.11	363.27	7.27	0.02		28.91	0.0001
350	0.92	0.92	349.08	6.98	0.13		3.02	0.0009
300	0.31	0.31	299.69	5.99	0.05		5.55	0.0006
250	0.05	0.05	249.95	5.00	0.01		23.33	0.0002
200	0.03	0.03	199.97	4.00	0.01		21.02	0.0002
150	0.02	0.02	149.98	3.00	0.01		21.39	0.0003
100	0.01	0.01	99.99	2.00	0.00		31.20	0.0003
50	0.01	0.01	49.99	1.00	0.01		13.76	0.0015

Tabla 11: Parámetros para la determinación del Modelo de Langmuir

En la Figura 12 se observa el modelo de Langmuir que explica la interacción entre la concentración inicial de Cr⁶⁺ y el adsorbente. Se obtiene un coeficiente de correlación de R²=0.998, lo que explica que el modelo puede ser el más adecuado para determinar el equilibrio de adsorción del proceso.

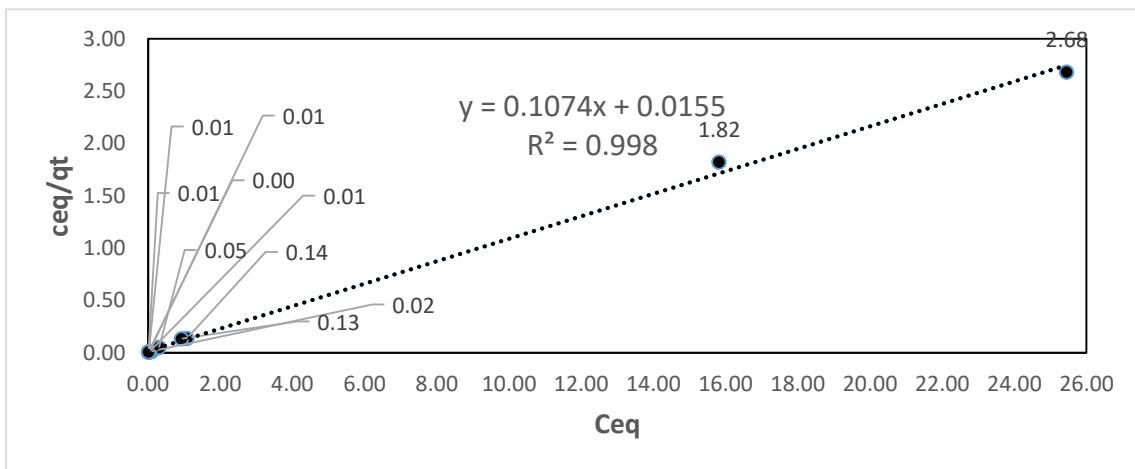


Figura 12: Modelo de Langmuir

En la Tabla 12 muestra los datos para determinar la isoterma de adsorción del modelo de Freundlich, donde describe que el proceso de adsorción ocurre en multicapas sobre la superficie heterogénea del Carbón activado modificado.

Concentración inicial mg/l	Concentración final mg/l	Ceq mg/l	Cr ⁶⁺ Absorbido	q (mg/g)	Log(q)	log(Ce)	K _F	n
500	25.45	25.45	474.55	9.49	0.977	1.406	6.473	4.824
450	15.82	15.82	434.18	8.68	0.939	1.199		
400	1.08	1.08	398.92	7.98	0.902	0.033		
364.4	1.13	0.11	363.27	7.27	0.861	-0.947		
350	0.92	0.92	349.08	6.98	0.844	-0.035		
300	0.31	0.31	299.69	5.99	0.778	-0.511		
250	0.05	0.05	249.95	5.00	0.699	-1.322		
200	0.03	0.03	199.97	4.00	0.602	-1.460		
150	0.02	0.02	149.98	3.00	0.477	-1.666		
100	0.01	0.01	99.99	2.00	0.301	-2.068		
50	0.01	0.01	49.99	1.00	0.000	-2.068		

Tabla 12: Parámetros para la determinación del Modelo de Freundlich

En la Figura 13 se observa el modelo de Freundlich, obteniendo un coeficiente de correlación de $R^2=0.6838$ que es muy lejano a la unidad, posiblemente este modelo no es el más indicado para explicar el proceso de adsorción de nuestro estudio

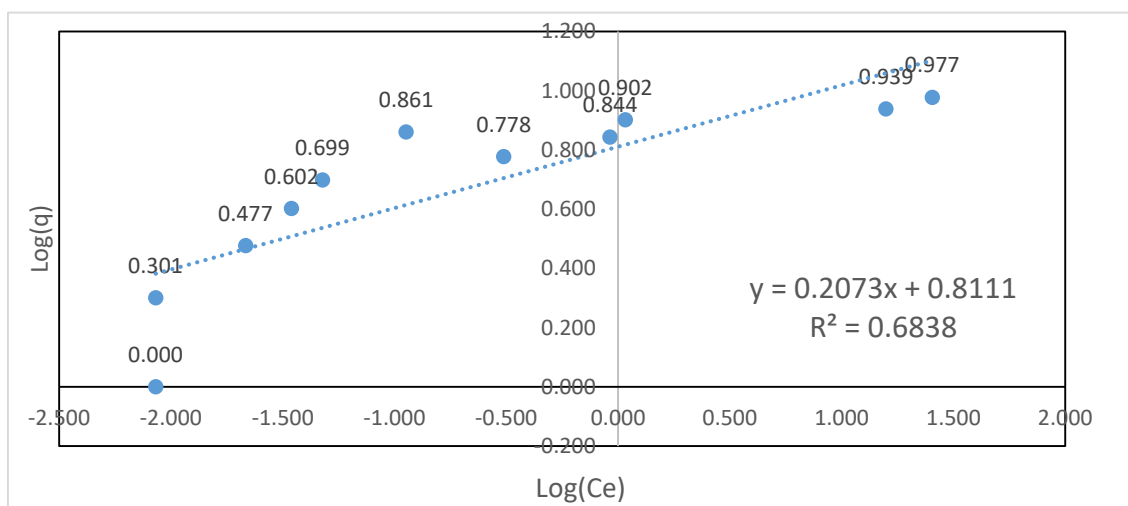


Figura 13: Modelo de Freundlich

En la Tabla 13 presenta los datos obtenidos de ambos modelos de Langmuir y Freundlich utilizados para explicar el equilibrio de adsorción. Se puede determinar mediante los coeficientes de correlación de ambos modelos, que el modelo de Langmuir es el que explica el mecanismo de adsorción, por consiguiente se infiere que el proceso de adsorción es químico y en monocapa.

Material	Concentración inicial mg/l	Modelo de Langmuir				Modelo de Freundlich		
		Q _m	K _L	R _L	R ²	n	K _F	R ²
CAM	364.4	9.31	6.9298	0.0001	0.998	4.8239	6.4729	0.6838

Tabla 13: Parámetros de los modelos cinéticos de Pseudo primer orden y Pseudo segundo orden

Tabla 14 se observa la prueba de ANOVA: 1) Efecto del pH del efluente 2) Efecto de la dosis de carbón activado modificado 3) El efecto combinado del carbón activado modificado y el pH del efluente para remover el Cr⁶⁺ de los efluentes de la industria de cromado. Mediante el margen de error se puede determinó la confiabilidad de cada factor y la combinación de ambos utilizado en el proceso, en consecuencia se puede observar que los valores de estos errores calculados son muy pequeños.

Fuente de Error	Suma de Cuadrados	GL	Media de Cuadrados	F ₀	Valor de p
Masa de carbón	1.057	4	$\frac{1.057}{4} = 0.264$	$\frac{0.264}{6.533 \times 10^{-4}} = 404.102$	1.2795x10 ⁻²¹
pH	1.26	4	$\frac{1.26}{4} = 0.315$	$\frac{0.315}{6.533 \times 10^{-4}} = 482.167$	2.244 x10 ⁻²²
Interacción Carbón-pH	0.174	16	$\frac{0.174}{16} = 0.011$	$\frac{(0.174)}{6.533 \times 10^{-4}} = 266.34$	3.294x10 ⁻²²
Error Experimental	0.049	75	$\frac{0.049}{75} = 6.533 \times 10^{-4}$		
Error total	2.54	99			

Tabla 14: Prueba de ANOVA para comparar el efecto del pH, dosis del CACM y su interacción de ambos en el proceso de adsorción

En la Figura 14 se observa la superficie de respuesta estimada para el porcentaje de Remoción de Cr^{6+} , en función de la acidez del efluente y la dosis de carbón activado modificado.

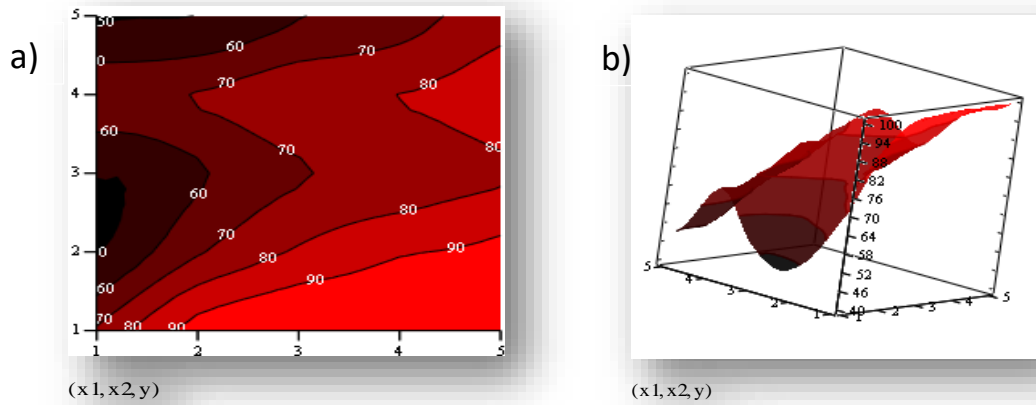


Figura 14: Superficie de Respuesta estimada para la % Remoción de Cr^{6+} en función de la acidez del efluente y la masa del carbón activado, donde a) SR Contorno b) SR tridimensional. Donde X1: dosis de carbón, X2: pH del efluente e Y: % Remoción de Cr^{6+}

IV. Discusión

El Carbón Activado Comercial (CAC) utilizado como adsorbente en esta investigación, fue modificado con H_2O_2 , obteniendo una remoción máxima del 99.69% de Cr^{6+} de una concentración inicial de 364.4 mg/l, usando 100 ml de efluente a un pH=1 en cada tratamiento; el cual es el doble de la cantidad de Cr^{6+} removido en el estudio de Attia, A. et al. (2010) donde utilizó (CAC) modificado con H_2SO_4 obteniendo una remoción del 75% de una concentración inicial de 20 mg/l, empleando 1000 ml de una solución sintética a un pH = 1.5.

En la Figura 07 se observa como interviene las diferentes dosis de CAC modificado H_2O_2 al 50% p/v, en la adsorción de Cr^{6+} presente en el agua residual de la industria de cromado que fue llevado a diferentes medios de acidez para la experimentación. Se determinó que aumentando las dosis de CACM también aumenta el porcentaje de remoción, alcanzando un 99.69% de Cr^{6+} removido de una concentración inicial de 364.4 mg/l, usando 100 ml de efluente a un pH=1. Estos resultados son similares a diversos estudios de investigación, como es el caso de Londolani, C. et.al., (2018) donde presentó un aumento del porcentaje de remoción conforme aumentaba la dosis CAC modificado con H_2O_2 al 20% p/v, alcanzando una remoción máxima del 85% de Cr^{6+} de una concentración inicial de 150 mg/l, usando 1000 ml de solución a un pH=2.

En la Figura 08 se determinó que la remoción más alta fue de 99.69% a un pH=1 utilizando 5 gramos de CAC – H_2O_2 al 50% p/v. Estos resultados son semejantes a los obtenidos por Guangzhou, et al. (2012) donde la remoción más alta fue del 93.33% a un pH=3.36 utilizando 2 gramos de ACF – HNO_3 al 1% p/v.

De acuerdo a las Figuras 10 y 11, se puede inferir que el modelo de Pseudo segundo orden de Lagergren describe el mecanismo de adsorción del Cr^{6+} sobre carbón activado modificado, donde los parámetros calculados para los modelos cinéticos de Pseudo primer orden y Pseudo segundo orden se encuentran validados en las tablas 08 y 09 respectivamente. Se demostró mediante la comparación de los factores de correlación de ambos modelos, que el modelo de Pseudo segundo orden es el más adecuado para explicar el modelo cinético de adsorción propuesto en la investigación con un valor de $R^2=1$. Estos resultados concuerdan con la investigación de Castro et al. (2013), donde los autores encontraron que la cinética de adsorción del Cr^{6+} sigue un mecanismo de Pseudo segundo orden, arrojando un valor de su coeficiente de correlación igual a 0.9999.

Como se observa en la Figura 12, el equilibrio de adsorción entre la concentración de Cr^{6+} (mg/l) con el carbón activado comercial modificado demostró mediante el modelo de Langmuir que ambos datos experimentales tienen un alto grado de correlación ($R^2=0.99$), indicando que la adsorción en el adsorbente del Cr^{6+} se limita a una adsorción en monocapa, además de acuerdo a su coeficiente de separación $R_L > 1$, se infiere que el proceso de adsorción es favorable obteniendo una capacidad máxima de adsorción de 7.28 mg/g. Los resultados son semejantes a la investigación de Lavado, Sun y Recuay (2012) donde se observó una variación en la capacidad de adsorción obtenida en su estudio de 50.25 mg/g utilizando carbones activados con H_3PO_4 y 56.82 mg/g para carbones activados con KOH en soluciones sintéticas.

V. Conclusiones

El estudio de adsorción demostró que Cr^{6+} es mejor adsorbido por el carbón activado modificado a un $\text{pH} = 1$. A este pH el Cromo se encuentra principalmente en iones dicromato que durante el proceso quedan retenidos en la superficie del carbón. Además la remoción de este metal alcanzó el 87.2% es decir 317 mg/l de cromo hexavalente a un $\text{pH} = 4$, cerca al pH inicial del efluente, siendo muy efectiva para ahorrarse costos durante la operación. De esta manera se pudo comprobar que la acidez del efluente influye directamente en el proceso de adsorción del Cr^{6+} sobre el carbón activado modificado químicamente aceptando la hipótesis propuesta en la investigación.

Se comprobó que al aumentar la dosis de masa del carbón también se incrementa el porcentaje de remoción del Cr^{6+} , obteniendo una máxima remoción del 99.69% utilizando 5 gramos de carbón en 100 ml del efluente a un $\text{pH}=1$, aceptando de esta forma la hipótesis planteada en la investigación.

Se determinó que el tiempo de operación más idóneo del proceso de adsorción se encuentra a los 80 minutos, y conforme se aumente más el tiempo el porcentaje de adsorción se mantiene constante. El modelo cinético que describió el mecanismo de adsorción de todos los tratamientos experimentales fue el modelo de Pseudo segundo orden.

Se comprobó que los resultados experimentales del equilibrio de adsorción de Cr^{6+} se ajustan mejor al modelo de Langmuir, porque su coeficiente de correlación R^2 fue igual a 0.99 siendo próximo a la unidad, además durante el equilibrio se obtuvo que la capacidad máxima de adsorción de Cr^{6+} tuvo un valor de 7.49 mg/g de carbón utilizado en 100 ml de efluente.

Con todos los resultados mostrados en esta investigación concluimos que utilizar carbones activados comerciales modificados con el peróxido de hidrógeno son precursores potenciales para la adsorción de Cromo hexavalente presentes en efluentes de la industria de cromado.

VI. Recomendaciones

Se recomienda llevar a cabo el proceso de adsorción mediante dos celdas continuas, con la finalidad de minimizar costos y aumentar la eficiencia del proceso de adsorción, considerando utilizar una cantidad de masa de 3g a un pH = 4, puesto que durante los experimentos se obtuvo una remoción del 75% en los primeros 20 minutos.

Además se recomienda programarse experimentos para obtener isothermas de adsorción y evaluar la cinética de adsorción del proceso con el fin de obtener la concentración de equilibrio de Cr^{6+} en la superficie del adsorbente. Después de lo expuesto se construye un diseño factorial para ajustar los parámetros de acidez y dosis de carbón para obtener una máxima eficiencia en el proceso de adsorción.

Se recomienda seguir los procedimientos establecidos en el Protocolo para el muestreo de efluentes y cuerpos receptores en el marco de la autorización sanitaria de vertimientos, con la finalidad de asegurar la composición, calidad de las muestras.

REFERENCIAS

ATTIA, A; KHEDR, A Y ELKHOLY, A. Adsorption of Chromium Ion (VI) By Acid Activated Carbon [en línea]. June-March 2010, 27 N° 01: [Fecha de consulta: 22 de octubre de 2019] Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/bjce/v27n1/a16v27n1.pdf>
ISSN: 0104-6632

ALVARES, P; BLANCO, C Y GRANDA, M. The adsorption of chromium (VI) from industrial wastewater by acid and base-activated lignocellulosic residues [en línea]. 1 de Julio 2007, 144 N°1-2: [Fecha de consulta: 22 de octubre de 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389406012738?via%3Dihub>
DOI: org/10.1016/j.jhazmat.2006.10.052

ARANDA García, Erick. Biosorción de cromo y níquel por la cáscara de la bellota de encino (*Quercus crassipes* Humb. & Bonpl.). Tesis (Título de Maestro en Ciencias Químico-Biológicas) México: Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, 2010. 128 pp.

ACOSTA, Henry; BARRAZA, Camilo y ALBIS, Alberto. Adsorción de cromo VI utilizando cáscara de Yuca (*Manihot Esculenta*) con bioabsorbentes: Estudio cinético [en línea]. Enero-junio 2017. 35 N° 1. [Fecha de consulta: 09 de octubre de 2018]. Disponible en:
<https://search.proquest.com/openview/34b798e94467043a40de579ee3d2bcac/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2027443>
ISSN: 2145-9371

ACOSTA, Ismael; CÁRDENAS, Juan.; ALVARADO, Diana y MOCTEZUMA, María. Remoción de Cromo VI en solución acuosa por la biomasa celular de *Paecilomyces* sp. [En línea]. 2008. 19 N°1 [Fecha de consulta: 13 de octubre de 2018]. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v19n1/art09.pdf>
ISSN: 0718-0764

BAIRD, Colín y CANN Michael. Química Ambiental. 2° ed. Barcelona: Reverte, 2014. 776 pp.
ISBN: 9788429179156

BENITEZ, Neyla. Producción limpia y Biorremediación para disminución de la contaminación por cromo en la industria de Curtiembres [en línea]. Junio-Febrero 2011. N°1. [Fecha de consulta: 13 de octubre de 2018]. Disponible en:

<https://www.unicauca.edu.co/gea/?q=telematica/buscador/23393122/>

ISSN: 2339-3122

BIOADSORCIÓN de cromo (VI) en solución acuosa por la biomasa de Amaranto (*Amaranthus caudatus*) por Rodríguez Adriana [et al.] [en línea]. Abril-junio 2017. 8 N°2.

. [Fecha de consulta: 09 de octubre de 2018]. Disponible en:

<http://www.redalyc.org/pdf/3236/323652282002.pdf>

E-ISSN: 078-8706

BAÑÓN Juares, Héctor. Diseño de un sistema de adsorción en carbón activado para la eliminación de cromo hexavalente en disolución acuosa. Tesis (Título Profesional en Ingeniería Química). España: Universidad Politécnica de Valencia, Facultad de Ingeniería Química, 2017. 67 pp.

BUDI, E.; UMIATIN, U.; NASBEY, H.; BINTORO, R.; WULANDARI, F. y ERLINA, E. Adsorption and Pore of Physical-Chemical Activated Coconut Shell Charcoal Carbon [en línea]. 2018. 335 N° 01: [Fecha de consulta: 30 de octubre de 2018]. Disponible en:

<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/335/1/012007/pdf>

DOI: 10.1088/1757-899X/335/1/012007

COLPAS, Fredy; TARÓN, Arnulfo y FON, Wilder. Mercury Adsorption using Activated Carbon Modified by Hydrogen Peroxide and Heating [en línea]. Abril-Junio 2016. 27 N°

05. [Fecha de consulta: 15 de octubre de 2018]. Disponible en:

<https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v27n5/art09.pdf>

DOI: 10.4067/S0718-07642016000500009

CHÁVEZ Porras, Álvaro. Descripción de la nocividad del cromo proveniente de la industria curtiembre y de las posibles formas de removerlo [en línea]. Setiembre–octubre 2010. 09 N° 17: [Fecha de consulta: 05 de octubre de 2018]. Disponible en:

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4845702>

ISSN: 1692 -3324

CALLE Guadalupe, Luis y NÚÑEZ Cruz, Ramiro. Validación de métodos de ensayo para la determinación de compuestos fenólicos y turbidez en agua para el laboratorio de la Refinería Esmeraldas. Tesis (Título en Ingeniería Química) Ecuador: Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería Química, 2017. 139 pp.

CAMPOS, Eduardo. Estudio de la adsorción de cromo hexavalente utilizando como biomaterial la ectodermis de opuntia [En línea]. 2008. 10 N°1. [Fecha de consulta: 15 de octubre de 2018].

Disponible en: <https://quivera.uaemex.mx/article/view/10368>

ISSN: 1405-8626

CHÁVEZ, Álvaro. Descripción de la nocividad del cromo proveniente de la industria curtiembre y de las posibles formas de removerlo [en línea]. Setiembre-Octubre 2010. 9 N° 17. [Fecha de consulta: 16 de octubre de 2018]. Disponible en:

<https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/6/4>

ISSN: 1692-3324

DE OLMOS, Santiago y MOTTO, Germán. Proyecto de producción más limpia para el sector de galvanoplastia de Latina Industrial S.A. Tesis (Titulo de Ciencias exactas, físicas y naturales) Argentina: Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 2013. 195 pp.

DUARTE, Edison; OLIVERO, Jesús y JARAMILLO, Beatriz. Remoción de cromo de aguas residuales de curtiembres usando Quitosano obtenido de desechos de camarón [en línea]. Agosto 2009, N° 42: [Fecha de consulta: 02 de diciembre de 2018]. Disponible en:

<http://www.redalyc.org/pdf/849/84916714054.pdf>

ISSN: 0122-1701

DORIA, M; PAZ, A; Y HORMAZA, A. Standardization of Diphenylcarbazide as an indicator and a complexity factor in the identification of chromium hexavalent – Cr (VI) [en línea]. Julio-Diciembre 2013, 8 N° 02: [Fecha de consulta: 22 de octubre de 2019].

Disponible en: [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Dialnet-EstandarizacionDeLaDifenilcarbazidaComoIndicadorYA-5012126%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Dialnet-EstandarizacionDeLaDifenilcarbazidaComoIndicadorYA-5012126%20(1).pdf)

DENJ, Z.; LIANG, M.; LI, H. y ZHU, Z. Advances in preparation of modified activated carbon and its applications in the removal of chromium (VI) from aqueous solutions [en línea]. Junio 2016, 39 N° 1: [Fecha de consulta: 27 de octubre de 2018]. Disponible en: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/39/1/012065/meta>
DOI: 10.1088/1755-1315/39/1/012065

DOMINGO, Andrea; SANZ, Javier y WANDEN Carmina. Effects of occupational exposure to chromium and its compounds: a systematic review [en línea]. Octubre-Mayo 2014. 17 N° 03. [Fecha de consulta: 15 de octubre de 2018]. Disponible en: http://www.archivosdeprevencion.com/view_document.pHp?tpd=2&i=2499
ISSN: 1138-9672

ESPINAL Heredia, Gilbert Brian. Eficiencia del carbón activado a base de cascara de coco en el tratamiento de aguas residuales domesticas en el AA. HH. 10 de octubre, distrito de San Juan de Lurigancho, Lima, año 2017. Tesis (Título en Ingeniería Ambiental) Perú: Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería Ambiental, 2017. 121 pp.

FENG, N.; ZHANG, Y. y ZHU, M. Characterization of oxidized activated carbon obtained from Astragalus residue and its adsorption application for Cu²⁺ from aqueous solution [en línea]. 2018, 392 N° 2: [Fecha de consulta: 28 de octubre de 2018]. Disponible en: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/392/3/032031/pdf>
DOI: 10.1088/1757-899X/392/3/032031

FIGUEROA, Danilo; MORENO, Anderson y HORMOZA, Angelina. Equilibrio, termodinámica y modelos cinéticos en la adsorción de Rojo 40 sobre tuza de maíz [en línea]. 2015. 14 N°26: [Fecha de consulta: 05 de noviembre de 2018]. Disponible en: <https://revistas.udem.edu.co/index.pHp/ingenierias/article/view/1172>
DOI: <https://doi.org/10.22395/riium.v14n26a7>

GHOSH, K. Hexavalent chromium [Cr (VI)] removal by acid modified waste activated carbons [en línea]. 15 de Noviembre 2009, 171 N° 1-3: [Fecha de consulta: 22 de octubre de 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389409008826?via%3Dihub>
DOI:10.1016 / j.jhazmat.2009.05.121

GRANADOS, F.; BONIFACIO, J. y SERRANO, J. Estudio cinético y termodinámico de la adsorción de Cr (VI) presente en solución acuosa sobre fosfato de calcio sintético [en línea]. Abril – junio 2009. 75 N° 02: [Fecha de consulta: 30 de octubre de 2018]. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v75n2/a07v75n2.pdf>
ISSN: 1810-634X

GARZÓN Santamaría, Jorge y GONZALEZ López, Luis. Adsorción de Cr (VI) utilizando carbón activado a partir de cáscara de naranja. Tesis (Ingeniería Química) Colombia: Universidad de Cartagena, Facultad de Ingeniería Química, 2012. 100 pp.

GARCÍA López, Rebeca y GRANILLO Oporfa, Yasser. Evaluación de las condiciones operacionales en el proceso de preparación de carbón activo de cáscara de naranja valencia (Citrus sinensis linn osbeck), laboratorios de química Unan-Managua, II semestre 2016. Monografía (Licenciado en Química Industrial) Nicaragua: Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua Facultad de Ciencias e Ingeniería, 2017. 209 pp.

GARCÍA Constantino, Luis y RODRÍGUEZ Campos, Jorge. Influencia de la densidad de corriente y de la concentración de ácido crómico sobre el espesor y adherencia de la capa de cromo decorativo en el acero ASTM A36 previamente cobreado y niquelado. Tesis (Título en Ingeniería Metalúrgica) Perú: Universidad Nacional de Trujillo, Escuela de Ingeniería Metalúrgica, 2016. 98 pp.

GRISALES Montato, Ángela y ROJAS Arrieta, Wilmer. Obtención de Carbón activado a partir de activación química de pulpa de café y su aplicación e la remoción de colorantes en aguas residuales industriales. Tesis (Título en Tecnología Química) Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnología, 2016. 113 pp.

GUTIERREZ, Humberto y DE LA VARA, Román. Análisis y diseño de experimentos [en línea]. 2° ed. México: McGraw-Hill, 2008. [Fecha de consulta: 15 de julio de 2018].

Disponible en:

http://gc.initelabs.com/recursos/files/r161r/w19537w/analisis_y_diseno_experimentos.pdf

ISBN-10: 9701065263

HERNÁNDEZ, Roberto; FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, Pilar. Metodología de la Investigación [en línea]. 6° ed. México: McGraw-Hill, 2014. [Fecha de consulta: 12 de octubre de 2018]. Disponible en:

https://periodicooficial.jalisco.gob.mx/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf

ISBN: 9781456223960

HINTERMEYER, B Y TAVANI, E. [en línea]. 16 de Noviembre 2017, 22 N°2: [Fecha de consulta: 22 de octubre de 2019]. Disponible en:

<http://eeer.org/journal/view.pHp?doi=10.4491/eer.2016.070>

DOI: <https://doi.org/10.4491/eer.2016.070>

HANUM, F.; BANI, O. y WIRANI, LI. Characterization of Activated Carbon from Rice Husk by HCl Activation and Its Application for Lead (Pb) Removal in Car Battery Wastewater [en línea]. Octubre 2017, 180 N° 1: [Fecha de consulta: 25 de octubre de 2018]. Disponible en: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/180/1/012151>

DOI: 10.1088/1757-899X/180/1/012151

HERNÁNDEZ, Mónica; OTERO, Alexis; FALCÓN, José y YPERMAN, Yan. Physiochemical Characteristic of Activated Carbon of Coconut Shell Modified with HNO₃ [en línea]. Enero-abril 2017. 29 N° 01. [Fecha de consulta: 16 de octubre de 2018].

Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/ind/v29n1/ind03117.pdf>

ISSN: 2223-5421

IARC (International Agency for Research on Cancer). IARC monographs on the evaluation of the Carcinogenic risks to humans Volume 23 [en línea]. France: Lyon 1987. [Fecha de consulta: 27 de octubre de 2018]. Disponible en: <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Some-Metals-And-Metallic-Compounds-1980>
ISBN – 13: 9789283212232

IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry). IUPAC compendium of chemical terminology - The gold book [en línea]. 2º ed. Suiza: 2005 - 2016. [Fecha de consulta: 27 de octubre de 2018]. Disponible en: <http://goldbook.iupac.org/pdf/goldbook.pdf>

IHSANULLAH; KHALDI,A; SHARKH,A; ABULKIBASH,M; QURESHI,I; LAOUI,T Y ATIEH,M. Effect of acid modification on adsorption of hexavalent chromium (Cr(VI)) from aqueous solution by activated carbon and carbon nanotubes [en línea]. Marzo 2015: [Fecha de consulta: 22 de octubre de 2019]. Disponible en: <https://mail.google.com/mail/u/1/?tab=wm&ogbl#sent/KtbxLrjNddLgTnngwGVfvrrmfRWfpTLRRg?projector=1&messagePartId=0.4>
DOI: 10.1080/19443994.2015.1021847

Importancia y Aplicaciones de la Adsorción en fase líquida. [Mensaje en un blog]. México: Leyva, Roberto (octubre 2017). [Fecha de consulta: 16 de octubre de 2018]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/320407302_Importancia_y_Aplicaciones_de_la_Adsorcion_en_Fase_Liquida

JIMÉNEZ Espinosa, Alfredo. Incidencia de las lesiones de la mucosa nasal, por exposición al cromo en el área de cromado de la empresa Crobet. Tesis (Magíster en Seguridad, Higiene Industrial y Salud Ocupacional) Ecuador: Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Industrial, 2016. 137 pp.

JACINTO Hernández, Christian. Preparación y caracterización de la sal de quitosano cuaternizado y su entrecruzamiento con glutaraldehído para la sorción del cromo (VI) de soluciones acuosas. Tesis (Licenciatura en Química) Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Química, 2012. 146 pp.

KUMAR, K Y PETER, C. Adsorption of Chromium (VI) From Aqueous Solutions By Different Admixtures – A Batch Equilibrium Test Study [en línea]. Agosto 2014, 9 N°4: [Fecha de consulta: 22 de octubre de 2019]. Disponible en: [http://jestec.taylors.edu.my/Vol%209%20Issue%204%20August%2014/Volume%20\(9\)%20Issue%20\(4\)%20410-422.pdf](http://jestec.taylors.edu.my/Vol%209%20Issue%204%20August%2014/Volume%20(9)%20Issue%20(4)%20410-422.pdf)

KSAKA, A; LOQMAN, A; BALI, M; TALED, M Y KHERBECHE, A. The adsorption of Cr (VI) from aqueous solution by natural materials [en línea]. 2 de Mayo 2015, 6 N°7: [Fecha de consulta: 22 de octubre de 2019].

Disponible en: https://www.jmaterenvironsci.com/Document/vol6/vol6_N7/242-JMES-1754-2015-Ksakas.pdf

ISSN: 2028-2508

KUEIE, D; SIMONIE, M Y FURAC, L. Batch Adsorption of Cr (VI) Ions on Zeolite and Agro industrial Waste [en línea]. Febrero-Noviembre 2017, 31 N°4: [Fecha de consulta: 22 de octubre de 2019]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/322596457_Batch_Adsorption_of_CrVI_Ions_on_Zeolite_and_Agroindustrial_Waste

DOI: 10.15255/CABEQ.2017.1100

LOPEZ García, Martha. Estudio Físicoquímico de reducción-adsorción de Cr (VI) en medio acuoso sobre biomateriales de bajo coste. Tesis (Doctorado en Química) España: Universidad de la Coruña, Facultad de Química, 2013.365 pp.

LAZO Camposano, Roberto. Operaciones y procesos para la producción de carbón activado a partir de la cáscara de coco. Proyecto de Investigación Final. Perú: Universidad Nacional del Callao, Facultad de Ingeniería Química, 2015. 126 pp.

LAVADO, Carmencita; SUN, María y BENDEZÚ, Salvador. Adsorción de Plomo de efluentes industriales usando carbones activados con H₃PO₄ [en línea]. Marzo-mayo 2010. 76 N° 2: [Fecha de consulta: 04 de octubre de 2018]. Disponible en: <http://sqperu.org.pe/wp-content/uploads/2017/07/RSQ-v76-n22010.pdf>
ISSN: 1810-634X

LAVADO, Carmencita; SUN, María y RECUAY, Nidia. Remoción de Cromo VI empleando carbones preparados por activación química a partir de las astillas de Eucalipto [en línea]. Enero-Febrero 2012, 78 N°1: [Fecha de consulta: 07 de octubre de 2018]. Disponible en: <http://sqperu.org.pe/wp-content/uploads/2017/07/Revista-SQP-Vol-78-N1-2012.pdf>
ISSN: 1810-634X

LESAOANA,M; MLABA,V; MTUNZI,M; KLINK,J Y PAKADE,E. Influence of inorganic acid modification on Cr(VI) adsorption performance and the physicochemical properties of activated carbon [en línea]. Abril 2019, 8: [Fecha de consulta: 22 de octubre de 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1026918518300222?via%3Dihub>
DOI: org/10.1016/j.sajce.2019.01.001

LEYVA, Roberto; FLORES, José; DÍAZ, Paola y BERBER, María. Adsorption of Chromium (VI) from Aqueous Solution onto Activated Carbon Fiber [en línea]. 2008. N° 05. [Fecha de consulta: 15 de octubre de 2018]. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v19n5/art05.pdf>
DOI: 10.1612/inf.tecnol.3902it.07

MARTINEZ de Yuso Ariza, Alicia. Development of Activated carbons from Lignocellulosic wastes for toluene and H-hexane adsorption and Recovery. Tesis (Doctorado en Química) España: Instituto de Carboquímica, 2012. 215 pp.

MISTAR, E.; AHMAD, S.; ALFATAH, T. y SUPARDAN, M. Preparation and characterization of a high surface area of activated carbon from Bambusa vulgaris Effect of NaOH activation and pyrolysis temperature [en línea]. 2018. 334 N° 1: [Fecha de consulta: 27 de octubre de 2018]. Disponible en: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/334/1/012051/meta>
DOI: 10.1088 / 1757-899X / 334/1 / 012.051

MOHAMMAD Masita, SHIVA Sadeghi y ZAHIRA Yaakob. Kinetic study of the adsorption of chromium VI on carbon activated palm nutshell [en línea]. Octubre - Diciembre, 2015. 140 N° 1: [Fecha de consulta: 30 de octubre de 2018]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/racefn/v39n153/v39n153a01.pdf>
DOI: 10.1088/1355/15/140/1/012.018

MOHAMMAD M., YAAKOB Z., YAKUB Q., ASIM N. y SOPIAN K. Chromium (VI) adsorption isotherm in ZnCl₂ Impregnated activated carbon Derived from Jatropha seed husk [en línea]. Octubre - diciembre, 2017. 293 N° 1: [Fecha de consulta: 30 de octubre de 2018]. Disponible en: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/293/1/012013/pdf>
DOI: 10.1088/1757-899X/293/1/012013

MEJÍA Morales, Dalila. Sorción de una mezcla de fenoles en solución acuosa con carbón activado. Tesis (Título Profesional en Ingeniería Química). México: Instituto Tecnológico de Toluca, Facultad de Ingeniería Química, 2004. 71 pp.

MENDOZA Quintos, Roberto. Efecto precipitante del hidróxido de sodio y óxido de magnesio en la remoción de cromo del efluente de Curtido, Inversiones HAROD S.A.C. Tesis (Título Profesional en Ingeniería Ambiental). Lima: Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería Ambiental, 2016. 55 pp.

MAYTA Roddy y MAYTA Jhony. Remoción de cromo y demanda química de Oxígeno de aguas residuales de curtiembre por electrocoagulación [en línea]. Agosto-setiembre 2017, 83 N° 3: [Fecha de consulta: 04 de octubre de 2018]. Disponible en: <http://sqperu.org.pe/wp-content/uploads/2017/12/RSQP2017-3.pdf>
ISSN: 1810-634X

MURGUEITIO, Erika; PINTO, William y LANDIVAR, José. Remoción de Cromo VI a partir de agua sintética a nivel de laboratorio, mediante el uso de hidróxidos dobles laminares (HDL) [en línea]. Marzo-mayo 2015. 81 N° 2: [Fecha de consulta: 04 de octubre de 2018]. Disponible en: <http://sqperu.org.pe/wp-content/uploads/2017/07/REV.-SOC.-QUIM-DEL-PERU-V-81-N%C2%BA-2.pdf>

ISSN: 1810-634X

MANALS, Enma; VENDRELL, Frank y PENEDO, Margarita. Aplicación de carbón activado de cascarón de coco en adsorción de especies metálicas contenidas en el licor de desecho (WL) de la lixiviación ácida de mineral laterítico [en línea]. 2016. 36 N° 1: [Fecha de consulta: 05 de noviembre de 2018]. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v36n1/rtq09116.pdf>

ISSN: 2224-6185

MORA Garza, Miguel. Remoción de Colorantes de disoluciones acuosas por adsorción mediante el uso de adsorbentes producidos a partir de leña de mezquite. Tesis (Maestría en Ciencias Químicas con orientación en Procesos sustentables) México: Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Químicas, 2010. 134 pp.

MANRIQUE Pino, Pamela. Optimización de la producción de carbón activado a partir de cascarilla de arroz y su uso en la adsorción de Cromo (VI). Tesis (Ingeniero en Biotecnología) Arequipa: Universidad Católica de Santa María, 2013. 265 pp.

Montgomery, Douglas. Diseño y análisis de experimentos [en línea]. 2° ed. México: Limusa, 2004. [Fecha de consulta: 12 de octubre de 2018]. Disponible en: <https://www.yyy.files.wordpress.com/2013/02/disec3b1o-de-experimentosmontgomery.pdf>

ISBN: 9681861566

NAVARRETE Diana, QUIJANO Nadia y VÉLEZ Cristian. Elaboración de carbón activado a partir de materiales no convencionales, para ser usado como medio filtrante. Tesis (Título en Ingeniería Civil) Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería de Ciencias de la Tierra, 2014. 177 pp.

NEMR,A; KHALED, A; ABDELWAHAB,O; Y SIKAILY,A. Treatment of wastewater containing toxic chromium using new activated carbon developed from date palm seed [en línea]. Abril 2008, [Fecha de consulta: 22 de octubre de 2019]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/6146612 Treatment of wastewater containin g toxic chromium using new activated carbon developed from date palm seed](https://www.researchgate.net/publication/6146612_Treatment_of_wastewater_containin_g_toxic_chromium_using_new_activated_carbon_developed_from_date_palm_seed)
DOI:10.1016/j.jhazmat.2007.06.091

NAKAGAWA, Yoshiteru; MOLINA, Miguel y RODRIGUEZ, Francisco. Modification of the porous structure along the preparation of activated carbon monoliths with H₃PO₄ and ZnCl₂ [En línea]. 2008. N°1. [Fecha de consulta: 14 de octubre de 2018]. Disponible en: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/2659/4/Zn%20y%20P.pdf>
ISSN: 1387-1811

ORTIZ, Nidia; CARMONA, Juan. Aprovechamiento de cromo eliminado en aguas residuales de curtiembres (San Benito, Bogotá), mediante tratamiento con sulfato de sodio. [en línea].Enero-Junio 2015. N°40: [Fecha de consulta: 08 de octubre de 2018]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n40/n40a09.pdf>
ISSN: 1909-2474

PARRAVICINI Castro, Justo. Efecto del tipo de carbón activado en la adsorción de cromo del agua residual de la etapa de curtido. Tesis (Título Profesional en Ingeniería Ambiental). Lima: Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería Ambiental, 2016. 54 pp.

PRÍAS, J.; ECHEVERRY, N. y ARIZA, H. Fabricación y caracterización de carbón activado y de nanoplaquetas de carbón a partir de *Guadua angustifolia* Kunth para aplicaciones en electrónica [en línea]. Octubre - diciembre, 2015. 39 N° 153: [Fecha de consulta: 28 de octubre de 2018]. Disponible en: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/140/1/012018/pdf>
DOI: 10.18257/issn.0370-3908

RODRIGUEZ, José e IRABIEN, Ángel. Gestión sostenible de los residuos peligrosos. Madrid: Síntesis, 2013. 367 pp.
ISBN: 9788499588896

RODRIGUEZ, Paola; GIRALDO, Liliana y MORENO, Juan. Modificación de la química superficial de carbones activados. Efecto de la oxidación con HNO₃ y H₂O₂ sobre la remoción de cadmio II en solución acuosa [en línea]. Noviembre-Marzo 2014. 71 N° 565. [Fecha de consulta: 13 de octubre de 2018]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/39152369.pdf>

ISSN: 0001-9704

ROMERO Terrones, Jason. Eliminación de iones cromo (VI) contenidos en efluentes metalúrgicos mediante su precipitación como cromato de plomo. Tesis (Ingeniería Metalúrgica) Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, 2004. 96 pp.

REY Barroso, Ana. Catalizadores de hierro soportados sobre carbón activado para la oxidación catalítica de fenol con peróxido de hidrógeno. Tesis Doctoral. España, Universidad Autónoma de Madrid, Facultad de Ingeniería Química, 2010. 406 pp.

RAMIREZ Broncano, Michael. Bioadsorción de Cobre, Cadmio y Manganeseo con cáscara de naranja de las aguas de la laguna Colquicocha. Tesis (Título en Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales) Perú: Universidad Nacional del Callao, Facultad de Ingeniería Ambiental de Recursos Naturales, 2016. 130 pp.

REY DE CASTRO Rosas, Ana. Recuperación de cromo (III) de efluentes de curtido para control ambiental y optimización del proceso productivo. Tesis (Licenciatura en Química) Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ingeniería Química, 2013. 103 pp.

ROJAS Villalva, Yelitsa y ZARATE Vásquez, Cynthia. Efecto del pH y el tiempo de contacto en la adsorción de cromo hexavalente en solución acuosa utilizando montmorillonita como adsorbente. Tesis (Título Profesional en Ingeniería Química). Lima: Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería Química, 2015. 403pp.

TEJADA Dongo, Pierina. Síntesis por método alternativo “verde” de nano partículas de Cu a través de extracto acuoso de subproductos industriales de Vitis vinífera L. (uva) y su inmovilización en membranas de PVC y determinación de su capacidad para la adsorción de Cr (VI). Tesis (Maestría en Química del Medio Ambiente). Arequipa: Universidad Católica de Santa María, Escuela de Postgrado, 2017. 70 pp.

TRATAMIENTO de las aguas residuales del proceso de curtido tradicional y alternativo que utiliza complejantes de cromo por Córdova Hansel [et al.] [en línea]. Marzo-agosto 2014, 80 N° 3: [Fecha de consulta: 07 de octubre de 2018]. Disponible en: <http://sqperu.org.pe/wp-content/uploads/2017/07/RevSocQuimV80n3PDF.pdf>
ISSN: 1810-634X

TEJADA, Candelaria; VILLABONA, Ángel y JIMÉNEZ, María. Remoción de Cromo hexavalente sobre residuos de cacao pretratados químicamente [en línea]. Enero-junio 2017. 20 N° 1: [Fecha de consulta: 09 de octubre de 2018]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v20n1/v20n1a16.pdf>
ISSN: 0123-4226

UECHI López, Julio. Estudio del proceso de adsorción de cadmio y cromo presentes en soluciones acuosas utilizando carbones activados modificados. Tesis (Magíster en Química). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ingeniería Química, 2016. 98 pp.

VARGAS, C.; CARRIAZO, J. y CASTILLO, E. Estudio de materiales adsorbentes de bajo costo para remover Cr (VI) de efluentes acuosos [en línea]. Abril-junio 2011. 31 N° 1. [Fecha de consulta: 11 de octubre de 2018]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v31n1/v31n1a16.pdf>

VILLANUEVA Carrillo, Alejandra. Estudio de la remoción de cromo hexavalente presente en solución acuosa empleando la biomasa de la Musa paradisiaca como biosorbente” Tesis (Licenciatura en Ciencias Ambientales) México: Universidad Autónoma de Estado de México, Facultad de Planeación Urbana y Regional, 2017. 117 pp.

WULAN D, CAHYANINGSIH S y DJAENUDIN. Influence of voltage input to heavy metal removal from electroplating wastewater using electrocoagulation process [en línea]. 2017. 60 N°1: [Fecha de consulta: 27 de octubre de 2018]. Disponible en: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/60/1/012026/pdf>

DOI: 10.1088/1755-1315/60/1/01202

XU, Su.; LIAO, Wenchao.; ZHENG, Peng. y FAN, Yuan. Optimization of H₂O₂ Modification Conditions of Bamboo-based Activated Carbon by Response Surface Methodology [en línea]. 2018. 146 N°1: [Fecha de consulta: 05 de noviembre de 2018]. Disponible en: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/146/1/012073/pdf>

DOI: 10.1088/1755-1315/146/1/012073

ZAKARIA,Z; SURATMAN,M; MOHAMMED,N Y AHMAD,A. Chromium(VI) removal from aqueous solution by untreated rubber wood sawdust [en línea]. Agosto 2009, 244 N°1-3: [Fecha de consulta: 22 de octubre de 2019]. Disponible en: http://eprints.utm.my/id/eprint/13257/1/ZainulAkmarZakaria2009_Chromium%28VI%29RemovalFromAqueousSolution.pdf

DOI:10.1016/j.desal.2008.05.018

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de Consistencia

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
¿Cuál es la eficiencia en la adsorción con carbón activado modificado para remover Cr ⁶⁺ presentes en los efluentes de la industria de cromado, Lima 2018-2019?	Evaluar la eficiencia de adsorción del carbón activado modificado para remover Cr ⁶⁺ , en los efluentes de la industria de cromado, Lima 2018-2019.	La Adsorción con carbón activado modificado es eficiente para remover el Cr ⁶⁺ presentes en la industria de cromado, Lima 2018 – 2019.	REMOCIÓN DE Cr ⁶⁺	Variación de la concentración	Concentración inicial	mg/l
					Concentración final	
				Capacidad de Adsorción	Masa	g
					Volumen	ml
				Concentración	mg/l	
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALAS DE MEDICIÓN
¿Cuál es la eficiencia de utilizar distintas dosis de carbón activado modificado para remover el Cr ⁶⁺ presente en el efluente de la industria de cromado?	Determinar la mejor dosis de carbón activado modificado para remover el Cr ⁶⁺ presente en el efluente de la industria de cromado.	La remoción de Cr ⁶⁺ se incrementa conforme aumenta las dosis de carbón activado modificado en el proceso de adsorción.	ADSORCIÓN CON CARBÓN ACTIVADO MODIFICADO	Condiciones de activación	Concentración de H ₂ O ₂	% p/v
					Tiempo de reacción	min
					Temperatura	°C
¿Cómo influye la variación del pH en el efluente para remover el Cr ⁶⁺ mediante la adsorción con Carbón activado modificado?	Determinar el pH idóneo del efluente para remover la mayor cantidad de Cr ⁶⁺ en el proceso de adsorción con Carbón activado modificado.	La remoción de Cr ⁶⁺ aumenta conforme disminuye el pH del efluente en el proceso de adsorción con carbón activado modificado.	ADSORCIÓN CON CARBÓN ACTIVADO MODIFICADO	Condiciones de operación	dosis CAM	g
					pH efluente	0-14
					Tiempo operación	min
					Agitación	Rpm

Anexo 2: Método EPA 7196A - Digestión ácida para determinar cromo hexavalente

METHOD 7196A

CHROMIUM, HEXAVALENT (COLORIMETRIC)

5.0 REAGENTS

5.1 Reagent water: Reagent water should be monitored for impurities.

5.2 Potassium dichromate stock solution: Dissolve 141.4 mg of dried potassium dichromate, $K_2Cr_2O_7$ (analytical reagent grade), in reagent water and dilute to 1 liter (1 mL = 50 ug Cr).

5.3 Potassium dichromate standard solution: Dilute 10.00 mL potassium dichromate stock solution to 100 mL (1 mL = 5 ug Cr).

5.4 Sulfuric acid, 10% (v/v): Dilute 10 mL of distilled reagent grade or spectrograde quality sulfuric acid, H_2SO_4 , to 100 mL with reagent water.

5.5 Diphenylcarbazide solution: Dissolve 250 mg 1,5-diphenylcarbazide in 50 mL acetone. Store in a brown bottle. Discard when the solution becomes discolored.

5.6 Acetone (analytical reagent grade): Avoid or redistill material that comes in containers with metal or metal-lined caps.

6.0 SAMPLE COLLECTION, PRESERVATION, AND HANDLING

6.1 All samples must have been collected using a sampling plan that addresses the considerations discussed in Chapter Nine of this manual.

6.2 Since the stability of Cr(VI) in extracts is not completely understood at this time, the analysis should be carried out as soon as possible.

6.3 To retard the chemical activity of hexavalent chromium, the samples and extracts should be stored at 4°C until analyzed. The maximum holding time prior to analysis of the samples or extracts is 24 hr. The 24 hr holding time begins after extraction.

7.0 PROCEDURE

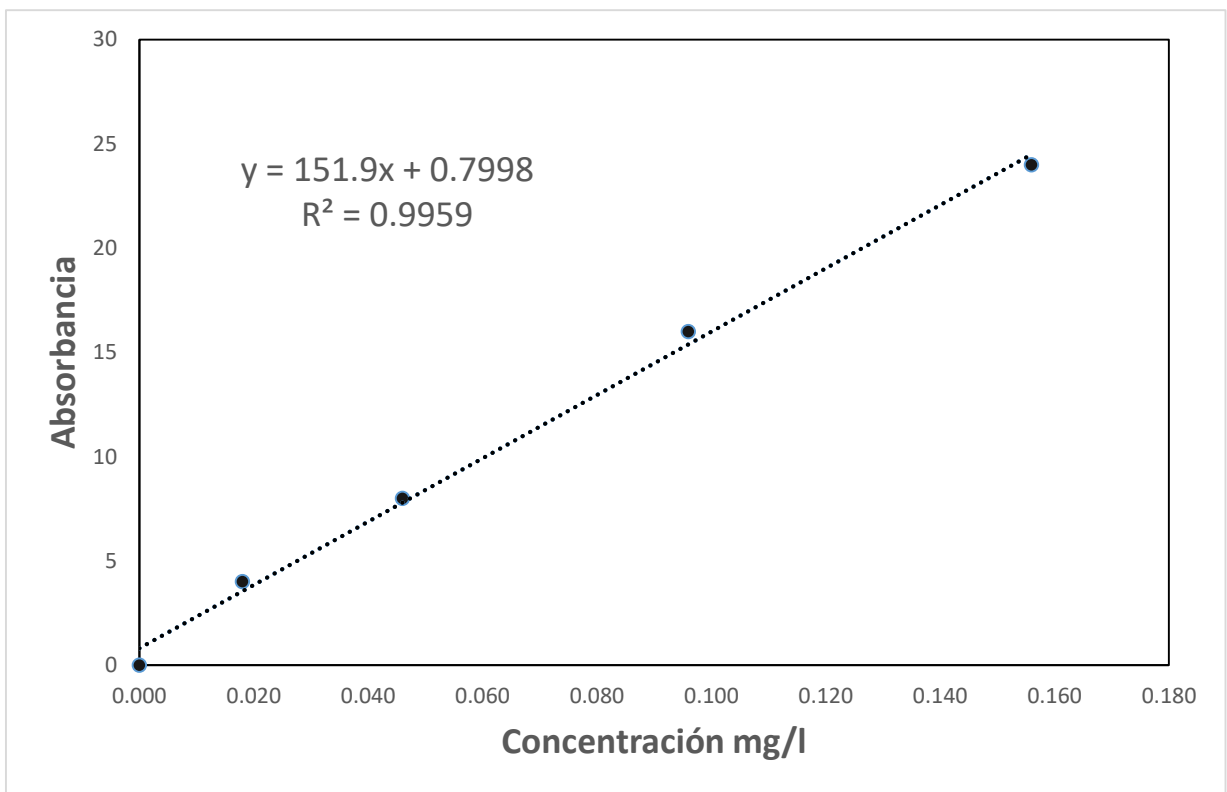
7.1 Color development and measurement: Transfer 95 mL of the extract to be tested to a 100-mL volumetric flask. Add 2.0 mL diphenylcarbazide solution and mix. Add H_2SO_4 solution to give a pH of 2 ± 0.5 , dilute to 100 mL with reagent water, and let stand 5 to 10 min for full color development. Transfer an appropriate portion of the solution to a 1-cm absorption cell and measure its absorbance at 540 nm. Use reagent water as a reference. Correct the absorbance reading of the sample by subtracting the absorbance of a blank carried through the method (see Note below). An aliquot of the sample containing all reagents except diphenylcarbazide should be prepared and used to correct the sample for turbidity (i.e., a turbidity blank). From the corrected absorbance, determine the mg/L of chromium present by reference to the calibration curve.

NOTE: If the solution is turbid after dilution to 100 mL in Step 7.1, above, take an absorbance reading before adding the carbazide

Anexo 1: Determinación de la curva de calibración Cromo total

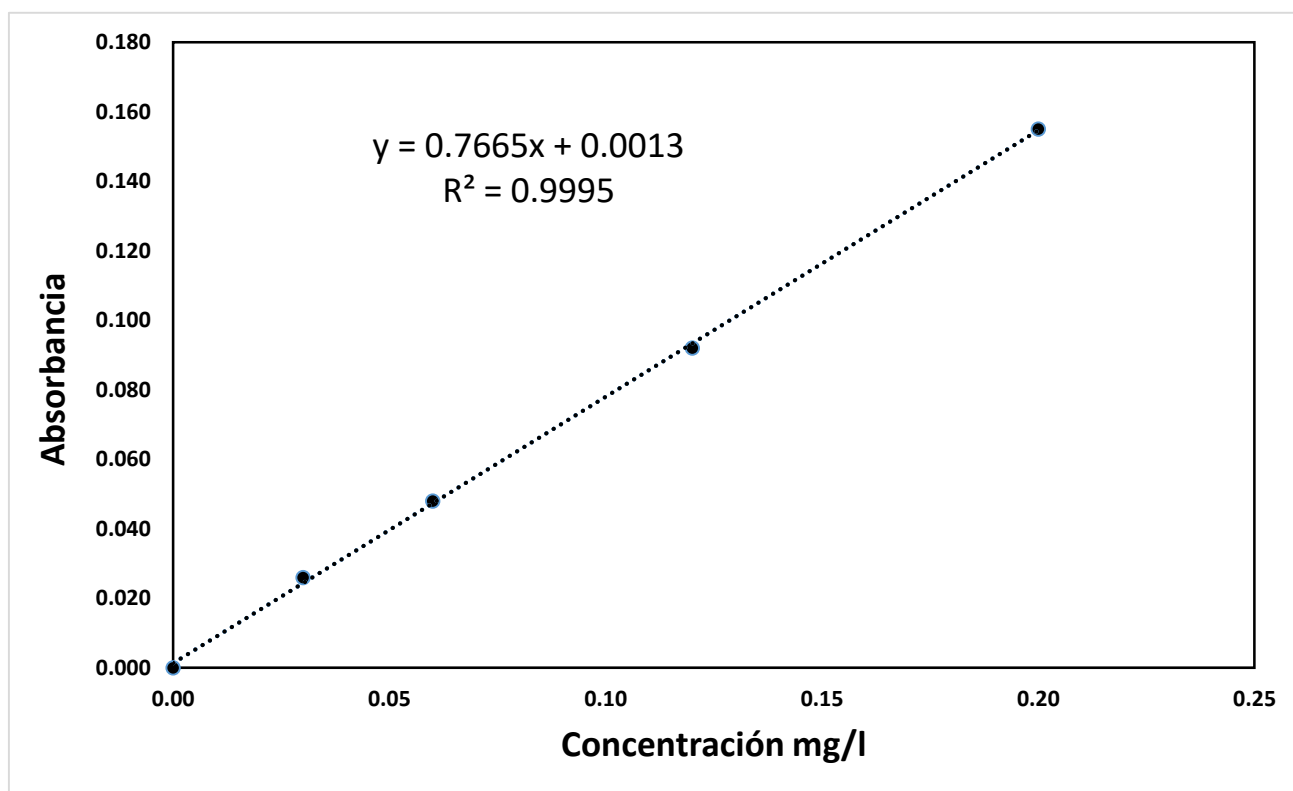
Código	Concentración mg/l	ml de Patrón Hija 100 mg/l	ml NH4Cl	Enrase con agua ácida 1% HNO3	Abs	factor de dilución *
Blanco	0		2.5	25 ml	0.000	100
Estándar 01	4	1	2.5	25 ml	0.018	
Estándar 02	8	2	2.5	25 ml	0.046	
Estándar 03	16	4	2.5	25 ml	0.096	
Estándar 04	24	6	2.5	25 ml	0.156	
Efluente	1173.68		10	100 ml	0.072	

*** = el factor sólo aplica para el cálculo Concentración mg/l del efluente

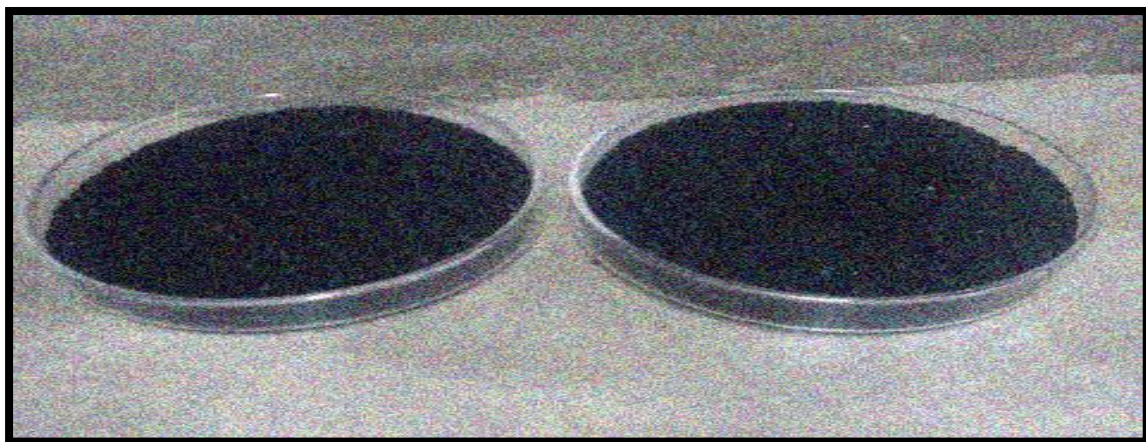


Anexo 4: Determinación de la curva de calibración cromo hexavalente

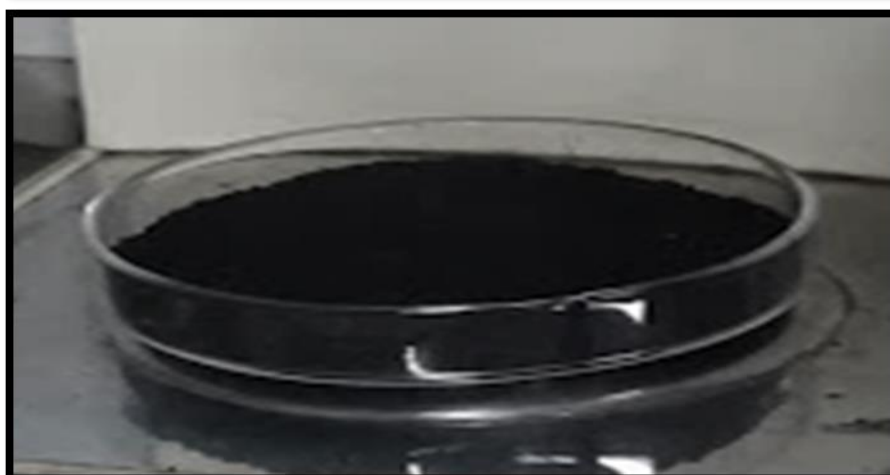
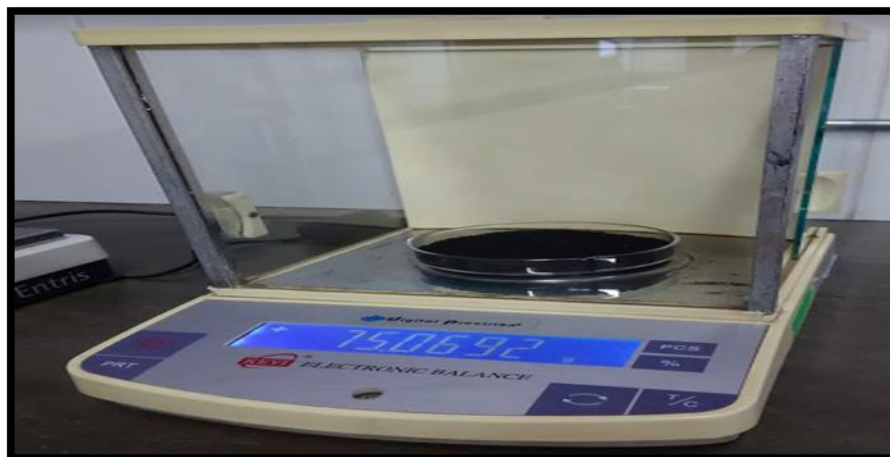
Curva de Calibración para determinar Cr ⁶⁺ Espectrofotómetro UV visible							
Código	Concentración mg/l	ml de Patrón Hija (2 mg/l)	ml de H2SO4 (1:1)	ml de 1.5 difenil carbazida	enrase con agua desionizada	Abs	factor de dilución *
Blanco	0.00	0.00	0.5	1	50 ml	0.000	200
Estándar 01	0.03	0.75	0.5	1	50 ml	0.026	
Estándar 02	0.06	1.50	0.5	1	50 ml	0.048	
Estándar 03	0.12	3.0	0.5	1	50 ml	0.092	
Estándar 04	0.20	5.0	0.5	1	50 ml	0.155	
Efluente	364.40		0.5	1	50 ml	1.398	
** = el factor sólo aplica para el cálculo Concentración mg/l del efluente							



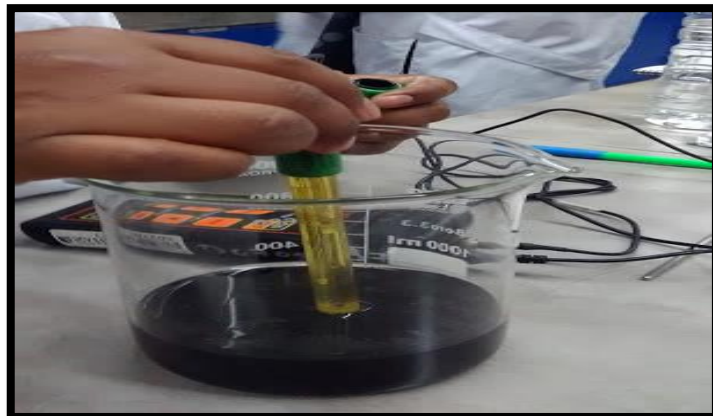
Anexo 5: Limpieza y Secado del Carbón activado comercial



Anexo 6: Impregnación del carbón activado comercial limpio con H₂O₂



Anexo 7: Proceso de Adsorción utilizando el CACM e diferentes medios de acidez del efluente



Anexo 8: Condiciones de operación para determinar la remoción de Cr6+ - Primera Repetición

Datos Iniciales			Resultados obtenidos de la 1° Repetición				
dosis CAM gr.	pH inicial	Concentración inicial mg/l	pH final	Absorbancia	Concentración final mg/l	Cantidad adsorbida de Cr ⁶⁺ (mg)	% remoción
1.0	PH 1	364.4	1.03	0.815	106.15	258.25	70.87
2.0		364.4	1.09	0.040	5.04	359.36	98.62
3.0		364.4	1.15	0.051	6.48	357.92	98.22
4.0		364.4	1.17	0.015	1.78	362.62	99.51
5.0		364.4	1.22	0.010	1.13	363.27	99.69
1.0	PH 2	364.4	2.35	1.399	182.33	182.07	49.96
2.0		364.4	2.52	0.935	121.80	242.60	66.57
3.0		364.4	2.83	0.571	74.32	290.08	79.61
4.0		364.4	3.01	0.304	39.48	324.92	89.16
5.0		364.4	2.97	0.219	28.39	336.01	92.21
1.0	PH 3	364.4	3.31	1.417	184.68	179.72	49.32
2.0		364.4	3.86	1.003	130.67	233.73	64.14
3.0		364.4	4.09	0.912	118.80	245.60	67.40
4.0		364.4	4.33	0.799	104.06	260.34	71.44
5.0		364.4	4.34	0.689	89.71	274.69	75.38
1.0	PH 4	364.4	4.41	1.020	132.89	231.51	63.53
2.0		364.4	4.60	0.761	99.10	265.30	72.80
3.0		364.4	4.52	0.541	70.40	294.00	80.68
4.0		364.4	4.59	0.654	85.14	279.26	76.63
5.0		364.4	4.80	0.346	44.96	319.44	87.66
1.0	PH 5	364.4	5.03	1.329	173.20	191.20	52.47
2.0		364.4	4.91	1.413	184.16	180.24	49.46
3.0		364.4	5.03	1.270	165.51	198.89	54.58
4.0		364.4	5.15	0.902	117.50	246.90	67.76
5.0		364.4	5.41	0.670	87.23	277.17	76.06

Anexo 9: Condiciones de operación para determinar la remoción de Cr6+ - Segunda Repetición

Datos Iniciales			Resultados obtenidos de la 2° Repetición				
dosis CAM gr.	pH inicial	Concentración inicial mg/l	pH final	Absorbancia	Concentración final mg/l	Cantidad adsorbida de Cr ⁶⁺ (mg)	% remoción
1.0	PH 1	364.4	1.04	0.691	89.97	274.43	75.31
2.0		364.4	1.07	0.099	12.74	351.66	96.50
3.0		364.4	1.14	0.035	4.39	360.01	98.80
4.0		364.4	1.15	0.018	2.17	362.23	99.40
5.0		364.4	1.24	0.012	1.39	363.01	99.62
1.0	PH 2	364.4	2.39	1.445	188.34	176.06	48.32
2.0		364.4	2.60	0.916	119.32	245.08	67.25
3.0		364.4	2.85	0.590	76.79	287.61	78.93
4.0		364.4	3.03	0.294	38.18	326.22	89.52
5.0		364.4	3.01	0.191	24.74	339.66	93.21
1.0	PH 3	364.4	3.34	1.222	159.24	205.16	56.30
2.0		364.4	3.88	1.029	134.07	230.33	63.21
3.0		364.4	4.06	0.859	111.89	252.51	69.30
4.0		364.4	4.35	0.721	93.88	270.52	74.24
5.0		364.4	4.40	0.563	73.27	291.13	79.89
1.0	PH 4	364.4	4.45	0.978	127.41	236.99	65.04
2.0		364.4	4.63	0.818	106.54	257.86	70.76
3.0		364.4	4.55	0.635	82.66	281.74	77.31
4.0		364.4	4.58	0.511	66.49	297.91	81.75
5.0		364.4	4.66	0.408	53.05	311.35	85.44
1.0	PH 5	364.4	5.00	1.555	202.69	161.71	44.38
2.0		364.4	4.93	1.490	194.21	170.19	46.71
3.0		364.4	5.04	1.224	159.50	204.90	56.23
4.0		364.4	5.21	0.942	122.72	241.68	66.32
5.0		364.4	5.35	0.660	85.93	278.47	76.42

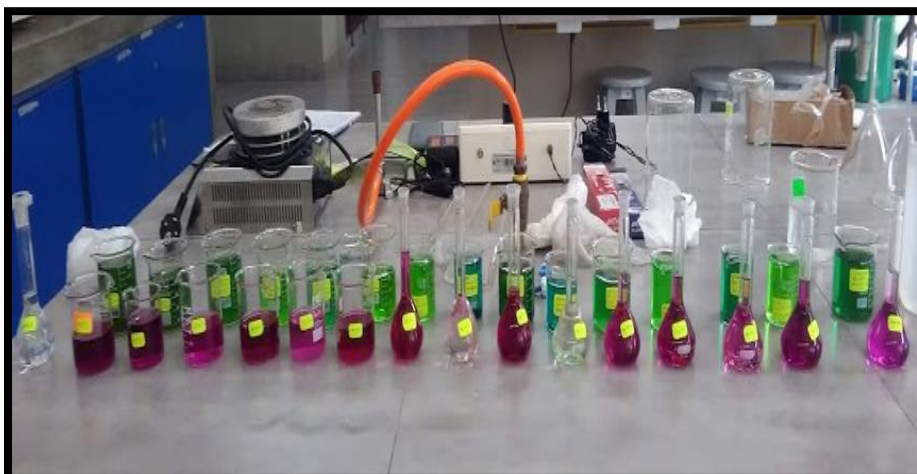
Anexo 10: Condiciones de operación para determinar la remoción de Cr6+ - Tercera Repetición

Datos Iniciales			Resultados obtenidos de la 3° Repetición				
dosis CAM gr.	pH inicial	Concentración inicial mg/l	pH final	Absorbancia	Concentración final mg/l	Cantidad adsorbida de Cr ⁶⁺ (mg)	% remoción
1.0	PH 1	364.4	1.06	0.859	111.89	252.51	69.30
2.0		364.4	1.15	0.302	39.22	325.18	89.24
3.0		364.4	1.15	0.022	2.69	361.71	99.26
4.0		364.4	1.14	0.018	2.17	362.23	99.40
5.0		364.4	1.23	0.013	1.52	362.88	99.58
1.0	PH 2	364.4	2.38	1.366	178.03	186.37	51.14
2.0		364.4	2.59	0.826	107.58	256.82	70.48
3.0		364.4	2.84	0.485	63.10	301.30	82.68
4.0		364.4	2.97	0.297	38.57	325.83	89.42
5.0		364.4	3.01	0.199	25.79	338.61	92.92
1.0	PH 3	364.4	3.33	1.426	185.86	178.54	49.00
2.0		364.4	3.96	1.287	167.72	196.68	53.97
3.0		364.4	4.08	0.816	106.28	258.12	70.83
4.0		364.4	4.36	0.808	105.23	259.17	71.12
5.0		364.4	4.37	0.613	79.79	284.61	78.10
1.0	PH 4	364.4	4.36	0.764	99.49	264.91	72.70
2.0		364.4	4.54	0.845	110.06	254.34	69.80
3.0		364.4	4.50	0.515	67.01	297.39	81.61
4.0		364.4	4.66	0.564	73.40	291.00	79.86
5.0		364.4	4.71	0.395	51.36	313.04	85.91
1.0	PH 5	364.4	4.98	1.518	197.86	166.54	45.70
2.0		364.4	5.00	1.385	180.51	183.89	50.46
3.0		364.4	5.19	1.138	148.28	216.12	59.31
4.0		364.4	5.23	1.045	136.15	228.25	62.64
5.0		364.4	5.29	0.711	92.58	271.82	74.59

Anexo 11: Condiciones de operación para determinar la remoción de Cr6+ - Cuarta Repetición

Datos Iniciales			Resultados obtenidos de la 4° Repetición				
dosis CAM gr.	pH inicial	Concentración inicial mg/l	pH final	Absorbancia	Concentración final mg/l	Cantidad adsorbida de Cr ⁶⁺ (mg)	% remoción
1.0	PH 1	364.4	1.02	0.823	107.19	257.21	70.58
2.0		364.4	1.14	0.245	31.79	332.61	91.28
3.0		364.4	1.14	0.022	2.69	361.71	99.26
4.0		364.4	1.14	0.014	1.65	362.75	99.55
5.0		364.4	1.22	0.010	1.13	363.27	99.69
1.0	PH 2	364.4	2.37	1.439	187.55	176.85	48.53
2.0		364.4	2.61	0.819	106.67	257.73	70.73
3.0		364.4	2.85	0.453	58.92	305.48	83.83
4.0		364.4	3.17	0.327	42.48	321.92	88.34
5.0		364.4	3.01	0.197	25.52	338.88	93.00
1.0	PH 3	364.4	3.40	1.449	188.86	175.54	48.17
2.0		364.4	3.98	1.309	170.59	193.81	53.19
3.0		364.4	4.12	0.882	114.89	249.51	68.47
4.0		364.4	4.33	0.798	103.93	260.47	71.48
5.0		364.4	4.46	0.521	67.79	296.61	81.40
1.0	PH 4	364.4	4.33	0.885	115.28	249.12	68.36
2.0		364.4	4.56	0.862	112.28	252.12	69.19
3.0		364.4	4.57	0.689	89.71	274.69	75.38
4.0		364.4	4.74	0.494	64.27	300.13	82.36
5.0		364.4	4.70	0.359	46.66	317.74	87.20
1.0	PH 5	364.4	4.96	1.359	177.12	187.28	51.40
2.0		364.4	5.01	1.293	168.51	195.89	53.76
3.0		364.4	5.21	0.910	118.54	245.86	67.47
4.0		364.4	5.17	0.975	127.02	237.38	65.14
5.0		364.4	5.32	0.685	89.19	275.21	75.52

Anexo 12: Lectura de las muestras del proceso con el Espectrofotómetro UV visible



Anexo 13: Determinación de Cromo total del efluentes - Absorción Atómica



Anexo 14: Determinación de la cinética de Adsorción del proceso



Anexo 15: Determinación de los Isotermas de Adsorción del proceso



*Anexo 16: Cálculo para determinar el análisis de varianza ANOVA con la Prueba - F
(Distribución de Fisher)*

<p>Matriz de eficiencia en forma decimal</p> $DM1 := \begin{pmatrix} 0.7087 & 0.4996 & 0.4932 & 0.6353 & 0.5247 \\ 0.7531 & 0.4832 & 0.563 & 0.6504 & 0.4438 \\ 0.693 & 0.5114 & 0.49 & 0.727 & 0.457 \\ 0.7058 & 0.4853 & 0.4817 & 0.6836 & 0.514 \\ 0.9852 & 0.6657 & 0.6414 & 0.728 & 0.4946 \\ 0.965 & 0.6725 & 0.6321 & 0.7076 & 0.4671 \\ 0.8924 & 0.7048 & 0.5397 & 0.698 & 0.5046 \\ 0.9128 & 0.7073 & 0.5319 & 0.6919 & 0.5376 \\ 0.9822 & 0.7961 & 0.674 & 0.8068 & 0.5458 \\ 0.988 & 0.7893 & 0.693 & 0.7731 & 0.5623 \\ 0.9926 & 0.8268 & 0.7083 & 0.8161 & 0.5931 \\ 0.9926 & 0.8383 & 0.6847 & 0.7538 & 0.6747 \\ 0.9951 & 0.8916 & 0.7144 & 0.7663 & 0.6776 \\ 0.994 & 0.8952 & 0.7424 & 0.8175 & 0.6632 \\ 0.994 & 0.8942 & 0.7112 & 0.7986 & 0.6264 \\ 0.9955 & 0.8834 & 0.7148 & 0.8236 & 0.6514 \\ 0.9969 & 0.9221 & 0.7538 & 0.8766 & 0.7606 \\ 0.9962 & 0.9321 & 0.7989 & 0.8544 & 0.7642 \\ 0.9958 & 0.9292 & 0.781 & 0.8591 & 0.7459 \\ 0.9969 & 0.93 & 0.814 & 0.872 & 0.7552 \end{pmatrix}$	<p>Matriz de sumas parciales de las repeticiones</p> $DM11 := \sum_{j=0}^4 \sum_{i=0}^{19} (DM1_{i,j})$ <p>DM11 = 74.261</p> $DM12 := \sum_{j=0}^4 \sum_{i=0}^{19} (DM1_{i,j})^2$ <p>DM12 = 57.687</p> $SST := DM12 - \frac{DM11^2}{100}$ <p>SST = 2.54</p> <p>SSE := SST - SScarbon - SSpH - SSinterac</p> <p>SSE = 0.049</p> $DM22 := \sum_{j=0}^4 \sum_{i=0}^4 (DM2_{i,j})^2$ <p>DM22 = 230.551</p>
<p>Matriz de sumas parciales de las repeticiones</p> $DM2 := \begin{pmatrix} 2.86606 & 1.9795 & 2.0279 & 2.6963 & 1.9395 \\ 3.7564 & 2.7503 & 2.3451 & 2.8255 & 2.0039 \\ 3.9554 & 3.2505 & 2.76 & 3.1498 & 2.3759 \\ 3.9786 & 3.5644 & 2.8828 & 3.206 & 2.6186 \\ 3.9858 & 3.7134 & 3.1477 & 3.4621 & 3.0259 \end{pmatrix}$	
<p>Efecto de la masa de carbón activado</p> $SS_{carbon} := \frac{1}{5.4} \cdot (11.5038^2 + 13.6812^2 + 15.4916^2 + 16.2504^2 + 17.3349^2) - \frac{(DM11)^2}{100}$ <p>SS_{carbon} = 1.057</p>	
<p>Efecto de la acidez del Efluente</p> $SS_{pH} := \frac{1}{5.4} \cdot (18.5368^2 + 15.2581^2 + 13.1635^2 + 15.3397^2 + 11.9638^2) - \frac{DM11^2}{100}$ <p>SS_{pH} = 1.26</p>	
<p>Efecto combinado de carbón y pH</p> $SS_{interac} := \frac{1}{4} \cdot (DM22) - \frac{DM11^2}{100} - SScarbon - SSpH$ <p>SS_{interac} = 0.174</p>	

Anexo 17: Cálculo para determinar el modelo matemático factorial del proceso de adsorción

Carbon := (1 2 3 4 5 1 2 3 4 5 1 2 3 4 5 1 2 3 4 5 1 2 3 4 5)

Acidez := (1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5)

CAct := Carbon^T pH := Acidez^T eficiencia% := Ef^T i := 0..24 n := 24

x1 := CAct x2 := pH y := eficiencia%

$$X := \begin{bmatrix} n & \sum_i x1_i & \sum_i x2_i & \sum_i (x1_i)^2 & \sum_i (x2_i)^2 & \sum_i (x1_i \cdot x2_i) \\ \sum_i x1_i & \sum_i (x1_i)^2 & \sum_i (x1_i \cdot x2_i) & \sum_i (x1_i)^3 & \sum_i [x1_i \cdot (x2_i)^2] & \sum_i [(x1_i)^2 \cdot x2_i] \\ \sum_i x2_i & \sum_i (x1_i \cdot x2_i) & \sum_i (x2_i)^2 & \sum_i [(x1_i)^2 \cdot x2_i] & \sum_i (x2_i)^3 & \sum_i [x1_i \cdot (x2_i)^2] \\ \sum_i (x1_i)^2 & \sum_i (x1_i)^3 & \sum_i [(x1_i)^2 \cdot x2_i] & \sum_i (x1_i)^4 & \sum_i [(x1_i)^2 \cdot (x2_i)^2] & \sum_i [(x1_i)^3 \cdot x2_i] \\ \sum_i (x2_i)^2 & \sum_i [x1_i \cdot (x2_i)^2] & \sum_i (x2_i)^3 & \sum_i [(x1_i)^2 \cdot (x2_i)^2] & \sum_i (x2_i)^4 & \sum_i [x1_i \cdot (x2_i)^3] \\ \sum_i (x1_i \cdot x2_i) & \sum_i [(x1_i)^2 \cdot x2_i] & \sum_i [x1_i \cdot (x2_i)^2] & \sum_i [(x1_i)^3 \cdot x2_i] & \sum_i [x1_i \cdot (x2_i)^3] & \sum_i [(x1_i)^2 \cdot (x2_i)^2] \end{bmatrix}$$

$$Y := \begin{bmatrix} \sum_i y_i \\ \sum_i (x1_i \cdot y_i) \\ \sum_i (x2_i \cdot y_i) \\ \sum_i [(x1_i)^2 \cdot y_i] \\ \sum_i [(x2_i)^2 \cdot y_i] \\ \sum_i [(x1_i) \cdot (x2_i) \cdot (y_i)] \end{bmatrix} \quad \beta = \begin{pmatrix} 70.691 \\ 15.374 \\ -13.977 \\ -1.159 \\ 1.459 \\ -0.435 \end{pmatrix} \quad \beta := X^{-1} \cdot y$$

y(x1,x2) := 70.691 + 15.374x1 - 13.977x2 - 1.159x1² + 1.459x2 - 0.435x1x2

y(2,2) = 68.568

Anexo 18: Diagrama de Interacción del pH y dosis de carbón sobre la Remoción de Cr6+

