



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**“Efecto del pH en la adsorción y desorción de Cromo (VI)
mediante biocarbón aplicado en efluentes de la industria de
Curtiembre 2019”**

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

AUTORES:

Flores Policarpo, Miguel Antonio (ORCID: 0000-0002-9874-8564)

Gutierrez Calero, Manuel Sashenko (ORCID: 0000-0001-7492-7624)

ASESORA:

Mg. Cabello Torres, Rita Jaqueline (ORCID: 0000-0002-9965-9678)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA – PERÚ

2019

Dedicatoria

A Dios primeramente por guiarnos y darnos luz en el largo camino de nuestras vidas. A nuestros queridos padres, quienes dieron los mejores años de su vida para, apoyarnos.

Agradecimiento

Agradecemos a Dios por darnos cada día más fuerza para seguir adelante.

Agradecemos a nuestros padres por estar siempre apoyándonos en todo lo que se ha necesitado y de la presente tesis, porque sin ellos no se hubiera conseguido llegar a nuestros objetivos.

Agradecemos a todos los docentes por sus enseñanzas, consejos, experiencias y los ánimos de seguir investigando y proponer soluciones.

A la Universidad César Vallejo, por sus puertas y que durante cinco años nos ha dado la oportunidad de estudiar en esta gloriosa casa de estudio, la carrera de Ingeniería Ambiental, con todo el apoyo necesario con el que nos alentó a hacer de nosotros unos profesionales.

A nuestra asesora un especial agradecimiento, admiración y respeto a la Mg. Rita Jaqueline Cabello Torres por brindarnos su apoyo, paciencia, conocimientos en la guía y asesoría, quien nos dirigió en nuestro trabajo de investigación en la Universidad César Vallejo.

Agradecer a todas las amistades que forman parte de nuestra vida universitaria.

Índice de contenidos

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de gráficos	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	11
3.1 Tipo y diseño de investigación	11
3.2 Variables, operacionalización.....	13
3.3 Población y muestra.....	15
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	15
3.5 Procedimiento	19
3.6 Método de análisis de datos	23
3.7 Aspectos éticos	23
IV. RESULTADOS.....	24
V. DISCUSIÓN.....	45
VI. CONCLUSIÓN	47
VII. RECOMENDACIONES	48
REFERENCIAS.....	49
ANEXOS	63

Índice de tablas

Tabla 1: Metodología	13
Tabla 2: Técnicas e instrumentos	15
Tabla 3: Ficha de recolección de datos	18
Tabla 4: Parámetros y sus metodologías	19
Tabla 5: Curva de Calibración para determinar Cr(VI) Espectrofotómetro UV visible	21
Tabla 6: Concentraciones iniciales y finales de cromo hexavalente (pH 1 2 3 4 5 y 6)	24
Tabla 7: Concentraciones iniciales y finales de cromo hexavalente, segunda repetición.....	25
Tabla 8: Eficiencia del biocarbon para la adsorción de Cr(VI)	27
Tabla 9: Datos para la isoterma de Langmuir	30
Tabla 10: Datos para la isoterma de Freundlich	30
Tabla 11: Datos para la isoterma de Langmuir	31
Tabla 12: Datos para la isoterma de Freundlich.....	32
Tabla 13: Datos para la isoterma de Langmuir	33
Tabla 14: Datos para la isoterma de Freundlich.....	34
Tabla 15: Datos para la isoterma de Langmuir	34
Tabla 16: Datos para la isoterma de Freundlich.....	35
Tabla 17: <i>Valores utilizando en diferentes modelos isotérmicos de adsorción para la adsorción de Cr (VI).</i>	36
Tabla 18: Pruebas de normalidad de las cantidades de remoción de cromo (VI) de cada ph utilizado	37
Tabla 19: Prueba ANOVA de los tratamientos con pH empleados en cuanto a sus cantidades de remoción	39
Tabla 20: Prueba de Tukey de los tratamientos con ph empleados en cuanto a sus cantidades de remoción.....	40
Tabla 21: Pruebas de normalidad de las cantidades de desorción de cromo (VI) de cada ph utilizado	42
Tabla 22: Estadísticos de los ph utilizados para la desorción	44

Índice de gráficos

Gráfico 1: Concentraciones de cromo hexavalente resultante después del tratamiento.	26
Gráfico 2: Concentraciones de cromo hexavalente finales de la réplica.	27
Gráfico 3: Porcentaje de remoción de cromo hexavalente con pH 1,2y 3.....	28
Gráfico 4: Porcentaje de remoción de cromo hexavalente con pH 4,5y 6.....	28
Gráfico 5: Modelo linealizado de Langmuir.	30
Gráfico 6: Modelo linealizado de Freundlich.....	31
Gráfico 7: Modelo linealizado de Langmuir.	32
Gráfico 8: Modelo linealizado de Freundlich.....	33
Gráfico 9: Modelo linealizado de Langmuir.	33
Gráfico 10: Modelo linealizado de Freundlich.....	34
Gráfico 11: Modelo linealizado de Langmuir.	35
Gráfico 12: Modelo linealizado de Freundlich.	35
Gráfico 13: Medías de las remociones de Cr (VI) por cada pH de análisis.	41
Gráfico 14: Promedios de los porcentajes de desorción con el pH 3 y el pH 5.	44

Resumen

El objetivo de esta presente investigación fue evaluar el efecto del pH en la adsorción y desorción de Cr (VI) mediante biocarbón en efluentes de la industria de curtiembre 2019 para esto se estableció diferentes concentraciones (5, 25, 50, 100,150 y 200mg/l) a diferentes pH con un volumen de 300ml. La técnica que se utilizaron fue el con difenilcarbazida para el análisis de colorímetro, para medir la concentración final de Cr (VI) usando el espectrofotómetro UV con una longitud de onda de 540 nm. También se utilizaron los modelos de adsorción las isothermas de Lagmuir y Fruendlich para identificar el proceso de adsorción. Los resultados demostraron que el pH que mejor funciona para su tratamiento con biocarbón es el pH 1 y 2 ya que la remoción de Cr (VI) obtuvo los picos más altos a diferentes concentraciones. Se determinó también que ene l proceso de desorción porque se observó que a diferentes pH acondicionadas a distintas concentraciones (25,50 y 150 mg/l) el porcentaje de remoción no tuvo una diferencia significativa con lo que respecta a los 2 pH trabajados (3-5) ya que su porcentaje fue de 60 % también también se demostró que las isothermas de adsorción están mejor descritas por el modelo Freundlich sugiriendo que que el proceso de adsorción es multicapas.

Palabras claves: Adsorción, desorción. biocarbón, isothermas de adsorción, cromo hexavalente.

Abstract

The objective of this research was to evaluate the effect of pH on the adsorption and desorption of Cr (VI) by means of biocarbon in tanning industry effluents of September 2019. For this purpose, different concentrations (5, 25, 50, 100, 150 and 200mg/l) were established at different pH with a volume of 300ml. The technique used was difenylcarbazine for colorimeter analysis, to measure the final concentration of Cr (VI) using the UV spectrophotometer with a wavelength of 540 nm. The isotherms of Lagmuir and Fruendlich were also used to identify the adsorption process. The results showed that the pH that works best for treatment with biocarbon is pH 1 and 2 since the removal of Cr (VI) obtained the highest peaks at different concentrations. It was also determined that in the desorption process because it was observed that at different pH conditioned at different concentrations (25.50 and 150 mg/l) the removal percentage did not have a significant difference with respect to the 2 pH worked (3-5) since its percentage was 60 % it was also demonstrated that the adsorption isotherms are better described by the Freundlich model suggesting that the adsorption process is multilayered.

Keywords: Adsorption, desorption. biocarbón, adsorption isotherms, hexavalent chromium.

I. INTRODUCCIÓN

La gran liberación de metales pesados alrededor del mundo por vertido de aguas residuales de las industrias representa un gran peligro hacia el ambiente y la salud en el ser humano. (Zhang, X et al. 2018).

También se observa que, debido al aumento de las actividades industriales, las fuentes de contaminación para el ambiente aumentan significativamente por metales pesados, estos son elementos de la tabla periódica que se caracterizan por tener una densidad elevada (mayor a 4 g/cm³), masa y peso atómico mayor a 20 y en concentraciones bajas son tóxicos. (Londoño, et al. 2016).

Los metales pesados aparte de que no logran degradarse, se acumulan en el organismo, así causando diversos efectos desfavorables tales como dolores crónicos y problemas sanguíneos (Londoño, et al. 2016). Estos metales se liberan en los ríos de todo el mundo con cantidades enormes de productos químicos peligrosos, esto debido al acelerado crecimiento de la población mundial y a las acciones domésticas masivos, así como la extensión de la producción tanto industrial como agrícola, tienen como consecuencia el aumento de presencia de metales en el agua de los ríos. (Según Kumar, V. et al .2019)

Su incremento es considerable, por ejemplo, el cromo es un contaminante común con una oxidación variable y existe comúnmente en el ambiente en forma trivalente Cr (III) y hexavalente Cr (VI), el cromo hexavalente Cr(VI) es 300 veces más tóxico que el Cr(III) y tiene, mutágenos, teratogénicos y tóxicos en el mundo vivo. (A. Tytlak, P. Oleszczuk, R. Dobrowolski. 2015). El cromo (VI) también es un cancerígeno, esto porque tiene la capacidad de cambiar los procesos de transcripción del ADN originando importantes aberraciones cromosómicas. (Rey Del Castro.2013)

Existe una concentración mínima de cromo de cromo (VI) en las fuentes hídricas. Las industrias del cromado, la metalurgia, producción de cuero, son la principal razón del crecimiento en la concentración de cromo hexavalente y trivalente en el agua (ARDILA2012).

Las intervenciones industriales como el curtido del cuero, la minería del mineral cromo, la industria del acero y de las aleaciones, la fabricación de colorantes y pigmentos, la limpieza de metales y la industria de la galvanoplastia arrojan un elevado nivel de contaminación ambiental. Cantidad de Cr (VI) que contiene aguas residuales con pH ácido.

Otro ejemplo está en a la región de Lima, vemos que el rio Rímac es el principal abastecedor de agua para toda la población, pero esta es afectada por muchas industrias que están ubicadas en la rivera del cauce por el excesivo vertimiento de aguas residuales sin algún tipo de control.

En este presente trabajo se utiliza al biocarbón de estiércol como adsorbente, este es el residuo sólido del pirólisis de biomasa con una estructura microporosa rica en carbono este posee muchas propiedades físicas y químicas beneficiosas, como una estructura de carbono altamente aromática, poros bien desarrollados con una gran superficie microscópica y una gran resistencia a la descomposición térmica/biológica (Kim, M, et al.2018).El biocarbón se puede utilizar para inmovilización de metales pesados (Le.M et al.2019)

En esta investigación se explora la influencia con diferentes pH en la adsorción y desorción de cromo (VI) mediante biocarbón aplicados en aguas residuales de curtiembre. Por lo cual se formuló la siguiente pregunta: ¿Cuál es el efecto del pH en la adsorción y desorción de C (VI) mediante biocarbón en efluentes de la industria de curtiembre 2019?

Como problemas específicos ¿Cuál es el pH óptimo en la adsorción de Cr (VI) mediante biocarbón en efluentes de la industria de curtiembre 2019? y ¿La adsorción de Cr (VI) mediante el biocarbón en efluentes de la industria de curtiembre será totalmente reversible?

El presente trabajo tiene como justificación teórica donde se podrá adquirir más información relacionada a la eficiencia del biocarbón en la adsorción de cromo (VI) en aguas contaminadas, aparte los resultados de estos estudios servirán como antecedentes para próximos estudios similares al tema. Justificación metodológica, estas técnicas y mecanismos utilizados en esta tesis podrán ser utilizados para la acumulación de información en próximas investigaciones relacionados al tema y justificación tecnológica, la aplicación de esta tecnología limpia como el biocarbón a partir de residuos orgánicos permite la adsorción de metales pesados presente en aguas residuales, además de contribuir al medio ambiente esta aplicación es de bajo costo. Reduciendo residuos orgánicos por actividades humanas.

El objetivo general de esta investigación es evaluar el efecto del pH en la adsorción y desorción de Cr(VI) mediante biocarbón en efluentes de la industria de curtiembre 2019. Los objetivos específicos a) Determinar el pH óptimo en la adsorción de Cr(VI) mediante biocarbón en efluentes de la industria de curtiembre 2019; b) Determinar si la adsorción de Cr (VI) mediante biocarbón en efluentes de la industria de curtiembre es totalmente reversible. Se ha planteado la hipótesis general de que el pH tiene efecto significativo para la adsorción y desorción de Cr(VI) mediante biocarbón en efluentes de la industria de curtiembre 2019. Como hipótesis específicas a) Existe un pH óptimo en la adsorción de Cr (VI) mediante biocarbón en efluentes de la industria de curtiembre 2019; b) La adsorción de Cr(VI) mediante biocarbón en efluentes de la industria de curtiembre es totalmente reversible.

II. MARCO TEÓRICO

La mejor adsorción se consigue mediante la adsorción multicapa (Liu, Q. 2019) Entre los elementos que participan en el proceso de la biosorción (Das, Vimala y Karthika.2008), señalan que los principales elementos que impacta en el proceso de la biosorción son: concentración inicial de los iones metálicos, temperatura, pH y concentración de la biomasa en la solución (p.160). (Tejada et al.2015), El fenómeno de la adsorción puede verse afectado positivamente o negativamente, por ciertos parámetros fisicoquímicos como: pH, tamaño de partícula y presencia de otros iones. Según Salman et al. (2014), establecen que el factor pH influye en la naturaleza de los sitios de unión a la biomasa, afecta la química de la solución de los metales, la actividad de los grupos funcionales en la biomasa y la competencia de los iones metálicos.

(Yuan, L et al.2019) Los pH con valores bajos los protones y cationes metálicos disputan por buscar un mismo sitio en la superficie celular temiendo como resultado una menor captación de metales, en una solución alcalina los metales suelen formar hidroxí-compuestos los cuales posteriormente se precipitan. (Salman, Ibrahim, Tarek y Abbas. 2014) La temperatura como factor del proceso de adsorción no influye en el rango de 20-35°C. Al ser la adsorción un proceso exotérmico este se produce de manera natural si el adsorbente está saturado. (Zou, J et al. 2019). Para saber la máxima efectividad de un material adsorbente se debe conocer cuál es la capacidad máxima de metal que se puede adsorber también se a informado que la efectividad de metal adsorbido es mayor cuando existen concentraciones bajas. (Pathirana, C et al.2019)

Por otra parte, el potencial redox se expresa en mV y nos detalla el potencial de oxidación o de reducción del agua, se utiliza un electrodo de metal que tiene la capacidad de tomar o entregar electrones, el potencial redox en aguas residuales industriales se utiliza sobre todo en la desintoxicación de aguas industriales. La desintoxicación tiene lugar con la disminución del cromato o con la oxidación del cianuro. (Khango, G et al.2018)

Otro parámetro sobre aguas residuales es la conductividad eléctrica. La conductividad eléctrica revela la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica, y está directamente vinculada con la concentración de sales disueltas en el agua, entonces, la conductividad eléctrica está relacionada con el total de sólidos disueltos. (Meng, A, et al .2019). Las sales en el agua se disuelven en iones con carga positiva e iones con carga negativa, que conducen electricidad.

Actualmente existen diferentes tecnologías para mejorar la capacidad de adsorción, un ejemplo donde se estudió las capacidades de adsorción de MoS₂ para eliminar metales pesados. (Liu, C 2019). Estos métodos incluyen métodos de modificación química, física y magnética, los diferentes métodos de modificación tienen diferentes ventajas y desventajas dependiendo del propósito de la aplicación. (Ahmed et al., 2016). Por ejemplo, Daneshvar, E et al (2019). Quienes realizaron una investigación sobre “Eliminación de cromo hexavalente del agua mediante materiales a base de microalgas: Estudios de adsorción, desorción y recuperación” el presente estudio es una comparación del potencial de los diferentes materiales a base de microalgas para la eliminación del cromo hexavalente Cr(VI) en aguas , entre los materiales probados, el biocarbón de microalgas mostró la mayor eficiencia de remoción (100%) de Cr(VI).

Otra investigación que realizaron Chen,T et al (2015). “Comparación del comportamiento de adsorción del cromo trivalente y hexavalente en el biocarbón derivado de lodos municipales” en este trabajo, se realizaron experimentos de equilibrio estático para distinguir el rendimiento de adsorción entre los dos estados de valencia del cromo en el biocarbón derivados de lodos municipales. La capacidad de eliminación de Cr (VI) es inferior a 7 mg/g. en el rango inicial de concentración de cromo de 50 mg/L a 200 mg/L, mientras que el de Cr (III) superior a 20 mg/g. Indica que el Cr (III) es mucho más fácil de estabilizar que el Cr (VI).

Por otra parte, Valentín-Reyes, J et al (2019) en su trabajo de investigación “Mecanismos de adsorción de cromo hexavalente de soluciones acuosas en carbones activados modificados” en esta investigación, la oxidación con ácido

nítrico, el calentamiento en una atmósfera inerte, y se aplicó un tratamiento de amoníaco para modificar la superficie de carbón activado. Los resultados demuestran que Los grupos funcionales ácidos del carbón activado tuvieron un efecto importante en la eliminación del cromo hexavalente, los adsorbentes oxidados obtuvieron una alta reducción de Cr (VI) a Cr (III) (50%), mientras que el calor se redujo en un 50%. Los adsorbentes tratados lograron una baja reducción 35%, pero el carbón activado tratado con amoníaco logró la la reducción más baja 20%.

También se investigó el tamaño de partícula y efecto del pH como el de Ramirez, (2016). Quien investigo sobre el tamaño de partícula *Chondracanthus chamissoi* y efecto del pH en la adsorción del cromo del efluente de curtiembre Chimú SAC; los pH propuestos fueron 3,4,5 y 6 del alga donde las partículas fueron del tamaño de 0.850, 0.430, 0.25 y 0.1509 mm respectivamente; se trabajó con agitación a una velocidad 200rpm y con tiempo de agitación de 1 hora y con una concentración (40g/L) la muestra tuvo un volumen de 100mL. Resulto que el tamaño de partícula de *Condracanthus chamissoi* si influye en la adsorción de cromo, donde el pH más optimo fue el 3 y el tamaño de partículas de alga de 0.250mm permitieron una capacidad mayor de adsorción obteniendo un 56.33% de efectividad.

Otra investigación de carbón activado fue de Enniya, I., Rghioui, L., & Jourani, A. (2018). Quienes realizaron el estudio de “Adsorción de cromo hexavalente en solución acuosa sobre carbón activo preparado a partir de cascara de manzana” La caracterización de cascara de manzana se realizó utilizando diferentes técnicas analíticas como FTIR y SEM. Los parámetros de adsorción estudiados fueron: pH (2- 7), dosis de adsorción 0,025-0,15 g/50 mL, concentración inicial de Cr (VI)10-50 mg/L y temperatura 10-40 °C. Cr (VI). Máximo se logró una adsorción de 36,01 mg/g utilizando una concentración de Cr (VI) de 50 mg/L, un pH de 2, una dosis de adsorbente de 0,05 g/50 mL, tiempo de contacto de 4 h y temperatura de 28 °C. Este carbón activado proporcionó una mejor capacidad de adsorción de Cr (VI) que un carbón activo comercial.

Por último, Owalude, S. O., y Tella, A. C. (2016). En su investigación “Eliminación del cromo hexavalente de soluciones acuosas por adsorción en la cáscara de cacahuete modificada” se estudió la cáscara de cacahuete modificada y no modificada. Los efectos de las diferentes condiciones del tiempo de contacto y la concentración de adsorbato, el pH y temperatura de la solución, en el proceso de adsorción estudiado. El proceso de adsorción de iones de Cr (VI) tanto en la cáscara de cacahuete no modificada como en la cáscara de cacahuete modificada está en buen acuerdo con la isoterma de adsorción de Langmuir y sigue el modelo cinético de pseudo-segundo orden. Según los estudios de equilibrio, los iones de cromo (VI) son mejor absorbidos por la cáscara de cacahuete modificada. Sin embargo, pocos datos están disponibles sobre los efectos del pH en la adsorción del Cromo (VI) mediante biocarbon. Salman, Ibrahim, Tarek y Abbas (2014), aseguran que la temperatura como factor del proceso de adsorción no influye en el rango de 20-35°C, pero a elevadas temperaturas como 50°C, pueden aumentar la capacidad de adsorción del biomaterial. Sin embargo, en otros casos pueden causar daño a las células microbianas y posterior reducción de su capacidad de adsorción de iones metálicos.

Adsorción

La adsorción es la fase donde las moléculas de una sustancia que están en una fase establecida, son inmovilizadas en la superficie de otra sustancia que están en otra fase. Esto da forma a una capa de gas o líquido en la superficie de una sustancia. La adsorción se utiliza como una alternativa a las técnicas convencionales de eliminación porque se considera relativamente simple, eficiente, barata y más conveniente para la aplicación rural y para la regeneración. (Enniya, I., Rghioui, L., y Jourani, A. 2018).

Existen dos tipos de adsorción, quimisorción, que es un tipo de adsorción donde interviene una reacción química entre el adsorbato y la superficie de adsorción y la fisisorción, en este tipo de adsorción no ocurre una reacción química, la interacción ocurre por fuerzas electrostáticas, que no solo incluyen metales sino hasta colorantes orgánicos (Liu et al 2019)

Isotermas

Las isotermas de adsorción se utilizan a menudo para determinar las capacidades máximas de fijación de contaminantes y para identificar el modelo de proceso de adsorción. Se utilizaron ecuaciones matemáticas (Langmuir y Freundlich) para estudiar el fenómeno de adsorción y determinar la capacidad de adsorción de contaminantes peligrosos por materia prima y material sintetizado. (Alouani, M et al. 2019)

Isoterma de Langmuir

(Leyva.2010) Las isoterma de Langmuir fue planteada en 1916, basándose en las siguientes hipótesis: la adsorción se da sobre puntos específicos de la superficie del adsorbente, en cada punto específico se adsorbe una molécula del adsorbato, no existen interacciones entre las moléculas adyacentes adsorbidas sobre cada punto específico del adsorbente y el calor de adsorción es el mismo en todos los puntos que ocurre la adsorción

La descripción de la fórmula es: $q_e = \frac{q_{\text{máx}} \cdot b \cdot C_e}{1 + b \cdot C_e}$

q_e = Cantidad adsorbida en equilibrio

$q_{\text{máx}}$ = Es la máxima cantidad de metal/ peso de biomasa

b = Afinidad de adsorción entre adsorbato y biosorbente

C_e = Concentración del metal en equilibrio.

En su forma lineal la ecuación de Langmuir puede ser escrita como:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{b \cdot q_{\text{máx}}} + \frac{1}{q_{\text{máx}}} C_e$$

Isoterma de Freundlich

(Leyva ,2010), Las isotermas de Freundlich fue propuesta en 1906, para representar la adsorción sobre superficies energéticamente heterogéneas, es decir sitios con diferentes calores de adsorción (p.44-45).

La descripción de la fórmula es:

$$q_e = K \cdot C_e^{1/n}$$

q_e = Cantidad adsorbida en equilibrio

K = indicador de la capacidad de absorción.

n =intensidad de absorción.

C_e =concentración del metal.

En su forma lineal la ecuación de Langmuir puede ser escrita como:

$$\text{Log}(q_e) = \text{log} (K) + \frac{1}{n} \text{log} (C_e)$$

Biocarbón

Las aplicaciones de biocarbon reducen de manera significativa la solubilidad de los metales pesados del suelo Wang, 2019. También las propiedades biocarbon dependen del tipo de materia prima y la temperatura de pirólisis (Kwak, J et al. 2019)

Según The International Biochar Initiative (2018), este se caracteriza por ser un grano fino y en gran medida poroso. Aplicado en el suelo se vuelve un potenciador ya que ayuda al suelo a inmovilizar nutrientes e impedir la filtración a aguas subterráneas y probable contaminación. La investigación de Yan.G y Liu (2018) demostró que el biocarbon de estiércol modificado con H₂O₂ puede actuar como un sorbente eficaz para eliminar metales pesados. El biocarbón tiene un rol importante en la agricultura, ya que puede reducir las emisiones de

CO₂, actuando como sumidero de C, Además, su producción puede llevar el beneficio energético de los bio-aceites y gases originados durante el proceso de pirólisis, disminuyendo así la utilización de combustibles fósiles (Lehmann y Joseph 2009, 2015). Otro rol importante del biocarbón es de mejorar la fertilidad del suelo, disminuir la necesidad de fertilizantes y disminuir las emisiones de óxidos de 32 nitrógeno, además de erigir una herramienta útil para la gestión de residuos orgánicos (Jeffery et al. 2015). Los pirólisis es la descomposición térmica de materiales de biomasa mediante la aplicación de calor en ausencia de oxígeno libre se aplica el proceso de pirolisis para obtener aceites y gases, además para la consecución de un producto solido (Yang, X et al.2019)

Pirólisis

Por otra parte, Hong, Y et al (2019) explica la pirólisis como un proceso termoquímico donde por la acción de calor en una atmosfera escasa de oxígeno el material orgánico se descompone, y se convierte en una mezcla de hidrocarburos, gases combustibles, residuos de carbón y agua. El biocarbón modificado tenía mayor capacidad de adsorción de Cr (VI) y Cu (II) (Xiao, F .2019)

Guillermo y Fernando (2015), Menciona las etapas más importantes de la pirolisis son las siguientes:

- Secado a $T < 200$ °C, se evapora el agua y los extractos ligeros presentes en la biomasa.
- Deshidratación $T = 200-300$ °C, deshidratación de los polisacáridos estructurales
- Pirolítica $T = 250-600$ °C, donde se forman un compuesto orgánico volátiles

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

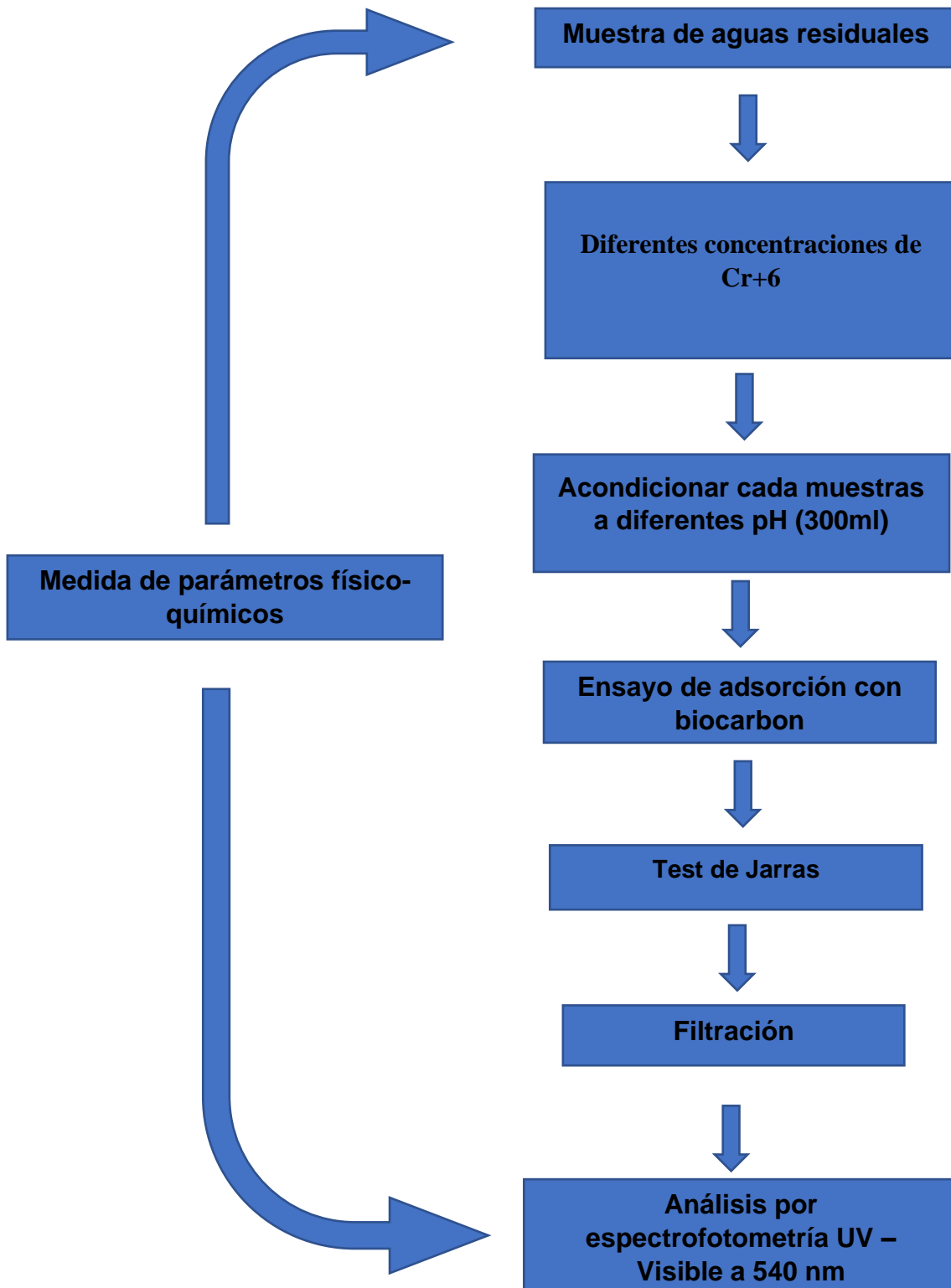
En cuanto al diseño de la investigación es experimental, pues se manipulan deliberadamente la variable independiente, con el propósito de medir el efecto que tienen en otra variable de interés. Según Hernández (2014) se manipula una o varias variables independientes. En este trabajo se estudia la eficiencia del biocarbón para la retención de cromo hexavalente, se evaluará que el biocarbón no será afectado por diferentes pH.

El tipo de investigación es cuasi experimental esto compromete la comparación de los diferentes grupos de tratamientos, por lo tanto, se realizarán la comparación con biocarbón en la adsorción y desorción del cromo hexavalente a diferentes pH.

Estudio explicativo porque según Hernández et al., tiene la finalidad de explicar las causas de los sucesos o fenómenos que se estudian, en qué condiciones se manifiesta o porque se relacionan dos o más variables.

Método de investigación (etapas)

Fase experimental



Se estableció 6 tratamientos para el ensayo de adsorción con biocarbón con el empleo del floculador programable JLT6, para el ensayo de adsorción se estableció 6 diferentes pH (1,2,3,4,5,6)

Con un volumen de 300 ml, se mantuvo fijo la cantidad de biocarbón (1.5g) con una agitación de 200 rpm, con 2 repeticiones haciendo un total de 72 experimentos.

Con respecto a la desorción se tomó las concentraciones 25,5 y 150 con dos diferentes pH (3,5) para cada uno con 2 repeticiones haciendo un total de 6 experimentos.

Tabla 1: Metodología

	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Concentraciones de Cr (IV)	5 mg/L	25 mg/L	50 mg/L	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L
Volumen	300ml	300ml	300ml	300ml	300ml	300ml
pH	1 -2-3-4-5-6-	1 -2-3-4-5-6	1 -2-3-4-5-6	1 -2-3-4-5-6	1 -2-3-4-5-6	1 -2-3-4-5-6
Dosis de biocarbón	1.5g	1.5g	1.5g	1.5g	1.5g	1.5g
rpm	200	200	200	200	200	200

Fuente: elaboración propia

3.2 Variables, operacionalización

Variable 1

Efecto del pH

Variable 2

Adsorción y desorción de Cr (VI)

MATRIZ DE OPERALIZACIÓN DE VARIABLES

Efecto del PH en la adsorción y desorción de Cromo (VI) mediante biocarbón aplicado en efluentes de la industria de curtiembre 2019

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICION	INSTRUMENTO DE MEDICION
V. Independiente Efecto del pH	Según Salman [et al.] (2014), establecen que este factor influye en la naturaleza de los sitios de unión a la biomasa, afecta la química de la solución de los metales, la actividad de los grupos funcionales en la biomasa y la competencia de los iones metálicos. En general, la absorción de metales pesados disminuye significativamente cuando el pH de las soluciones disminuye de 6,0 a 2,5. También, se tiene que la mejor capacidad de adsorción de las diferentes biomosas se encuentra en un pH de 3,0 a 5,0 (p.79)	Cada muestra está a diferentes pH para el proceso de adsorción de cromo hexavalente, fue analizado en un rango de 1 a 6.	Rango de pH ácido	pH	Unidad de pH	Análisis de laboratorio
V. Dependiente Adsorción y desorción de Cr(VI)	La adsorción es un proceso donde los iones metálicos de aguas residuales que provienen de un sector industrial quedan retenidos de forma pasiva o activa en una superficie usando diferentes solventes de diferentes biomosas. (LEZCANO, 2008)	Para el proceso de adsorción y desorción se realizó varias soluciones con diferentes concentraciones de Cr+6 todo el experimento se llevó acabo por duplicado	Adsorción de Cromo	Concentración inicial de Cr+6	mg/L	
				Concentración final de Cr+6	mg/L	
			Desorción de cromo	Recuperación de Cr(Vi)	%	

3.3 Población y muestra

Población

La población del presente trabajo de investigación está compuesta por las aguas residuales en efluentes de la Industria de Curtiembre.

Muestra

La muestra es definida como un subgrupo representativo de una población donde tales muestras brindan los datos necesarios para una investigación. (HERNANDEZ, 2010 p. 32)

La muestra tomada fue de 26 litros de agua residual.

78 (experimentos) x 300ml =23.400L

Muestreo

El método es no probabilístico ya que las muestras serán tomadas al criterio del investigador.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

3.4.1 Técnicas

La técnica utilizada en la presente investigación es la observación, para el análisis de muestras de agua residual se procedió mediante los métodos normalizados.



Tabla 2: Técnicas e instrumentos.

Técnica	Instrumentos
pH	Potenciómetro
Pesaje	Balanza analítica
Cromo (VI)	Espectrofotometría/Volumetría
Conductividad	Conductímetro

Fuente: Elaboración propia

3.4.2 Instrumentos y materiales de recolección de datos

Materiales

Balanza analítica	pH-METRO
 <p>Marca: Sartorius</p>	 <p>Marca: HANNA Modelo: HI 8424 pH meter</p>
TEST DE JARRAS	Espectrofotómetro UV
 <p>Floculador programable JLT6</p>	

Conductímetro



Vasos de precipitados



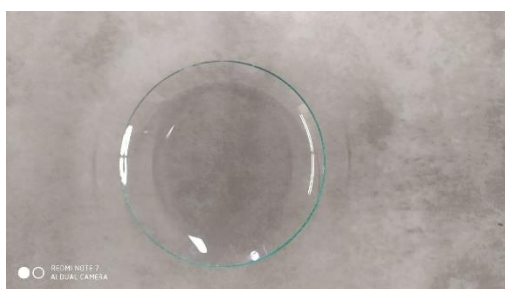
Pipetas -Propipeta



Soportes- Embudos



Vidrio de reloj



Fiolas



Para la recolección de los datos se utilizarán de instrumentos fichas para llenar datos ante algún cambio que sucederán por la manipulación de las variables.

Tabla 3: Ficha de recolección de datos

TRATAMIENTOS	PH	Concentración final de Cr(VI)	Concentración final de Cr(VI)
1			
2			
3			
4			
5			
6			

Fuentes: Elaboración propia

TRATAMIENTOS	Conductividad eléctrica inicial	mv inicial	Conductividad eléctrica final	mv final
1				
2				
3				
4				
5				
6				

Fuentes: Elaboración propia

3.4.3 Validez Y Confiabilidad

Los equipos que se utilizarán serán calibrados con anticipación, para obtener datos correctos.

Tabla 4: Parámetros y sus metodologías

PARAMETROS	METODOLOGIA
Conductividad eléctrica	APHA-AWWA-WEF (2005) método 2510 B
pH	APHA-AWWA-WEF (2005) método 4500 H B
Determinación de cromo Hexavalente	APHA-AWWA-WEF (2012) método 3500-Cr B

Fuente: Elaboración propia

3.5 Procedimiento

Elaboracion del biocarbón

Tiempo de Pirolisis y temperatura:

El biocarbón se obtuvo a partir del método de de Ling Luo (2019) El material pasó por el proceso de pirolisis con un tiempo de 2 horas a una temperatura de 500°C, el biocarbón resultante se dejó a temperatura ambiente durante 24 horas para su secado, después se utilizó un mortero para el proceso de molienda con un tamiz entre 1-2 mm.

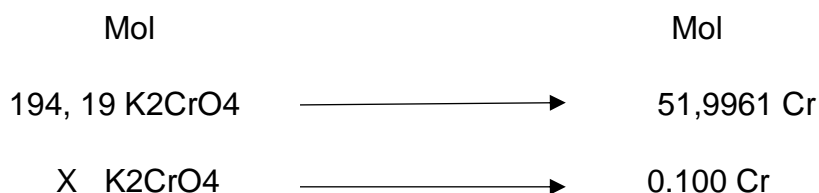
Elaboración de la curva de calibración de Cr (VI):

Solución patrón

Para la elaboración de la solución patrón fue a partir de cromato de potasio (K_2CrO_4) para obtener la cantidad requerida para tener una concentración de 100 mg/l.

Peso molecular del Cr: 51: 9961 g/mol

Peso molecular del (K_2Cr_4): 1896 g/mol



$$X = \frac{0.100gCr * 194.19 K_2CrO_4}{51.9964Cr}$$

$$= 3.733g \text{ de } K_2CrO_4$$

Siguiente se adiciono una alícuota de 1 ml de la solución patrón del cromo preparado anteriormente donde se llevó a una fiola aforada de 100 ml y se aforo con agua destilada para tener una concentración de 5mg/L de cromo.

Se pipeteo volúmenes crecientes para obtener cuatro concentraciones comprendidas de 0.00 a 0.2 en fiolas de 50 ml después se agregó 0.05 de ácido sulfúrico 1:1 por último 1ml de solución difenicalbazida se agito y se dejó en reposo por 10 minutos. Posteriormente se pasó a efectuar las lecturas en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 540 nm.

Tabla 5: Curva de Calibración para determinar Cr(VI) Espectrofotómetro UV visible

Código	mg/l	ml de patrón	H2SO4 (1:1) ml	ml solución difenil carbazida	enrazar con agua desionizada	Absorbancia
Blanco	0	0	0.5	1	50ml	0
Estándar	0.03	0.3	0.5	1	49.7ml	0.026
Estándar	0.06	0.6	0.5	1	49.4ml	0.048
Estándar	0.12	1.2	0.5	1	48.8ml	0.092
Estándar	0.2	2	0.5	1	48ml	0.155

Fuente: Elaboración Propia

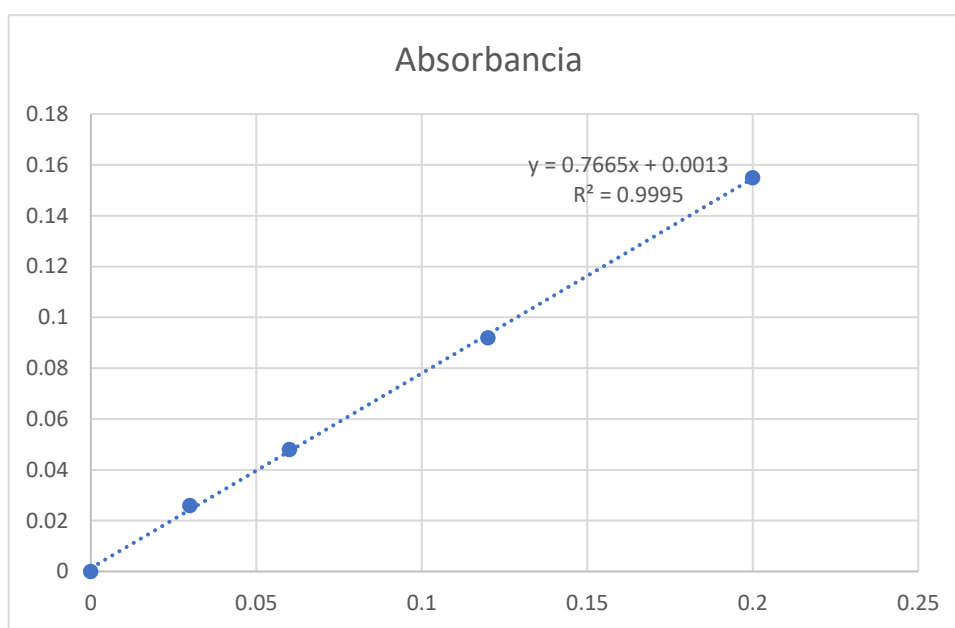


Gráfico N°01: Ecuación de regresión para la curva de calibración.

Datos de curva de calibración	
a= 0.0013	b= 0.7665
r= 0.9995	$x=(y-a) /b$

Expresión de los resultados

Estos resultados se mostraron a partir de la curva de calibración en la que se calculó el valor b que es la pendiente, el valor de a que es el intercepto y por último el coeficiente de determinación, donde siempre debe ser 0.99 para que el porcentaje de error sea menor con estos valores es remplazado en la formula $Y = (x-a)/b$, donde y será el valor de la absorbancia de la muestra y x representa la concentración de cromo hexavalente que será multiplicado por el factor dilución.

Experimento de adsorción

Se realizaron experimentos de adsorción utilizando un floculador programable con un volumen de 300ml para cada muestra a temperatura ambiente con una solución madre (3000 mg/l de Cr (VI)) para la elaboración de distintas concentraciones para cada muestra se determinó la conductividad inicial y el potencial redox. Los experimentos de adsorción fueron realizados mezclando 1,5 g de biocarbón a 300ml con diferentes concentraciones de cr(VI) (5 , 25, 50, 100, 150 , 200mg/L) y pH (1,2,3,4,5,6).

Los vasos precipitados con cada solución se agitaron a 200 rpm durante 2 y por último fueron filtradas, con respecto a las isothermas de sorción se utilizó los datos anteriores con sus respectivas concentraciones. Las concentraciones iniciales y finales fueron determinadas por el espectrofotómetro UV.

Experimento de desorción.

Se realizaron experimentos de desorción para investigar si la adsorción de biocarbón de Cr (VI) era reversible, la desorción se mide después de la adsorción. Para realizar este proceso se utilizó el pH 3 y 5 después del proceso de adsorción se decantó la solución en los vasos precipitados posteriormente se pasó a determinar con el espectrofotómetro UV la concentración en la muestra que no contiene biocarbón para saber cuánto era la concentración restante en el biocarbón.

Experimentos de extracción con NaNO₃.

Para este experimento se determinó la capacidad de inmovilización de Cr(VI) del biocarbón se trasvasijo el biocarbón extraído después del proceso de adsorción

y se agregó 50ml de nitrato de sodio a 0.1M, se agitaron a 200 rpm durante 2 horas para este proceso se utilizaron concentraciones de Cr(VI) (25, 50, 150 mg/l)

Isotermas de adsorción

Los datos de adsorción se ajustaron tanto a la isoterma de Freundlich como la de Langmuir.

Langmuir ecuación: $qe = \frac{qm_{\max} \cdot b \cdot Ce}{1 + b \cdot Ce}$

Freundlich ecuación: $qe = K \cdot Ce^{1/n}$

Donde qe es la cantidad absorbida en equilibrio; qm_{\max} es la máxima cantidad de metal/ peso de biomasa; b es finidad de adsorción entre adsorbato y biosorbente; Ce es la concentración del metal en equilibrio; K es el indicador de la capacidad de absorción y n es la intensidad de absorción.

Para la elaboración de las isotermas se utilizó los datos obtenidos del pH2, pH3, pH4 y pH6.

3.6 Método de análisis de datos

Para el análisis de los datos se utilizó el método ANOVA, con medidas repetidas (WALPOLE, 2012). Una vez obtenido los datos estos serán procesados con el software e SPSS V25, también se utilizará el software Microsoft Excel para los resultados obtenidos en la fase inicial y final de la investigación, para la elaboración de tablas y gráficos, donde se observará la variación de los datos.

3.7 Aspectos éticos

Para el desarrollo de esta investigación se tuvo presente el respeto por la propiedad intelectual y la veracidad de los resultados, y la contribución al medio ambiente y la biodiversidad. Además, la investigación considera el cumplimiento de la dirección rectoral N° 0313-2017-UCV, así como el cumplimiento del Manual ISO.UCV.2017.

IV. RESULTADOS

Una vez filtradas las muestras se proseguía hacer las lecturas con el espectrofotómetro donde nos indicaba la absorbancia de cada y poder reemplazarla a la ecuación para finalmente multiplicarlo por el factor dilución para tener el resultado final de cada tratamiento.

Tabla 6: Concentraciones iniciales y finales de cromo hexavalente (pH 1 2 3 4 5 y 6)

pH	Concentraciones Iniciales	Resultados del espectrofotómetro	Cromo hexavalente final
	Cr^{+6} (mg/L)	Absorbancia de Cr^{+6}	Cr^{+6}
1	5	0.003	0.222
	25	0.051	6.484
	50	0.057	7.267
	100	0.055	7.006
	150	0.089	11.442
	200	0.065	8.311
2	5	0.003	0.222
	25	0.066	8.441
	50	0.052	6.614
	100	0.091	11.703
	150	0.117	15.095
	200	0.247	32.055
3	5	0.007	0.744
	25	0.148	19.139
	50	0.241	31.272
	100	0.499	64.932
	150	0.581	75.629
	200	0.831	108.245
4	5	0.015	1.787
	25	0.094	12.094
	50	0.226	29.315
	100	0.366	47.58
	150	0.628	81.761
	200	0.918	119.596
5	5	0.028	3.483
	25	0.161	20.835
	50	0.239	31.011
	100	0.634	82.544
	150	0.732	95.329
	200	1.184	154.299

6	5	0.031	3.875
6	25	0.137	17.704
6	50	0.257	33.359
6	100	0.612	79.674
6	150	0.694	90.372
6	200	1.438	187.436

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7: Concentraciones iniciales y finales de cromo hexavalente, segunda repetición

pH	Concentraciones iniciales	Resultados del espectrofotómetro	Cromo hexavalente final
	Cr^{+6} (mg/L)	Absorbancia de Cr^{+6}	Cr^{+6} (mg/L)
1	5	0.003	0.222
1	25	0.059	7.528
1	50	0.062	7.919
1	100	0.051	6.484
1	150	0.119	15.356
1	200	0.059	7.528
2	5	0.003	0.222
2	25	0.061	7.789
2	50	0.051	6.484
2	100	0.091	11.703
2	150	0.11	14.181
2	200	0.215	27.88
3	5	0.006	0.613
3	25	0.132	17.052
3	50	0.159	20.574
3	100	0.399	51.885
3	150	0.582	75.76
3	200	0.839	109.289
4	5	0.02	2.44
4	25	0.093	11.963
4	50	0.221	28.663
4	100	0.357	46.406
4	150	0.624	81.239
4	200	0.901	117.378
5	5	0.026	3.222
5	25	0.161	20.835

5	50	0.228	29.576
5	100	0.629	81.892
5	150	0.731	95.199
5	200	1.182	154.038
6	5	0.029	3.614
6	25	0.132	17.052
6	50	0.253	32.838
6	100	0.611	79.543
6	150	0.692	90.111
6	200	1.435	187.045

Fuente: Elaboración propia

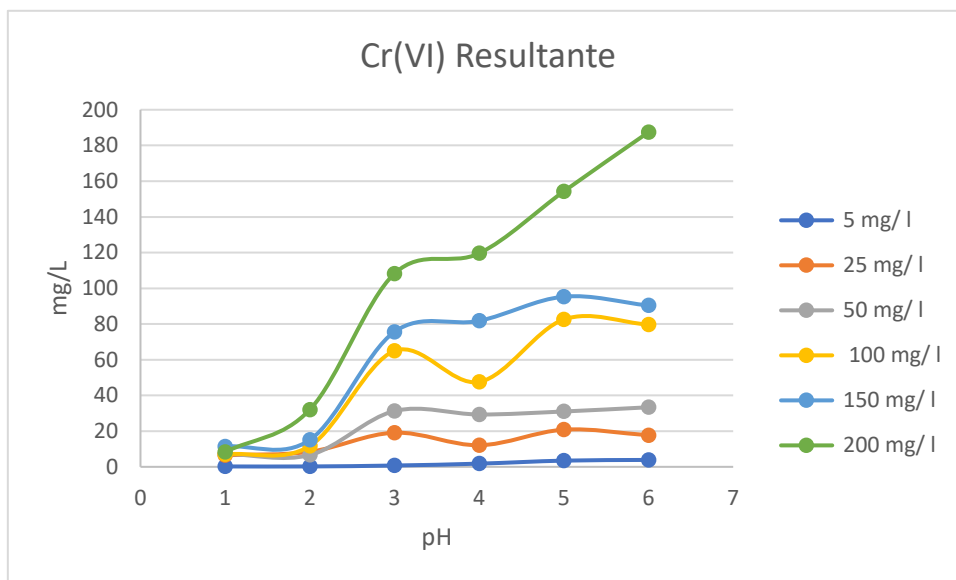


Gráfico 1: Concentraciones de cromo hexavalente resultante después del tratamiento.

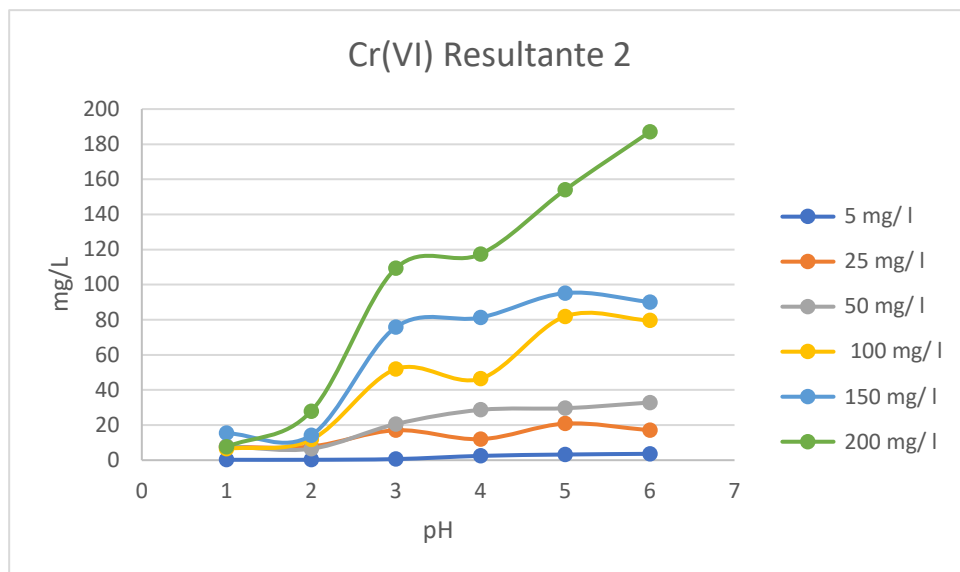


Gráfico 2: Concentraciones de cromo hexavalente finales de la réplica.

Una vez terminado el proceso de floculación las muestras pasaron a ser filtradas para finalmente ser leídas en el espectrofotómetro UV, se observa en la figura 1 y 2 la adsorción de cromo 6 con pH 6 fue menos favorable a comparación del resto mientras que los pH 1 y 2 tiene una concentración. La capacidad de adsorción con biocarbon se debe también a los microporos estos son originados en el proceso de pirólisis, debido que cuando aumenta la temperatura la microporosidad aumenta, además generan más zonas de carga reactiva.

Tabla 8: Eficiencia del biocarbon para la adsorción de Cr(VI)

Cr ⁺⁶ (mg/L)	REMOCION DE Cr ⁺⁶ (%)					
	pH 1	pH 2	pH 3	pH 4	pH 5	pH 6
5	95.56	95.56	86.43	57.73	32.94	25.11
25	71.98	67.54	27.62	51.89	16.66	30.49
50	84.81	86.90	48.15	42.02	39.41	33.80
100	93.26	88.30	41.59	53.01	17.78	20.39
150	91.07	90.24	49.54	45.67	36.49	39.84
200	96.04	85.02	45.62	40.76	22.92	6.38

Fuente: Elaboración propia.

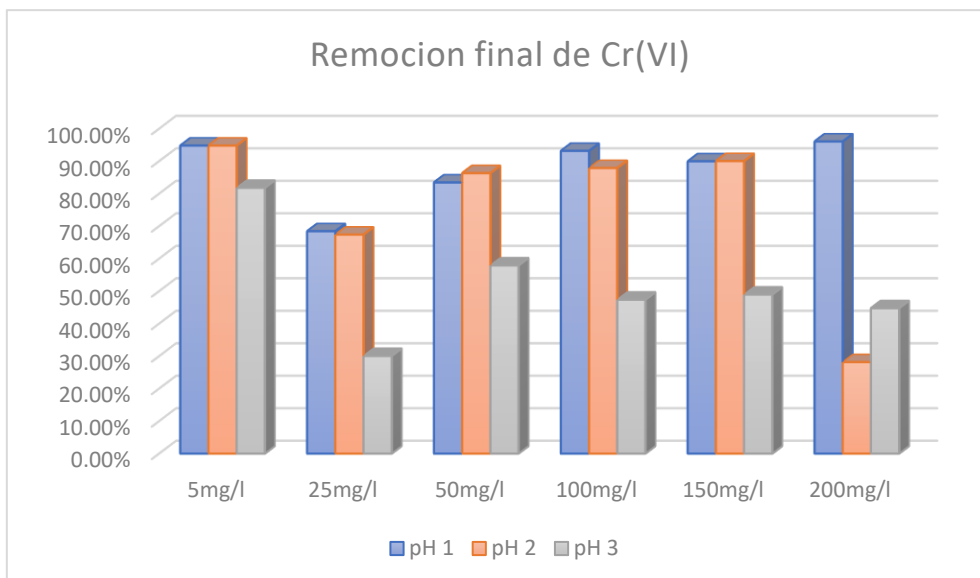


Gráfico 3: Porcentaje de remoción de cromo hexavalente con pH 1,2y 3.

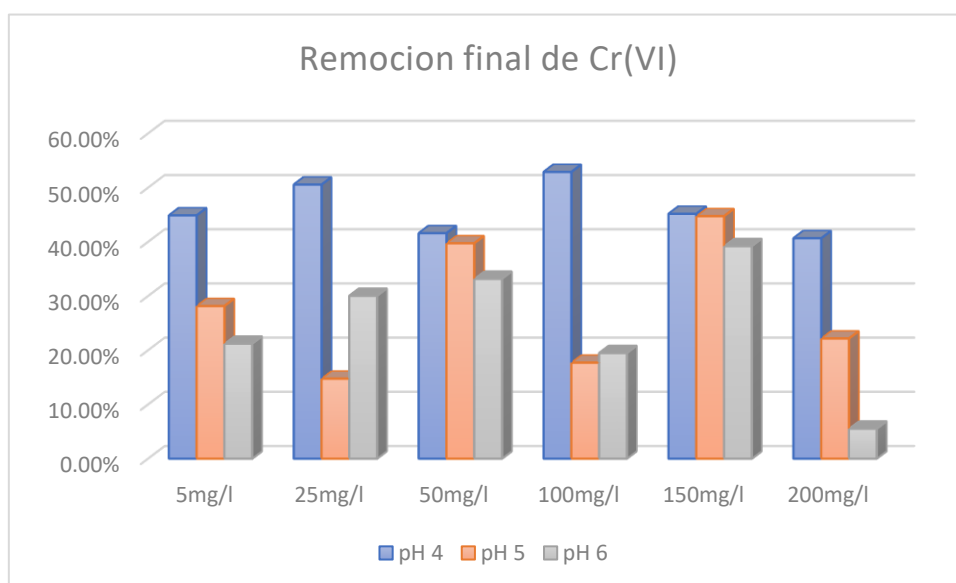


Gráfico 4: Porcentaje de remoción de cromo hexavalente con pH 4,5y 6.

En el Gráfico 3 y 4 se observa que el pH que mientras el pH sea más ácido la adsorción será más eficiente. Cuando el pH baja se produce una protonación de la superficie del biosorbente lo que provoca una fuerte atracción en los iones de Cr(VI) de la solución cargados negativamente por lo que la adsorción aumenta al incrementar la acidez, pero cuando el pH aumenta se incrementa la concentración de OH⁻ provocando cambios en la superficie del adsorbente de esta manera logra impedir la bioadsorción de los iones de Cr(VI) que están

cargados negativamente , disminuyendo la adsorción del metal a pH que sean altos. (Figueroa.T et al 2016)

Isotermas de adsorción

las isotermas de la adsorción se construyen calculando la capacidad de la adsorción (q) (MOHAMMED, B 2019)

$$q_e = (C_i - C_e) \cdot \frac{V}{M}$$

Donde:

q: Concentración del metal en la fase sólida (mg/g)

C_i: Concentración inicial del metal en la fase líquida (mg/L)

C_e: Concentración final del metal en la fase líquida (mg/L)

V: Volumen de la disolución (L) **0.3L**

M: Masa del bioadsorbente (g) 1.5g

Las concentraciones iniciales (C_i) 5,25,50,100 y 200 mg/l fueron iguales para los diferentes pH (2,3,4,6) trabajados

pH2

Para obtener la gráfica la isoterma de Langmuir y Freundlich se tomó en cuenta las concentraciones iniciales y finales del pH 2.

Tabla 9: Datos para la isoterma de Langmuir

n	Ce (mg/L)	Ce/qe(L/g)
1	27.88	0.810
2	14.18	0.522
3	11.7	0.663
4	6.48	0.744
5	0.22	0.230

Fuente: Elaboración

Propia.

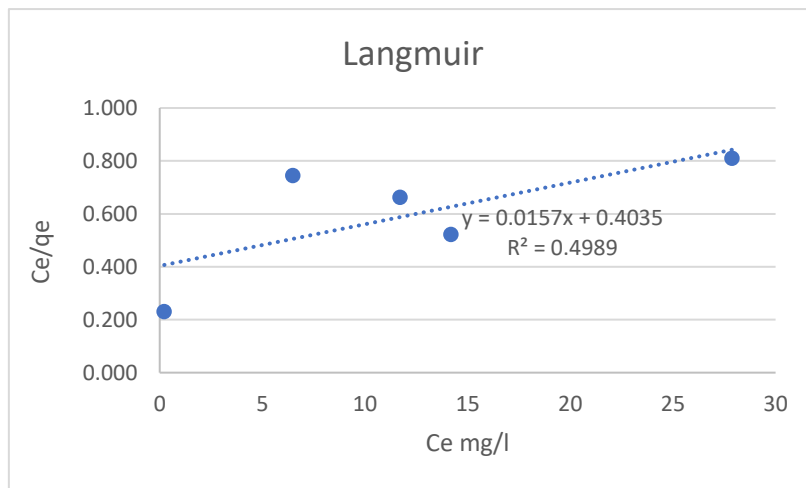
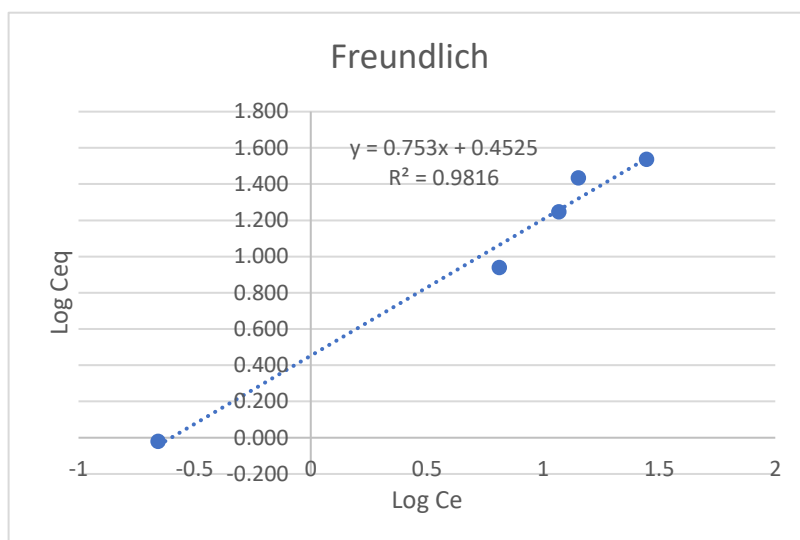


Gráfico 5: Modelo linealizado de Langmuir.

Tabla 10: Datos para la isotermas de Freundlich

n	ln(qe)	ln(Ce)
1	1.445292769	1.537
2	1.151676231	1.434
3	1.068185862	1.247
4	0.811575006	0.940
5	0.657577319	-0.020

Fuente: Elaboración Propia.



Gráfico

6:Modelo linealizado de Freundlich..

pH3

Para obtener la gráfica la isoterma de Langmuir y Freundlich se tomó en cuenta las concentraciones iniciales y finales del pH 3.

Tabla 11:Datos para la isoterma de Langmuir

n	Ce (mg/L)	Ce/qe(L/g)
1	109.29	6.024
2	75.56	5.075
3	51.89	5.393
4	20.57	3.495
5	0.61	0.695

Fuente: Elaboración Propia.

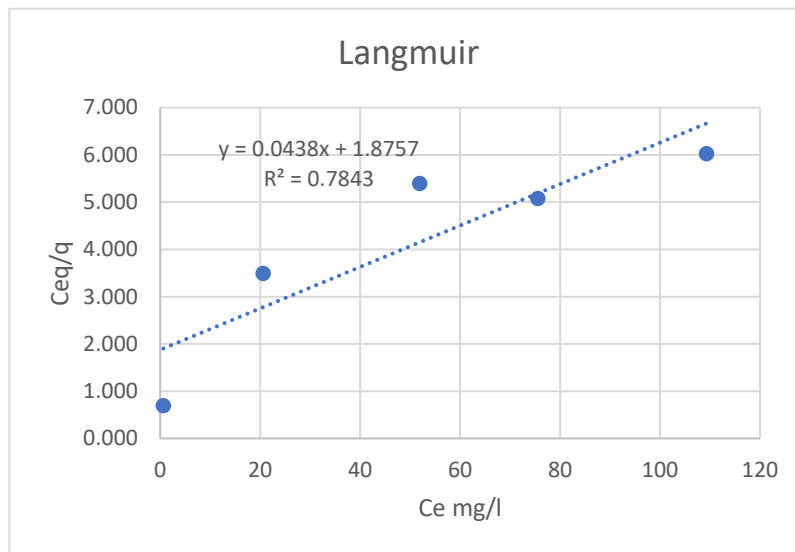
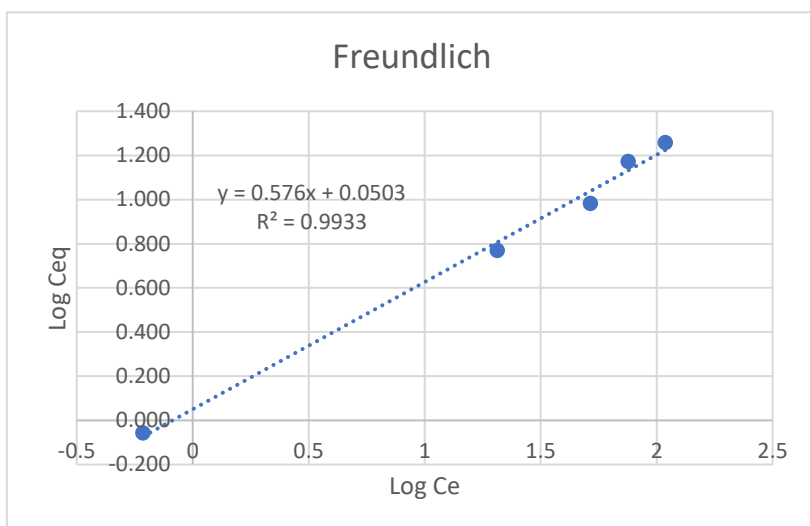


Gráfico 7: Modelo linealizado de Langmuir.

Tabla 12: Datos para la isoterma de Freundlich

n	ln(qe)	ln(Ce)
1	2.03858043	1.259
2	1.87829195	1.173
3	1.71508367	0.983
4	1.31323429	0.770
5	-	-0.057

Fuente: Elaboración Propia



Gráfico

linealizado de Freundlich.

8:Modelo

pH 4

Para obter a gráfica a isoterma de Langmuir e Freundlich se tomou em conta as concentrações iniciais e finais do pH 3.

Tabla 13: Datos para la isoterma de Langmuir

n	Ce (mg/L)	Ce/qe(L/g)
1	117.38	7.104
2	81.24	5.91
3	46.41	4.33
4	28.66	6.72
5	11.96	4.59

Fuente: Elaboración Propia

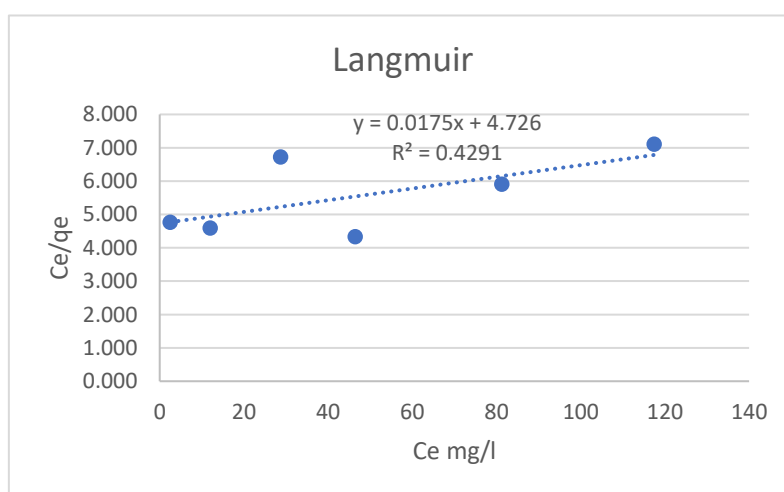


Gráfico 9: Modelo linealizado de Langmuir.

Tabla 14:Datos para la isoterma de Freundlich

n	ln(qe)	ln(Ce)
1	2.07	1.22
2	1.91	1.14
3	1.67	1.03
4	1.08	0.42
5	0.39	-0.29

Fuente: Elaboración Propia

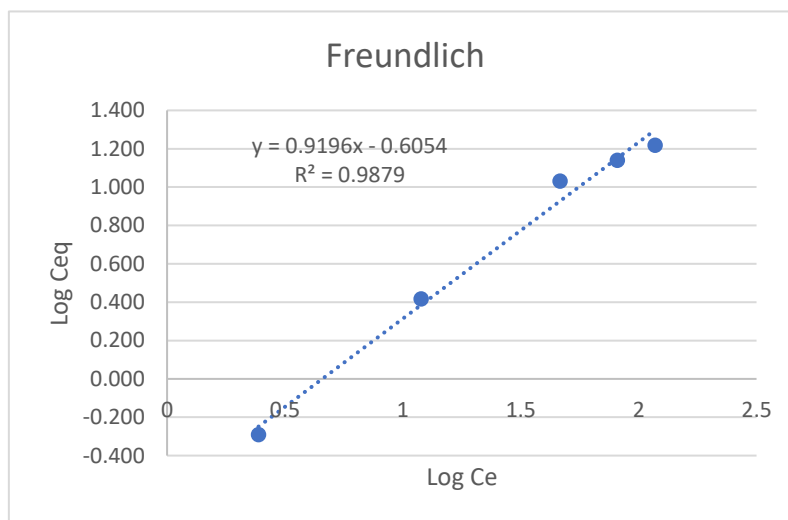


Gráfico 10:Modelo linealizado de Freundlich.

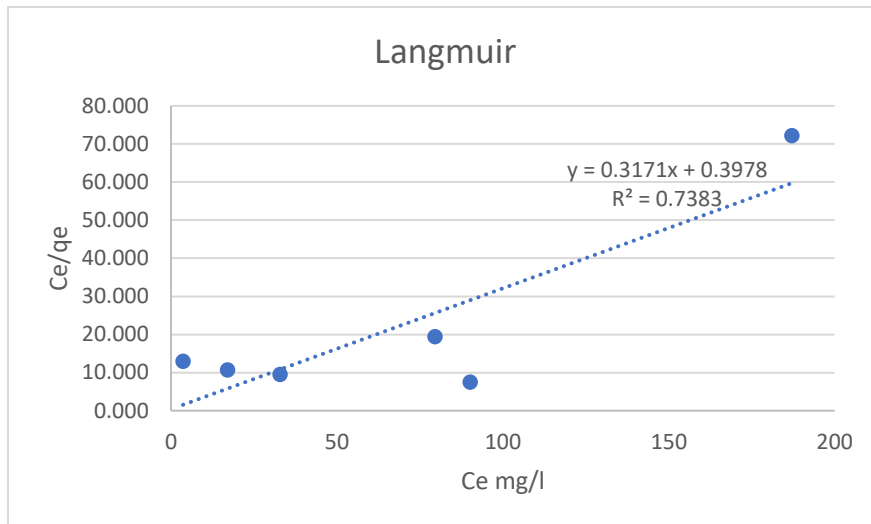
pH 6

Para obtener la gráfica la isoterma de Langmuir y Freundlich se tomó en cuenta las concentraciones iniciales y finales del pH 3.

Tabla 15:Datos para la isoterma de Langmuir

n	Ce (mg/L)	Ce/qe(L/g)
1	117.38	7.104
2	81.24	5.91
3	46.41	4.33
4	28.66	6.72
5	11.96	4.59

Fuente: Elaboración Propia



Gráfico

11: Modelo linealizado de Langmuir.

Tabla 16;Datos para la isothermas de Freundlich

n	ln(qe)	ln(Ce)
1	2.07	1.22
2	1.91	1.14
3	1.67	1.03
4	1.08	0.42
5	0.39	-0.29

Fuente: Elaboración Propia

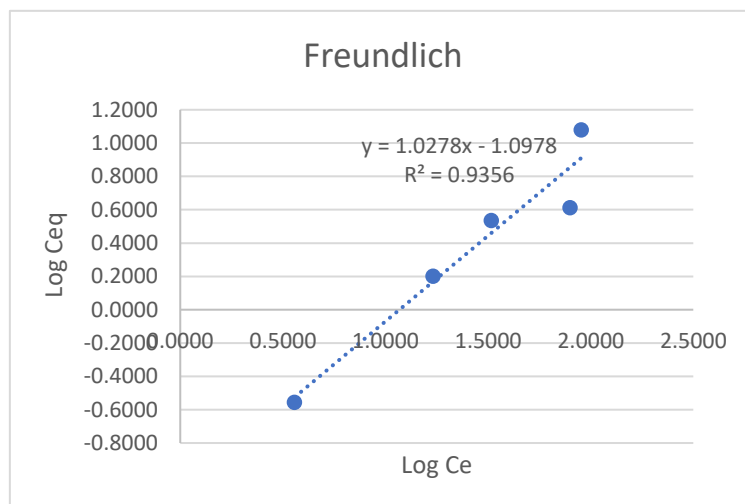


Gráfico 12: Modelo linealizado de Freundlich.

Tabla 17: Valores utilizando en diferentes modelos isotérmicos de adsorción para la adsorción de Cr (VI).

Ph	Modelo de adsorción de Langmuir			Modelo de adsorción de Freundlich		
	Qmax	Kl	R2	Kf	1/n	R2
2	63.694	0.0389	0.4989	2.3578	1.369	0.9816
3	22.831	0.0234	0.7843	1.1228	1.736	0.9933
4	57.134	0.0037	0.4291	0.2396	1.089	0.9879
6	74.074	0.0012	0.7383	12.5256	0.973	0.9356

Qmax: capacidad máxima de adsorción; kL: constante de Langmuir; kf: Constante de adsorción Freundlich; 1/n: intensidad de la adsorción o afinidad.

Estos modelos describen de forma cuantitativa la relación del adsorbente y el metal en una solución. Los datos muestran que la adsorción está mejor descrita por Freundlich dando a entender que el proceso de adsorción es multicapas.

Análisis Estadísticos

Resultados inferenciales

Con los datos obtenidos se analizó utilizando el programa estadístico IBM SPSS statistic v25, con el propósito de evaluar el efecto del pH en la desorción y adsorción de Cr(VI) mediante biocarbón en efluentes de la industria de curtiembre 2019, en primer lugar, se analizó si las cantidades analizadas de remoción de Cr (VI) poseen distribución normal. Para ello se empleó la prueba de normalidad de Shapiro Wilk ya que se utilizó 6 datos por cada pH analizado, es decir menos de 50 datos. Si se utilizara más de 50 datos se utilizaría la prueba de normalidad de Kolgomorov-Smirnov.

En segundo lugar, se analizó que de encontrarse normalidad en las distribuciones de datos analizadas se utilizaría la prueba ANOVA, de lo contrario se utilizaría la prueba de Kruskal-Wallis. Esto para saber si existen diferencias significativas entre las distribuciones de remoción analizadas. Posteriormente se utilizó una prueba Post-Hoc para analizar cuáles son las remociones más significativamente efectivas en la remoción de Cromo hexavalente.

Por otro lado, en cuanto a la desorción, se utilizó dos pH de análisis, tanto el pH 3 como el pH 5. Esto para analizar, en primer lugar, cuál pH posee mayor

desorción de forma significativa que el otro mediante el test de Shapiro-Wilks de manera que si existe normalidad se utiliza la prueba de T de Student de muestras independientes, si no existiera normalidad se utilizaría la prueba de U de Mann-Whitney. Luego se analizó gráficamente si la adsorción de Cr+6 mediante biocarbón en efluentes de la industria de curtiembre es totalmente reversible.

Determinación del pH óptimo en la adsorción de Cr (VI) mediante biocarbón en efluentes de la industria de curtiembre

a) Prueba de normalidad

Hipótesis

Ho: La distribución de las cantidades de remoción de cromo +6 poseen normalidad.

H1: La distribución de las cantidades de remoción de cromo +6 no poseen normalidad

Nivel de significancia

0,05

Regla para rechazar la Hipótesis nula (H0)

Si Sig. < α : se rechaza la H0

Si Sig. > α : no se rechaza la H0

Estadístico para el análisis

Tabla 18: Pruebas de normalidad de las cantidades de remoción de cromo (VI) de cada pH utilizado

Pruebas de normalidad				
	pH utilizado	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
	pH = 1	0,827	6	0,101
	pH = 2	0,842	6	0,137

Porcentaje de remoción de cromo	pH = 3	0,844	6	0,140
	pH = 4	0,932	6	0,598
	pH = 5	0,889	6	0,313
	pH = 6	0,962	6	0,831

Decisión

La significancia (Sig.) dio como resultado valores mayores al nivel de significancia de 0,05, por lo cual no se rechaza la hipótesis nula y se infiere que la distribución de las cantidades de remoción de cromo +6 poseen normalidad. Por ello, se utiliza la prueba ANOVA para analizar si existen diferencias significativas entre las distribuciones de cromo correspondientes a cada pH de análisis.

b) Prueba ANOVA

Hipótesis

H₀: No existen una diferencia significativa entre las distribuciones de remoción de cromo (VI) correspondientes a cada pH de análisis.

H₁: Existen una diferencia significativa entre las distribuciones de remoción de cromo (VI) correspondientes a cada pH de análisis.

Nivel de significancia

0,05

Regla para rechazar la Hipótesis nula (H₀)

Si Sig. < α : se rechaza la H₀

Si Sig. > α : no se rechaza la H₀

Estadístico para el análisis

Tabla 19: Prueba ANOVA de los tratamientos con pH empleados en cuanto a sus cantidades de remoción

ANOVA					
Porcentaje de remoción de cromo					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	22382,434	5	4476,487	31,965	0,000
Dentro de grupos	4201,242	30	140,041		
Total	26583,675	35			

- **Decisión**

El resultado de la significancia (Sig.) fue 0,000, es decir menor al nivel de significancia de 0,05, por lo cual la hipótesis nula se rechaza y se puede indicar que existen diferencias significativas entre las distribuciones de remoción de cromo (VI) correspondientes a cada ph de análisis.

En conclusión, se debe utilizar una prueba Post-Hoc; en este caso se empleó la prueba de Tukey para analizar cuáles son los ph que tienen mayor cantidad de remoción de cromo (VI).

- c) Prueba Post-Hoc de Tukey**

La prueba de Tukey indica en definitiva varias columnas las cuales se diferencian por poseer significancias mayores al nivel de significancia de 0,05; por lo cual agrupan los tratamientos con ph en cuanto a sus promedios de cantidades de remoción.

Tabla 20: Prueba de Tukey de los tratamientos con ph empleados en cuanto a sus cantidades de remoción

Porcentaje de remoción de cromo				
HSD Tukey^a				
pH utilizado	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
pH = 6	6	26,0017		
pH = 5	6	27,7000		
pH = 4	6		48,5133	
pH = 3	6		49,8250	
pH = 2	6			85,5933
pH = 1	6			88,7867
Sig.		1,000	1,000	0,997
Se observan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.				
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6,000.				

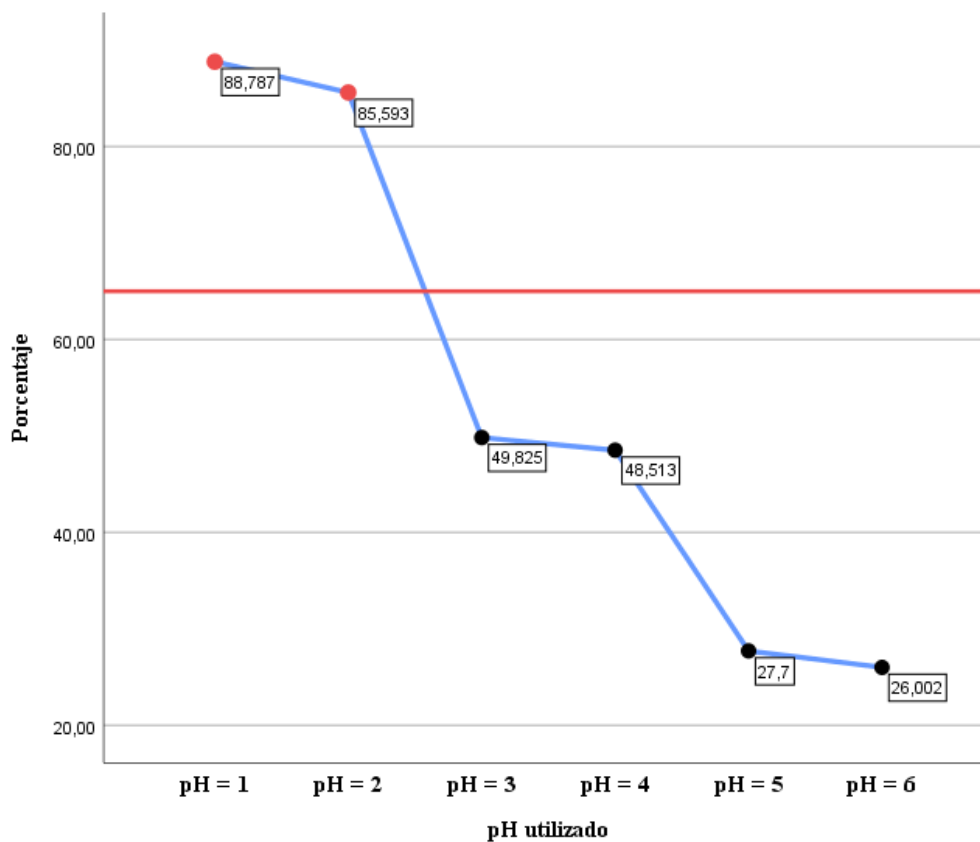


Gráfico 13: Medias de las remociones de Cr (VI) por cada pH de análisis.

En la tabla de Tukey y en el gráfico de medias de la prueba de Tukey se puede visualizar que los tratamientos cuyas medias de remoción son mayores significativamente son los correspondientes a los pH = 1 y pH = 2. Estos pH son los más óptimos en la adsorción de Cr (VI) mediante biocarbón en efluentes de la industria de curtiembre 2019.

Determinación si la adsorción de Cr (VI) mediante biocarbón en efluentes de la industria de curtiembre es totalmente reversible

a) Prueba de normalidad

Hipótesis

Ho: La distribución de las cantidades de desorción de cromo +6 poseen normalidad.

H1: La distribución de las cantidades de desorción de cromo +6 no poseen normalidad.

Nivel de significancia

0,05

Regla para rechazar la Hipótesis nula (H0)

Si Sig. < α : se rechaza la H0

Si Sig. > α : no se rechaza la H0

Tabla 21: Pruebas de normalidad de las cantidades de desorción de cromo (VI) de cada pH utilizado

Pruebas de normalidad				
	pH utilizado	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Porcentaje de desorción de cromo	pH = 3	0,958	3	0,607
	pH = 5	0,911	3	0,421

Decisión

La significancia (Sig.) dio como resultado valores mayores al nivel de significancia de 0,05, por lo cual la hipótesis nula no se rechaza y se infiere que la distribución de las cantidades de desorción de cromo (VI) poseen normalidad. Por ello, se debe utilizar la prueba T de Student de muestras independientes para analizar si existen diferencias significativas entre las distribuciones de cromo analizadas correspondientes a cada pH de análisis.

b) Prueba T de Student de muestras independientes

Hipótesis

Ho: No existen diferencias significativas entre las distribuciones de desorción de cromo +6 correspondientes a cada pH de análisis.

H1: Existen diferencias significativas entre las distribuciones de desorción de cromo +6 correspondientes a cada pH de análisis.

Nivel de significancia

0,05

Regla para rechazar la Hipótesis nula (H0)

Si Sig. < α : se rechaza la H0

Si Sig. > α : no se rechaza la H0

Estadístico para el análisis

Prueba de muestras independientes								
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias				
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
							Inferior	Superior
Porcentaje de desorción de cromo	Se asumen varianzas iguales	0,668	0,460	-0,050	4	0,963	-13,67463	13,19463

Decisión

La significancia (Sig.) dio como resultado el valor de 0,963, por lo cual al ser superior al nivel de significancia de 0,05 la hipótesis nula no es rechazada y se interpreta que no existen diferencias significativas entre las distribuciones de desorción de cromo +6 correspondientes a cada pH de análisis.

Tabla 22: Estadísticos de los pH utilizados para la desorción

	pH utilizado	N	Media	Desv. Desviación
Porcentaje de desorción de cromo	pH = 3	3	59,6967	7,02311
	pH = 5	3	59,9367	4,57358

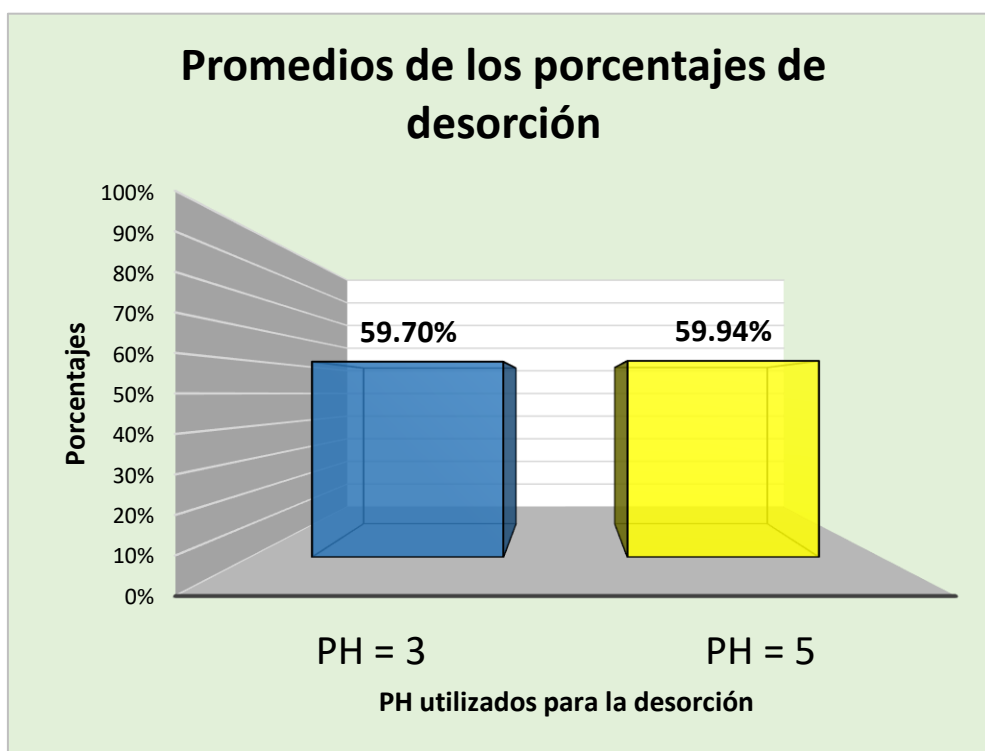


Gráfico 14: Promedios de los porcentajes de desorción con el pH 3 y el pH 5.

En la tabla y en el gráfico se puede apreciar que el pH = 5 posee una desorción de 59,94% ($\pm 4,573$) mientras que el pH = 3 tiene un porcentaje de 59,70% (± 7023), una cantidad ligeramente menor de desorción que el primer pH. Por lo cual, se puede corroborar que realmente no existe una diferencia significativa entre ambos pH. Por otro lado, también se puede observar que la adsorción no es totalmente reversible.

V. DISCUSIÓN

En el gráfico 1 y 2 se observa la concentraciones finales de Cr(VI) después del proceso de adsorción con biocarbón la concentración de cromo fue medido usando el método volumétrico en el laboratorio .De acuerdo a Li et al. (2017) el pH genera una fuerte influencia en la adsorción de los metales y depende de la naturaleza de cada metal y llegan a competir por los grupos funcionales (Huang et al 2019), ya que genera un cambio en el comportamiento de los grupos funcionales presentes en el biochar, en esta investigación, la capacidad de adsorción de Cr(VI) obtuvo porcentajes de remoción mínimos cuando el pH estaba por encima de 5 donde la remoción más baja tiene como concentración final de 187.436 mg/ l de Cr(VI) observados en la tabla 2 , pero se observó el aumento significativo de la adsorción de Cr(VI) cuando el pH estuvo por debajo de 2 donde la remoción más alta tuvo una concentración final de 0.222 con una concentración inicial de 5mg/l Cr(Vi). Por otra parte, Diaz, Carlos et al (2013), tuvieron como resultado que el pH de una solución muestra una gran influencia en el proceso de adsorción teniendo como pH óptimo 3.4. Por otro lado, Tejada, Candelaria et al (2015), obtuvieron mejores resultados que a mayor sea la cantidad de biosorbente aumenta la capacidad de adsorción del metal y a un tamaño de partícula menor la capacidad de adsorción del cromo hexavalente se reduce.

La capacidad de adsorción con biocarbón se debe también a los microporos estos son originados en el proceso de pirolisis, debido que cuando aumenta la temperatura la microporosidad aumenta, además generan más zonas de carga reactiva. Los microporos están relacionados a la adsorción de compuestos gases, líquidos y de sólidos (Escalante, Ariadna et al 2016). Existe además una procreo competitivo de electrones entre la superficie adsorbente dependiendo de la naturaleza iónica (Chen 2019)

En el grafico 1 y 2 se muestran la cantidad final de Cr (VI) a diferentes pH con los cuales se hicieron los ensayos; el pH fue medido in situ y la concentración de cromo en laboratorio usando el método volumétrico. En el estudio del comportamiento de adsorción, las 6 concentraciones de Cr (VI) (5, 25, 50, 100,

150, 200 mg/L) acondicionadas a pH en el rango de 1 a 6 estos fueron agitadas con el adsorbente durante 2 horas. Las ecuaciones de Freundlich y Langmuir son los modelos más utilizados para describir las isothermas de adsorción El modelo Langmuir asume que las adsorciones ocurren en una superficie homogénea por adsorción monocapa sin ninguna interacción entre iones adsorbidos y se utiliza con éxito en muchos procesos de adsorción de una sola capa. procesos. El modelo Freundlich asume que la adopción de Los iones metálicos se produce en una superficie heterogénea y en una absorción de varias capas (Wang, Q et al 2018). Aunque los modelos de Langmuir y Freundlich no pueden proporcionar información concluyente de los mecanismos de adsorción, se utilizan comúnmente en la literatura como una herramienta indirecta para interpretar las isothermas con el fin de comprender mejor los procesos de adsorción.

Con respecto a las isothermas de adsorción los resultados de la tabla 17 muestran que están mejor descritas por el modelo Freundlich , sugiriendo que el proceso de adsorción podría ser multicapa esto difiere con Wang.Q et al 2018 quienes tuvieron resultados más favorables con el modelo Langmuir utilizando biocarbón como adsorbente.

La proporción de Cr (VI) extraída con NaNO_3 en el biocarbón con los pH 3 y 5 a diferentes concentraciones fue ligeramente mayor al Cr (VI) no extraído del biocarbón se puede observar que en la tabla 6 que con el pH 5 tiene mayor extracción de Cr(VI) en el biocarbón. En comparación con la adsorción de Cr (VI) con pH 2 y 1 donde hubo mayor adsorción, la desorción de Cr (VI) fue baja.

VI. CONCLUSIÓN

Se concluyó que el pH influye de manera significativa en el proceso de adsorción y desorción de Cr(VI) utilizando biocarbón en aguas contaminadas siendo una alternativa de solución para tratar agua contaminada con este metal, adsorbiendo más del 80%

Se determinó que el pH 1 y 2 son los más óptimos en el proceso de adsorción y menor cuando el pH está por encima de 5.

La adsorción no es totalmente reversible porque se observó que a diferentes pH acondicionadas a distintas concentraciones (25, y 150 mg/l) el porcentaje de remoción no tuvo una diferencia significativa con lo que respecta a los 2 pH trabajados (3-5) ya que su porcentaje fue de 60 %.

VII. RECOMENDACIONES

- Se sugiere que en estudios posteriores se debe tener en cuenta variables como tamaño de partícula, tiempo de agitación, temperatura y tiempo de contacto de la solución con el adsorbente.
- Se propone utilizar el biocarbón como un complemento en el tratamiento de aguas residuales con el fin de reducir las concentraciones de metales pesados ya que este es de bajo costo.
- Para investigaciones de adsorción con de Cr(VI) se recomienda trabajar con pH menores a 3.

REFERENCIAS

1. ADRA, A.; MORA, G.; ONA-NGUEMA, G.; BREST, J. Arsenate and arsenite adsorption onto Al-containing ferrihydrites. Implications for arsenic immobilization after neutralization of acid mine drainage. *Applied Geochemistry* [online], 2016, 64, page 2-9.

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0883292715300494>

2. AHMED, M. B., ZHOU, J. L., NGO, H. H., GUO, W., & CHEN, M. (2016). Progress in the preparation and application of modified biochar for improved contaminant removal from water and wastewater. *Bioresource Technology* [online]. 2016 214, 836–851.

Disponible

[:https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852416306976](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852416306976)

3. ARDILA Forero, Liliana. Medición de la capacidad de *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus acutus* para la remoción de cromo de aguas de curtiembre. Tesis (Magister en Ingeniería Ambiental). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de ingeniería, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, 2012. 239 p.

4. AO, H., CAO, W., HONG, Y., WU, J., & WEI, L. Adsorption of Sulfate Ion from Water by Zirconium Oxide-Modified Biochar Derived from Pomelo Peel. *Science of The Total Environment*, [online] 2019.

5. Biosorption of heavy metals: A review por Salman, Abbas [et al.]. *Journal of Chemical Science and Technology*, 3(4):74-102, october 2014.

6. BENHIMA, H.; CHIBAN, M.; SINAN, F.; SETA, P.; PERSIN, M. Removal of lead and cadmium ions from aqueous solution by adsorption onto micro-particles of dry plants. *Colloids and Surfaces B: Biointerface* [online]. 2008 61, 1, page 10-16.

Disponibile en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927776507002627>

ISSN: 0927-7765

7. CHEN, Q., TANG, Z., LI, H., Wu, M., ZHAO, Q., & PAN, B. An electron-scale comparative study on the adsorption of six divalent heavy metal cations on MnFe₂O₄@CAC hybrid: Experimental and DFT investigations. *Chemical Engineering Journal* [online] 2020, Vol 381

Disponibile en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894719320595>

ISSN: 1385-8947

8. CHEN, T., ZHOU, Z., XU, S., WANG, H., & LU, W. Adsorption behavior comparison of trivalent and hexavalent chromium on biochar derived from municipal sludge. *Bioresource Technology* [online]. 2015 190, page 388–394.

Disponibile en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852415006495>

9. CHEN, Y., WANG, B., XIN, J., SUN, P., & WU, D. (2018). Adsorption behavior and mechanism of Cr(VI) by modified biochar derived from *Enteromorpha prolifera*. *Ecotoxicology and Environmental Safety* [online]. 2018, 164, pages 440–447.

Disponibile en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651318307541>

ISSN: 0147-6513

10. Choma, A., Nowak, K., Komanińska, I., Waśko, A., Pleszczyńska, M., Siwulski, M., & Wiater, A. . Chemical characterization of alkali-soluble polysaccharides isolated from a *Boletus edulis* (Bull.) fruiting body and their potential for heavy metal biosorption. *Food Chemistry* [online] 2018, Vol 138, pages 2018.

11. DAS, Nilanjana, Vimala, R y Karthika, P. Biosorption of heavy metals an overview. *Indian Journal of Biotechnology* [online]. april 2008 7, page159-169, Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1002072113600095>
12. Daneshvar, E., Zarrinmehr, M. J., Kousha, M., Hashtjin, A. M., Saratale, G. D., Maiti, A., Bhatnagar, A. (2019). Hexavalent chromium removal from water by microalgal-based materials: adsorption, desorption and recovery studies. *Bioresource Technology* [online]. 2019
Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852419312945>
ISSN: 0960-8524
13. DENIZ, F., & KARABULUT, A. (2017). Biosorption of heavy metal ions by chemically modified biomass of coastal seaweed community: Studies on phycoremediation system modeling and design. *Ecological Engineering*, [online] 2015,
Disponible en :
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857417302884>
14. De la Cruz, L. Eficiencia del biochar a partir de residuos de poda para inmovilizar plomo en el suelo a nivel laboratorio UCV, 2018.
15. ENNIYA, I., RGHIOUI, L., & JOURANI, A. Adsorption of hexavalent chromium in aqueous solution on activated carbon prepared from apple peels. *Sustainable Chemistry and Pharmacy* [online]. 2018 7, page 9–16.
Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352554117300724>
ISSN: 2352-5541
16. EI ALOUANII, M., ALEHYEN, S., EI ACHOURI, M., & TAIBI, M. Comparative study of the adsorption of micropollutant contained in

aqueous phase using coal fly ash and activated coal fly ash: Kinetic and isotherm studies. *Chemical Data Collections* [online]. 2019 23.

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2405830019301181>

ISSN: 2405-8300

17. ENNIYA, I., RGHIOUI, L., & JOURANI, A. Adsorption of hexavalent chromium in aqueous solution on activated carbon prepared from apple peels. *Sustainable Chemistry and Pharmacy* [online]. 2018 7, page 9–16.

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352554117300724>

ISSN: 2352-5541

18. FIGUEROA-TORRES, G. M., Certucha-Barragán, M. T., Acedo-Félix, E., Monge-Amaya, O., Almendariz-Tapia, F. J., & Gasca-Estefanía, L. A. Kinetic studies of heavy metals biosorption by acidogenic biomass immobilized in clinoptilolite. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, [online]. 2016, Vol.61, pages 241-246

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1876107015005659>

ISSN: 0045-6535

19. FU, F., & WANG, Q. Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. *Journal of Environmental Management* [online]. 2011, 92(3), pages 407–418. Disponible en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479710004147>

ISSN: 0301-4797

20. GUILLERMO, San Miguel y FERNANDO, Martín [en línea]. Tecnologías para el uso y transformación de biomasa energética. España: Ediciones Mundi Prensa, 2015 [fecha de consulta: 2 de OCTUBRE del 2019].

Disponible en:

<https://books.google.com.pe/books?id=k9ISCgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Tecnolog%C3%ADas+para+el+uso+y+transformaci%C3%B3n+de+biomasa+energ%C3%A9tica&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjs9bewwqrcAhXIYN8KHW9SBP0Q6AEIJzAA#v=onepage&q=Tecnolog%C3%ADas%20para%20el%20uso%20y%20transformaci%C3%B3n%20de%20biomasa%20energ%C3%A9tica&f=false> ISBN: 9788484766742.

21. HUANG, Y., FU, C., LI, Z., FANG, F., OUYANG, W., & GUO, J. Effect of dissolved organic matters on adsorption and desorption behavior of heavy metals in a water-level-fluctuation zone of the Three Gorges Reservoir, *China. Ecotoxicology and Environmental* [online] 2019, Vol 382

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147651319310267>

ISSN: 0141-8130

22. HUANG, X., ZEMLYANOV, D. Y., DIAZ-Amaya, S., SALEHI, M., STANCIU, L., & WHELTONH, A. J. Competitive heavy metal adsorption onto new and aged polyethylene under various drinking water conditions. *Journal of Hazardous Materials*, [online] 2019, Vol 138, pages 120–126

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389419315390>

23. HERNANDEZ, FERNANDEZ y BAPTISTA. Metodología de la investigación. 5 edition, México 2010, 505p.

24. HONG, Y., XIE, C., CHEN, W., LUO, X., SHI, K., & WU, T. Kinetic study of the pyrolysis of microalgae under nitrogen and CO₂ atmosphere. *Renewable Energy* [online]. 2019, vol 145, page 2159-2168.

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148119311553> IS

SN: 0960-1481

25. International Biochar Initiative. 2018. Disponible en: <http://www.biochar-international.org/>.
26. Jauregui, J. Adsorción y desorción de iones plata sobre quitina y quitosano de *Litopenaeus Vannamei*. Tesis de Maestría en Química. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería, 2015.
27. JEFFREY S, VERHEIJEN F, van der VELDE M and BASTOS A (2011) A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agric Ecosyst Environ* [online]. 2011,144 page175–87.
Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880911003197>
ISSN: 0167-8809
28. KIM, M., PARK, J., YU, S., RYU, C., & PARK, J. Clean and energy-efficient mass production of biochar by process integration: Evaluation of process concept. *Chemical Engineering Journal* [online]. 2018, Vol 355, page 840-849.
Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894718316541>
SSN: 1385-8947
29. KHANGO, G., Palacio, E., & CERDA, V. Potentiometric chip-based multipumping flow system for the simultaneous determination of fluoride, chloride, pH, and redox potential in water samples. *Talanta*. [online].2018,Vol. 186, Pages 554-560.
Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0039914018304430>

30. KUMAR, V., PARIHAR, R. D., SHAMA, A., BAKSHI, P., SING, G. P., Bali, A. S., Rodrigo-Comino, J. Global evaluation of heavy metal content in surface water bodies: A meta-analysis using heavy metal pollution indices and multivariate statistical analyses. *Chemosphere* [online]. 2019, vol 236. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653519315851>
ISSN: 0045-6535
31. KWAK, J.-H., ISLAN, M. S., WANG, S., MESSELE, S. A., NAETH, M. A., El-Din, M. G., & Chang, S. X. Biochar properties and lead (II) adsorption capacity depend on feedstock type, pyrolysis temperature, and steam activation. *Chemosphere* [online] 2019 Vol 231, pages 393-404
Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030147971930115X>
ISSN: 0045-6535
32. LEYVA, Roberto. Fundamentos de adsorción en sistemas líquido-sólido. En: LITTER, Marta, SANCHA, Ana y INGALLINELLA, Ana. Tecnologías económicas para el abatimiento de arsénico en aguas. Argentina: CYTED, 2010. pp. 43-57.
33. LEE, M.-E., PARK, J. H., & CHUNG, J. W. Comparison of the lead and copper adsorption capacities of plant source materials and their biochars. *Journal of Environmental Management*, [online] 2019, Vol 236, pages 118-124
Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030147971930115X>
ISSN: 0301-4797
34. LIU, Q., LI, Y., CHEN, H., LU, J., Yu, G., Möslang, M., & Zhou, Y. Superior adsorption capacity of functionalised straw adsorbent for dyes and heavy-metal ions. *Journal of Hazardous Materials* [online] 2019, Vol, 382
Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S03043894193099>

[4X](#)

ISSN: 0304-3894

35. LIU, Y., HU, L., TAN, B., LI, J., GAO, X., HE, Y., ... Wang, W. Adsorption behavior of heavy metal ions from aqueous solution onto composite dextran-chitosan macromolecule resin adsorbent. *International Journal of Biological Macromolecules* [online] 2019, Vol 134

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141813019360817>

36. LIU, C., WANG, Q., JIA, F., & SONG, S. Adsorption of heavy metals on molybdenum disulfide in water: A critical review. *Journal of Molecular Liquids*, [online] 2019, Vol 138, pages 120–126

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S01677322193341>

[78](#)

ISSN: 0167-7322

37. LIN, Q., LI, Y., CHEN, H., LU, J., YU, G., Möslang, M., & Zhou, Y. Superior adsorption capacity of functionalised straw adsorbent for dyes and heavy-metal ions. *Journal of Hazardous Materials*, [online] 2019, Vol 138, pages 120–126

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S03043894193099>

[4X](#)

ISSN: 0304-3894

38. LUO, L., WANG, G., SHI, G., ZHANG, M., ZHANG, J., He, J., ... Deng, O. (2019). The characterization of biochars derived from rice straw and swine manure, and their potential and risk in N and P removal from water. *Journal of Environmental Management*,

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479719306930>

ISSN: 0301-4797

39. LU, J., JIAO, W.-B., QIU, H.-Y., CHEN, B., HUANG, X.-X., & KANG, B. Origin and spatial distribution of heavy metals and carcinogenic risk assessment in mining areas at You'xi County southeast China. *Geoderma* [online]. 2018, vol 310, page 99–106.

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706116310308>

ISSN: 0016-7061

40. Londoño Franco Luis Fernando, Londoño Muñoz Paula Tatiana, Muñoz García Navarro Abel E. Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Revista De La Facultad De Ciencias Agrarias - Biotecnología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial*, Vol.14. (2):145-153, 2016.

ISSN: 1909-9959

41. MENG, A., NIE, J., WEI, K., KANG, H., LIU, Z., & ZHAO, Y. Optimization of strength, ductility and electrical conductivity of a Cu–Cr–Zr alloy by cold rolling and aging treatment. *Vacuum* [online]. 2019, [Vol.167](#), Pages 329-335.

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0042207X19309741>

ISSN: 0042-20

42. MOHAN, D, PITTMAN Jr., Ch. Activated carbons and low cost adsorbents for remediation of tri- and hexavalent chromium from water. *Journal of Hazardous Materials* [online]. Mississippi 2006, B137, page.762-811

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389406006996>

ISSN: 0304-3894

43. MOHAMMED, B. B., YAMMI, K., TIJANI, N., ALRASHDI, A. A., ZOUHRI, H., DEHMANI, Y., ... LGAZ, H. Adsorptive removal of phenol using faujasite-type Y zeolite: Adsorption isotherms, kinetics and grand canonical Monte Carlo simulation studies. *Journal of Molecular Liquids*, [online] 2019.
Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167732219309845>
44. NEGI, A.S.; ANAND, S.C. 2004 A Textbook of Physical Chemistry. *New Age International*. Pp. 724-726
45. Nie, T., Hao, P., Zhao, Z., Zhou, W., & Zhu, L. Effect of oxidation-induced aging on the adsorption and co-adsorption of tetracycline and Cu²⁺ onto biochar. *Science of The Total Environment*. [online] 2019, Vol 673, pages 522-532
Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719316092>
46. OWALUDE, S. O., & TELLA, A. C. Removal of hexavalent chromium from aqueous solutions by adsorption on modified groundnut hull. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences* [online]. 2016 5(4), page 377–388.
Disponible en
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2314853516301445>
ISSN: 30144-5
47. OMRAN, Abdi y MOSSTAFI, Kazemi. A review study of Biosorption of heavy metals and comparison between different biosorbents. *J. Mater. Environ.* February 2015. *Sci*,6(5) page 1386-1399.
Disponible
en: https://www.jmaterenvironsci.com/Document/vol6/vol6_N5/164-JMES-1454-2015-Abdi.pdf
ISSN: 2028-2508

48. PATHIRANA, C., ZIYATH, A. M., JINADASA, K. B. S. N., EGODAWATTA, P., SARINA, S., & GOONETILLEKE, A. Quantifying the influence of surface physico-chemical properties of biosorbents on heavy metal adsorption. *Chemosphere*. [online].2019, Vol.234, pages 488-495
Disponibile en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0920410519307740>
ISSN: 0045-6535
49. Plaza J. Remoción de metales pesados empleando algas. Trabajo de Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata. Argentina. 2012. 166pp
50. Ramírez J. J. Efecto del pH y el tamaño de partícula de *Chondracanthus chamissoi* en adsorción de cromo del efluente de curtiembre “Chimú SAC”. Trujillo . 2016: Disponible en:
<http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/6964?show=full>.
51. REY DE CASTRO Rosas, Ana. Recuperación de Cromo (III) de efluentes de curtido para control ambiental y optimización del proceso productivo. Tesis (Licenciado en Química). Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. 2013. 103 p.
52. Tytlak, P. Oleszczuk, R. Dobrowolski, Environmental science and pollution research international 22 (2015) 5985.
53. VALENTIN-REYES, J., GARCIA-REYES, R. B., GARCIA-GONZALES, A., SOTO-REGALADO, E., & CERINO-CORDOVA, F. Adsorption mechanisms of hexavalent chromium from aqueous solutions on modified activated carbons. *Journal of Environmental Management* [online]. 2019 236, page 815–822.

Disponibile en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479719301550>

ISSN: 0301-4797

54. WANG, Y., ZHONG, B., SHAFI, M., Ma, J., GUO, J., Wu, J., ... JIN, H.. Effects of biochar on growth, and heavy metals accumulation of Moso bamboo (*Phyllostachy pubescens*), soil physical properties, and heavy metals solubility in soil. *Chemosphere*. [online] 2018, Vol 219, pages 510-516

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030147971930115X>

55. WANG, Y., & LIU, R. H_2O_2 treatment enhanced the heavy metals removal by manure biochar in aqueous solutions. *Science of The Total Environment*, [online] 2018, Vol 628, pages 1139-1148

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718305278>

ISSN: 0048-9697

56. XIAO, F., CHENG, J., CAO, W., YANG, C., CHEN, J., & LUO, Z. Removal of heavy metals from aqueous solution using chitosan-combined magnetic biochars. *Journal of Colloid and Interface Science*, [online] 2019, Vol 138, pages 120–126

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0021979719300700>

57. YANG, X., FU, Z., HAN, D., ZHAO, Y., LI, R., & WU, Y. (2019). Unveiling the pyrolysis mechanisms of cellulose: Experimental and theoretical studies. *Renewable Energy* [online]. 2019, vol 147, page 1120-1130.

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148119313990>

ISSN: 0960-1481

58. YUAN, L., YAN, M., HUANG, Z., HE, K., ZENG, G., CHEN, A., ... Chen, G. Influences of pH and metal ions on the interactions of oxytetracycline onto nano-hydroxyapatite and their co-adsorption behavior in aqueous solution. *Journal of Colloid and Interface Science* [online]. 2019, Vol. 541, pages 101-113.

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0021979719300967>

ISSN: 0021-9797

59. ZHANG, J., SHAO, J., Jin, Q., Li, Z., ZHANG, X., CHEN, Y., ... Chen, H. (2019). Sludge-based biochar activation to enhance Pb(II) adsorption. [online] 2015, Vol 138, pages 120–126

Disponible

en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236119306544>

60. ZHANG, X., FU, W., YIN, Y., CHEN, Z., QIU, R., SIMONNOT, M.-O., & WANG, X. Adsorption-reduction removal of Cr(VI) by tobacco petiole pyrolytic biochar: Batch experiment, kinetic and mechanism studies. *Bioresource Technology* [online]. 2018 268, page 149–157.

Disponible

En:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852418310575>

61. ZOU, J., REZAEI, R., XIE, Q., & YOU, L. Characterization of the combined effect of high temperature and moisture on methane adsorption in shale gas reservoirs. *Journal of Petroleum Science and Engineering* [online]. 2019, Vol. 182.

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0920410519307740>

ISSN: 0920-4105

62. ZHOU, Z., XU, Z., FENG, Q., YAO, D., YU, J., WANG, D., ... ZHONG, M. (2018). Effect of pyrolysis condition on the adsorption mechanism of lead, cadmium and copper on tobacco stem biochar. *Journal of Cleaner Production*, [online] 2018, Vol 187, pages 996-1005

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618309491>

ANEXOS

Anexo 1: Límites de efluente para alcantarillado de las actividades de curtiembre

Parámetros	Cemento		Cerveza		Papel		Curtiembre	
	En curso	Nueva	En curso	Nueva	En curso	Nueva	En curso	Nueva
Ph	6 -- 9	6 -- 9	6 -- 9	6 -- 9	6 -- 9	6 -- 9		6 --9
Temperatura (°C)	35	35	35	35	35	35	35	35
Sólidos susp. Tot (mg/l)	100	50	500	350	1000	500		500
Aceites y Grasas (mg/l)			20	15	100	50	100	50
DBO5 (mg/l)			1000	500		500		500
DQO (mg/l)			1500	1000		1000		1500
Sulfuros (mg/l)								3
Cromo VI (mg/l)								0.4
Cromo Total (mg/l)								2
N - NH4 (mg/l)								30
Coliformes Fecales, NMP/100ml							*	*

Fuente: decreto supremo 003-2002-PRODUCE

Anexo 2: Límite máximo permisible de efluentes para aguas superficiales de las actividades de cemento, papel, cerveza y curtiembre.

Parámetros	Cemento		Cerveza		Papel		Curtiembre	
	En curso	Nueva	En curso	Nueva	En curso	Nueva	En curso	Nueva
Ph	6 -- 9	6 -- 9	6 -- 9	6 -- 9	6 -- 9	6 -- 9	6.0-8.5	5.0-80.5
Temperatura (°C)	35	35	35	35	35	35	35	35
Sólidos susp. Tot (mg/l)	50	30	50	30	100	30	50	30
Aceites y Grasas (mg/l)			5	3	20	10	25	20
DBO5 (mg/l)			50	30		30	50	30
DQO (mg/l)			250	50		50	250	50
Sulfuros (mg/l)							1	0.5
Cromo VI (mg/l)							0.3	0.5
Cromo Total (mg/l)							2.5	0.5
Coliformes Fecales, NMP/100ml							4000	1000
N - NH4 (mg/l)							20	10

Fuente: decreto supremo 003-2002-PRODUCE

Anexo 3: Valores referenciales de efluentes para alcantarillado y aguas superficiales de las actividades en curso de los subsectores curtiembre y papel

Parámetros	CURTIEMBRE (Alcantarillado)	PAPEL		
		Agua Superficial	Alcantarillado	
Grado de Acidez o alcalinidad (pH)	6.9--9.5			
DBO5 (mg/l)	1000	250		1000
DQO (mg/l)	2500	1000		3000
Sólidos susp. Tot (mg/l)	1000			
Sulfuros (mg/l)	10			
Cromo VI (mg/l)	0.5			
Cromo Total (mg/l)	5			
N - NH4 (mg/l)	2			

Fuente: decreto supremo 003-2002-PRODUCE

Anexo 4: Medidas de parámetros físico-químicos al inicio y después de cada tratamiento (pH 1 ,2 ,3, 4, 5, 6)

	Concentración	INICIAL			FINAL		
pH	Cr(VI)	pH	CE mS/cm	mv	pH	CE mS/cm	mv
1	5	1.37	64.6	286.8	1.36	71.3	283.5
1	25	1.37	56.2	286.3	1.39	71.5	295.4
1	50	1.34	72.3	288.7	1.34	78.2	297.5
1	100	1.65	73.9	288.7	1.23	76.9	267.3
1	150	1.24	70.65	284.3	1.21	74.3	290.7
1	200	1.39	69.9	289.5	1.61	70.1	294.4
2	5	2.11	42.3	253.4	2.37	51.3	231.6
2	25	2.5	44.1	260.3	2.22	11.03	238.5
2	50	2.33	36.1	249.8	2.7	8.84	212.61
2	100	2	36.74	251.8	2.22	12.64	238.4
2	150	2.14	36.15	260.8	2.1	5.83	216.8
2	200	2.19	32.6	227.9	2.01	6.8	185.3
3	5	3.11	21.45	218.3	6.81	8.04	20.2
3	25	3.34	16.14	194.3	6.5	5.67	4
3	50	3	28.5	213.5	6.15	12.04	23.1
3	100	3	15.64	203.4	7.3	9.7	-40
3	150	3.16	34.81	204.7	6.56	5.7	18.5
3	200	3.1	36.94	180.6	6.16	9.57	17.2
4	5	4.1	18.63	149.6	6.13	8.71	-5.64
4	25	4.3	16.14	142.3	6.7	8.71	-7
4	50	4.13	19.75	151.3	6.9	10.18	-18.1
4	100	4	27.75	167.3	7.22	7.19	-15.3
4	150	4.17	29.72	145.6	6.98	6.14	-3.4
4	200	4.57	25.35	102.3	6.89	9.72	-16.9
5	5	5.45	15.36	82.9	8.45	8.5	-26.18
5	25	5.47	16.84	77.6	7.05	8.89	-26.3
5	50	5.23	17.52	91	7.05	9.37	-25.2
5	100	5	14.56	89.3	7.07	10.88	-27.2
5	150	5.5	16.9	80.5	7.25	6.3	-19.4
5	200	5.6	18.61	44.1	7.23	9.19	-39.9
6	5	6.8	17.41	28.4	7.89	8.83	-34.2
6	25	6.25	15.85	35.2	7.64	8.83	-58.8
6	50	6.17	17.33	39.4	7.3	8.6	-39.7
6	100	6	18.1	16.6	6.84	9.48	-14.6
6	150	6.2	16.4	16.4	7.62	6.14	-40.1
6	200	6.12	16.2	18.1	7.65	8.9	-62.3

Anexo 5: Parámetros físico-químicos replica.

pH	Concentraciones Cr(VI)	INICIAL			FINAL		
		pH	CE mS/cm	mv	pH	CE mS/cm	mv
1	5	1.29	61.3	261.3	1.64	69.46	271.6
1	25	1.32	60.82	245.3	1.84	64.24	243.6
1	50	1.11	71.6	235.1	1.36	71.6	291.7
1	100	1.42	70.2	277.3	2.1	74.63	254.3
1	150	1.24	89.35	281.6	1.97	79.37	281.7
1	200	1.69	72.64	289.7	2.3	62.35	284.6
2	5	2.14	39.4	248.3	2.84	50.92	223.4
2	25	2.1	41.67	268.3	2.22	12.64	221.7
2	50	2.14	35.45	270.3	2.12	8.47	210.3
2	100	2	37.31	240.3	2.97	11.63	210.4
2	150	2.61	38.45	294.3	2.37	7.4	278.6
2	200	2.14	30.49	220.3	2.82	6.83	215.4
3	5	3.1	20.85	230.6	6.24	8.04	23.4
3	25	3.28	18.46	200.3	7.36	5.67	9.3
3	50	3.17	25.94	220.1	6.82	12.04	23.1
3	100	3	16.37	236.3	6.98	9.71	-45.3
3	150	3.11	29.46	189.3	6.49	5.7	15.4
3	200	3.21	29.45	195.3	6.23	6.7	12.3
4	5	4.2	17.27	163.7	7.98	7.12	-4.67
4	25	4.3	18.46	142.3	7.65	7.35	-8.3
4	50	4.19	21.67	151.3	6.87	8.64	-75.45
4	100	4.36	25.37	176.3	7.33	6.24	-14.35
4	150	4.12	31.71	168.3	9.83	6.11	-3.4
4	200	4.57	26.32	102.3	6.34	8.49	-15.31
5	5	5.62	16.37	91.6	8.21	8.71	-24.85
5	25	5.42	18.36	78.3	7.95	6.5	-24.36
5	50	5.23	20.85	87.6	7.68	9.37	-21.4
5	100	5.3	16.25	89.3	7.34	10.88	-25.94
5	150	5.21	18.97	97.4	7.99	6.3	-18.36
5	200	5.39	20.37	48.7	7.36	6.45	-29.78
6	5	6.4	15.64	30.9	8.36	7.14	-35.41
6	25	6.21	15.82	33.5	8.12	7.64	-48.6
6	50	6.15	16.22	41.2	7.8	8.4	-35.76
6	100	6	16.37	18.7	6.92	10.64	-12.45
6	150	6.13	16.62	15.2	7.68	4.32	-43.78
6	200	6.27	15.46	16.4	7.31	7.64	-52.74

Anexo 6: Curva de calibración y proceso de adsorción y desorción.



Figura 1: Fialas de 50ml.



Figura: 2 Solución

preparada.

En la figura 1 y 2 se muestra la preparación de los estándares para la elaboración de la curva de calibración.

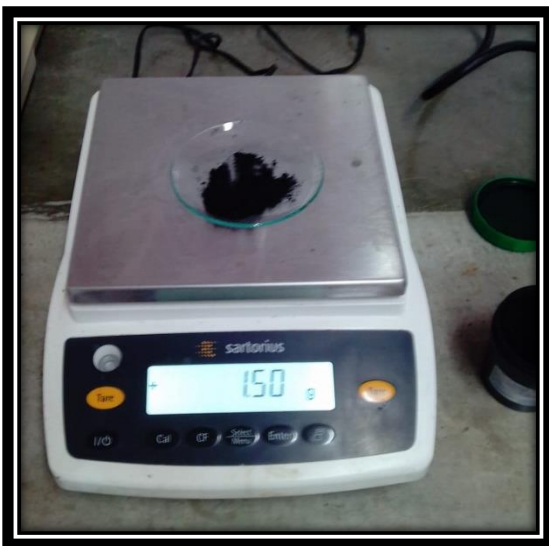


Figura 3: Pesaje del biocarbon.

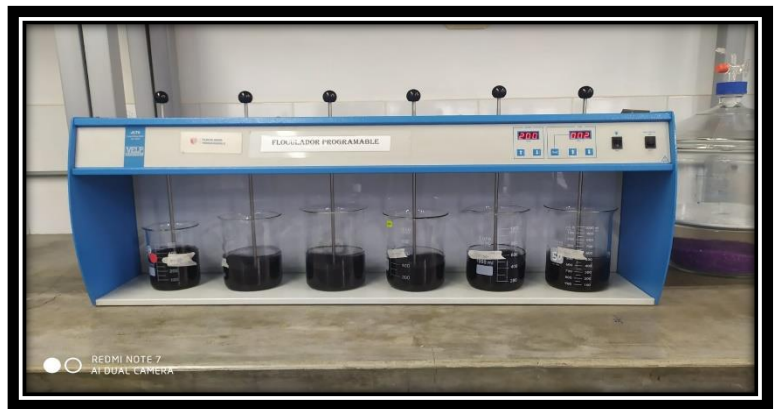


Figura 4: Test de jarras

En la figura 3 y 4 se observa el proceso de adsorción utilizando un floculador, cada muestra a diferentes pH pasaba el test de jarras con un tiempo de 2 horas a 200rpm.

Anexo 7: Filtración de muestras y lecturas.



Figura 5: Filtración filtradas



Figura 6: Muestras

En la figura 5 y 6 se observa la Muestras filtradas listas para hacer las lecturas en el espectrofotómetro UV



Figura 7: Lecturas de muestras Espectrofotómetro



Figura 8:

Lecturas por el espectrofotómetro UV para cada muestra resultante a una longitud de onda de 540nm donde nos indicará la absorbancia de cada muestra y esta será reemplazada en la ecuación.

Anexo 8: Matriz de consistencia

Efecto del PH en la adsorción y desorción de Cromo (VI) mediante biocarbon aplicado en efluentes de la industria de curtiembre 2019									
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLE INDEPENDIENTE	OPERACIONALIZACION DE VARIABLES					
Problema General	Objetivo general	Hipótesis		DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENCIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	
¿Cuál es el efecto del pH en la adsorción y desorción de C (VI) mediante biocarbon en efluentes de la industria de curtiembre 2019?	Evaluar el efecto del pH en la adsorción y desorción de Cr(VI) mediante biocarbon en efluentes de la industria de curtiembre 2019	El pH tiene efecto significativo para la adsorción y desorción de Cr+6 mediante biocarbon en efluentes de la industria de curtiembre 20	VARIABLE DEPENDIENTE	Según Salman [et al.] (2014), establecen que este factor influye en la naturaleza de los sitios de unión a la biomasa, afecta la química de la solución de los metales, la actividad de los grupos funcionales en la biomasa y la competencia de los iones metálicos. En general, la absorción de metales pesados disminuye significativamente cuando el pH de las soluciones disminuye de 6,0 a 2,5. También, se tiene que la mejor capacidad de adsorción de las diferentes biomosas se encuentra en un pH de 3,0 a 5,0 (p.79)	Cada muestra está a diferentes pH para el proceso de adsorción de cromo hexavalente, fue analizado en un rango de 1 a 6.	Rango de pH acido	pH	Unidad de	
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPOTESIS ESPECÍFICOS		VARIABLE DEPENDIENTE	La adsorción es un proceso donde los iones metálicos de aguas residuales que provienen de un sector industrial quedan retenidos de forma pasiva o activa en una superficie usando diferentes solventes de diferentes biomosas. (LEZCANO, 2008)	Para el proceso de adsorción y desorción se realizó varias soluciones con diferentes concentraciones de Cr+6 todo el experimento se llevó acabo por duplicado	Adsorción de Cromo	Concentracion de Cromo inicial y final	mg/L
¿Cuál es el pH óptimo en la adsorción de Cr (VI) mediante biocarbón en efluentes de la industria de curtiembre 2016?	Determinar el pH óptimo en la adsorción de Cr(VI) mediante biocarbón en efluentes de la industria de curtiembre 2019.						Desorción de cromo	recuperación de Cr(VI)	%
¿La adsorción de Cr(VI) mediante el biocarbón en efluentes de la industria de curtiembre será totalmente reversible?	Determinar si la adsorción de Cr(VI) mediante biocarbón en efluentes de la industria de curtiembre es totalmente reversible.								