



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL**

“Influencia de temperatura, tiempo de residencia y cantidad de cáscara
deshidratada de *Musa Cavendishii* en la adsorción de cromo hexavalente”

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

AUTOR:

GÁLVEZ COTRINA JOSÉ EDUARDO

ASESOR:

Ms. WALTER MORENO EUSTAQUIO

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

CALIDAD Y GESTIÓN DE RECURSOS NATURALES

TRUJILLO – PERÚ

2017

JURADO CALIFICADOR

Dr. Medardo Alberto Quezada
Álvarez.

PRESIDENTE



Firma

Ing. José Félix Rivero Méndez.

SECRETARIO



Firma

Ms. Walter Moreno Eustaquio

VOCAL



Firma

DEDICATORIA

A mis padres por haberme formado como una persona de buenos valores y haberme guiado en la vida.

A mis abuelos Segundo y Jorge quienes a pesar de haber partido ya de este mundo siempre están presentes para cuidarme y guiarme

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres y hermanos por haber confiado en mí y haberme brindado su apoyo incondicional a lo largo de mi formación profesional.

Agradezco también al Ing. Walter Moreno por compartir sus conocimientos con mi persona y poder realizar esta investigación.

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, Gálvez Cotrina José Eduardo, identificado con DNI N° 71718229 de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, autor de la Tesis titulada:

Declaro que:

1. El tema de tesis es auténtico, siendo resultado de mi trabajo personal.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha si publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

En este sentido soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, son objeto de sanciones universitarias y/o ilegales.

Trujillo, 22 de Diciembre de 2017

Firma
D.N.I. 71718229

PRESENTACIÓN

Sres. Miembros del jurado:

En cumplimiento con las disposiciones vigentes del reglamento de grado y títulos de la facultad de ingeniería de la Universidad Cesar Vallejo de Trujillo, someto a su consideración y elevado criterio el presente informe de tesis titulado:

“Influencia de temperatura, tiempo de residencia y cantidad de cáscara deshidratada de *musa cavendishii* en la adsorción de cromo hexavalente”

Es propicia esta oportunidad para brindar nuestro sincero reconocimiento a nuestra alma mater y toda su plana docente, que con su capacidad y buena voluntad contribuyeron a nuestra formación profesional.

ÍNDICE

RESUMEN	9
ABSTRACT	10
I. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Realidad Problemática	11
1.2. Trabajos previos	12
1.3. Teorías relacionadas al tema.....	17
1.4. Formulación del problema	20
1.5. Justificación del estudio	20
1.6. Hipótesis.....	21
1.7. Objetivo.....	21
II. MÉTODO	22
2.1. Diseño de investigación	22
2.2. Variables, operacionalización	22
2.3. Población y muestra	24
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	24
2.5. Métodos de análisis de datos.....	27
III. RESULTADOS	28
IV. DISCUSIÓN	34
V. CONCLUSIONES	37
VI. RECOMENDACIONES	38
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
ANEXOS	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Diseño Experimental	22
Tabla N° 2. Operacionalización de Variables.....	23
Tabla N° 3. Rendimiento en peso de material adsorbente	28
Tabla N° 4. Porcentaje de Remoción de Cromo (VI).	29
Tabla N° 5. Prueba de Kruskal-Wallis.....	30
Tabla N° 6. Capacidad de Adsorción Máxima de cromo del adsorbente	32
Tabla N° 7. Instrumento de recolección de datos.....	44
Tabla N° 8. Prueba de Kruskal-Wallis.....	45
Tabla N° 9. Estadísticos de prueba.....	46
Tabla N° 10. Prueba Post Hoc Mann-Whitney.....	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Comparación entre parejas de Tratamientos	30
Figura N° 2. Comparación entre parejas de Tratamientos	31
Figura N° 3. Influencia del Tiempo en la Adsorción de Cromo (VI) Temperatura = 60 °C y Dosis 8 g/L.....	31
Figura N° 4. Influencia de la Temperatura en la Adsorción de Cromo (VI), Tiempo= 90 minutos y Dosis 8 g/L.	32
Figura N° 5. Influencia de la Temperatura en la Adsorción de Cromo (VI), Temperatura = 60 °C y Tiempo = 90 minutos.....	32
Figura N° 6. Saturación del adsorbente con de 1 g/L de Cromo (VI) en solución. A 60 °C, 8 g/L de adsorbente, 100 rpm de agitación, y pH inicial =2.	33
Figura N° 7. Materia Prima- Cáscara de Plátano (<i>musa cavendishii</i>)	42
Figura N° 8. Lavado con agua ultrapura	42
Figura N° 10. Figura N° 8. Secado	42
Figura N° 9. Triturado con molino manual	42
Figura N° 11. Material Adsorbente Final	42
Figura N° 12. Almacenado de Adsorbente en frasco ámbar.....	42
Figura N° 13. Pesado de adsorbente en Balanza Analítica	42
Figura N° 14. Reactivos y Soluciones	42
Figura N° 15. Ensayo de Adsorción-Durante.....	43
Figura N° 16. Ensayo de Adsorción-Antes	43
Figura N° 17. Ensayo de Adsorción-Final- Efecto de Dosis 4, 6 y 8 g/L 60 °C/60 min.....	43
Figura N° 18. De izquierda a derecha. Solución inicial 1000 ppm Cr (VI), Filtrado final después de haber aplicado 8 g/L de adsorbente a 60 °C durante 90 min.....	43

RESUMEN

El presente trabajo investigó la influencia de la Temperatura, tiempo de residencia y cantidad de cáscara deshidratada de *musa cavendishii*, en la adsorción de cromo hexavalente, para dicho fin se estableció un diseño experimental de tres factores, teniendo como variables independientes: Temperatura (30,40 y 60 °C), tiempo de residencia (30, 60 y 90 minutos) y cantidad de cáscara deshidratada de *musa cavendishii* (4, 6 y 8 g/L). Para llevar a cabo este trabajo se utilizó una solución inicial de 1000 ppm de Cromo preparada a partir de Dicromato de Potasio. Los resultados obtenidos muestran que a los 60 °C, usando 8 g/L de adsorbente, con un tiempo de 90 minutos, se logró remover 77 % de la concentración de este metal, siendo este resultado el más alto de todos los tratamientos. Asimismo se evaluó la capacidad de adsorción de la *musa cavendishii*, quien obtuvo una capacidad máxima de 96.25 mg Cr (VI)/g

PALABRAS CLAVE: *musa cavendishii*, adsorción, temperatura, tiempo de residencia, cantidad de cáscara deshidratada, cromo.

ABSTRACT

The present work investigated the influence of temperature, residence time and amount of dehydrated peel of *musa cavendishii*, in the adsorption of hexavalent chromium, for this purpose an experimental design of three factors was established, having as independent variables: Temperature (30, 40 and 60 ° C), residence time (30, 60 and 90 minutes) and amount of dehydrated *musa cavendishii* peel (4, 6 and 8 g / L). To carry out this work an initial solution of 1000 ppm of Chromium prepared from Potassium Dichromate was used. The results obtained show that at 60 ° C, using 8 g / L of adsorbent, with a time of 90 minutes, it was possible to remove 77% of the concentration of this metal, this result being the highest of all the treatments. Likewise, the adsorption capacity of *musa cavendishii* was evaluated, which obtained a maximum capacity of 96.25 mg Cr (VI) / g

KEY WORDS: *musa cavendishii*, adsorption, temperature, residence time, amount of dehydrated peel, chromium.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

Las aguas residuales industriales son efluentes originados como subproductos de la actividad industrial y que no pueden ser vertidos directamente a los cursos de agua debido a que pueden ocasionar impactos ambientales significativos en ellos.

El procesamiento de gran cantidad de materia prima, por parte de las industrias origina de igual manera gran cantidad de efluentes que son vertidos en muchos casos a la red del alcantarillado municipal sin ningún tipo de tratamiento ya que los costos de tratamiento para este tipo de contaminantes son elevados y muchas de las veces las empresas no están en la capacidad de cubrirlos.

Los efluentes tienden a variar sus características según la naturaleza de la industria que lo genera. Los efluentes que contienen Cromo son descargados por industrias químicas, de construcción de maquinarias e instrumentos, de radio electrónica, curtiembres, efluentes de torres refrigerantes de estaciones generadoras de energía eléctrica, entre otras. (Otiniano et al., 2007, p. 33)

Uno de los mayores generadores de efluentes con presencia de Cromo en la Ciudad de Trujillo es la floreciente industria de la curtiembre.

El cromo hexavalente es un metal potencialmente tóxico para los organismos acuáticos, carcinogénico para los mamíferos incluyendo al ser humano, está demostrada su toxicidad por ser cáustico para la piel y las mucosas, puede ocasionar daño cutáneo, pulmonar, renal, hemático, hepático y cardiovascular; carcinógeno (pulmón). (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades , 2012)

En el Perú la legislación peruana establece un límite máximo permisible (LMP) de Cr (VI) en los efluentes industriales para el alcantarillado 0.4 mg/L (DS N° 003-2002-PRODUCE) y Estándares de Calidad Ambiental (ECA) 0,05 ppm en agua potable (DS N° 002-2008-MINAM).

1.2. Trabajos previos

1.2.1. NIVEL NACIONAL

Sun-Kou et al. (2014, p. 225.), En su publicación *Adsorción de metales pesados empleando carbones activados preparados a partir de semillas de aguaje* nos muestra que la semilla de aguaje (fruto típico de la selva amazónica) fue empleada como un material precursor para la preparación de carbón activado usando ácido fosfórico como agente activante. La máxima capacidad de adsorción se logró utilizando el carbón activado con soluciones con un pH mayor a 4; los valores obtenidos estaban en el siguiente orden: plomo (74,8 mg g⁻¹), cadmio (26,5 mg g⁻¹), cromo (18,8 mg g⁻¹). Los factores más importantes que influyen en el proceso de adsorción fueron el pH de la solución, la estructura porosa y la acidez superficial del carbón activado.

Según Rojas y Zárate (2015), en su tesis Efecto del pH y el tiempo de contacto en la adsorción de cromo hexavalente en solución acuosa utilizando montmorillonita como adsorbente, resalta que la adsorción de Cr (VI) mediante arcilla natural es una tecnología eficiente ya que obtuvo resultados de remoción del 95.213% a niveles de pH 2 y 24 horas. Las ventajas que describe de este adsorbente son que la arcilla es fácil acceso a un precio considerable, ya que es un recurso abundante; además el adsorbente resultante luego del proceso de adsorción puede utilizarse para la producción de bloques de construcción, de esta manera se lograría disponer responsablemente de la arcilla utilizada evitando que se convierta en una fuente de contaminación.

De Acuerdo a Lavado, Sun Kou Y Recuay (2012, p. 14), en su trabajo *Remoción de cromo (VI) empleando carbones preparados por activación química a partir de las astillas de eucalipto* hace mención a la preparación dos tipos de carbones activados a partir de astillas de eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill) mediante activación química usando hidróxido de potasio (KOH) y ácido fosfórico (H₃PO₄) como agentes activantes. Se evaluó la capacidad de

adsorción de Cr (VI) en soluciones acuosas y en este proceso se analizó también la influencia de la concentración inicial y el pH de la solución. Los mejores resultados se obtuvieron con el carbón activado P1/600, con una capacidad de adsorción 75,2 mg/g a pH= 2.

1.2.1. NIVEL INTERNACIONAL

Según Quiñones, Tejada y Ruiz (2014, p. 25), En su publicación denominada *Remediación de aguas contaminadas con Cromo utilizando diferentes biomateriales residuales* identificó las biomasas que están siendo utilizadas actualmente en la remoción de Cromo en aguas residuales contaminadas. Encontró que los bioadsorbentes más usados incluyen cortezas de árboles, residuos de madera, semillas y hojas de diferentes árboles, cáscaras de frutos, residuos de cereales, flores y cítricos. Se halló que para la remoción de Cromo (VI) el biomaterial que mostró la máxima capacidad de adsorción fue los residuos de trigo con 322.58 mg/g, mientras que para el Cr (III) los residuos de naranja con 74.87 mg/mg, ambas se lograron con un pH de 5.

De acuerdo a Tejada, Villabona y Garcés (2015, p.109), En su publicación *Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico*, menciona La aplicación de materiales de bajo costo obtenidos a partir de diferentes biomasas provenientes de la flor microbiana, algas y residuos agroindustriales ha sido investigada para reemplazar el uso de métodos convencionales en la remoción de contaminantes, tales como los metales pesados. Entre los metales de mayor impacto al ambiente por su alta toxicidad difícil eliminación se encuentran el cromo, níquel, cadmio, plomo y mercurio. Además en su trabajo se estudian las generalidades de la adsorción como proceso alternativo para la remoción de contaminantes en solución y las biomasas comúnmente usadas en estos procesos, además de algunas de las modificaciones realizadas para la mejora de la eficiencia de adsorción de las mismas. Se concluye que el uso de la adsorción en la remoción de contaminantes en solución acuosa mediante el uso de biomasa residual es

aplicable a estos procesos de descontaminación evitando problemas subsecuentes como la generación de lodos químicos, y generando un uso alternativo a materiales considerados como desechos. Se identifica además que factores como el pH de la solución, tamaño de partícula, temperatura y la concentración del metal influye en el proceso.

Según Torres et al. (2012, p. 29), en su trabajo titulado “*Remoción de Cromo hexavalente por la cáscara de Plátano (musa cavendishii)*” (2012), analizó la capacidad de remoción de cromo (VI) en solución por cáscara de Plátano, determinando la concentración del metal por el método de la Difenilcarbazida, encontrando que la remoción total del metal (50 mg/L) mayor ocurre a los 60 minutos, a pH de 1.0 y 28 °C. Con respecto a la temperatura, la más alta remoción se observó a 60 °C, pues a los 40 minutos, el metal (1g/mL) se remueve completamente. En las concentraciones de Cr (VI) analizadas la cáscara de plátano, mostró gran capacidad de remoción; además después de 40 minutos de incubación, la biomasa disminuye 1.0 g de Cr (VI) con la producción simultánea de Cr (III), por lo que puede utilizarse para eliminarlo de aguas residuales industriales.

Según Memon et al. (2009 p. 232), en su estudio denominado *Banana peel: A Green and economical sorbent for the selective removal of Cr(VI) from industrial wastewater* describe el uso de la cáscara de plátano, un residuo de fruta producido comúnmente, para la eliminación de Cr (VI) de aguas residuales industriales. Se investigaron los parámetros pH, tiempo de contacto, concentración inicial de iones metálicos y temperatura, y se determinaron las condiciones que resultaron en adsorción rápida y eficiente (95% en 10 minutos). Se encontró que la unión de iones metálicos era dependiente del pH y la sorción óptima se producía a pH 2. Las especies retenidas se eluyeron con 5 ml de H₂SO₄ 2 M. Para elucidar el mecanismo del proceso, se analizaron las cantidades totales de cromo y Cr (VI) usando técnicas de absorción atómica de llama y técnicas espectroscópicas de luz ultravioleta (UV-vis), respectivamente. Las isothermas de Langmuir y Dubinin-Radushkevich (D-R) se usaron para describir el comportamiento de partición del sistema a diferentes temperaturas.

También se estudió la cinética y la termodinámica de la remoción de Cr (VI) por la cáscara de plátano. La influencia de diversos iones sobre el comportamiento de sorción reveló que sólo los iones Fe (II) (de los ensayados) suprimieron la sorción de iones Cr (VI) hasta cierto punto. El método se aplicó para la eliminación de Cr (VI) de aguas residuales industriales.

Kkiu, Charana e Yoon (2013, p. 108), en su Publicación *Banana Peel: A Green Solution for Metal Removal from contaminated Waters* nos presenta resultados de varios estudios realizados bajo condiciones diferentes, en donde se demostró que la cáscara de banano es capaz de adsorber de Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Zn, respectivamente, 5,71, 2,55, 28,00, 6,88, 7,97 y 5,80 mg / g de soluciones acuosas. La Capacidad de adsorción, dependiendo sin embargo de varios factores incluyendo soluciones pH, dosis de adsorción y concentración de metal, tiempo de contacto y velocidad de agitación

Guerrero y Ramírez (2014, p. 18), En su publicación titulada *Adsorción de Cromo VI sobre residuos de café*. Estudió la adsorción de Cromo (VI) en 3 diferentes adsorbente; carbón activado comercial, carbón activado preparado a partir de residuos de café y los residuos café. De estos se eligió el residuo de café (cuncho), como la mejor alternativa entre las analizadas, para el propósito se trabajó en concentraciones de 5 µg/mL (expresada como cromo VI) y diferentes dosificaciones de residuos de café; la concentración de cromo VI se analizó por espectrofotometría a 540 nm y la de cromo total se realizó por absorción atómica. Se llegaron a obtener adsorciones superiores al 95 % de Cromo VI.

Achak et al (2009, p. 117), en su publicación *Low cost biosorbent "banana peel" for the removal of phenolic compounds from olive mill wastewater: Kinetic and equilibrium studies*. El objetivo de este trabajo es determinar el potencial de aplicación de la cáscara de plátano como un biosorbente para la eliminación de compuestos fenólicos de las aguas residuales del molino de oliva. Se investigó el efecto de la dosis adsorbente, el pH y el tiempo de contacto. Los resultados mostraron que el aumento en la dosis de la cáscara del banano de 10 a 30 g / L

aumentó significativamente las tasas de adsorción de compuestos fenólicos de 60 a 88%. El aumento del pH hasta la neutralidad anterior dio como resultado el aumento de la capacidad de adsorción de los compuestos fenólicos. El proceso de adsorción fue rápido, y alcanzó el equilibrio en 3 horas de tiempo de contacto. Los modelos de adsorción de Freundlich y Langmuir se utilizaron para la descripción matemática del equilibrio de adsorción y se encontró que los datos experimentales encajaban muy bien tanto con los modelos de Freundlich como con los de Langmuir. Los modelos de adsorción por lotes, basados en la asunción del mecanismo de difusión de pseudo-primer orden, pseudo-segundo orden e intrapartida, mostraron que los datos cinéticos siguen de cerca la difusión de pseudo-segundo orden que la de pseudo-primer orden y de intrapartícula. Los estudios de desorción mostraron que el pH bajo era eficiente para la desorción de compuestos fenólicos. Estos resultados indican claramente la eficiencia de la cáscara de plátano como una solución de bajo costo para el tratamiento de aguas residuales del molino de oliva y dan algunos elementos preliminares para la comprensión de las interacciones entre la cáscara de banano como un bioadsorbente y los compuestos muy contaminantes de la industria del aceite de oliva.

De acuerdo a Tejada, Villabona & Marimón (2014, p. 86), En su publicación *Biosorción de Cromo (VI) en aguas usando material lingnocelulósico modificado*. En donde estudió la adsorción de cromo usando cáscara de naranja modificada con quitosano, y carbón activado obtenido de la misma. Los experimentos de adsorción se realizaron mediante procesos en discontinuo a una temperatura de 30 °C. El adsorbente se puso en contacto con la disolución de Cromo en una concentración de 100 ppm, estudiando la influencia de parámetros como el pH y la relación adsorbente/solución en la adsorción del metal. Se encontró que los mejores resultados de adsorción se dan a pH de 3 y una relación de 6 g/L de adsorbente/solución. Recomienda usar carbón ya que se obtuvieron porcentajes de remoción cercanos al 98% en un tiempo de 120 minutos, mientras que para la cáscara modificada con quitosano se llegó a un 60% de remoción en el mismo tiempo.

1.3. Teorías relacionadas al tema

1.3.1. Adsorción

La adsorción es el resultado de la atracción entre las moléculas de la superficie del sólido (adsorbente) y las del fluido (adsorbato). Esta atracción puede ser de dos tipos: adsorción física o química.

En la Adsorción física el adsorbato se une a la superficie por fuerzas relativamente débiles (fuerzas de Vander Walls). En cambio la adsorción química implica el intercambio o compartición de electrones entre las moléculas de adsorbato y la superficie del adsorbente, lo que conlleva a tener prácticamente una reacción química. (Izquierdo, 2004)

1.3.2. Factores que Influyen en la Adsorción

- **Temperatura**

El incremento de la temperatura aumenta la velocidad de remoción de Cromo (VI) y disminuye el tiempo de contacto requerido para la completa remoción del metal, por incrementar la exposición de los grupos funcionales que reaccionan con el mismo. (Torres et al., 2012).

- **Dosis de Adsorbente**

La cantidad de adsorbente es el factor que va a limitar hasta cierto punto la concentración de metal que se adsorbe, es decir, a mayor cantidad de adsorbente, obtendremos una mayor adsorción, pero lo ideal es llegar a una relación de equilibrio, entre la cantidad de adsorbente y la concentración de metal, para lograr un resultado óptimo de adsorción. (Pérez et al., 2014 p. 14)

- **Tiempo de Residencia**

La evaluación del tiempo de contacto es fundamental para determinar la eficiencia en la recuperación del metal y puede contribuir a determinar, en la mayor parte de los casos, la naturaleza del proceso. (Nasruddin, 2002, p. 25)

1.3.3. Material Adsorbente

- **Cáscara de *musa cavendishii***

La musa cavendishii o Plátano común junto con otros cultivos han sido reconocidos como rentables y altamente eficientes adsorbentes para la remoción y recuperación de diferentes tipos de metales pesados de soluciones acuosas. (Kkiu, 2013)

La habilidad se atribuye a sus proteínas, carbohidratos y componentes fenólicos que contienen grupos carboxilo, hidroxilo, sulfatos, fosfatos y amino, los cuales presentan gran afinidad por los iones metálicos, facilitando su captación.

Como revelan las investigaciones de laboratorio, la cáscara de plátano contiene pectina (10-21%), lignina (6-12%), celulosa (7,6-9,6%) y hemicelulosa (6,4-9,4%). Se ha informado que la extracción de pectina tiene glucosa, galactosa arabinosa, ramnosa, xilosa y ácido galacturónico. (Kkiu, 2013)

En el Perú en el año 2016 se produjeron 540.8 mil Toneladas de Plátano (MINAGRI, 2016) del cual aproximadamente el 40% de la producción son remanentes de cáscara de plátano y no se utilizan. La exploración de una tecnología con cáscara de plátano, por lo tanto, no sólo aborda la tan necesaria herramienta sostenible para limpiar las aguas contaminadas, sino también por supuesto trae un valor añadido a la industria bananera en todo el país y el mundo. (Kkiu, 2013)

1.3.4. Adsorbatos

- **Cromo**

El cromo es un elemento que se encuentra normalmente en rocas, animales, plantas y el suelo. Puede existir en formas diferentes y éstas determinan su estado líquido, sólido o gas. El cromo (0), cromo (III) y cromo (VI) son las formas más comunes en las que se encuentra este elemento. El cromo (0), también denominado cromo metálico, se usa en la fabricación de acero y el cromo (III) y (VI) se

utilizan en el cromado, en colorantes y pigmentos, en curtido de cuero y en la preservación de la madera y, en cantidades pequeñas, en barrenas para la extracción de petróleo, inhibidores de corrosión, en la industria textil y en el tóner para copiadoras. El cromo hexavalente Cr(VI) y el cromo Cr(0) son formas producidas normalmente por procesos industriales, mientras que las formas trivalentes predominan en organismos vivos. El cromo trivalente Cr(III) es un elemento residual necesario para mantener un buen estado de salud, ya que ayuda al cuerpo a utilizar el azúcar, la grasa y las proteínas. (Molina, Aguilar y Cordovez, 2010)

El cromo (VI) es un peligro para la salud de los humanos, sobre todo para la gente que trabaja en la industria del acero y textil. La gente que fuma tabaco también puede tener un alto grado de exposición a este elemento. El cromo (VI) es conocido porque causa varios efectos sobre la salud: cuando se encuentra como compuesto en los productos de la piel, puede causar reacciones alérgicas, por ejemplo, erupciones cutáneas; después de ser respirado el cromo (VI) puede causar irritación de la nariz y sangrado de ésta. (Molina, Aguilar y Cordovez, 2010)

1.4. Formulación del problema

¿De qué manera influye la temperatura, tiempo de residencia y cantidad de cáscara deshidratada de *musa cavendishii* en la adsorción de cromo hexavalente?

1.5. Justificación del estudio

En la Provincia de Trujillo uno de los mayores generadores de efluentes con presencia de Cromo es la industria de la curtiembre. Quienes debido a los elevados costos que implica tratar su aguas residuales, optan por desecharlas a través del alcantarillado municipal sin ningún tipo de tratamiento previo. Esta situación puede causar la reducción de la calidad ambiental en los cursos de agua en donde se disponen finalmente. De lo antes mencionado, surge la necesidad de encontrar soluciones de bajo costo que permitan a la industria de las curtiembres tratar sus efluentes y de esta manera frenar la degradación de nuestros recursos naturales.

Antes esta situación la alternativa de la adsorción, que en comparación con los métodos tradicionales (precipitación, intercambio iónico, osmosis inversa), es un método de fácil operación, retiene los metales en presencia de otros cationes y también da la posibilidad de recuperar los metales pesados. Investigaciones recientes muestran resultados prometedores de adsorción de metales pesados con residuos de biomásas como las cortezas de árboles, residuos de madera, semillas y hojas de diferentes árboles, cáscaras de frutos, residuos de cereales, flores y cítricos.

Por esta razón se pretende investigar el uso de la cáscara de plátano como material adsorbente de Cromo, debido a que en el Perú en el año 2016 se produjeron 540.8 mil Toneladas de Plátano (MINAGRI, 2016) del cual aproximadamente el 40% de la producción son remanentes de cáscara de plátano que pueden ser reutilizados en la remoción de Cromo de efluentes de curtiembre, solucionando de esta manera dos problemas al mismo tiempo.

1.6. Hipótesis

A medida que incrementa la temperatura, tiempo de residencia y cantidad de adsorbente obtenido a base de cáscara de *musa cavendishii*, la remoción de Cromo hexavalente también aumenta.

1.7. Objetivo

• GENERAL

Evaluar la Influencia de la temperatura, tiempo de residencia y cantidad de cáscara deshidratada de *musa cavendishii* en la adsorción de cromo hexavalente.

• ESPECIFICO

- Elaborar material adsorbente a base de cáscara de *musa cavendishii*.
- Determinar la capacidad de Adsorción de cromo hexavalente del adsorbente a base de cáscara de *musa cavendishii*.
- Determinar el adecuado valor de temperatura para la adsorción de cromo hexavalente con cáscara de *musa cavendishii*.
- Determinar el tiempo de residencia adecuado para la adsorción de cromo hexavalente con cáscara de *musa cavendishii*.
- Determinar la dosis adecuada de adsorbente a base de cáscara de *musa cavendishii* para adsorción de cromo hexavalente.

II. MÉTODO

2.1. Diseño de investigación

Se utilizó un diseño experimental factorial de tres factores de 3 niveles por cada factor por triplicado.

- $3^k = 3^3 = 27$ combinaciones. $\times 3 = 81$ unidades experimentales

Tabla N° 1. Diseño Experimental

Tiempo de Residencia	Temperatura °C								
	30 (A)			40 (B)			60 (C)		
	Cantidad de Cáscara de <i>musa cavendishii</i> g/L								
	4 (1)	6 (2)	8 (3)	4 (1)	6 (2)	8 (3)	4 (1)	6 (2)	8 (3)
30 (i)	Ai1	Ai2	Ai3	Bi1	Bi2	Bi3	Ci1	Ci2	Ci3
60 (j)	Aj1	Aj2	Aj3	Bj1	Bj2	Bj3	Cj1	Cj2	Cj3
90 (k)	Ak1	Ak2	Ak3	Bk1	Bk2	Bk3	Ck1	Ck2	Ck3

Fuente: Elaboración Propia

Donde:

k = N° de Factores (T°, tiempo de residencia y cantidad de *musa cavendishii*)

3= Niveles

2.2. Variables, operacionalización

2.2.1. Variables

Dependiente: Concentración de Cromo

Independiente:

- Temperatura
- Tiempo de Residencia
- Cantidad de Cáscara deshidratada de *musa cavendishii*

2.2.2. Operacionalización

Tabla N° 2. Operacionalización de Variables

VARIABLES DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
CONCENTRACIÓN DE CROMO	El cromo es un elemento que se encuentra normalmente en rocas, animales, plantas y el suelo. Puede existir en formas diferentes y éstas determinan su estado líquido, sólido o gas. El cromo (0), cromo (III) y cromo (VI) son las formas más comunes en las que se encuentra este elemento. (Molina, Aguilar & Cordovez, 2010)	Mediante Volumetría	ppm	Razón
VARIABLES INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
TEMPERATURA	El incremento de la temperatura aumenta la velocidad de remoción de Cromo (VI) y disminuye el tiempo de contacto requerido para la completa remoción del metal, por incrementar la exposición de los grupos funcionales que reaccionan con el mismo. (Torres et al, 2012)	Mediante un termómetro de laboratorio.	°C	Razón
TIEMPO	El tiempo de contacto es fundamental para determinar la eficiencia en la recuperación del metal y puede contribuir a determinar, en la mayor parte de los casos, la naturaleza del proceso. (Nasruddin, 2002)	Mediante cronómetro.	Minutos	Razón
DOSIS	Se refiere a la cantidad de adsorbente es el factor que va a limitar hasta cierto punto la concentración de metal que se adsorbe, es decir, a mayor cantidad de adsorbente, obtendremos una mayor adsorción, pero lo ideal es llegar a una relación de equilibrio, entre la cantidad de adsorbente y la concentración de metal, para lograr un resultado óptimo de adsorción. (Pérez et al., 2014)	Mediante peso en balanza analítica.	gr/L	Razón

Fuente: Elaboración Propia

2.3. Población y muestra

2.3.1. Población

Solución patrón de Cr de 1000 ppm – utilizando $K_2Cr_2O_7$ Dicromato de Potasio

2.3.2. Muestra

Alícuota de 200 ml. 1000 ppm de Cr (VI)

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

2.4.1. Metodología Experimental

2.4.1.1. Preparación de material Adsorbente

Para la elaboración del material adsorbente se utilizó biomasa de cáscara de plátano (*musa cavendishii*) obtenida en el mercado La Hermelinda del distrito de Trujillo-Perú en el periodo Septiembre del 2017. La cáscara de *musa cavendishii* se lavó con agua ultrapura durante 72 horas, con cambio de agua cada 12 horas. Se calentó a ebullición durante 60 minutos, para remover el polvo y los componentes orgánicos adheridos, luego se lavó nuevamente con agua ultrapura por 24 horas, posteriormente se secó en una estufa a 105 °C durante 24 horas. Finalmente se trituró hasta obtener un polvo fino. Se Guardó en frascos de vidrio ámbar a temperatura ambiente.

2.4.1.2. Preparación de Solución de Cromo (VI)

Para preparar la solución patrón de Cromo (VI) a concentración de 1000 ppm se utilizó $K_2Cr_2O_7$ Dicromato de Potasio diluido en agua ultrapura. Se ajustó el pH de la solución a analizar con H_3PO_4 , hasta el valor de 2 antes de adicionarle el adsorbente.

2.4.1.3. Tratamiento experimental de Adsorción de Cromo (VI)

El presente estudio se realizó a nivel de laboratorio, en 9 matraces, se vertió alícuotas de 200 ml de solución patrón de Cromo de 1000 ppm con pH inicial de 2 en cada uno. Luego se calentó a la Temperatura de 30 °C, para después agregarle el adsorbente previamente pesado (4 g/L). En tiempos de 30, 60 y 90 minutos. Todos los experimentos se realizaron con agitación constante de 100 rpm. El procedimiento anterior se repitió para temperaturas de 40 y 60 °C, con dosis de adsorbente de 6 y 8 g/L, respectivamente.

2.4.1.4. Análisis de la Concentración de Cromo

Para determinar el contenido de cromo, se tomó 25 ml de muestra filtrada en un matraz de 500 ml, luego se agregó 15 ml de HPO₃, 200 ml de agua ultrapura, 20 ml de KI, y se guardó a oscuras durante 15 minutos, luego se agregó almidón al 1% (1 a 3 ml), tomando una coloración azul o negra. Finalmente, se tituló con Na₂S₂O₃ estándar hasta tomar una coloración verde claro o transparente.

$$\text{ppm Cr}^{+6} = \frac{\text{Normalidad}_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3} * \text{mL gastados}_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3} * \left(\frac{51.9961}{3}\right)}{\text{Volumen de la Solución en Litros}}$$

2.4.1.5. Evaluación del Rendimiento de Adsorción

$$\% \text{ de reducción} = \left(\frac{\text{Concentración Inicial} - \text{Concentración Final}}{\text{Cocentración Inicial}} \right) * 100$$

2.4.2. Materiales Y Reactivos

Materiales

- Matraces de Erlenmeyer
- Probeta Graduada
- Fiola 1L
- Vasos de Precipitación
- Pipetas de 25, 10 y 5 ml.
- Lunas de reloj
- Soporte Universal
- Bureta
- Embudos

Equipos

- Plancha térmica de 10 posiciones con agitación.
- Balanza Analítica
- Molino
- Termómetro
- Cronómetro
- pH-metro

Reactivos

- Dicromato de Potasio
- Agua ultrapura
- Ácido Fosfórico 85 %
- Hidróxido de Sodio NaOH 0.1 M
- Ioduro de Potasio KI 10%
- Almidón 1%
- Tiosulfato de Sodio $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,1000N

2.5. Métodos de análisis de datos

Se utilizará un diseño experimental factorial con tres factores (temperatura, tiempo de residencia y cantidad de cáscara de *musa cavendishii*) y tres niveles por cada factor.

Para evaluar el efecto de las ya mencionadas variables independientes sobre la variable dependiente (en este caso adsorción de cromo hexavalente) se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis

De igual manera para determinar el tratamiento que obtiene los mejores valores de remoción de cromo hexavalente se utilizó la Prueba de Mann-Whitney

Todos los análisis de datos se realizaron utilizando el programa estadístico SPSS (Statistical Package Sciencia Social) v24 a un nivel de confianza del 95%.

III. RESULTADOS

En la presente investigación se removió Cromo (VI) de una solución acuosa utilizando un adsorbente preparado a partir de la cáscara de Plátano (*musa cavendishii*), en la preparación de este material se calculó el rendimiento como se muestra en la Tabla N° 3.

Tabla N° 3. Rendimiento en peso de material adsorbente

	Biomasa	Rendimiento
01	Cáscara de Plátano	6.92 %
02	Cáscara de Plátano	6.74 %

Fuente: Elaboración propia

Según el rendimiento de la preparación de las dos muestras se logró obtener 244 gr de material adsorbente de un peso total inicial de 3570 gr.

Esta cantidad de material se utilizó para los tratamientos experimentales con el propósito de evaluar la influencia de la Temperatura, el tiempo de residencia y la cantidad del adsorbente, en la adsorción de Cromo (VI).

Después de los tratamientos experimentales los resultados se presentan en la Tabla N° 4, donde se observa que el mayor porcentaje de remoción Cromo (77 %) ocurre a una Temperatura de 60° C, usando 8 g/L de adsorbente con un tiempo de residencia de 90 min.

Tabla N° 4. Porcentaje de Remoción de Cromo (VI).

Variables Independientes			Tratamientos	% de Remoción de Cromo (VI)	
Temperatura (°C)	Tiempo de Residencia (min)	Cantidad de Cáscara de <i>musa cavendishii</i> (gr/dm ³)			
30 (A)	30 (i)	4 (1)	Ai1	12	
		6 (2)	Ai2	18	
		8 (3)	Ai3	31	
	60 (j)	4 (1)	4 (1)	Aj1	16
			6 (2)	Aj1	23
			8 (3)	Aj3	32
		90 (k)	4 (1)	Ak1	20
			6 (2)	Ak2	31
			8 (3)	Ak3	40
40 (B)	30 (i)	4 (1)	Bi1	23	
		6 (2)	Bi2	28	
		8 (3)	Bi3	37	
	60 (j)	4 (1)	4 (1)	Bj1	26
			6 (2)	Bj1	36
			8 (3)	Bj3	46
		90 (k)	4 (1)	Bk1	27
			6 (2)	Bk2	37
			8 (3)	Bk3	46
60 (C)	30 (i)	4 (1)	Ci1	37	
		6 (2)	Ci2	49	
		8 (3)	Ci3	63	
	60 (j)	4 (1)	4 (1)	Cj1	46
			6 (2)	Cj1	56
			8 (3)	Cj3	71
		90 (k)	4 (1)	Ck1	53
			6 (2)	Ck2	66
			8 (3)	Ck3	77

Fuente: Elaboración Propia

Para análisis estadístico de los datos obtenidos se utilizó el programa IBM SPSS statistics v24; se realizó la prueba de Kruskal-Wallis debido a que los datos obtenidos no correspondían a una distribución normal, y los resultados se muestran en la tabla N° 5, donde se observa que la significancia es menor a 0.05, rechazándose la hipótesis nula, aceptando la hipótesis alternativa, de que no todas las medianas de las muestras son iguales.

Tabla N° 5. Prueba de Kruskal-Wallis

GENERAL	
Chi-cuadrado	79.336
Gl	26
Sig. asintótica	0.000
a. Prueba de Kruskal Wallis	
b. Variable de agrupación: FACTOR	

Fuente: IBM SPSS statistics v24

Tras confirmarse de que al menos uno de los tratamientos es diferente se procedió a realizar la prueba de Post Hoc Mann-Whitney, para determinar cuál de los tratamientos es el más significativo respecto al porcentaje de adsorción de Cromo. Los tratamientos seleccionados para realizar la prueba fueron “Ci3”, “Ck2”, “Cj3” y “Ck3” ya que estos muestran los niveles más altos de remoción de este metal. Los resultados se muestran a continuación en la Figura N° 1 y la Figura N° 2, donde se observa que el tratamiento más significativo para la remoción de Cromo (VI) es el código “Ck3” que corresponde a una Temperatura de 60 °C, Tiempo de residencia 90 minutos y Cantidad de adsorbente 8 g/L.

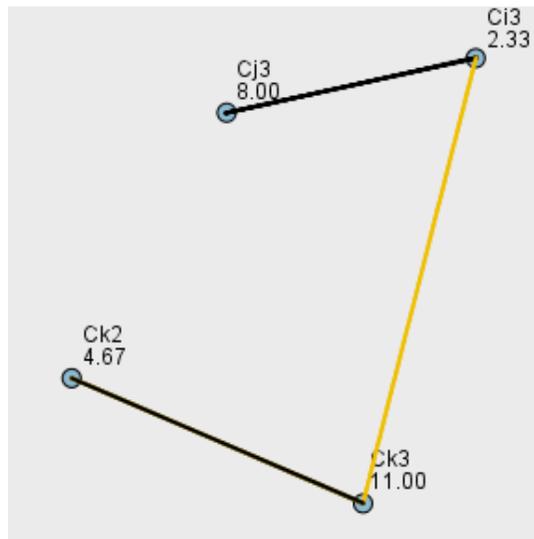


Figura N° 1. Comparación entre parejas de Tratamientos
Fuente: IBM SPSS statistics v24

Muestra 1-Muestra 2	Estadístico de contraste	Error estándar	Desv. Estadístico de contraste	Sig.	Sig. ajust.
Ci3-Ck2	-2.333	2.918	-.800	.424	1.000
Ci3-Cj3	-5.667	2.918	-1.942	.052	.313
Ci3-Ck3	-8.667	2.918	-2.970	.003	.018
Ck2-Ci3	-3.333	2.918	-1.142	.253	1.000
Ck2-Ck3	-6.333	2.918	-2.170	.030	.180
Cj3-Ck3	-3.000	2.918	-1.028	.304	1.000

Figura N° 2. Comparación entre parejas de Tratamientos

Fuente: IBM SPSS statistics v24

Estas variables influyen de tal manera que al aumentar los valores de estas, aumenta la remoción de Cromo (VI), a mayor tiempo, se logra una remoción mayor de este metal. Lo mismo ocurre con la Temperatura y la cantidad de adsorbente utilizado. Esto se puede observar en la Figura N° 3, 4 y 5.

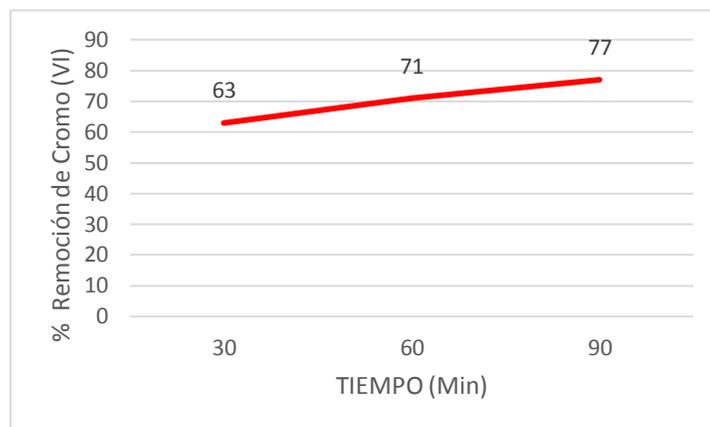


Figura N° 3. Influencia del Tiempo en la Adsorción de Cromo (VI)

Temperatura = 60 °C y Dosis 8 g/L

Fuente: Elaboración Propia

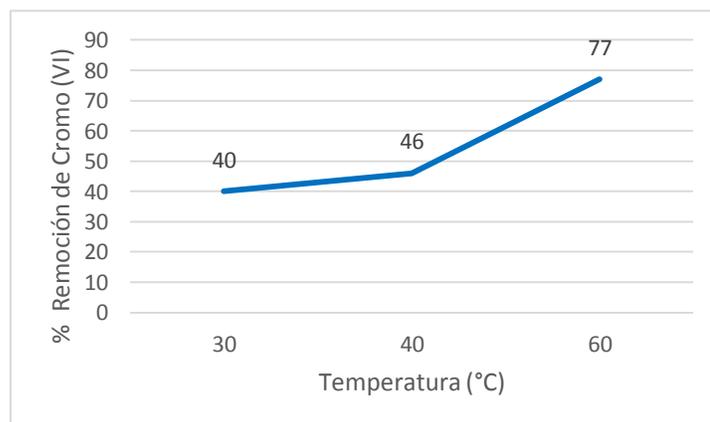


Figura N° 4. Influencia de la Temperatura en la Adsorción de Cromo (VI), Tiempo= 90 minutos y Dosis 8 g/L.

Fuente: Elaboración Propia

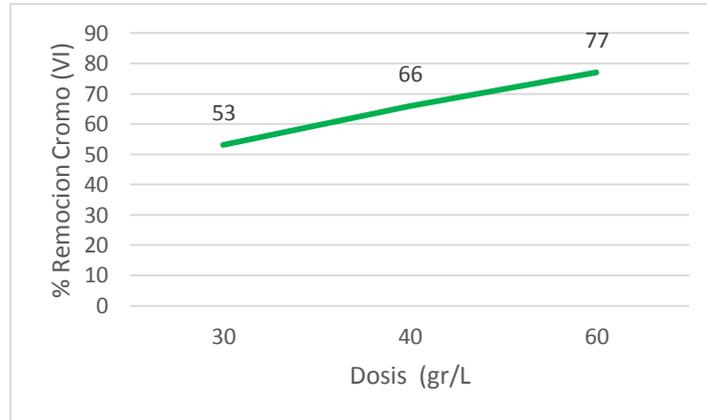


Figura N° 5. Influencia de la Temperatura en la Adsorción de Cromo (VI), Temperatura = 60 °C y Tiempo = 90 minutos.

Fuente: Elaboración Propia

Así mismo se calculó la capacidad de adsorción del adsorbente, a partir del nivel más alto de remoción obtenido (77%) como se detalla en la Tabla N° 6

Tabla N° 6. Capacidad de Adsorción Máxima de cromo del adsorbente

Remoción de Cromo (mg)	Cantidad de adsorbente (g)	Capacidad de Adsorción (mg de Cr(VI) / g de adsorbente)
770	8	96.25

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla N° 6, se puede observar que 1 g de adsorbente a base de cáscara de plátano es capaz de adsorber 96.25 mg de Cromo (VI) bajo ciertas condiciones.

Por otro lado, para determinar el tiempo de saturación del adsorbente, se mantuvo constantes las condiciones de temperatura y cantidad de adsorbente que mostraron el mayor porcentaje de remoción del metal (60 °C y 8 g/L), y se emplearon tiempos de residencia de 30 hasta 240 minutos, como se observa en la Figura 1.

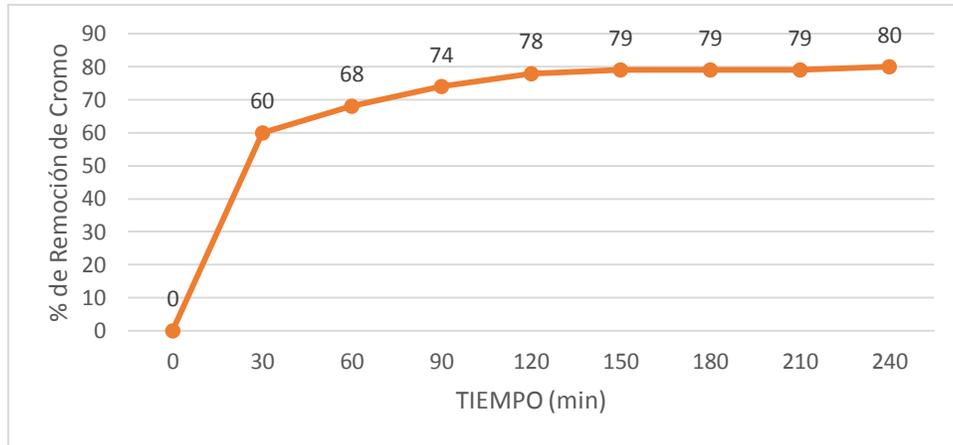


Figura N° 6. Saturación del adsorbente con de 1 g/L de Cromo (VI) en solución. A 60 °C, 8 g/L de adsorbente, 100 rpm de agitación, y pH inicial =2.

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura N° 6 se aprecia que la saturación del adsorbente se alcanza a los 120 minutos, ya que después de transcurrido este tiempo, el porcentaje de remoción del cromo se mantiene constante.

IV. DISCUSIÓN

En la preparación del adsorbente se logró obtener 244 gr de este material, de un peso total inicial de 3570 gr de cáscara de plátano, 6.83 % promedio de rendimiento en peso. El bajo rendimiento en peso en la preparación del adsorbente se le puede atribuir al gran porcentaje de agua que contiene esta biomasa. El 75 % de la cáscara de plátano es agua (Kkiu, 2013). En la preparación del adsorbente esta biomasa es secada en una estufa, proceso en el cual el calor evaporaría gran parte el agua y con ella gran parte del peso de la misma

El adsorbente a base de cáscara de plátano remueve eficientemente en gran porcentaje del Cromo (VI) bajo ciertas condiciones, tal como Quiñones, Tejada y Ruiz, 2014 quienes aseguran que biomásas tales como cortezas de árboles, residuos de madera, cáscara de frutos, semillas y hojas de diferentes árboles remueven también este metal de aguas contaminadas. De igual manera Tejada, Villabona y Garcés, hacen referencia no solo a biomásas residuales, si no también materiales como flora microbiana y algas para dicho propósito.

Los resultados obtenidos van desde el 12 % de remoción en el límite inferior, hasta 77% en el superior; siendo este último valor obtenido a 60 °C con 8 g/L después de 90 minutos, siendo este, según el análisis estadístico realizado las mejores condiciones para la remoción de Cromo (VI). Memon et. al 2009 y Guerrero y Ramírez (2014) reportan resultados mejores a los obtenidos en esta investigación ya que indican ambos remoción superior a 95 % de Cromo (VI) en 10 minutos utilizando cáscara de plátano y carbones activados respectivamente; esta variación de resultados se le puede atribuir a la manipulación de variables diferentes a las trabajadas en esta investigación, ya que ambos autores investigan variables como el pH, la concentración inicial de iones metálicos, tamaño y porosidad de partícula.

Respecto a la capacidad de adsorción de la cáscara de plátano se obtuvo que 1 g de este material es capaz de adsorber 96.25 mg de Cromo (VI) bajo

ciertas condiciones; sin embargo también es capaz de adsorber otros iones metálicos como nos lo demuestra KKiui, Charana e Yoon (2013), donde removió Cd^{+2} (5.71), Co^{+2} (2.55), Cu^{+2} (28.00), Ni^{+2} (6.88), Pb^{+2} (7.97) y Zn^{+2} (5.80) mg/g de soluciones acuosas. De igual manera Sun-Kou et al (2014), reportan remoción con semillas de aguaje de Pb (74.80 mg/g), Cd (26.50 mg/g) y Cr (18.80 mg/g).

Para la adsorción de Cr (VI) según Quiñones, Tejada y Ruiz (2014), el material que presenta las mejores condiciones para remover Cromo (VI) son los residuos de trigo, ya que logra remover 322.58 mg del metal por cada gramo de adsorbente.

Con respecto al tiempo los mayores niveles de remoción del metal, se efectúan después de transcurridos los 90 minutos. Estos resultados se explican debido a que el adsorbente permanece mayor tiempo en contacto con el metal, lo cual incrementa las posibilidades para que las insaturaciones del adsorbente puedan atrapar al metal en su superficie. (Nasruddin, 2002); sin embargo a los 90 minutos no se puede asegurar que el adsorbente se encuentre saturado, en la Figura N° 6 se aprecia que la saturación del adsorbente se alcanza a los 120 minutos, ya que después de transcurrido este tiempo, la concentración del metal en solución se mantiene constante, los mismo valores los describen Tejada, Villabona y Marimón, 2014 quienes también reportan tiempo de 120 minutos para la remoción de 98% de Cromo (VI). Otro autores mencionan tiempos de 40 minutos (Torres et al, 2012), 180 minutos (Achak et al, 2009), 24 horas para remoción mayor a 95 % (Rojas y Zárata, 2015).

Con respecto a la Temperatura los niveles más altos de remoción del metal se logran a los 60 °C. El incremento en la temperatura aumenta la velocidad de remoción de Cromo (VI) y disminuye el tiempo de contacto requerido para la remoción de dicho metal, ya que incrementa la exposición de los grupos funcionales que reaccionan con el mismo (Torres et al, 2012). Torres de igual manera menciona una temperatura de 60 °C como la más adecuada puesto a que los 40 minutos remueven 1g/L de Cr (VI).

Respecto a la cantidad de cáscara deshidratada de *musa cavendishii* se tiene un mayor % de remoción cuando se utiliza mayor cantidad de adsorbente (8 g/L). Al aumentar la cantidad de adsorbente, también se incrementa la remoción de Cromo (VI), esto es debido a que hay más sitios para que se efectúe la adsorción del metal, ya que la cantidad de adsorbente añadido determina también el número de sitios disponibles para la adsorción de cromo (Pérez et. al, 2014); sin embargo lo ideal es lograr encontrar una relación de equilibrio, entre la cantidad de adsorbente y la concentración del metal. Resultados similares reporta Achak et al, 2009 donde un incremento de 10 gr/L a 30 gr/L de adsorbente aumentó significativamente las tasas de adsorción de compuesto fenólicos de 60 a 88%. De igual manera Tejada, Villabona y Marimón reportan 6 gr/L como la relación adsorbente/solución que presenta las mejores condiciones para la adsorción de Cromo (VI)

V. CONCLUSIONES

- La temperatura, el tiempo de residencia y la cantidad de cáscara deshidratada de *musa cavendishii* influye en la adsorción de cromo hexavalente, de tal manera que al aumentar los valores de estas tres variables también incrementa el porcentaje de remoción de Cromo (VI), evidenciándose que el mejor resultado del porcentaje de adsorción fue del 77%, a 60 °C con 8 g/L de adsorbente a un tiempo de 90 minutos, siendo estas condiciones las más adecuadas para la adsorción de este metal.
- Se logró preparar 244 gr de adsorbente de un peso inicial de 3570 gr de cáscara de Plátano, logrando un rendimiento del peso del 6.83 %.
- El adsorbente elaborado a base de cáscara de plátano tiene la capacidad máxima de adsorber 96.25 mg de Cromo (VI) por cada gramo de adsorbente.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda investigar otros factores que puedan influenciar en el proceso de adsorción, como concentración inicial del metal, pH, tamaño de la partícula del adsorbente, velocidad de agitación.
- Aplicar el adsorbente de cáscara de plátano a efluentes industriales que estén contaminados con Cromo.
- Investigar la aplicación del adsorbente de cáscara de plátano, a la remoción de otros metales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PÉREZ, Rosa [et al]. Adsorción de Cr (VI) por Cocos nucífera L. en residuales de Fibrocemento en Santiago de Cuba. Colombia, Revista Colombiana de Biotecnología, 26(1): 9-18, julio, 2014.

ISSN: 0123-3475

SUN-KOU, María [el al]. Adsorción de metales pesados empleando carbones activados preparados a partir de semillas de aguaje. Perú: Rev. Soc. Quím. Perú, 80(4), octubre 2014.

ISSN: 1810-634X

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). 2012. Disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts7.html

MEMON, Jamil [et al]. Banana peel: A Green and economical sorbent for the selective removal of Cr(VI) from industrial wastewater. Colloides And Surfaces B: Biointerfaces 70(2): 232-237, mayo 2009.

OTINIANO, Mily [et al]. Biorremediación de cromo VI de aguas residuales de curtiembres por *Pseudomonas* sp y su efecto sobre el ciclo celular de *Allium cepa*. Trujillo: Rev. Med. Vallejiana. Vol. 4(1): 32-42, Abril 2007

Boletín Estadístico de Producción Agrícola, Pecuaria y Avícola 2016 [en línea]. Lima: Ministerio de Agricultura y Riego. [Fecha de Consulta: 20 de mayo de 2017].

Disponible en: <http://siea.minag.gob.pe/siea/?q=noticias/boletin-de-produccion-agricola-pecuaria-y-avicola-diciembre-2016>

GUERRERO, Pablo y RAMÍREZ, José. Adsorción de Cromo VI sobre residuos de café. Colombia, *MUTIS*, 4 (2): 18-25, julio 2014

IZQUIERDO, José. Cinética de las reacciones Químicas. Edicions Universitat Barcelona, 2004. p 157.

KKIU, Arunakumara, CHARANA y Buddhi; YOON, Min-Ho. Banana Peel: A Green Solution for Metal Removal from contaminated Waters. Korea, *Journal of Enviromental Agriculture*, 32(2):108-116, 2013.

LAVADO, Carmencita; SUN KOU, María; y RECUAY, Nidia. Remoción de cromo (VI) empleando carbones preparados por activación química a partir de las astillas de eucalipto. Perú. *Rev. Soc. Quím.*, 78(1): 14-26, enero 2012.

ACHAK, M. [et al]. Low cost biosorbent “banana peel” for the removal of phenolic compounds from olive mill wastewater: Kinetic and equilibrium studies. *Journal of hazardous materials*, 166 (1): 117-125, julio 2009

Ministerio de la Producción (Perú). Decreto Supremo N° 003-2002-PRODUCE. Límites máximos permisibles de efluentes para alcantarillado de las actividades de cemento, cerveza, papel y curtiembre. Lima, 2002. 8 pp.

Ministerio del Ambiente (Perú). Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. Lima, 2008.

MOLINA, Nancy, AGUILAR, Patricia y CORDOVEZ, Clemencia. Plomo, cromo III y cromo VI y sus efectos sobre la salud humana. *Ciencia & Tecnología para la Salud Visual y Ocular*, 8(1): 77-88, 2010

NASRUDDIN, A. Biosorption of ions zinc from its aqueous solution using tempe. Tesis Doctoral. (Ph. D. Thesis, Department of Chemical Engineering), Malaysia: University of Sains Malaysia, 2002.

QUIÑONES, Edgar, TEJADA, Candelaria y RUIZ, Víctor. Remediación de aguas contaminadas con cromo utilizando diferentes biomateriales residuales, Colombia. *Revista Ciencias e Ingeniería al Día*, 9 (1): 25-42, enero 2014.

TORRES, Leticia [et al]. Remoción de cromo hexavalente por la cascara de plátano (*musa cavendishii*). México: *Química Hoy*, 2(A): 29-32, octubre 2012.

ISSN, 2007-1183

ROJAS, Yelitsa y ZARATE, Cynthia. Efecto del pH y el tiempo de contacto en la adsorción de cromo hexavalente en solución acuosa utilizando montmorillonita como adsorbente. Trabajo de Titulación (Ingeniero Químico). Huancayo: UNCP, Facultad de Ingeniería Química, 2015. 157 pp.

TEJADA, Candelaria, VILLABONA, Ángel y MARIMON, Wilfredo. Biosorción de cromo (VI) en aguas usando material lignocelulósico modificado. Colombia, *Revista Educación en Ingeniería*, 9(17): 86-97., 2014.

ISSN 1900-8260

TEJADA, Candelaria, VILLABONA, Ángel y GARCÉS, Luz. Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecno Lógicas*, 18 (34): 109-123, enero 2015.

ISSN 0123-7799

ANEXOS



Figura N° 7. Materia Prima-
Cáscara de Plátano (*musa cavendishii*)



Figura N° 8. Lavado con agua
ultrapura



Figura N° 10. Figura N° 8. Secado
en estufa a 105 °C durante 24 h.



Figura N° 9. Triturado con molino
manual



Figura N° 11. Material
Adsorbente Final



Figura N° 12. Almacenado de
Adsorbente en frasco ámbar



Figura N° 14. Reactivos y
Soluciones



Figura N° 13. Pesado de
adsorbente en Balanza Analítica



Figura N° 16. Ensayo de Adsorción-Antes



Figura N° 15. Ensayo de Adsorción-Durante

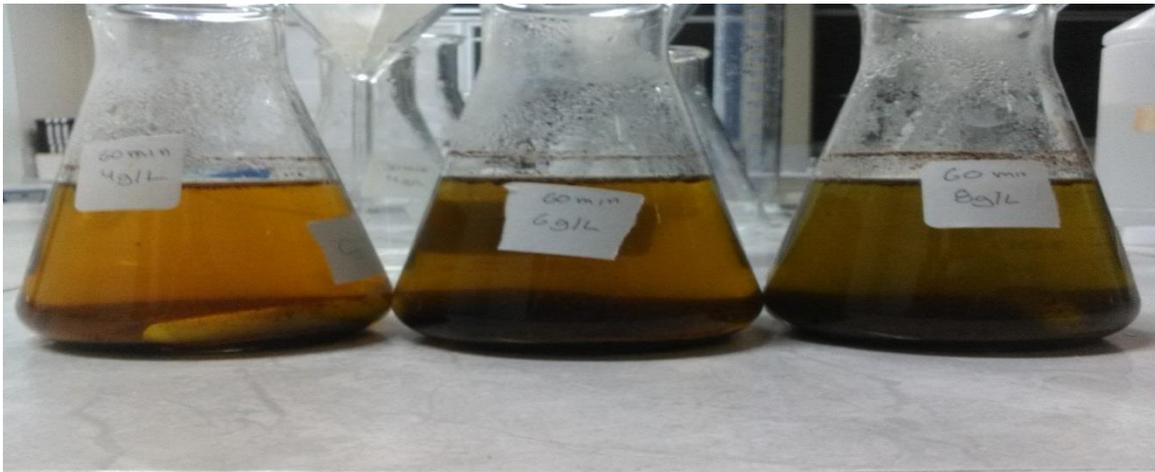


Figura N° 17. Ensayo de Adsorción-Final- Efecto de Dosis 4, 6 y 8 g/L 60 °C/60 min



Figura N° 18. De izquierda a derecha. Solución inicial 1000 ppm Cr (VI), Filtrado final después de haber aplicado 8 g/L de adsorbente a 60 °C durante 90 min.

Tabla N° 7. Instrumento de recolección de datos

Variables Independientes			Tratamientos	Volumen gastado de Tiosulfato de Sodio (ml)		
Temperatura (°C)	Tiempo de Residencia (min)	Cantidad de Cáscara de <i>musa cavendishii</i> (gr/dm ³)		1	2	3
30 (A)	30 (i)	4 (1)	Ai1			
		6 (2)	Ai2			
		8 (3)	Ai3			
	60 (j)	4 (1)	Aj1			
		6 (2)	Aj1			
		8 (3)	Aj3			
	90 (k)	4 (1)	Ak1			
		6 (2)	Ak2			
		8 (3)	Ak3			
40 (B)	30 (i)	4 (1)	Bi1			
		6 (2)	Bi2			
		8 (3)	Bi3			
	60 (j)	4 (1)	Bj1			
		6 (2)	Bj1			
		8 (3)	Bj3			
	90 (k)	4 (1)	Bk1			
		6 (2)	Bk2			
		8 (3)	Bk3			
60 (C)	30 (i)	4 (1)	Ci1			
		6 (2)	Ci2			
		8 (3)	Ci3			
	60 (j)	4 (1)	Cj1			
		6 (2)	Cj1			
		8 (3)	Cj3			
	90 (k)	4 (1)	Ck1			
		6 (2)	Ck2			
		8 (3)	Ck3			

Fuente: Elaboración Propia

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Tabla N° 8. Prueba de Kruskal-Wallis

	FACTOR	N	Rango promedio
GENERAL	Ai1	3	2.00
	Ai2	3	7.83
	Ai3	3	30.50
	Aj1	3	5.17
	Aj1	3	15.17
	Aj3	3	32.67
	Ak1	3	11.17
	Ak2	3	32.67
	Ak3	3	49.67
	Bi1	3	16.00
	Bi2	3	24.33
	Bi3	3	44.67
	Bj1	3	21.17
	Bj1	3	41.00
	Bj3	3	55.67
	Bk1	3	23.33
	Bk2	3	42.00
	Bk3	3	60.00
	Ci1	3	42.67
	Ci2	3	65.17
	Ci3	3	71.33
	Cj1	3	57.17
	Cj1	3	57.17
	Cj3	3	77.00
	Ck1	3	67.83
	Ck2	3	73.67
	Ck3	3	80.00
	Total	81	

Fuente: IBM SPSS statistics v24

Tabla N° 9. Estadísticos de prueba

	GENERAL
Chi-cuadrado	79.336
Gl	26
Sig. asintótica	.000
a. Prueba de Kruskal Wallis	
b. Variable de agrupación: FACTOR	

Fuente: IBM SPSS statistics v24

Tabla N° 10. Prueba Post Hoc Mann-Whitney

Muestra 1- Muestra 2	Estadístico de Contraste	Error estándar	Desv. Estadístico de Contraste	Sig.	Sig. Ajust.
Ci3 - Ck2	-2.333	2.918	-0.800	0.424	1.000
Ci3 - Cj3	-5.667	2.918	-1.942	0.052	0.313
Ci3 - Ck3	-8.667	2.918	-2.970	0.003	0.018
Ck2 - Ci3	-3.333	2.918	-1.142	0.253	1.000
Ck2 - Ck3	-6.333	2.918	-2.170	0.030	0.180
Cj3 - Ck3	-3.000	2.918	-1.028	0.304	1.000

Fuente: IBM SPSS statistics v24