

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**“EVALUACIÓN DE LA REMEDIACIÓN DE AGUAS CONTAMINADAS
CON CROMO EMPLEANDO UNA COLUMNA DE LECHO FIJO CON
BIOMASA DE CÁSCARA DE PAPA “*Solanum tuberosum*” AREQUIPA
2019”**

Tesis presentada por las bachilleres:

Condori Ramos, Pamela Milagros

Pumacayo Gutiérrez, María Alexandra

Para Optar el Título Profesional de:

Ingeniero Ambiental

Asesor:

Dr. Arenazas Rodríguez Armando J.

AREQUIPA-PERÚ

2019



Universidad Católica de Santa María

☎ (51 54) 382038 Fax:(51 54) 251213 ✉ ucsm@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe Apartado:1350

AREQUIPA - PERÚ

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS CIVIL Y DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
INFORME DICTAMEN BORRADOR DE TESIS

VISTO

EL BORRADOR DE TESIS TITULADO:

*Evaluación de la remediación de aguas contaminadas con Cromo
empleando una columna de lecho fijo con Biomasa de cascara de papa "Solium
Hiberosum", Arequipa*

Presentado por el (los) Bachiller (es):

Condori Ramos, Pamela Milagros

Pumacayo Gutiérrez Moria Alexandra

Nuestro DICTAMEN es:

Favorable

OBSERVACIONES:

Arequipa 11/09/19.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Alfonso

Mgter. Ing. ANDREA MORALES CHENOVE MANRIQUE

Directora de la Escuela Profesional de

DICTAMINADOR

Cod. 9446

DICTAMINADOR

Dr. Armando J. Arenaz Rodríguez
cod. 2229

DICTAMINADOR

Dr. Ing. Francisco Javier Roque Rodríguez

Dedicatoria

A Dios por darme fuerza, paciencia y dedicación necesaria para llevar a cabo esta investigación y superar todos los retos que se presentaron en el transcurso de esta.

A mis padres Pio y Rosario por ser siempre mi gran apoyo, por motivarme a seguir adelante, por su amor incondicional.

A mi hermana Paola por todo su ánimo y ayuda.

Pamela Milagros Condori Ramos

A Dios por darme la vida, sabiduría, fortaleza y voluntad para lograr mis objetivos.

A mis padres Luis y María Luz por todo su esfuerzo, por su cariño y apoyo incondicional, por ser un gran ejemplo de constante superación.

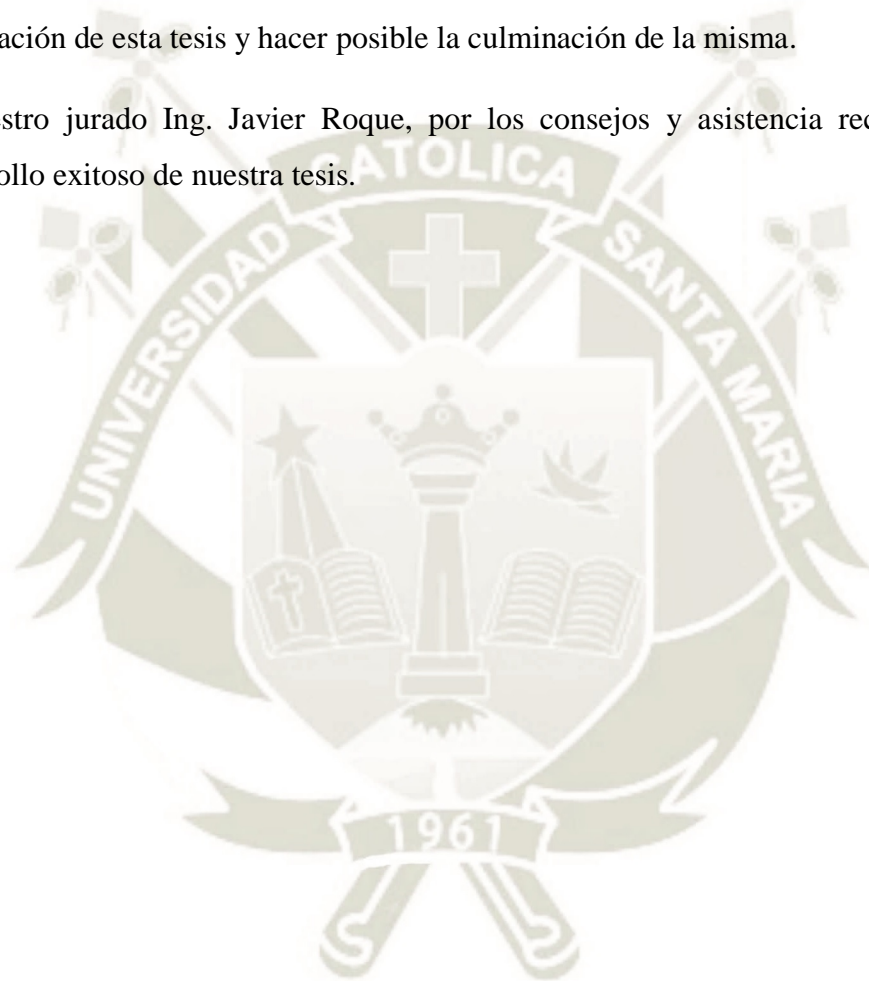
A mi hermano Cristhian por su infinito apoyo y compañía.

María Alexandra Pumacayo Gutiérrez

Agradecimientos

Nos gustaría agradecer sinceramente a nuestro Asesor Dr. Armando Arenazas, quien mostro una gran disposición, enseñanza continua y su apoyo permanente en la elaboración de esta tesis y hacer posible la culminación de la misma.

A nuestro jurado Ing. Javier Roque, por los consejos y asistencia recibida para el desarrollo exitoso de nuestra tesis.



Índice General

Resumen.....	ix
Abstract.....	x
Introducción.....	xi
Capítulo I.....	1
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Planteamiento del Problema.....	1
1.2. Justificación.....	2
1.3. Objetivos.....	2
1.4. Hipótesis.....	3
1.5. Variables.....	3
1.6. Alcances de la investigación.....	3
1.7. Limitaciones de la Investigación.....	4
Capitulo II.....	5
2. MARCO TEORICO.....	5
2.1 Papa (<i>Solanum tuberosum</i>).....	5
2.2 Composición química del tubérculo de la papa.....	6
2.3 Composición de la cáscara (peridermis) del tubérculo de la papa.....	6
2.4 Usos.....	7
2.5 Importancia de la papa en el Perú.....	8
2.6 Residuos solidos.....	8
2.7 Gestión de residuos solidos.....	9
2.8 Industria de Curtiembre.....	12
2.9 Fundamento de la espectroscopia infrarroja.....	13
2.10 Cromo.....	13
2.11 Métodos de remediación de efluentes para metales pesados.....	16
2.12 Mecanismo de Retención.....	22
2.13 Factores que influyen en el proceso de biosorción.....	24
2.14 Isotermas de Sorción.....	28
2.15 Modelado de Columnas de Lecho Fijo.....	30
2.16 Marco Legal.....	34
Capitulo III.....	36

3.	DISEÑO EXPERIMENTAL DE LA INVESTIGACIÓN	36
3.1	Caracterización de la biomasa de cáscara de papa (<i>Solanum tuberosum</i>).....	36
3.1.1	Determinación de parámetros fisicoquímicos de la biomasa de cáscara de papa ..	37
3.2	Determinar la capacidad de sorción de cromo con biomasa de papa en función a la concentración y caudal.....	39
3.2.1	Obtención de la curva de calibración.....	39
3.2.2	Montaje de la columna de lecho fijo.....	39
3.3	Evaluar la capacidad de sorción con efluente de curtiembre proveniente del Parque Industrial de Rio Seco.	41
3.3.1	Toma de muestra y análisis de la concentración de cromo del efluente.....	41
3.3.2	Ensayo con la muestra obtenida del efluente.....	42
3.4	Determinar la capacidad de desorción de la biomasa de cáscara de papa	42
	Capitulo IV.....	44
4.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	44
4.1.	Caracterización de la biomasa de cáscara de papa (<i>Solanum tuberosum</i>).....	44
4.2.	Determinación de la capacidad de sorción con biomasa en función a la concentración..	50
4.3.	Determinación de la capacidad de sorción de cromo con biomasa de papa en función al caudal.....	56
4.4.	Evaluación de la capacidad de sorción con efluente de curtiembre proveniente del Parque Industrial de Rio Seco	62
4.5.	Determinación de la capacidad de desorción de biomasa de la cáscara de papa	62
	CAPITULO V	66
	CONCLUSIONES	66
	RECOMENDACIONES	68
	BIBLIOGRAFIA	69
	Anexos	76

Índice de tablas

Tabla 1: Variables e Indicadores	3
Tabla 2 Composición de la cáscara del tubérculo de papa	7
Tabla 3 Condiciones de operación de la columna de adsorción	41
Tabla 4 Metodología empleada por el laboratorio acreditado para el análisis de la muestra.....	42
Tabla 5 Caracterización realizada al biosorbente	44
Tabla 6 Bandas de absorción FTIR y sus respectivos grupos funcionales de la muestra de cáscara.....	47
Tabla 7 Bandas de absorción FTIR y sus respectivos grupos funcionales.....	49
Tabla 8 Parámetros para el modelo lineal de Langmuir para el Cromo	51
Tabla 9 Parámetros para el modelo lineal de Langmuir para el Cromo	52
Tabla 10 Parámetros para el modelo lineal de Freundlich para el Cromo	53
Tabla 11 Parámetros de aplicación para el modelo lineal de Freundlich para el Cromo	55
Tabla 12 Cuadro resumen de sorción de cromo en función al caudal y la concentración	56
Tabla 13 Concentración final de Cromo (mg/L) después de 50 min. del proceso de sorción con 10 g de biomasa tratada de Solanum tuberosum” papa”.....	60
Tabla 14 Resultados del análisis de la concentración de cromo del efluente de curtiembre.....	62
Tabla 15 Porcentaje de sorción de cromo del efluente de curtiembre.....	62
Tabla 16 Porcentaje de desorción a 70% y 0.68 ml/s.....	63
Tabla 17 Porcentaje de desorción a 70% y 0.05 ml/s.....	63
Tabla 18 Porcentaje de desorción a 50% y 0.68 ml/s.....	63
Tabla 19 Porcentaje de desorción a 50% y 0.05 ml/s.....	64
Tabla 20 Porcentaje de desorción a 30% y 0.68 ml/s.....	64
Tabla 21 Porcentaje de desorción a 30% y 0.05 ml/s.....	65

Índice de figuras

Figura 1 Especiación del cromo según pH-formación de hidróxidos	25
Figura 2 Especiación del cromo-formación de cromatos	26
Figura 3 Concentración a la entrada y salida de la columna en función al tiempo	32
Figura 4 Esquema para el montaje de la columna de lecho fijo.....	40
Figura 5 Grafica del Espectro FTIR de cáscara de papa antes del proceso de sorción ..	46
Figura 6 Espectro infrarrojo del almidón presente en el tubérculo de papa	48
Figura 7 Gráfica del Espectro FTIR de cáscara de papa después del proceso de sorción	49
Figura 8 Grafica de Isoterma de biosorción de Langmuir linealizada para el Cromo....	51
Figura 9 Grafica de Isoterma de Biosorción de Langmuir linealizada para el Cromo ...	53
Figura 10 Grafica de Isoterma de Biosorción Linealizada de Freundlich para Cromo ..	54
Figura 11 Grafica de Isoterma de Biosorción Linealizada de Freundlich para el Cromo	55
Figura 12 Linealización del modelo dosis y respuesta a 70% y 0.05 ml/s	57
Figura 13 Linealización del modelo dosis y respuesta al 50% de concentración de cromo y 0.05 ml/s	58
Figura 14 Linealización del modelo dosis y respuesta al 30% de concentración de cromo y 0.05 ml/s	58
Figura 15 Concentración final de Cr (mg/L) después de 50 min. del proceso de sorción con 10 g de biomasa tratada de Solanum tuberosum” papa” con dos niveles de caudal y tres concentraciones iniciales de Cromo	59
Figura 16 Concentración final de Cr (mg/L) después de 50 min. del proceso de sorción con 10 g de biomasa tratada de Solanum tuberosum” papa” frente a tres niveles (mg/L) de Cromo inicial	60
Figura 17 Concentración final de Cr (mg/L) después de 50 min. del proceso de sorción con 10 g de biomasa tratada de Solanum tuberosum” papa” frente a dos niveles de caudal (mL/s).....	61
Figura 18 Preparación de la cáscara de papa obtenida	76
Figura 19: Cáscara de papa secada en estufa.....	76
Figura 20: Pulverizado de la cáscara de papa.....	77

Figura 21 Tamizado de la biomasa.....	77
Figura 22 Determinación de cenizas totales (calcinación de la biomasa)	78
Figura 23 Determinación de densidad real y aparente	78
Figura 24 Preparación de solución de cromo para la curva de calibración	79
Figura 25 Montaje de la columna en laboratorio.....	79
Figura 26 Montaje de la columna para la desorción.....	80



Resumen

Las aguas contaminadas con cromo, provienen principalmente de la industria curtiembre; en la ciudad de Arequipa, esta industria se ubica en el Parque Industrial de Rio Seco (PIRS), que actualmente no cuenta con una planta adecuada de disposición y/o tratamiento de este tipo de efluentes, lo que genera una gran problemática, al impactar adversamente en la salud de las personas y en el ambiente. Actualmente el desarrollar procesos eficaces que permitan la remediación de aguas contaminadas con metales pesados como el cromo se convierte en una necesidad. Bajo este contexto la biosorción se manifiesta como una solución, por los excelentes resultados reportados por otros autores.

En la presente investigación se evaluó la remediación de aguas contaminadas con cromo empleando una columna de lecho fijo empacada con biomasa de papa (*Solanum tuberosum*), analizando tres variables: concentración inicial del efluente, caudal de alimentación y tiempo. Se empleó biomasa de papa obtenida de las cáscaras del tubérculo, puesto que es un residuo que no se aprovecha y se genera masivamente. Esta biomasa fue sometida a un proceso de acondicionamiento previo, con el fin de incrementar su capacidad de adsorción. Se emplearon soluciones de cromo preparadas en laboratorio para la obtención de la curva de calibración, luego de ello se realizó un ensayo con la muestra proveniente de un efluente de una curtiembre ubicada en el PIRS, para analizar el porcentaje de cromo removido por adsorción. Se determinó que al trabajar con un caudal bajo (0.05ml/s) se obtienen mejores resultados de adsorción, de hasta el 85 % de remoción de cromo. En el ensayo realizado con la muestra proveniente del efluente, con un concentración inicial de 330.5 mg/l, se obtuvo una remoción de 86 % a los 50 minutos. Se estableció que el biosorbente empleado se ajusta más al modelo de dosis y respuesta para el cromo, debido a que el nivel de correlación es alto R igual 0.94, por último, el presente trabajo muestra mejores resultados con la isoterma de Langmuir con un valor de correlación de 0.95 y 0.99.

Palabras clave: biosorción, cromo, cáscara de papa, isotermas, modelo dosis respuesta.

Abstract

Waters contaminated with chromium, come mainly from tannery industry; In Arequipa's city, this industry is located in the Industrial Park of Rio Seco (PIRS), which currently does not have an adequate disposal and / or treatment plant for this type of effluent, which generates a great problem, when impacts adversely in people's health and in the environment. Currently developing effective processes that allow remediation of water contaminated with heavy metals such as chromium becomes a necessity. Under this context, biosorption is manifested as a solution, due to all excellent results reported by other authors.

In this present investigation, water contaminated's remediation with chromium that was evaluated using a fixed bed column packed with potato biomass (*Solanum tuberosum*), analyzing three variables: initial effluent concentration, feed flow and time. Potato biomass obtained from the tuber shell was used, since it is a waste that is not used and is massively generated. This biomass was subjected to a pre-conditioning process, in order to increase its adsorption capacity. Chromium solutions prepared in the laboratory were used to obtain the calibration curve, after that a test was carried out with the sample from an effluent from a tannery located in the PIRS, to analyze the percentage of chromium removed by adsorption. It was determined that when we working with a low flow rate (0.05ml / s) better adsorption results are obtained, up to 85% chromium removal. In the test conducted with the sample from the effluent, with an initial concentration of 330.5 mg / l, a removal of 86% was obtained at 50 minutes. It was established that the biosorbent used conforms more to the dose and response model for chromium, because the correlation level is high R equal to 0.94, Finally, this work shows better results with Langmuir isotherm with a correlation value of 0.95 and 0.99.

Key words: biosorption, chromium, potato peel, isotherms, dose response model.

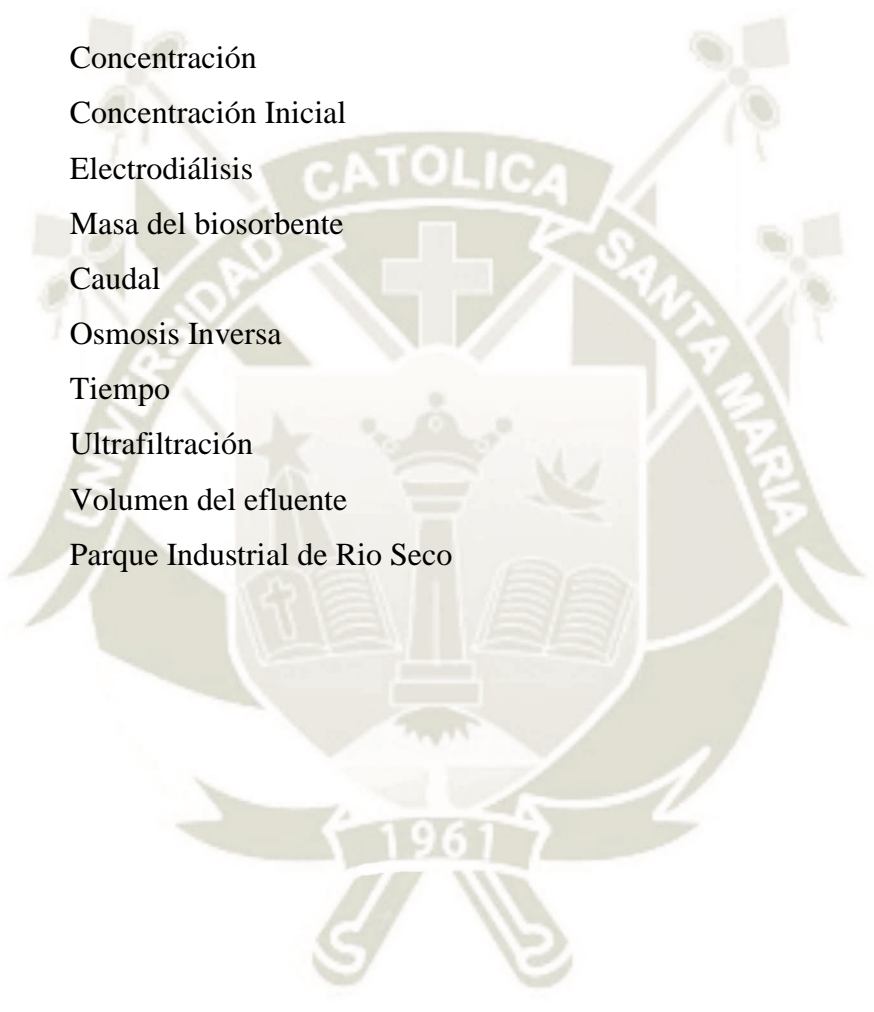
Introducción

El cromo contenido en efluentes provenientes de curtiembres, es considerado un metal pesado no biodegradable y acumulativo, por lo que presenta efectos biológicos que pueden ser perjudiciales para los distintos organismos desencadenando enfermedades y trastornos (Inglezakis et al., 2003), este metal está clasificado en la actualidad como un cancerígeno humano emergente (Farajzadeh y Monji, 2004). Además del daño biológico también puede perjudicar el componente físico del ambiente, provocando una serie de impactos que van desde la degradación y contaminación de suelos, hasta provocar perjuicios en el sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, en el caso de que estos efluentes sean clandestinamente vertidos al drenaje público (Ong et. al., 2005).

Las tecnologías actuales para la eliminación de metales son extremadamente caras o complicadas como es el caso de la osmosis inversa, precipitación química, electrodeposición, electroxidación, microfiltración, ultrafiltración e intercambio iónico, por lo que, urge encontrar nuevas tecnologías o materiales para la remoción de metales, donde la biosorción es observada como una nueva alternativa de remoción de metales sobre los procesos tradicionales de eliminación en aguas de desecho. La biosorción de metales pesados utilizando diferentes biomásas (residuos agroindustriales o restos orgánicos que se consideran material de compostaje como es el caso de los residuos de cáscara de papa) aún está en etapa de investigación; a pesar de que en otros estudios ha presentado ventajas en comparación con las técnicas convencionales de remoción de metales pesados, es importante determinar cuáles son las biomásas con mayor capacidad de adsorción para poder ser aplicados en un futuro a nivel industrial (Vera, Bermejo, & Uguña, 2017).

Por lo expuesto anteriormente, en la presente investigación se planteó evaluar la remediación de aguas contaminadas con cromo empleando una columna de lecho fijo con biomasa de papa (*Solanum tuberosum*).

Lista de Símbolos



C	Concentración
Co	Concentración Inicial
ED	Electrodiálisis
Mb	Masa del biosorbente
Q	Caudal
RO	Osmosis Inversa
T	Tiempo
UF	Ultrafiltración
Vef	Volumen del efluente
PIRS	Parque Industrial de Rio Seco

Capítulo I

1. GENERALIDADES

1.1. Planteamiento del Problema

Los compuestos de cromo son tóxicos y carcinógenos para una variedad de organismos y para el medio ambiente donde es liberado. Estos compuestos de cromo son móviles en los sistemas suelo/agua. El cromo se presenta en diferentes estados de oxidación, siendo los de mayor importancia: el cromo trivalente y el cromo hexavalente. El primero, forma precipitados inertes en un pH neutro, mientras que el segundo es considerado un fuerte oxidante muy soluble en sus formas aniónicas. Estas características físicas y químicas propias de cada estado pueden favorecer o limitar la biodisponibilidad y toxicidad (Ibarren, Ortiz, & Piccinna, 2004).

El proceso de curtido utilizando agentes químicos como el cromo, es el más empleado a nivel mundial debido al fácil procesamiento, amplio alcance y porque a través de este se consiguen excelentes propiedades en el cuero (Lagos, 2016).

La industria curtiembre ha generado un gran impacto ambiental en los tres componentes ambientales: suelo, agua y aire. Estos efluentes industriales se caracterizan por contener una mezcla compleja de contaminantes orgánicos e inorgánicos y por presentar una alta demanda química de oxígeno (DQO) (Mwinyhija, 2010). Dentro de los compuestos que se usan en el proceso, se encuentran: ácidos, álcalis, sales de cromo, taninos, solventes, sulfuros, tintes, entre otros, los que no son totalmente aprovechados, quedando gran cantidad de estos como desecho. Se ha determinado que los efluentes generados llegan a contener hasta 7000 mg de cromo por litro, por lo que en proceso de curtido con sales de cromo tan solo aprovecha del 50 al 70% de cromo (Cassano & Molinari, 2001).

En Arequipa región, esta industria aporta grandes ingresos pero a su vez representa una de las actividades industriales que contaminan más, es así que en

el proceso de curtido son necesarios, para el procesamiento de una tonelada de cuero crudo, alrededor de 500 kilos de productos químicos (dentro de ellos, el cromo); se estima que el 85% de estos productos nunca se incorporan en el cuero acabado (Lazo, 2017), siendo finalmente vertidos al canal de Rio Seco originando una gran contaminación.

1.2. Justificación

Ambiental: la descarga continua de efluentes con cromo, proveniente de la industria curtiembre, genera un grave deterioro ambiental al causar cambios físicos, químicos y biológicos en la composición de los cuerpos de agua y suelo.

Social: deterioro de la calidad de vida de la población, al encontrarse expuesta a los efectos tóxicos de efluentes con alta concentración de cromo, dañando su salud de forma irreversible por el contacto con este metal pesado, al inhibir o bloquear las actividades biológicas.

Económico: mundialmente, la industria del curtido es una de las más contaminantes, cada año demanda una inversión de considerables sumas de dinero para tratar sus efluentes y cumplir con los parámetros ambientales, por ello se propone esta alternativa con el fin de abaratar los costos en el tratamiento de las aguas residuales de las curtiembres.

Institucional: la presente investigación es importante para todas las industrias curtiembres que emplean cromo en su proceso productivo y que a su vez no cuentan con un sistema de tratamiento de aguas residuales.

1.3. Objetivos

Objetivo General

Evaluar la remediación de aguas contaminadas con cromo empleando una columna de lecho fijo con biomasa de papa (*Solanum tuberosum*) Arequipa 2019

Objetivos Específicos

- Caracterizar la biomasa de cáscara de papa (*Solanum tuberosum*).

- Determinar la capacidad de sorción de cromo con biomasa de cáscara de papa en función a la concentración.
- Determinar la capacidad de sorción de cromo con biomasa de cáscara de papa en función al caudal.
- Evaluar la capacidad de sorción con efluentes de curtiembre proveniente del Parque Industrial de Rio Seco.
- Determinar la capacidad de desorción de la biomasa de cáscara de papa.

1.4. Hipótesis

Debido a que los efluentes procedentes de curtiembres ubicadas en el Parque Industrial de Rio Seco– (PIRS) de la ciudad de Arequipa, contienen una alta concentración de Cromo; es posible la remediación de estas aguas contaminadas con cromo empleando una columna de lecho fijo con cáscara de papa “*Solanum tuberosum*”.

1.5. Variables

Tabla 1: Variables e Indicadores

Variables		Indicadores
Dependiente	Eficiencia de la remediación de biosorción y desorción de cromo	%
	Concentración del efluente (C)	mg/l
Independiente	Caudal (Q)	ml/s
	Tiempo (t)	min

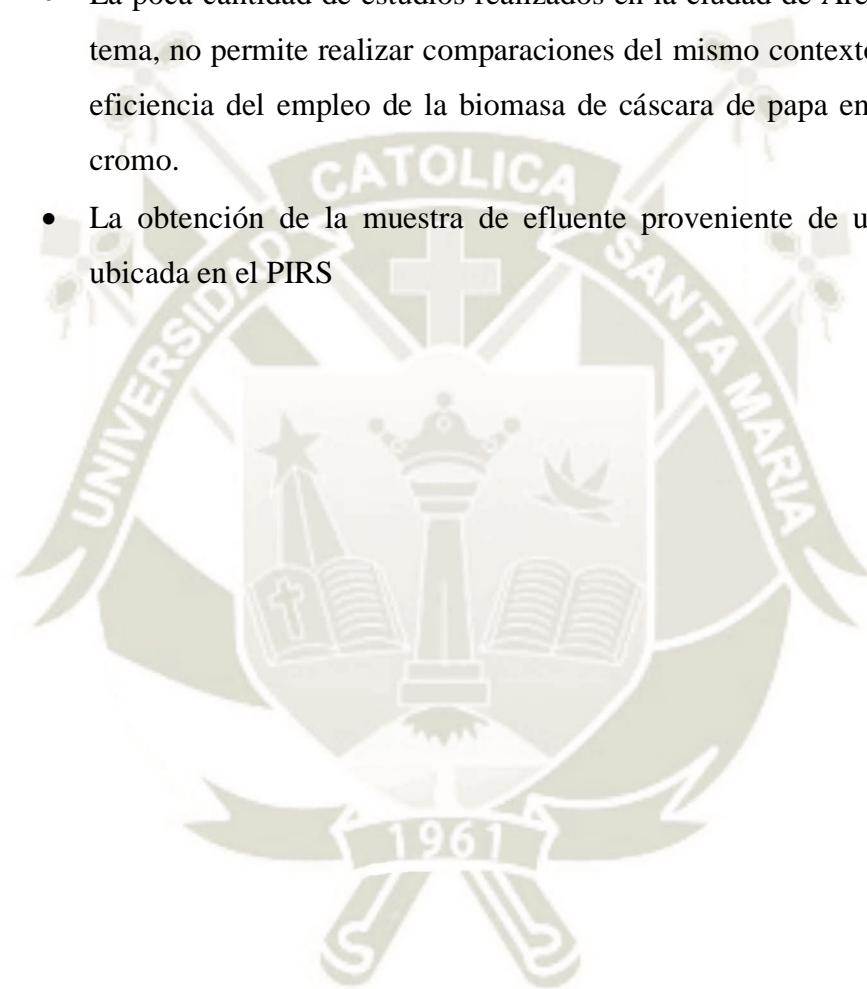
Fuente propia

1.6. Alcances de la investigación

Establecer una alternativa para reducir la concentración de cromo de los efluentes provenientes de curtiembres en Arequipa mediante el uso de columnas de lecho fijo empacadas con biomasa obtenida de la cáscara de papa.

1.7. Limitaciones de la Investigación

- El costo de los reactivos utilizados en el proceso de sorción y desorción.
- Los parámetros empleados son exclusivamente para la sorción y desorción de cromo en efluentes.
- La poca cantidad de estudios realizados en la ciudad de Arequipa sobre el tema, no permite realizar comparaciones del mismo contexto respecto a la eficiencia del empleo de la biomasa de cáscara de papa en la sorción de cromo.
- La obtención de la muestra de efluente proveniente de una curtiembre ubicada en el PIRS



Capítulo II

2. MARCO TEORICO

2.1 Papa (*Solanum tuberosum*)

Solanum tuberosum es una especie de planta herbácea anual, perteneciente a la familia Solanáceas, conformada por al menos otras mil especies, como el tomate y la berenjena. La papa (*S. Tuberosum*) presenta tubérculos, los cuales se originan en los extremos de las raíces fibrosas y ramificadas, esta herbácea puede alcanzar hasta un metro de altura (FAO, 2008).

Es la especie más cultivada y consumida a nivel mundial (OEEE, 2011), siendo considerada como uno de los cuatro cultivos más importantes del mundo, junto con el trigo, maíz y arroz; esto debido a las notables propiedades que presenta el tubérculo y a la facilidad de su crecimiento. El Perú logró consolidarse en el año 2017 como el principal productor de tubérculos de papa en Latinoamérica (MINAGRI, 2017).

2.1.1 Taxonomía

Según la nomenclatura de Cronquist (1981), la clasificación de la papa es la siguiente:

REINO:	Plantae
FILO:	Magnoliophyta
CLASE:	Magnoliopsida
ORDEN:	Solanales
FAMILIA:	Solanaceae
GÉNERO:	<i>Solanum</i>
ESPECIE:	<i>S. tuberosum</i> L., 1753

2.2.1 Origen

Se estima que esta especie herbácea de gran importancia, es originaria del altiplano peruano-boliviano. Hace aproximadamente unos 8000 años, se calcula que inicio su domesticación, no obstante, varios siglos después debido a la conquista de América por los europeos, se conoce de la papa a nivel internacional y se comienza

a realizar su distribución y cultivo en los continentes de Europa y Asia. (Borba, 2008).

2.2 Composición química del tubérculo de la papa

Posterior a la cosecha, estos tubérculos presentan generalmente un alto porcentaje de agua (80%) y un bajo porcentaje de materia seca (20%), constituida principalmente por almidón (60% de total de materia seca). De acuerdo a ciertos factores como la variedad, el lugar de producción, el suelo, las condiciones climáticas y las características del cultivo, la composición del tubérculo puede variar (Handbook, 2015).

A continuación se detallan los principales componentes presentes en el tubérculo de *Solanum tuberosum*:

- **Almidón** : es considerado el componente nutricional más importante del tubérculo (Moreno, 2000).
- **Fibra**: presencia de pectina en forma de pectatos solubles de calcio en la cáscara o peridermis del tubérculo, que facilitan la adhesión a la médula, así como a la lignina, celulosa, y hemicelulosas (Handbook, 2015).
- **Enzimas**: principalmente endógenas como las fosforilasas o la polifenoloxidasa (PPO), enzima responsable del pardeamiento y oxidación de muchos alimentos (Handbook, 2015).
- **Ácidos orgánicos**: contribuyen fundamentalmente con el pH característico del alimento, en el caso del tubérculo de la papa, estos ácidos favorecen que su pH se encuentre entre 5.6 y 6.2. El ácido málico y el cítrico son los más característicos (Handbook, 2015).

2.3 Composición de la cáscara (peridermis) del tubérculo de la papa

La cáscara o peridermis del tubérculo crudo obtenido de la papa presenta una considerable cantidad de humedad y carbohidratos, respecto a las proteínas y lípidos su contenido es generalmente bajo (Arapoglou, D.; Vlyssides, A.; Haidemenaki, K.; Malli, V.; Marchant, R.; Israilides, C., Road, C., 2009) .

Las cáscaras del tubérculo de la papa contienen una variedad de compuestos valiosos, que incluyen fenoles, fibras dietéticas, ácidos grasos insaturados, amidas, etc. (Schieber, A.; Saldaña, M., 2009) (Wu, Z.; Xu, H.; Ma, Q.; Cao, Y.; Ma, J.; Ma, C., 2012). Además, es una excelente fuente de fibra dietética, principalmente de carbohidratos insolubles como celulosa, hemicelulosa, lignina, pectina, gomas, etc. (Al-Weshahy A.; Rao V., 2012).

Tabla 2 Composición de la cáscara del tubérculo de papa

<i>Parámetros</i>	<i>Peso seco (%)</i>
Humedad	85.06
Carbohidratos totales	68.7
Azúcares solubles totales	1
Azúcares reductores	0.61
Almidón	1.3
Proteínas (N.tot 6.25)	8
Ceniza	6.34

Fuente: Arapoglou et al (2010)

2.4 Usos

El uso más importante de la papa es en la alimentación, a través del consumo directo. En la industria alimentaria es muy utilizado el almidón del tubérculo de la papa, principalmente por dos propiedades que presenta: menor predisposición a la retrogradación y temperatura baja de gelatinización (Hoover, 2010). Se utiliza principalmente para elaborar edulcorantes como glucosa y fructuosa, como sustituto parcial de la harina de trigo, funciona como espesante y estabilizante para la preparación de helados, gelatinas y sopas. En la industria farmacéutica es empleado como materia prima en la producción de dextrosa, se puede utilizar, además, como mezcla para pastillas y comprimidos. En la industria textil se usa como gel para tintorería para almidonar las ropas. Además también se emplea en elaboración de pasta de papel y cartón; en la fabricación de colas y pegamentos así como en la manufactura de espumas de poliuretano (Cordova, 2014).

2.5 Importancia de la papa en el Perú

En el Perú, el valor económico del cultivo de la papa representa el 8% del producto bruto interno agropecuario (PBI), se calcula que aproximadamente más de 600,000 agricultores de 19 departamentos del país se encuentran involucrados en esta actividad. El cultivo de esta planta es considerado como la principal fuente de ingresos para los pobladores de ciertas comunidades alto andinas, no obstante, cuando esta actividad no resulta rentable se suscitan problemas como la migración y el sobre poblamiento de las ciudades, lo que conlleva a un desequilibrio en el orden socioeconómico. Con la gran demanda de papa principalmente de la nativa, se observan importantes posibilidades de mejora en la producción lo que permitiría reducir el nivel del flujo migratorio. En el año 2010 se obtuvo un rendimiento promedio de 13.2 toneladas de papas por hectárea, se estimó que el número de hectáreas destinadas a este cultivo fueron de aproximadamente 290 mil, las que permitieron producir 3 814 miles de toneladas de tubérculo de papa (*S. tuberosum*). En el Perú, departamentos como Puno, Huánuco, La Libertad, Junín, Cajamarca, Apurímac, Ayacucho Cusco, Arequipa, Lima, Ancash, Ica y Pasco presentan una mayor producción de este cultivo. El consumo anual de este tubérculo en otros países es de 180 a 200 kg por persona, sin embargo, en nuestro país el consumo es mucho menor (87 kg por persona), a pesar de haberse incrementado las cifras nacionales, puesto que a inicios de siglo XXI se consumían alrededor de 54 kg por persona anualmente (OEEE, 2011).

2.6 Residuos solidos

De acuerdo a Ley General de Residuos Sólidos N° 27314, los residuos sólidos son aquellos productos o subproductos dispuestos por su generador que se encuentran en estado semisólido o sólido. El generador está obligado según normativa nacional o por el riesgo que supone a la salud y al ambiente disponer adecuadamente los residuos producidos.

En el marco de la definición global de residuo, existe un sistema que permite clasificar a los residuos de acuerdo a su peligrosidad y en función a ello los residuos pueden ser:

- **Residuos No peligrosos:** aquellos residuos que no implican riesgos a la salud y al ambiente al ser manipulados.
- **Residuos Peligrosos:** aquellos que, por sus características propias, representan riesgos a la salud y al ambiente (Ley General de Residuos Sólidos, Ley 27314). La gestión de este tipo de residuos no se encuentran dentro del ámbito de responsabilidad de las municipalidades, estos desechos son generados primordialmente por industrias y por centros de salud (Gorriti, 2018).

En el Art. 15° de la ley General de Residuos Sólidos, los clasifica de acuerdo a su origen en:

1. Residuo domiciliario
2. Residuo comercial
3. Residuo de limpieza de espacios públicos
4. Residuo de establecimiento de atención de salud
5. Residuo industrial
6. Residuo de las actividades de construcción
7. Residuo agropecuario
8. Residuo de instalaciones o actividades especiales (Gorriti, 2018).

2.7 Gestión de residuos solidos

Los residuos sólidos deben ser gestionados apropiadamente antes de su disposición final, con el fin de evitar impactos adversos al ambiente (OEFA, 2014). La gestión se define como todos aquellos procesos y políticas incluidas en el sistema de manejo de residuos sólidos. La norma estipula que los residuos sólidos deben ser manejados a través de un sistema que incluya, según corresponda, las siguientes operaciones o procesos (Ley General de Residuos Sólidos, Ley 27314)

1. Minimización de residuos
2. Segregación en la fuente
3. Reaprovechamiento
4. Almacenamiento
5. Recolección
6. Comercialización

7. Transporte
8. Tratamiento
9. Transferencia
10. Disposición final

2.7.1 Manejo inadecuado de los residuos solidos

Constituye una gran problemática ambiental que se ve evidenciada en el incremento poblacional de vectores que pueden transmitir enfermedades infecciosas al ser humano, en la contaminación de los cursos de agua superficiales y subterráneos, en la degradación de los suelos debido a la lixiviación generada por los desechos, en la contaminación del aire por partículas tóxicas, emisión de gases como el metano y por los malos olores que se producen debido a la descomposición de la materia orgánica, entre otros aspectos. En los países en desarrollo el manejo final de los residuos está mayormente orientado a la incineración y al entierro descontrolado en rellenos sanitarios, llegando a impactar negativamente en el ambiente y en el bienestar de las personas que residen cerca a estos rellenos (Tadesse, 2009).

2.7.2 Valorización y técnica de aprovechamiento de los residuos

Existen diferentes etapas de recolección en el proceso de valoración de residuos tales como el almacenamiento, transporte y sistema de transferencia. Los residuos son recogidos de los lugares de almacenamiento establecidos y posteriormente se depositan en un equipo destinado a transportarlos a las estaciones de transferencia, donde se realiza el tratamiento y disposición final (Sánchez, 2016).

La implementación de programas y actividades deben ser clasificados con el fin de aplicar una jerarquía en la gestión de residuos sólidos. Una jerarquía de Gestión Integral de los Residuos Sólidos (GIRS) debe presentar los elementos descritos a continuación (Mejía, 2014):

- **Reducción en el origen.**

Según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) se define a la reducción en el origen como la disminución del volumen y la toxicidad de los residuos sólidos generados realizando cambios previos en los procesos de producción, comercio o en el empleo de materiales como los envases. La

utilización de materiales menos dañinos para el ambiente y el aprovechamiento de residuos para la producción de energía permiten un uso racional de recursos. En síntesis, una de las opciones menos costosas para resolver los actuales problemas ambientales es la reducción en el origen (Ordoñez, 2017).

- **Reutilización.**

Una técnica idónea para reducir la enorme cantidad de residuos que se generan, sin pasar por previos procedimientos industriales, consiste en la reutilización total o parcial de los residuos, por ejemplo, los envases fabricados de vidrio pueden ser reutilizados como contenedores o recipientes para almacenar otros productos. La reutilización tiene como finalidad dar nuevos usos a un residuo sin alterarlo y de este modo reducir la contaminación producida por residuos sólidos reaprovechables (Ordoñez, 2017).

- **Reciclaje.**

El reciclaje consiste en dar una nueva utilidad a un material o residuo, contribuyendo a disminuir el consumo de los recursos y a eliminar los desechos del modo más deseado. En los rellenos sanitarios el reciclaje es un tratamiento frecuentemente empleado que se realiza dependiendo del tipo de residuo. Con algunos materiales se puede obtener materia prima para un diferente uso, mientras que con otros se puede generar un producto nuevo diferente al residuo sólido original (Ordoñez, 2017).

2.7.3 Técnicas de aprovechamiento

El compostaje y los procesos anaerobios son técnicas de aprovechamiento que se emplean solo cuando los residuos son de origen biológico; seguidamente los residuos pueden ser dispuestos en un relleno sanitario. Existen dos tipos de relleno, uno que es manual y el otro tipo que es de operación mecánica con requerimiento de equipo pesado para la habilitación de vías, saneamiento del lugar y operación del mismo (Sanchez, 2007).

Las etapas de generación, separación, clasificación, así como el almacenamiento, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos se encuentran incluidas en un

plan de manejo integral de este tipo residuos, que contempla además el desarrollo de otras actividades (educativas, operativas, técnicas y administrativas) (Mejía, 2014).

2.8 Industria de Curtiembre

Actualmente el desarrollo de esta industria se centra en los países subdesarrollados debido a la inexistencia de estándares ambientales rigurosos, diferente situación se manifiesta en los países desarrollados, en donde las curtiembres presentan una tendencia negativa de crecimiento por el control ambiental más severo que existe en estos países (Reich, 2005). En el Perú, esta industria se desarrolla principalmente en los departamentos de la Libertad, Lima y Arequipa. El proceso de curtido implica la transformación de pieles de animales que son naturalmente putrescibles en un material indestructible (cuero), mediante la generación de un enlace entre las cadenas de péptidos, que permite un reforzamiento de la estructura proteica del cuero (McCann, 2001).

En el proceso de curtido se diferencian principalmente cuatro etapas:

1. En la primera etapa se reciben las pieles, para su posterior limpieza, se realizan procedimientos como el salado (orientado a conservar la estructura de la piel), remojo (que consiste en la rehidratación de la piel y eliminación de tierra y materia orgánica), pelambre (eliminación de pelo y epidermis), descarnado (eliminación de grasas y carnazas) y dividido (adelgazamiento de la piel). Esta fase inicial recibe la denominación de etapa de ribera.
2. La segunda etapa es propiamente de curtido, la cual consiste en el desencale y purgado (remoción de cal y sulfuros), lavado, piquelado (acidificación de pieles hasta un determinado pH), curtido (estabilización de colágeno) y basificado; al culminar esta etapa el cuero es llamado wet blue.
3. Luego de que el cuero culmine la etapa anterior, esta deberá pasar por la etapa de post-curtido que consiste en el escurrido (remoción de humedad), seguido del rebajado, neutralizado (equilibrar los valores de pH), recurtido, teñido entre otros procesos con el fin de homogenizar el cuero.
4. Finalmente se realiza el acondicionado, palizonado, tesado, pintado y planchado que comprenden la etapa de acabado, al ser culminada se obtiene el cuero con

las características deseadas para su comercialización (Córdova, Vargas, Cesare, Flores & Visitacion, 2014).

Este tipo de industria consume grandes cantidades de agua, por consiguiente, genera importantes volúmenes de efluentes que presentan carga orgánica, sales, grasas y metales que pueden ser pesados como el cromo (Mijaylova et. al., 2003).

2.9 Fundamento de la espectroscopia infrarroja

La espectroscopía infrarroja (IR) ha sido siempre una de las técnicas más utilizadas para analizar muestras y materiales de origen desconocidos y también para determinar la cantidad de componentes de una muestra; en si un espectro infrarrojo representa una huella digital de una muestra o material con picos de absorción que corresponden a las frecuencias de vibraciones entre los enlaces de los átomos que forman el material que se está analizando. Debido a que cada material presenta una diferente combinación única de átomos en su estructura, no hay dos compuestos que produzcan exactamente el mismo espectro infrarrojo. Por lo tanto, la espectroscopía infrarroja puede resultar en una identificación positiva (en cuanto a análisis cualitativo) de cada tipo diferente de material. Además, el infrarrojo es una excelente herramienta para el análisis cuantitativo conforme avanza la tecnología se ha dado un mayor desarrollo de instrumentos de espectroscopia infrarroja que incorporan el método de transformada de Fourier (FTIR), que ha mejorado la calidad de los espectros que se analizan y minimiza el tiempo requerido para la obtención de datos. Hoy en día, casi todos los instrumentos utilizados en espectroscopia infrarroja están equipados con sistema de análisis que utilizan transformadas de Fourier de haz sencillo (Nicolet, 2001).

Es por ello que en el presente trabajo se hizo uso de esta técnica para la identificación de los componentes de la biomasa a emplearse.

2.10 Cromo

El cromo es un elemento químico que se halla en la naturaleza, tanto en plantas y animales como en suelos y rocas, formando diversos compuestos al combinarse con otros elementos. Existen tres principales estados de oxidación del cromo (ATSDR, 2012):

- Cromo 0 (Cr 0)

- Cromo +3 (Cr^{+3})
- Cromo +6 (Cr^{+6})

En su estado de oxidación más estable (+3), se considera al cromo un elemento esencial para el ser humano, este no produce ninguna reacción con los componentes biológicos; lo que no sucede con el Cr^{+6} al ser considerado tóxico (Pechova & Pavlata, 2007).

El cromo en su forma de sal es empleado frecuentemente en la industria curtiembre por su alta eficiencia, siendo más aceptado que las sustancias vegetales de curtición, a pesar de ser más conveniente el uso de estas sales, el cromo no llega a fijarse totalmente en la piel del animal siendo eliminado por los efluentes generados (Chávez, 2010).

2.10.1 Impactos del cromo en la salud

El contacto directo con Cr^{+6} , puede desencadenar una serie de sintomatologías agudas en el ser humano que pueden llegar a ser crónicas, el cromo en este estado de oxidación es clasificado como cancerígeno; por el contrario la toxicidad del Cr^{+3} es menor que la del Cr^{+6} (Rinehart & Gad, 2008).

El Cr^{+3} al encontrarse en un medio acuático y a un pH entre 5.5 y 6 se oxida a su estado hexavalente, la presencia de óxido de manganeso favorece este proceso. El cromo en este estado de oxidación puede ingresar a nuestro organismo por tres vías: dérmica, digestiva y respiratoria, este compuesto puede fácilmente penetrar los glóbulos rojos y combinarse con la parte globínica de la hemoglobina, donde se reduce a su estado trivalente, mostrando una gran afinidad principalmente por la transferrina (proteína plasmática) (Rinehart & Gad, 2008).

La ingesta accidental de cromo hexavalente puede ocasionar diarreas, vómitos, dolores abdominales e incluso hemorragias intestinales. En cambio, si ingresa por la vía dérmica se desarrolla un cuadro de dermatitis por contacto alérgicas e irritativas, la absorción de los compuestos de cromo por la piel depende de la condición del anión, del estado de la epidermis y del pH del medio, ya que si este último se incrementa la penetración de los cromatos tiende a aumentar. Se sabe que los compuestos de Cr^{+3} penetran la piel más lentamente que los compuestos de Cr^{+6} (Chavez, 2010).

Se reportan casos de colapso cardiovascular por la ingesta de sales de cromo, el sistema circulatorio al no poder transportar sangre oxigenada hacia los tejidos puede provocar en algunas ocasiones la muerte de la persona, aunque si logra sobrevivir se podría manifestar un cuadro de insuficiencia renal aguda. El cromo hexavalente causa, además, cuadros de bronquitis, asma, perforaciones nasales (Chavez, 2010), cáncer de pulmón (ATSDR, 2012) y daño a nivel genético provocando alteraciones en este (EPA, 2010).

Las personas que laboran en fábricas dedicadas a la fabricación de dicromato, cemento, cuero, acero y otros metales se encuentran en constante riesgo de tener contacto con el cromo por la inhalación de humos y polvos tóxicos, lo que podría ocasionarles graves intoxicaciones. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), advierte que los productos químicos que se usan en el proceso de curtido (Ar, Pb y principalmente Cr) ocasionan daños severos como cáncer a la sangre. Se ha determinado que el cromo logra relacionarse con proteínas propias del sistema inmunológico, formando interacciones antígeno-anticuerpo, provocando en ciertos casos lesiones ubicadas en el contorno de las glándulas sudoríparas (Chavez, 2010).

La Conferencia Gubernamental Americana de Higienistas (ACGIH), el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH), la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA) entre otras instituciones han propuesto límites máximos para estos compuestos (Rinehart & Gad, 2008).

2.10.2 Impactos del cromo en el medio ambiente

El cromo en su estado hexavalente (Cr^{+6}), se encuentra soluble en los ecosistemas acuáticos, siendo esta su forma más estable para ser transportado por el agua. No obstante, este compuesto a través de la reducción de sustancias orgánicas y de químicos como el azufre, amonio, nitrito, sulfuros de hidrogeno y sulfuros de hierro, se convierte en cromo trivalente (Cr^{+3}), insoluble en agua, que se precipita casi instantáneamente; los sedimentos y las partículas en suspensión adsorben parte de este cromo. Se ha confirmado que el cromo, por ser un metal pesado, se acumula en muchas especies de vida acuática (Chavez, 2010).

El cromo trivalente (Cr^{+3}) posee una enorme capacidad de adsorción en el suelo, en consecuencia, se dice que es relativamente inmóvil. Respecto al cromo hexavalente (Cr^{+6}) su toxicidad y biodisponibilidad dependen de las reacciones redox que se susciten en el suelo. En presencia de óxidos de magnesio (Mg) y hierro (Fe) a un pH ligeramente ácido ocurre la oxidación, mientras que, en presencia de Fe (II), sulfuros y materia orgánica se produce la reducción. El Cr^{+3} en bajas dosis constituye un microelemento esencial, por el contrario el Cr^{+6} aún en concentraciones muy pequeñas es tóxico y considerado no esencial (Chavez, 2010).

Se debe tener una mayor precaución al disponer desechos con Cr^{+3} procedentes de curtiembres, puesto que al estar en contacto con residuos industriales o cloacales (que al descomponerse generen condiciones ácidas) pueden cambiar su estado de oxidación y transformarse de Cr^{3+} a Cr^{+6} (Chavez, 2010).

2.11 Métodos de remediación de efluentes para metales pesados

La presencia de metales pesados es un problema muy serio para el medio ambiente y la salud humana, la mayoría de estos metales pesados se descargan en cuerpos de aguas productos de la actividad industrial, muchos de estos metales son dañinos para los organismos vivos es por ellos que se presenta la necesidad de eliminarlos o reducir su concentración para minimizar el riesgo de incorporación de estos metales por parte de las plantas, animales y el ser humano; hoy en día se han desarrollado varios métodos para la eliminación de estos metales pesados (Agarwal & Singh, 2017).

- **Electrodialisis.**

El proceso de membrana o electrodiálisis (ED) se fundamenta en una extracción selectiva de iones del agua y/o concentración de la misma, en otras palabras es la utilización de una película delgada denominada membrana de intercambio iónico que separa dos fases y puede actuar como una barrera selectiva al transporte de estos iones. Hoy en día, el empleo de membranas ha sido un importante desarrollo investigativo en la aplicación para el tratamiento de aguas residuales (Ures, 2015). Se observa una tendencia creciente en la aplicación de la ED dentro de la recuperación de las aguas residuales anteriormente mencionada y la desalinización, su aplicación también puede ser en la industria farmacéutica y alimentaria debido a que el proceso de separación

mediante este método no pone en peligro la salud y las propiedades nutritivas de la producto final, por ejemplo el ajuste de suero o dulzura de los jugos de fruta se dan mediante este proceso (Strathmann, Giorno, & Drioli, 2006).

- **Ósmosis inversa.**

La ósmosis inversa (RO) es un proceso de separación que utiliza presión para forzar una solución a través de la cual una membrana retiene el soluto en un lado y permite que el solvente puro pueda pasar al otro lado. La membrana aquí es semipermeable, lo que significa que permite el paso de solvente pero no de los metales. Las membranas utilizadas para la ósmosis inversa tienen una densa capa de barrera donde la matriz polimérica produce la mayor separación.

La ósmosis inversa puede eliminar muchos tipos de moléculas e iones de soluciones, incluyendo bacterias, y se utiliza en procesos industriales. La ósmosis inversa implica un mecanismo difusivo, por lo que esa eficiencia de separación depende del soluto. Concentración, presión y caudal de agua (Gunatilake, 2015).

- **Microfiltración y ultrafiltración**

La filtración de membrana ha recibido considerable atención al tratamiento de efluentes inorgánicos es capaz de eliminar sólidos suspendidos, orgánicos, Compuestos y contaminantes inorgánicos como los pesados dependiendo del tamaño de la partícula que pueda ser retenidos, varios tipos de filtración de membrana tales como ultrafiltración, nanofiltración y micro filtración puede ser empleado para la eliminación de metales pesados de aguas residuales (Gunatilake, 2015).

La ultrafiltración (UF) emplea una membrana permeable para poder separar metales pesados, macromoléculas y sólidos en suspensión de solución inorgánica, sobre la base del tamaño de poro (5-20 nm) y el peso molecular de compuestos (1000–100 000 Da). Esto dependiendo de las características de la membrana, la ultrafiltración puede lograr más del 90% de la eficiencia de eliminación con una concentración de metales que varía de 10 a 112 mg /L a pH que van desde 5 hasta 9,5 y con 2 a 5 bar de presión. La ultrafiltración presenta algunas ventajas como menor fuerza motriz. y un menor requerimiento de espacio debido a su alto densidad de empaquetamiento (Gunatilake, 2015).

La microfiltración una técnica de separación para eliminar partículas del tamaño de micras, como bacterias, células de levadura, coloides y partículas de humo, de suspensiones o gases el proceso utiliza filtros de membranas con poros en el rango de tamaño aproximado de 0,1 a 10 μm , que son permeable para los fluidos, pero retiene las partículas, por lo tanto causando la separación, Hoy en día los procesos de microfiltración operan en diferentes campos como la industria biotecnológica, automotriz, electrónica y alimentaria. Algunos ejemplos de aplicaciones son la recolección de células bacterianas y de levadura, la recuperación de pigmentos de látex de las pinturas, y la purificación del agua para el Industria electrónica. En la industria alimentaria, la micro-filtración se utiliza en la clarificación de zumos de fruta, vino, y cerveza, en la eliminación de grasa del suero y en la eliminación de bacterias de la leche (Huisman, 2000).

El fundamento de estas dos tecnologías esta en membranas que funcionan como tamices, la relación que existe entre el tamaño de sustancias, contaminantes y la distribución del tamaño de los poros permite la exclusión de los contaminantes en el permeado (Ures, 2015).

- **Electrooxidación.**

El método electroquímico de la electro-oxidación, es una técnica efectiva y limpia para la producción directa o generación indirecta vía reactivo Fenton (electrofenton) de radicales hidroxilos. En la oxidación anódica estos radicales son formados de la oxidación del agua en el ánodo tal como un electrodo de Pt o PbO_2 (Angulo & Betancourt, 2008).

Lo fundamental de este proceso es la oxidación total o parcial de la materia orgánica presente en solución, para poder ser convertido en un compuesto más sencillo y fácil de degradar utilizando la corriente eléctrica, se relacionan con procesos anódicos y se divide en dos; directos e indirectos (Remtavares, 2010).

- **Electrodeposición.**

Proceso electroquímico cuya finalidad es recubrir una pieza o superficie con un sistema de ánodo y cátodo, es decir, introduciendo dicha pieza/superficie en un baño químico aplicando cargas eléctricas para realizar este recubrimiento (Hoyos, 2007).

Es decir la electrodeposición es la obtención de especies metálicas que se encuentran en disolución por medio de la reducción electrolítica en el cátodo un ejemplo de este proceso es la obtención de cemento de mar en el agua marina, dando como productos en el cátodo el cloruro de sodio el dióxido de silicio, carbonato de calcio y el hidróxido de magnesio (Castillo, 2006).

- **Precipitación química.**

La precipitación química es una de las más extensas y conocidas tecnologías utilizada para la eliminación de metales pesados de efluentes industriales debido a que su operación es muy simple y de fácil ejecución. En los procesos donde se precipitan metales de manera convencional se producen precipitados que generalmente tienden a ser insolubles para su fácil decantación algunos de eso precipitados insolubles son en forma de hidróxidos, sulfatos, carbonatos o fosfatos, como básicamente este mecanismo se basa en la producción de metales que formen precipitados insolubles que pueden ser rápidamente decantados o filtrados en este tipo de procesos se generan precipitados, floculantes que al aumentar su tamaño uniéndose entre ellos originan la precipitación(Gunatilake, 2015).

En tratamiento de aguas la precipitación química se basa en la adición de algún compuesto químico que tiene la finalidad de alterar el estado de los sólidos disueltos y en suspensión para así poder facilitar su eliminación por sedimentación o decantación en algunos casos por filtración (Oyarzo, 2007).

- **Biorremediación.**

La biorremediación se basa principalmente en procesos microbiológicos. El objetivo final es conseguir la mineralización de los contaminantes por parte de los microorganismos que se encargan de su metabolización, esto es principalmente, transformar los compuestos químicos nocivos del medio en el que se encuentran en compuestos inocuos, tales como dióxido de carbono, agua, o materia celular. La biorremediación tiene algunas dificultades que se deben tener en cuenta si se va a aplicar como técnica de remediación. Una de ellas es el tiempo que se utiliza para la transformación de los químicos nocivos en inocuos, la vida media (tiempo que tarda en transformarse el 50% de un contaminante); en general, se puede decir que, cuanto más pequeña sea la molécula, más soluble y de composición más simple, más rápidamente

se biodegrada, y que, en compuestos con moléculas de mayor peso molecular, menor solubilidad y mayor fuerza de adsorción (Lopez, 2017).

- **Fitorremediación.**

La fitorremediación es un conjunto de tecnologías que reducen in situ o ex situ la concentración de diversos compuestos a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a ellas, es decir que la fitorremediación utiliza las plantas para remover, reducir, transformar, mineralizar, degradar, volatilizar o estabilizar contaminantes; Se han identificado una amplia diversidad de especies que se emplean para este fin algunas de ellas, debido a su gran capacidad para acumular metales pesados, reciben el nombre de hiperacumuladoras. Por definición, estas plantas deben acumular al menos 100 $\mu\text{g/g}$ (0.01 % peso seco) (Delgadillo, Gonzales, Prieto, & Villagomez, 2011).

En algunas especies; esta técnica se basa en utilizar plantas que actúan como trampas o filtros que estabilizan las sustancias metálicas presentes en el suelo o agua y los fijan a sus raíces, tallos o metabolizan tal como lo hacen los microorganismos para al final convertirlos en compuestos menos peligrosos y más estables (Arias, 2010).

- **Biosorción.**

Se ha investigado una gran cantidad de materiales y tipos de biomasa como biosorbentes para la remoción de iones metálicos, por su capacidad de unión de metales en diversas condiciones. Los biomateriales de desechos se consideran alternativas ideales como bajo costo por su fácil adquisición y ser material de desecho, estos biomateriales son considerables muy rentables por su bajo costo en adquisición, Una amplia gama de biomateriales de desechos de bajo costo para operaciones industriales a gran escala se ha utilizado con éxito como biosorbentes para la emoción de metales pesados de solución acuosa y aguas residuales. Aunque muchos biomateriales pueden unir iones metálicos, solo aquellos con capacidad de unión de metales suficientemente alta y selectividad para metales pesados son adecuadas para su uso en un proceso de biosorción a gran escala (Zhang, 2014).

Se ha demostrado que la biosorción de metales por biomasa depende principalmente de los grupos funcionales, los grupos funcionales más importantes son el carbonilo (grupo

cetónico), carboxilo, sulfhidrilo (grupo tiol), sulfonato, tioéter, amina, amina secundaria, amida, imina imidazol, hidroxilo y el fosfodiéster. La biosorción de metales pesados por los biomateriales podría atribuirse a que estos grupos anteriormente mencionados, estos grupos funcionales son grupos principales de los polisacáridos, proteínas y lípidos que presentan una disposición a unirse a metales, la unión puede involucrar intercambio de electrones entre el biomaterial y el metal Sin embargo, estos materiales también pueden unirse pasivamente (Zhang, 2014).

Se han venido utilizando materiales de desecho como residuos agrícolas o urbanos para la eliminación y/o recuperación de metales pesado de efluentes industriales contaminados, entre ellos se encuentran residuos de manzana, corteza de árbol, cáscara de avellana, cáscara de mandarina y naranja, la semillas de tamarindo y otros tipos de residuos con resultados satisfactorios por lo que es de gran interés analizar otros materiales de desechos para la eliminación de metales como el cromo de fuentes de agua (Ismael, 2012).

Los trabajos que emplearon la cáscara de papa como material sorbente, uno de ellos menciona la aplicación de esta biomasa para la adsorción de cromo y plomo donde se usó 0.1 gr del biosorbente a un pH de 4 resultando se absorbe cromo en 10 ppm en un tiempo óptimo de 60 min, 25 ppm en 90 min, concluyéndose que el material biosorbente tiene buena capacidad de biosorción que varía de acuerdo al tiempo de contacto (Ordoñez, 2017).

Las cáscara de papa ha sido también utilizada para la remoción de metales como arsénico, plomo y mercurio, analizando la superficie de contacto del metal con la biomasa, donde se utilizó un pH de 2 para poder demostrar la eficacia de la remoción de dichos metales, demostrando que la superficie de contacto es un parámetro importante para la remoción de estos metales (Yong & Gang, 2017).

Este material biosorbente también fue empleado para la remoción de níquel en un sistema acuoso. Usando un sistema batch, mostrándose que la máxima eficiencia de remoción fue de un 90% a un pH de 9 con un tiempo de contacto de 50 min, demostrando que la cáscara de papa es un buen material de remoción de dicho metal (Keerti & Maitreyi, 2016).

Con respecto a las desventajas del proceso de biosorción tenemos que existen materiales que necesitan un previo tratamiento para activarse y ser así un buenos biosorbentes. En el caso de no contar con dicho tratamiento pueden presentar varios inconvenientes como por ejemplo: baja capacidad de adsorción, altos niveles de DQO (demanda química de oxígeno) y DBO (demanda biológica de oxígeno), así como también la liberación de compuestos orgánicos solubles a partir de materiales de plantas, es decir, debido al agotamiento del oxígeno presente en el agua, por esta razón amenazan la vida acuática (Fadzil & Ibrahim, 2016).

Debido a los diferentes tipos de biomasa que existen para la eliminación de metales pesados, los mecanismos que existen se describen en dos sentidos: la captación pasiva de iones metálicos y| la captación de iones a través de una membrana celular (Ordonez & Moreno, 2013).

2.12 Mecanismo de Retención

Existen muchos mecanismos de retención que actúan en el metal dentro de ellos se encuentra la complejación que se da por la unión del metal a los centros activos del biosorbente Estas uniones se dan por enlaces químicos que dan origen a algunos complejos; Otro tipo de mecanismo es el intercambio iónico que es propio de Iones metálicos con carga divalente actúan por el intercambio de iones entre el metal y los polisacáridos que están presentes en el biosorbente la mayoría de estos intercambios se dan con los iones calcio, magnesio, potasio y sodio; la adsorción física por otro lado actúa como la unión entre la superficie del biosorbente y el metal que en general son producidas por fuerzas de atracción o de van der Waals en ocasiones así la biosorción es de forma rápida y reversible; La quimiosorción es la unión entre el biosorbente y el metal Por el intercambio de electrones entre ambos (Ordoñez, 2017).

La biosorción de metales pesados hace referencia a la captación de metales pesados a través de mecanismos físicos químicos (adsorción o intercambio iónico) se lleva a cabo con la utilización de un biomaterial completo, en este proceso intervienen dos fases: la sólida (biosorbente) y una líquida (solvente, que generalmente es agua) que contiene a los materiales disueltos que van a ser sorbidos (iones metálicos). Debido a la afinidad que tiene el biosorbente con los iones metálicos, este último es atraído y se enlaza por

diferentes mecanismos: intercambio iónico, quelación, quimiosorción, fisiosorción (Inga, 2012).

Como se describió anteriormente existen varios mecanismo de biosorción pero dentro de estos mecanismo existen muchas etapas que explican la unión entre el metal y el biosorbente que generalmente se da entre las capas iniciales de las células del biosorbente: primeramente se da el transporte del metal a la capa límite de la pared celular del biosorbente luego el metal de la pared celular se trasporta a los puntos activos que puede generar un enlace metal-biosorbente originan la última etapa que sería la formación del enlace (Tsezos, 2001).

Los iones metálicos pueden reaccionar con las células para formar un precipitado estable o bien formar un coloide que es fijado por lo polímeros extracelulares. Estos autores también informan que los iones metálicos pueden ser transportados a la pared celular y reaccionar para formar un producto que permanece en la célula. Así mismo, indican que los cationes metálicos pueden ser complejados por la carga negativa de las unidades de los azúcares al final de la cadena de polisacáridos. Además de esto, mencionan que grupos polifosfatos extracelulares, asociados con el metabolismo de los azúcares, complejan iones metálicos por formación de quelatos a través de la carga negativa de los átomos de oxígeno. La naturaleza de estas unidades de enlace sugeridas y otros grupos potenciales de enlace en la superficie celular, indica que la unión puede ser dependiente del ambiente de la célula (esto es, de la solución en contacto íntimo con la célula). sugieren que el enlace del metal en la superficie celular es múltiple. Los grupos de enlace presentes en la biomasa son fosfato, carboxilo, amino e hidroxilo, entre otros. Estos autores también indican que la retención puede deberse a una atracción electrostática con los grupos funcionales cargados negativamente, pero éste es un mecanismo secundario, mientras que las interacciones primarias se deben al mecanismo de complejación (Tenorio, 2006).

Los espectros de resonancia (ESR) electron spin son utilizados para las investigaciones y estudios en mecanismos de biosorción esto se basa fundamentalmente en la obtención de los espectros antes y después de ser sometidos a la solución de un metal, la participación de radicales libres y grupos cargados negativamente es fundamental en el proceso de biosorción porque se observara un disminución en la presencia de radicales libres (Tsezos, 2001).

Marshall estudian la retirada de metales pesados por cáscara de arroz, indicando que las proteínas y hemicelulosa de las cáscaras del arroz poseen grupos negativamente cargados a pH levemente ácido (5,8-6,0). Estos grupos se consideran muy buenos para atraer los iones del metal a través de interacciones electrostáticas. Marshall y Champagne encuentran que las semillas de algodón y las cáscaras de la soja contienen cantidades grandes (74-90%) de material lignocelulósico (lignina, celulosa y hemicelulosa) y que este material es el principal responsable de la adsorción de Cr^{+3} , Co^{+2} , Ni^{+2} y Zn^{+2} por estos sorbentes (Tenorio, 2006).

2.13 Factores que influyen en el proceso de biosorción

En los últimos años, la eliminación de contaminantes tóxicos, como es el caso de los metales pesados, del agua residual industrial mediante biosorción se ha propuesto como proceso seguro y rentable, especialmente para el tratamiento de los altos volúmenes de soluciones con concentraciones bajas de metal si, además, se combina con la recuperación del metal por un proceso de desorción. Como ya se ha indicado anteriormente, la investigación sobre el proceso de biosorción revela que es un fenómeno complejo por el que las especies metálicas se unen al biosorbente sólido mediante diversos procesos de secuestro entre los que se incluyen complejación, quelación e intercambio iónico.

***Influencia del pH:** El pH del medio es uno de los parámetros más importantes que controlan la captación de metales pesados de las aguas residuales y otras soluciones acuosas, esto se debe en parte al hecho de que el ión hidrógeno en sí mismo es un fuerte adsorbato y en parte debido a la especiación química de los metales presentes en el medio acuoso o en las aguas residuales, La adsorción de iones metálicos depende tanto de la naturaleza de la superficie adsorbente como de la distribución de las especies químicas del metal en solución acuosa (Garcia, Olguin, Colin, & Romero, 2011).

El pH es un parámetro que controla los mecanismo de biosorción del muchos metales en el caso del cromo la influencia del pH está asociada a la presencia de distintas especiaciones químicas propias del cromo a pH ácido de 2 a menor valores las especies predominantes del cromo son $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, HCrO_4^- , H_2CrO_4 , $\text{Cr}_3\text{O}_{10}^{2-}$ y $\text{Cr}_4\text{O}_{13}^{2-}$, se ha comprobado que al incrementar la concentración de protones existe

una mejor remoción del metal, a su vez que a pH menores el biosorbente presenta una superficie altamente protonada lo cual es favorable para la captación de metales como el cromo especialmente en su forma aniónica HCrO_4^- , al aumentar el pH el grado de protonación también disminuye y como consecuencia se reduce la probabilidad de biosorción del metal esto debido a que aumenta la presencia de OH^- que son una competencia para los aniones cromatos (Eggs, Salvarezza, Azario, & Fernandez, 2012).

La influencia del pH se puede explicar en tres vías la primera es que es estado del sitio activo se ve influenciada por el valor del pH siendo este mismo un parámetro clave para la optimización del proceso de biosorción; segundo el cambio de pH para la recuperación del metal también llamado desorción puede dañar la estructura del biosorbente distorsionando las celular disminuyendo así la capacidad de sorción del material; por último el pH condiciona la especiación del metal ya que en soluciones acuosas se pueden encontrar iones hidrolizados especialmente iones de metales de alta carga y de pequeño tamaño en las figura 1 podemos observar la especiación del cromo III y del cromo VI en sus formas de hidróxidos y en la figura 2 se observa la presencia de iones cromatos (Tenorio, 2006).

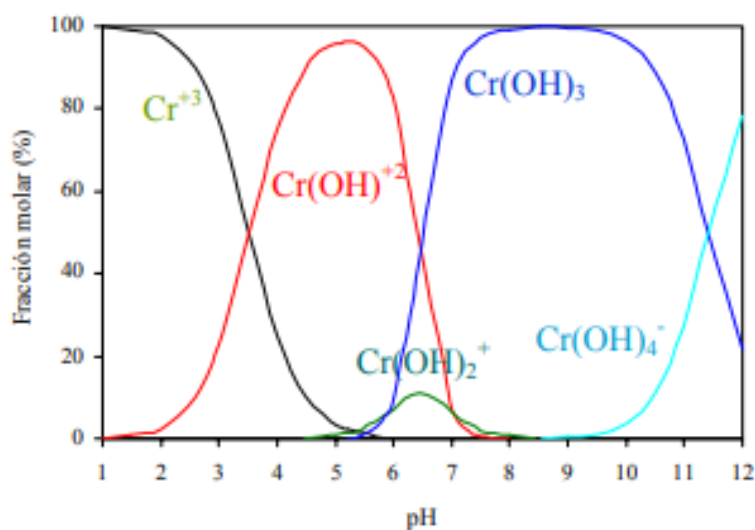


Figura 1 Especiación del cromo según pH-formación de hidróxidos(Eggs, Salvarezza, Azario, & Fernandez, 2012)

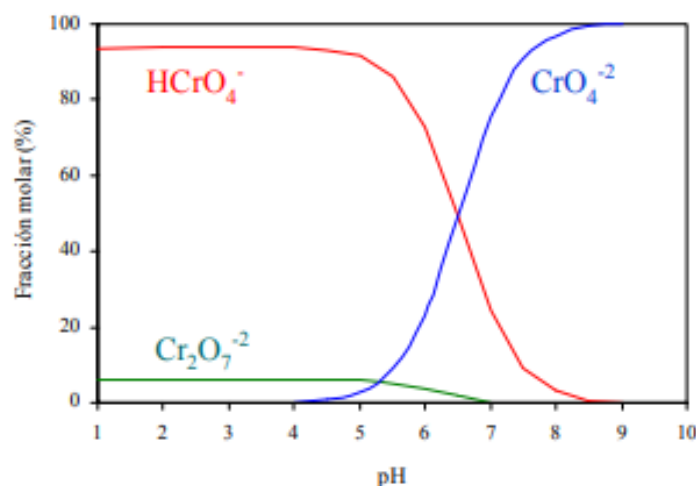


Figura 2 Especiación del cromo-formación de cromatos (Eggs, Salvarezza, Azario, & Fernandez, 2012)

Es evidente que el comportamiento de este metal ante la biosorción estará influenciado por la forma en que se encuentre. Se observa que el Cr (III) se encuentra en disolución en forma de catión, mientras que el Cr (VI) siempre aparece en forma aniónica. Aunque la mayor parte de las investigaciones se han orientado hacia la biosorción de cationes de metales pesados, la retención de aniones por la biomasa se ha convertido en un campo de interés cada vez mayor en los procesos de biosorción (Tenorio, 2006).

***Influencia del Caudal:** Otro de los parámetros que afecta la remoción de metales En una columna de lecho fijo, es el caudal, este es un parámetro importante debido a que el resultado está estrictamente ligado al tiempo de ruptura, es decir que la sorción de un metal es significativamente mayor con una disminución del caudal, este comportamiento ha sido reportado por otros autores. La razón de esta variación es que a mayor caudal la tasa de transferencia de masa se incrementa, es decir, la velocidad con que el metal es adsorbido por unidad de altura del lecho (zona de transferencia de masa), en consecuencia el biosorbente se satura más rápido (Castellar, Cardozo, Suarez, & Vega, 2013).

***Influencia de la Partícula:** El tamaño de las partículas del adsorbente es otro factor que influye en la capacidad de retención de iones metálicos. Las partículas de granulometría menor realizan la remoción del metal de una manera más rápida y en mayor extensión que el adsorbente con mayor granulometría, debido principalmente a

una mayor área superficial específica disponible para la extracción. Este hecho está de acuerdo con las reglas utilizadas en cromatografía, en donde, se conoce que mientras menor es el tamaño del adsorbente, menor es la cantidad necesaria para la operación cromatográfica ya que las condiciones de equilibrio son alcanzadas más rápidamente (Jauregui, 2015).

***Influencia de la fuerza iónica:** un cambio en la fuerza iónica (es decir, de la concentración del electrolito de la disolución) tiene influencia sobre la adsorción por lo menos de dos formas (Tenorio, 2006).

- a) afectando la actividad de los iones del electrolito.
- b) afectando la competencia de los iones del electrolito y de los aniones adsorbentes por los sitios disponibles para la adsorción.

Tanto los iones como los cationes en estado de solución tienen una mayor tendencia hacia la unión preferencial con el material biosorbente, la unión es más accesible cuando la superficie del biosorbente está cargada o presenta una estructura de complejo que va a permitir la atracción electrostática la disminución significativa en la retirada de CrO_4^{-2} al aumentar la fuerza iónica indica que la biosorción de esta especie aniónica del metal implica la atracción electrostática entre el biosorbente y la especie de cromo, la presencia mínima de sitios de unión en el biosorbente en presencia de iones en disolución donde está presente el metal disminuye la probabilidad de retención del metal, esto también está influenciado por el tamaño de los iones cuanto más ligeros más fácil es la unión por eso los metales pesados son más difíciles de establecer una unión, esto también se ve influenciado por la afinidad de los iones, quien mayor afinidad presenta es los iones sulfatos, los iones nitratos, los iones cromatos, iones de bromo y finalmente los iones de cloro (Tenorio, 2006).

***Sitios de unión**

En el estudio de las características de los sólidos biosorbentes se han podido identificar numerosos grupos químicos que podrían contribuir al proceso de retención de metales. Entre estos grupos se pueden citar los hidroxilo, carbonilo, carboxilo, sulfhidrilo, tioéter, sulfonato, amina, imina, amida, imidazol, fosfonato, fosfodiéster. Para que un determinado grupo tenga importancia en la biosorción de cierto metal por una determinada biomasa, deben tenerse en cuenta los siguientes factores (Tenorio, 2006):

- Cantidad de sitios en el material biosorbente.
- Accesibilidad del sitio.
- Estado químico del sitio, es decir, disponibilidad.
- Afinidad entre el sitio y el metal, es decir, fuerza de unión.

Para la unión covalente de un metal en un sitio, incluso si éste ya está ocupado, hay que tener en cuenta su fuerza de enlace y su concentración, comparada con la del metal que ya ocupa el sitio de unión. Para uniones de metal de tipo electrostático, un sitio sólo está disponible si es ionizado. En biosorción, la mayoría de los sitios de unión son ácidos. Muchos grupos (hidroxilo, carboxilo, sulfhidrilo, sulfonato, fosfonato) son neutros cuando se protonan y se cargan negativamente cuando se desprotonan.

Cuando el pH de la solución sobrepasa su pKa los grupos se hacen mucho más disponibles para la atracción del catión. Los grupos amina, imina e imidazol, por el contrario, son neutros cuando se desprotonan y se cargan positivamente cuando se protonan. Por lo tanto, atraerán aniones si el pH del medio desciende hasta valores que hagan que los grupos se protonen (Tenorio, 2006).

2.14 Isotermas de Sorción

La sorción de metales por biomateriales puede ser de tipo físico o de tipo químico cuando es una unión física la interacción entre el metal y el biosorbente puede darse por a fuerzas de van der Waals cuando ocurre este tipo de unión la entalpia entre el metal y el biosorbente es de uno 20 kJ/mol esto quiere decir que puede ocurrir el fenómeno de desorción. La sorción del tipo químico (llamada quimiosorción), se da cuando las moléculas se adhieren a la superficie del sólido donde se forma un enlace generalmente de tipo covalente. Una molécula quimisorbida puede fragmentarse debido a la demanda de valencias libres de los átomos superficiales y la existencia de éstos fragmentos moleculares en la superficie es una razón por la que las superficies catalizan una reacción. Puesto que la adsorción depende del número de los lugares desocupados en el adsorbente, aquellos deben encontrarse en proporción a la masa del sólido, es importante el manejo de variables como la masa adsorbida por unidad de masa del adsorbente m y la fracción de sitios ocupados Θ . Se sabe que m es una medida del grado de saturación de sitios disponibles por unidad de masa del adsorbente y que m es proporcional a Θ (Izquierdo, Cunil, Tejero, Iborra, & Fite, 2014).

Cuantitativamente, las ecuaciones que relacionan m con la concentración del adsorbato, obtenidas a temperatura constante, se denominan isothermas de adsorción. En la literatura puede encontrarse una variedad de ellas, las más comunes, sobre todo para cuando se tiene una adsorción de tipo monocapa son la de Freundlich y la de Langmuir.

La isoterma de Freundlich

La isoterma de *Freundlich* fue una de las primeras ecuaciones propuestas, ésta isoterma es aplicable a sistemas no ideales y falla si es muy alta la concentración (o presión) del adsorbato (Izquierdo, Cunil, Tejero, Iborra, & Fite, 2014), su ecuación es:

$$m = KC^{1/n} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde C es la concentración del adsorbato en el equilibrio, k y n son constantes empíricas que pueden determinarse experimentalmente, n es un parámetro adimensional que está relacionado con la intensidad de la adsorción. Al linealizar la ecuación (1) se obtiene:

$$\ln(m) = \ln K + \frac{1}{n} \ln C \quad \text{Ec. 2}$$

Por lo que al graficar $\ln m$ contra $\ln C$ se espera que sea una recta, si los datos siguen el modelo de *Freundlich*. Utilizando los parámetros de la recta se pueden obtener k y n .

La isoterma de Langmuir

La isoterma de *Langmuir* es una expresión matemática sencilla ya que el fundamento de su deducción está basado en que todas las partes de la superficie se comportan exactamente del mismo modo. Esta isoterma se deduce para un proceso de adsorción representado por la reacción química de equilibrio (Izquierdo, Cunil, Tejero, Iborra, & Fite, 2014):



Donde A representa al adsorbato, s a un sitio disponible sobre el sólido, y $A-s$ un átomo o molécula del adsorbato unido a un sitio activo. La ecuación de equilibrio correspondiente es:

$$K = \frac{x_{A-s}}{Cx_s} = \frac{\theta}{C(1-\theta)} \quad \text{Ec. 4}$$

Aquí x_{A-s} y x_s representan las fracciones molares de los sitios ocupados y libres, respectivamente y K es la constante de equilibrio para la adsorción. Como m es proporcional a θ , puede escribirse $m = b\theta$, donde b es una constante de proporcionalidad. Despejando θ de la ecuación (4), multiplicando por b e invirtiendo la expresión se obtiene:

$$\frac{1}{m} = \frac{1}{b} + \frac{1}{bKC} \quad \text{Ec. 5}$$

Por lo que una gráfica de $1/m$ contra $1/C$ dará como resultado una línea recta si los datos corresponden al modelo de *Langmuir*. De los parámetros de la recta se obtienen b y K . K es una constante relacionada con la entalpía de adsorción y b está relacionada con el área superficial del sólido, es una medida de la capacidad de adsorción del adsorbente para el adsorbato particular en estudio (Izquierdo, Cunil, Tejero, Iborra, & Fite, 2014).

2.15 Modelado de Columnas de Lecho Fijo

Hoy en día la alternativa más usada comúnmente para el tratamiento de aguas residuales es el sistema de columna de lecho fijo porque desde un punto de vista más viable y práctico debido a que los procesos de biosorción en la industria de tratamiento de aguas se hace de manera continua; debido a que en este tipo de sistemas tanto la fase sólida como la fase líquida la concentración puede variar es por ello que para la optimización y el diseño a gran escala se realiza la modelización o un modelo aproximado cuantitativo, en este tipo de modelos se puede apreciar perfectamente lo que se conoce como curvas de rupturas (Kumar, 2013).

Una curva de ruptura típica es la que se muestra en la Figura 3 y representa la relación entre las concentraciones de contaminante a la salida y a la entrada de la columna frente al tiempo o al volumen circulado. La zona de transferencia de masa es la superficie del lecho en la que ocurre la sorción. El fluido entra en la columna y circula a través de un

lecho que no contiene soluto de forma que, cuando entra en contacto con el sorbente, el soluto es rápidamente retenido durante el primer contacto. Este fluido abandona la columna prácticamente libre de iones metálicos. Cuando el volumen de fluido comienza a atravesar la columna, empieza a definirse una zona de transferencia de masa que varía desde el 0 % de la concentración inicial (correspondiente al sorbente sin soluto) hasta el 100 % de la concentración inicial (correspondiente a la saturación total). De esta forma, cuando el metal ya no puede ser retenido completamente, comienza a aparecer en el fluido que abandona la columna. En el momento en que la concentración de metal en el efluente alcanza un determinado valor, generalmente relacionado con el límite de vertido permitido para ese metal, se llega al llamado punto de ruptura y se corresponde con un tiempo llamado tiempo de servicio o de ruptura, t_r , que permite determinar el volumen de efluente tratado. A partir de este punto, la representación muestra la evolución de la concentración durante el tiempo de funcionamiento de la columna, lo que se corresponde con la llamada curva de ruptura. Cuando, en la zona de transferencia, el sorbente de la columna queda totalmente saturado, las concentraciones de entrada y salida del efluente de la columna son iguales (Chu, 2003).

Desde un punto de vista práctico, el tiempo al que ocurre la saturación, t_s , se establece cuando la concentración en el efluente es superior a un valor comprendido entre el 90 % y el 95 % de la concentración inicial. En la actualidad existen muchos modelos que puede explicar lo anteriormente mencionado empleando diferentes parámetros, desde modelos semi empíricos de fácil resolución hasta modelos rigurosos que son matemáticamente más complicadas (Chu, 2003).

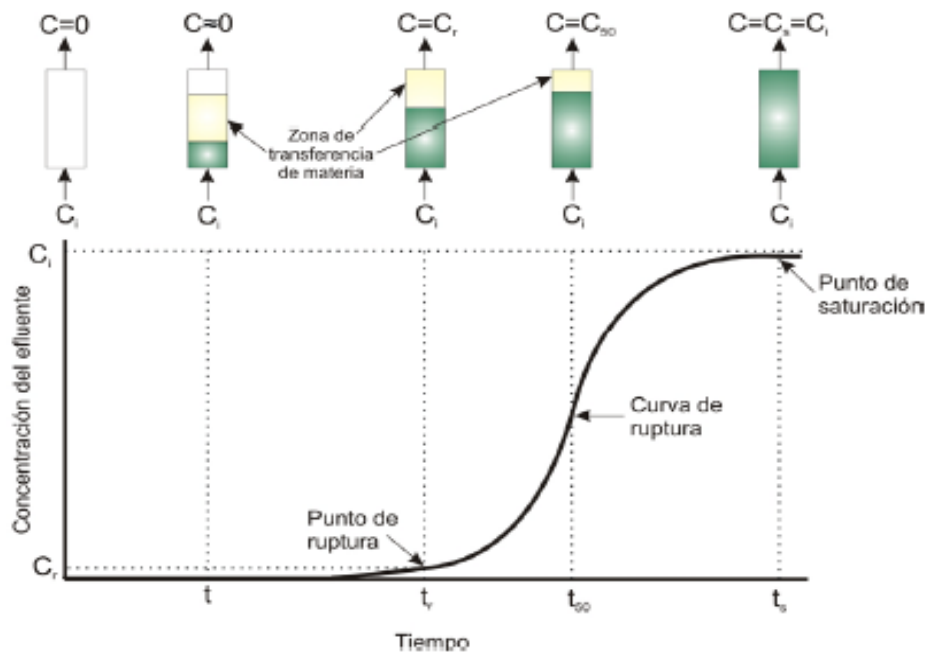


Figura 3 Concentración a la entrada y salida de la columna en función al tiempo (Kumar, 2013)

Modelado matemático del proceso de biosorción en columnas

Para calcular la capacidad de adsorción de una biomasa, es importante calcular y describir la cinética del proceso, para ello existen varios modelos matemáticos, los cuales son útiles en este aspecto, porque constituyen guías visuales para el diseño experimental y suministran las predicciones para la ejecución del proceso de biosorción en cuestión, bajo diferentes condiciones operativas. Entre los modelos matemáticos más utilizados para describir el comportamiento dinámico de la eliminación de contaminantes en una columna de lecho fijo están los de Thomas, Yoon-Nelson y Dosis-Respuesta (Vera, Bermejo, & Uguña, 2017).

Modelo de Dosis-Respuesta

Este modelo actualmente está siendo empleado para describir los procesos de biosorción en columna, el cual tiene una importancia relativa ya que describe, la curva completa de ruptura con gran exactitud, además que puede minimizar los errores que resultan de la emplear de otros modelos, especialmente a bajos o altos tiempos de remoción. La ecuación está en función tanto del volumen del efluente como del tiempo, las cuales se muestran a continuación. (Vera, Bermejo, & Uguña, 2017).

En función del volumen del efluente:

$$\ln\left(\frac{c}{c_0-c}\right) = a * \ln V_{ef} - a * \ln\left(\frac{q_0 * mb}{c_0}\right) \quad \text{Ec. 6}$$

Representando frente al volumen, se pueden obtener los valores de los parámetros del modelo, a y q_0 , a partir de la pendiente y la ordenada en el origen.

En función del tiempo:

$$\ln\left(\frac{c}{c_0-c}\right) = \alpha * \ln\left(\frac{q}{\beta}\right) + \alpha * \ln(t) \quad \text{Ec. 7}$$

Representando $\ln\left(\frac{c}{c_0-c}\right)$ frente al tiempo, se puede obtener los valores de los parámetros del modelo, α , β y q_0 , a partir de la pendiente y la ordenada en el origen.

En este modelo, la dosis representaría el tiempo o volumen de líquido que circula por la columna y la respuesta estaría relacionada con la concentración de metal que permanece en disolución. El modelo Dosis-Respuesta permite una buena interpretación de los resultados experimentales. Este modelo ha sido comúnmente usado en diferentes tipos de procesos empezando de la industria farmacológica, en la actualidad es empleada para describir el proceso de biosorción en columna, la ecuación general que representa este modelo es (Rodríguez, Kumar, Aloma, Cabrera, & Ronda, 2014).

$$Y = b_0 - \frac{b_0}{1 + \left(\frac{X}{b_2}\right)^{b_1}} \quad \text{Ec. 8}$$

Donde X representa la dosis, Y es la respuesta en términos de porcentajes del máximo posible de respuesta, b_0 es la respuesta cuando alcanza la saturación, b_1 representa la pendiente de la función y b_2 indica la concentración a la cual el 50% de la respuesta máxima (Rodríguez, Kumar, Aloma, Cabrera, & Ronda, 2014).

2.16 Marco Legal

La normativa ambiental aplicada en el monitoreo de efluentes residuales industriales y el sector curtiembre, se detalla a continuación:

Constitución Política del Perú, (1993).

Artículo 2º Toda persona tiene derecho a la paz, a la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida.

Artículo 195º Los gobiernos locales promueven el desarrollo y la economía local, y la prestación de los servicios públicos de su responsabilidad, en armonía con las políticas y planes nacionales y regionales de desarrollo. Son competentes para: Desarrollar y regular actividades y/o servicios en materia de educación, salud, vivienda, saneamiento, medio ambiente, sustentabilidad de los recursos naturales, transporte colectivo, circulación y tránsito, turismo, conservación de monumentos arqueológicos e históricos, cultura, recreación y deporte, conforme a ley.

Ley 28611 Ley General del Ambiente, la cual establece los principios y normas básicas para asegurar el efectivo ejercicio del derecho a un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, así como el cumplimiento del deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y contribución a la protección del ambiente, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población y lograr el desarrollo sostenible del país.

Ley N° 29338 - Ley de Recursos Hídricos, ley que regula el uso y gestión de los recursos hídricos. Comprende el agua superficial, subterránea, continental y los bienes asociados a esta. Se extiende al agua marítima y atmosférica en lo que resulte aplicable.

D. S. N° 001-2015-VIVIENDA: modifican diversos artículos del D.S. N° 021-2009 VIVIENDA, que aprobó los Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario así como de su Reglamento, aprobado mediante D.S. N° 003-2011 VIVIENDA y modificado por el D. S. N° 010-2012-VIVIENDA.

D.S. N° 021-2009-VIVIENDA, se aprobaron los Valores Máximos Admisibles (VMA).

D.S. N°004-2017 MINAM Aprueban Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua.

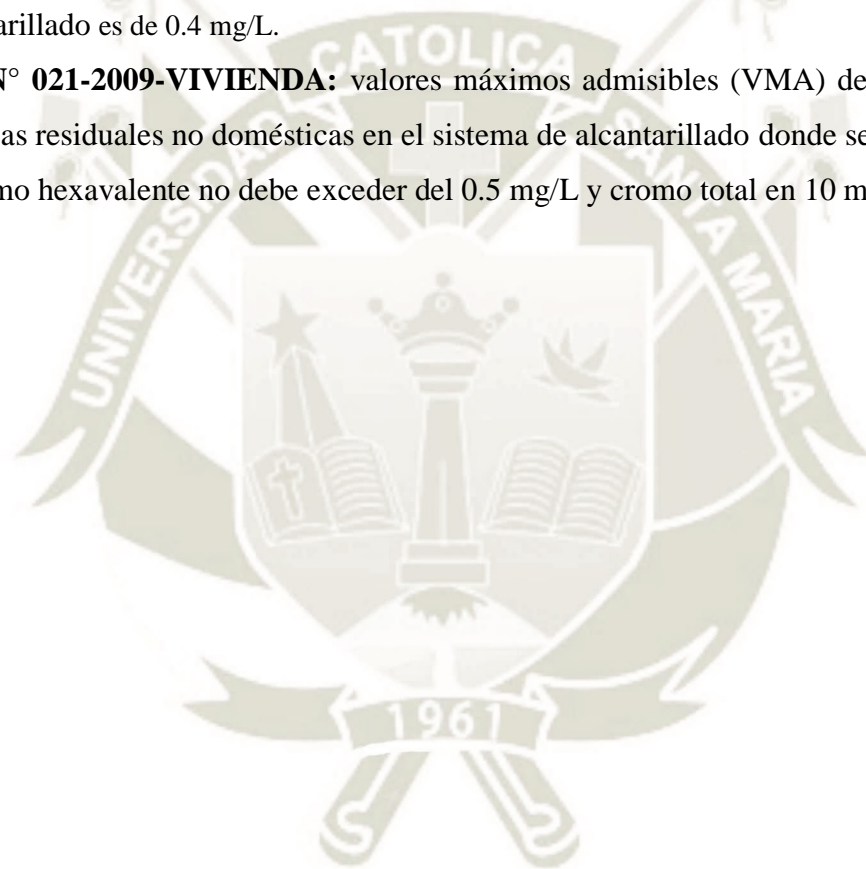
D.S. N° 003-2002-PRODUCE Aprueban límites máximos permisibles y valores referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel.

D.S. N° 017-2015-PRODUCE Reglamento de Gestión Ambiental para la Industria Manufacturera y Comercio Interno.

Resolución ministerial 026-2000-ITINCI/DM, protocolos de monitoreo de efluentes líquidos y emisiones atmosféricas.

D.S. N° 003-2002-PRODUCE: Aprueban Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel, donde se establece que para aguas superficiales en empresas que se establecieron antes de promulgar el decreto es 2.5 mg Cr/L y para empresas que se inicien después del decreto la concentración de Cr es de 0.5 mg/L; para la liberación al sistema de alcantarillado es de 0.4 mg/L.

D.S. N° 021-2009-VIVIENDA: valores máximos admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado donde se establece que el cromo hexavalente no debe exceder del 0.5 mg/L y cromo total en 10 mg/L.



Capítulo III

3. DISEÑO EXPERIMENTAL DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Caracterización de la biomasa de cáscara de papa (*Solanum tuberosum*)

-Acondicionamiento de la biomasa de papa

Las cáscaras de papa fueron obtenidas de diferentes establecimientos comerciales, se seleccionaron aquellas que presentaron un mejor estado de conservación, posteriormente se lavaron con agua destilada en un vaso precipitado de 1000ml, durante 30 minutos, con el fin de eliminar todas las impurezas solubles y suciedad, que pueda alterar los resultados de sorción (Cabrera, 2017). La biomasa ya lavada se colocó en papel aluminio para su posterior secado en la estufa.

En una estufa marca SEL-HORN R-3L a una temperatura de 90° C se secó la biomasa, por un lapso de 24 horas con el fin de eliminar la humedad contenida en la cáscara. A continuación se procedió con el proceso de pulverizado, con ayuda de un mortero; y luego con el tamizado, utilizando un tamiz n° 60 (Cabrera, 2017) (Tejada, Villabona, & Jimenez, 2017).

Se separaron dos muestras de biomasa tamizada, una de ellas se empleó para determinar los grupos funcionales presentes, mientras que la otra muestra fue utilizada para determinar el tamaño de partícula, pH, cenizas totales, densidad y porosidad, como se detalla en el punto 3.1.1.

A la biomasa restante se le añadió ácido sulfúrico 2M, hasta lograr un pH=1; en una proporción de 20 gr. de biomasa en 100 ml. de solución; durante 24 horas, a una agitación constante de 150 rpm. Luego de este tiempo se realizaron varios lavados con agua destilada. Posteriormente la biomasa ya lavada, se secó por 12 horas, en una estufa a 70°C (Tejada, Villabona, & Jimenez, 2017).

3.1.1 Determinación de parámetros fisicoquímicos de la biomasa de cáscara de papa

➤ **Tamaño de partícula.**

El análisis granulométrico se realizó con una fracción de 10g de la biomasa obtenida de la cáscara del tubérculo de la papa utilizando un juego de tamices U.S.A Estándar Testing Sieve; recolectando la fracción final de menor granulometría (menor a 250 mm) para posteriormente determinar su peso final (Ordoñez A. , 2017).

➤ **pH**

Se determinó el pH de la biomasa de la cáscara de papa agregando 90ml de agua destilada con 5 g de cáscara de papa previamente tamizada (menor a 250mm) posteriormente se procedió a homogenizar por un tiempo de 15 min, este proceso se repitió por tres ocasiones; por último, se midió el pH de la solución homogenizada utilizando un pH-metro con los resultados obtenidos se procedió a realizar el promedio de los valores obtenidos (Ordoñez A. , 2017).

➤ **Cenizas totales**

Para la determinación de cenizas totales se pesó los crisoles vacíos, luego se colocó 2 g del biosorbente de la cáscara de papa previamente tamizada con granulometría menor a 250 mm en los crisoles y se pesó nuevamente, posteriormente se incinero en una mufla durante 2 horas a una temperatura de 200 °C, después se elevó la temperatura a 550 °C por 8 horas, ya terminado este proceso cada uno de los crisoles fue retirado, hasta llevarlos a temperatura ambiente, luego se determinó el peso de los crisoles haciendo uso de una balanza analítica, la prueba descrita fue realizara por triplicado, con los resultados obtenidos se procedió a calcular el respectivo promedio (Ordoñez A. , 2017).

➤ **Densidad Aparente y Densidad real**

En primer lugar, se pesó una probeta vacía de 10 ml en una balanza analítica, se agregó biosorbente de la cáscara de papa previamente tamizada de tamaño de menor a 250 mm hasta los 10 ml luego se golpeó ligeramente hasta lograr una compactación total del biosorbente en la probeta, por último, se procedió a registrar el peso la probeta con la muestra. Para realizar la prueba de la densidad real se emplearon picnómetros que

primeramente fueron pesados en una balanza analítica para la determinación de su peso inicial; se tomaron 2 g de biosorbente de cáscara de papa previamente tamizado de tamaño de partícula menor a 250 μ m que fueron colocados en cada picnómetro, luego se pesó nuevamente y se anotaron los datos obtenidos; a continuación, se llenaron con agua destilada los picnómetros con muestra desalojando el aire contenido en el picnómetro, se dejó en reposo para luego pesarlo por último se lavaron los picnómetros que se volvieron a llenar pero solo con agua destilada y nuevamente se determinaron sus pesos. Los dos procedimientos tanto para densidad real como para densidad aparente fueron realizados por triplicado, con los datos obtenidos se obtuvieron los promedios respectivos y la aplicación de la fórmula para saber el porcentaje de porosidad que tiene la biomasa de cáscara de papa (Ordoñez A. , 2017).

➤ Porosidad

Para determinar la porosidad del biosorbente se siguió la fórmula expresada en la siguiente ecuación, para lo cual en primera instancia se debe para lo cual en primera instancia se debe

$$\%P = 100\left(1 - \frac{\delta A}{\delta R}\right) \quad \text{Ec. 9}$$

Donde

δR : Densidad real.

δA : Densidad aparente.

➤ Identificación de grupos funcionales por espectroscopia de infrarrojo

La muestra separada para este fin, fue enviada a un laboratorio externo, para la realización de la prueba de espectroscopia de infrarrojo. Esta prueba se lleva a cabo mediante la realización de una pastilla con bromuro de potasio (KBr); para ello se mezcla 4 g de biosorbente de granulometría menor a 0.3 mm con 196 mg de KBr y se tritura con un mortero, hasta obtener un tamaño de partícula bastante fino, posteriormente se encapsula en discos y se procede a analizar en el equipo de espectroscopia de infrarrojo (Ordoñez A. , 2017). Se envió, además, una muestra de

biosorbente luego del proceso de adsorción, para realizar una comparación y ver como los iones metálicos afectan la composición del biosorbente.

3.2 Determinar la capacidad de sorción de cromo con biomasa de papa en función a la concentración y caudal

3.2.1 Obtención de la curva de calibración

Primeramente, se preparó una solución madre de cromo de concentración 500mg/L a partir de dicromato de potasio (Dobrosz-Gómez et.al., 2018). Luego se procedió a preparar la solución de difenilcarbazida disolviendo 2 gr de 1,5- difenilcarbazida (1,5-difenilcarbohidrazida) en 10 mL de acetona.

En fioles de 100 ml se procedió a diluir con agua destilada, volúmenes de la solución madre de cromo en un rango de 2.00 a 20.0 mL (2, 5, 10, 15 y 20 mL) para obtener estándares de 10, 25, 50, 75 y 100 % de concentración de Cr (Rodas & Ñurinda, 2016).

A las soluciones estándares preparadas se agregó 1,0 mL de la solución de difenilcarbazida y se dejó reposar hasta que desarrollo un color violeta intenso. Se transfirió una alícuota a una celda de cuarzo de 1 cm , para medir la absorbancia a 450 nm en un espectrofotómetro UV visible de marca *BOECO S-200* (Duymovich & Acheme, 2005).

3.2.2 Montaje de la columna de lecho fijo

Las columnas utilizadas para la adsorción del cromo se construyeron a partir de probetas de plástico de 20 ml, con un diámetro externo de 2.6 cm, diámetro interno de 2 cm (Calero, Blazquez, Hernainz, Ronda, & Martín-Lara, 2012) y con una altura de 10 cm. A cada una de las probetas se les retiro la parte inferior (base) y superior (Rodas & Ñurinda, 2016).

Los extremos superior e inferior de cada columna fueron sellados, dejando solo una pequeña abertura central para insertar la manguera de PVC transparente. Se rellenó cada una de las columnas con dos capas de 50 gr de gravilla previamente lavada, estas dos capas se separaron por una capa central de 10 gr de biomasa acondicionada; entre cada capa se colocaron discos de papel filtro para evitar que se mezcle la grava con la biomasa. La columna se sujetó mediante un soporte universal.

Para el ensamblaje fue necesario: un tanque de alimento, bomba peristáltica, la columna y un tanque de recolección (Fig. 4) (Ortiz J. , 2015). Primeramente para el tanque de alimento se empleó un beaker de 1000 ml, en el cual se introdujo una bomba peristáltica y se depositó 500 ml de una dilución de cromo preparada anteriormente (de acuerdo a la prueba que se iba a realizar). La bomba peristáltica permitió impulsar el afluente hacia la columna de lecho fijo a un caudal de 0.68 mL/s o de 0.05 mL/s según la prueba.

En la columna se trabajó en un rango de pH de 2 (Acosta et al, 2010) y a temperatura ambiente. Para el tanque colector se utilizaron beakers de 100 ml, colocados debajo de la columna, una vez iniciada la prueba , los beakers fueron reemplazados cada 10 minutos con el fin de tomar alícuotas del efluente obtenido, para determinar la concentración de cromo por espectrofotometría y por tanto, obtener el porcentaje del mismo que ha sido retirado por la biomasa de papa (Bermúdez,F.; Blázquez, G.; Calero ,M.; Martin, M; Leyva, J., 2009)

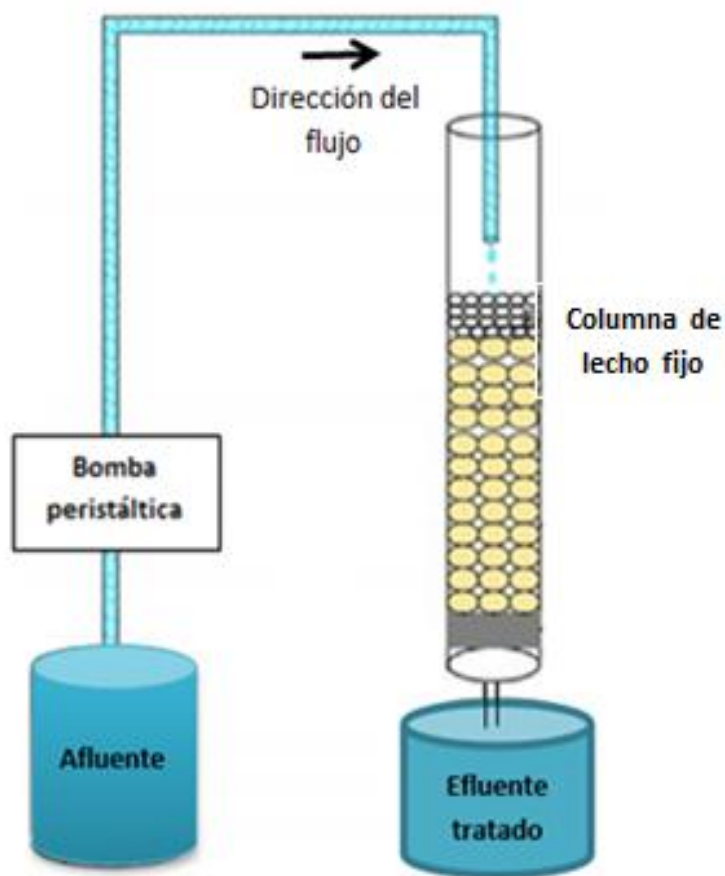


Figura 4 Esquema para el montaje de la columna de lecho fijo. Adaptado de (Sukumar, C.; Janaki, V.; Vijayaraghavan, V.; Kamala-Kannan, S., 2016)

Se trabajó con dos variables: concentración inicial de cromo y caudal, realizando ensayos por triplicado (Castellar G.; Cardozo B.; Suarez J.; Vega J., 2013).

Las condiciones de operación para cada uno de los experimentos que se realizaron se indican en la tabla 3.

Tabla 3 Condiciones de operación de la columna de adsorción

Experimento	pH	Altura de lecho (cm)	Biomasa (gr)	Concentración inicial de Cr (mg/l)	Caudal (ml/s)
1	2	10	10	490	0.68
2					0.05
3				350	0.68
4					0.05
5				210	0.68
6					0.05

*Adaptado de: Sukumar et al (2016); Rodas & Ñurinda (2016)
Elaboración propia.*

Una vez realizada la experimentación, se elaboró la curva de ruptura de cada uno de los experimentos, graficando Concentración de Cr (mg/L) vs t.

- **Análisis estadístico de los datos**

Los resultados obtenidos de la biosorción de Cromo, se procesaron en el paquete estadístico SPSS, realizando el análisis de varianza (ANOVA) con arreglo trifactorial, con 95 % de confiabilidad, para determinar si existe una diferencia significativa entre los tratamientos; posteriormente se realizó el Test de Tukey para descubrir que tratamiento brinda mejores resultados.

3.3 Evaluar la capacidad de sorción con efluente de curtiembre proveniente del Parque Industrial de Rio Seco.

3.3.1 Toma de muestra y análisis de la concentración de cromo del efluente

La muestra fue colectada de un efluente proveniente de una curtiembre ubicada en el parque industrial de Rio Seco, para la toma de la muestra se consideraron las siguientes

medidas: antes de llenar el envase con la muestra, se purgó dos o tres veces con el agua que se va a recoger; se rotuló cada envase indicando fecha, hora, localización exacta, la elección del lugar y la profundidad (Borda, 2014).

Se colectaron aproximadamente 800 ml de muestra, los cuales fueron dispuestos en envases plásticos esterilizados; 100 ml fueron enviados a un laboratorio acreditado para el análisis del contenido de cromo (APHA, 1985) según los métodos normalizados de la Tabla N°4, para luego ser comparados con los Valores Máximo Admisibles (VMA).

Tabla 4 Metodología empleada por el laboratorio acreditado para el análisis de la muestra

Parámetro	Método utilizado
Cromo total	Espectroscopia de Absorción Atómica de llama (FAAS)

Elaboración propia

3.3.2 Ensayo con la muestra obtenida del efluente

Con los mejores resultados obtenidos de adsorción se procedió a realizar una prueba con el efluente obtenido, utilizando 500ml de efluente al 50% de concentración, a temperatura ambiente.

3.4 Determinar la capacidad de desorción de la biomasa de cáscara de papa

Los reactivos básicos más utilizados para formar hidróxido con el cromo son los hidróxidos de sodio, calcio y magnesio, se sabe que la soda cáustica tiene una solubilidad muy elevada (112 g/ml), comparada con las de los hidróxidos de calcio y de magnesio. Además el hidróxido de magnesio es de menor accesibilidad comercial y por lo mismo, tiene mayor costo. Por otra parte, se busca obtener el hidróxido de cromo libre de la presencia de otros hidróxidos precipitados, lo que no podría lograrse al utilizar los de calcio con una solubilidad de 0,120 g/mL y magnesio con una solubilidad de 0,0012 g/mL teniendo así una baja solubilidad en agua (Pinilla, 2014).

Se realizó el ensayo de proceso de recuperación de cromo con hidróxido de sodio 2M como agente precipitante, para obtener un pH inicial de 9 sobre la concentración final, el ensayo se realizó por triplicado, el ajuste del pH es debido a que según bibliografía se encontró que pH mayores a 10 no son adecuados, porque el cromo forma iones complejos muy solubles en agua, impidiendo su precipitación como hidróxido, en caso

de cantidades pequeñas titular con clorato de potasio 1M con gotas de hidróxido de potasio (Ortiz N. , 2013).



Capítulo IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

4.1. Caracterización de la biomasa de cáscara de papa (*Solanum tuberosum*)

Se presenta los resultados obtenidos de la caracterización de la cáscara de papa en la siguiente tabla 5.

Tabla 5 Caracterización realizada al biosorbente

Parámetro	Valor
Ph	6.7
tamaño de partícula	menor a 250 nm
Humedad	12.062%
cenizas totales	33.50%
densidad aparente	0.813 g/ml
densidad real	1.287 g/ml
Porosidad	36.77

Fuente: Autoría propia

El pH del biosorbente se considera un parámetro muy importante para el proceso de activación de la biomasa, en esta investigación alcanzó un valor promedio de 6.7; comparado con el estudio realizado por (Ordoñez, 2017) en el cual se utiliza la cáscara de papa como biosorbente obtuvo un valor de pH 6.7; si nos basamos en la bibliografía anteriormente consultada nos valida que el valor hallado es aceptable, la cáscara de papa posee este valor de pH debido a la naturaleza de su composición por lo que es razonable el valor presentado.

Posteriormente se procedió a determinar el tamaño de partícula del biosorbente empleado, obteniendo un tamaño de partícula menor a 250 nm. Según el estudio realizado por (Jauregui,2015) el tamaño de las partículas del biosorbente es un factor importante que influye en el proceso de retención de iones metálicos donde menciona

que las partículas de menor granulometría realizan la remoción del metal de manera más rápida y con mayor extensión debido al mayor área de contacto que presente.

El biosorbente estudiado presenta 12.062% de humedad, según (Valverde & Lezama, 2017) cuyos valores de humedad de la cáscara de papa dieron como resultado un 12.07% se establece que los resultados obtenidos son óptimos para la presente investigación puesto que un elevado valor puede producir aglomeraciones de la biomasa que podría ser un interferente en el proceso de biosorción ya que no existiría una adecuada exposición de la superficie de contacto con los sitios activos del biosorbente.

Los valores altos de cenizas totales no son recomendables por ser interferentes en el proceso de biosorción en el estudio de (Zamora, 2010), indica que el porcentaje de ceniza ayuda a determinar el contenido de minerales, debido a que existe presencia de impurezas capaces de interferir en el proceso de captación de metales pesados, por lo tanto el valor de cenizas obtenido en este trabajo (33.50%) se considera aceptable para el proceso de biosorción.

La densidad aparente que presenta el biosorbente analizado es de 0.813 g/ml, comparando con el valor obtenido de la densidad de cáscara de papa (0.83 g/ml) por (Valverde & Lezama, 2017) en su trabajo de hidrólisis, se determina que esta cercano al reportado por estos autores. La densidad está muy ligada a la naturaleza del material biosorbente ya que se sabe que los materiales biosorbente con más altas densidades pueden presentar mayores resultados en procesos de biosorción siendo este un motivo por el cual son utilizados en procesos de sorción de metales.

En cuanto a nuestros valores de densidad real es de 1.287 g/ml, el estudio realizado por (Ordoñez, 2017) mostro un valor de 1.4 g/ml deduciendo que nuestro valor no está lejos del valor de referencia por lo que nuestro resultado es aceptable.

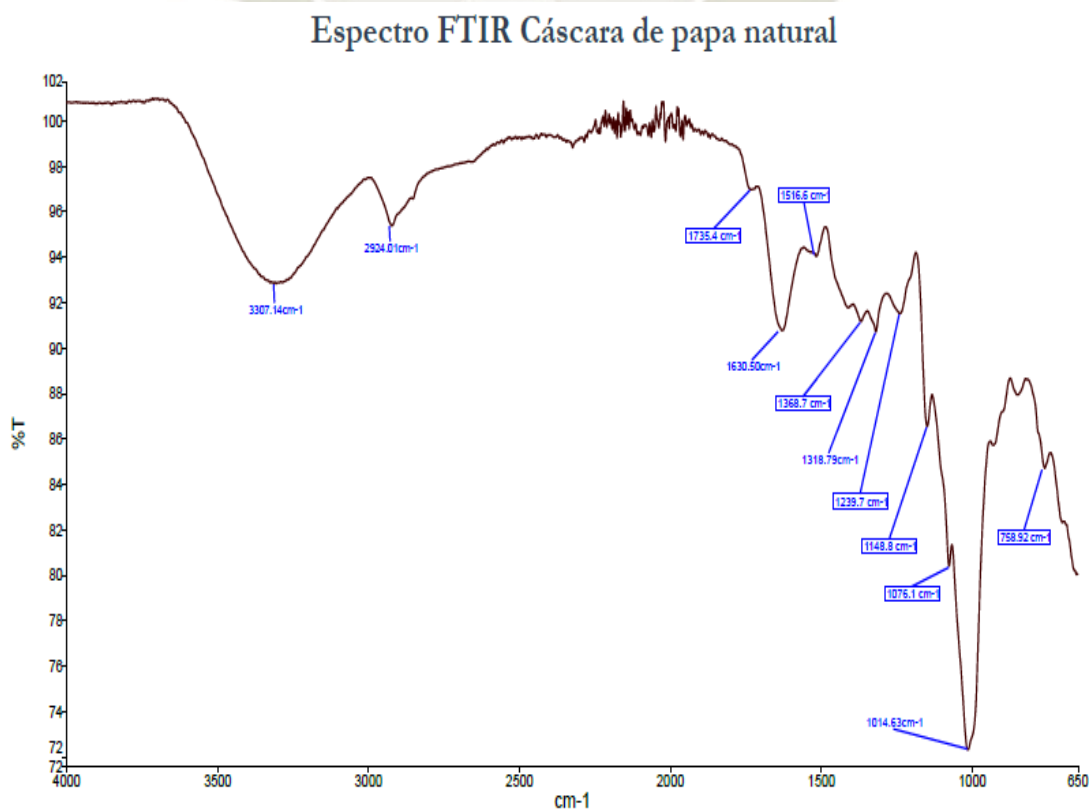
El valor de la porosidad del biosorbente es de 36.77 %, comparado con el estudio realizado por (Ordoñez, 2017) que realizó un estudio con cáscara de papa donde el valor de porosidad fue de 41.17% se puede deducir que el valor obtenido no está lejos del valor referencial, esta propiedad está directamente relacionada con los sitios de contactos y la presencia de sitios activos en el biosorbente.

4.1.1 Identificación de los grupos funcionales por espectroscopia infrarroja

En la figura 5, se presenta el espectro de infrarrojo FTIR de la cáscara de papa, antes del proceso de adsorción. El pico de absorción ancho alrededor de 3307.14 cm^{-1} , corresponde a la tensión del grupo hidroxilo O-H, característico de la celulosa, hemicelulosa y lignina (Barrera, J.; Esquivel, H., 2018). El pico observado a 2924.01 cm^{-1} puede atribuirse a las vibraciones de enlaces C-H (Bolio, G.; Valadez, A.; Veleva, L.; Andreeva, A., 2011), de los grupos -CH, -CH₂ y -CH₃. Los picos que se muestran alrededor de 1148.80 cm^{-1} y 1076.10 se deben al enlace de los grupos C-O-C y de los grupos C-O-H, el pico de 1735.40 cm^{-1} se asigna a la vibración de estiramiento de los enlaces C=O de cetonas no conjugadas presentes en la hemicelulosa.

Las vibraciones alrededor de 1014.63 cm^{-1} corresponden a los enlaces simples C-O de grupos alcohólicos, (Barrera y Esquivel ,2018) mencionan que, al reducir el tamaño de partícula del material, se incrementa tanto el área superficial del material, como el número de grupos funcionales expuestos en su superficie, lo que podría mejorar su desempeño en la adsorción del Cr.

Figura 5 Grafica del Espectro FTIR de cáscara de papa antes del proceso de



adsorción

Los grupos funcionales presentes en la superficie de la cáscara de papa se muestran en la tabla 6.

Tabla 6 Bandas de absorción FTIR y sus respectivos grupos funcionales de la muestra de cáscara

Banda (cm-1)	Vibracion	Grupo Funcional
3307.14	O-H (estiramiento)	Grupo hidroxilo
2924.01	C-H (estiramiento)	Grupo metoxilo
1735.40	C=O (estiramiento)	Grupo carbonilo
1630.50	C=C o C=O (defromacion)	Grupos aromaticos
1516.50	C=C o C=O (defromacion)	Grupos aromaticos
1368.70	C-H	Alifatico*
1318.79	C-H	Alifatico*
1239.70	C=C	Alqueno
1148.80	C-O-C y C-O-H	Glucosidicos
1076.10	C-O-C y C-O-H	Glucosidicos
1014.63	C-O	Grupos alcoholicos
758.92	C=C-H	Alqueno

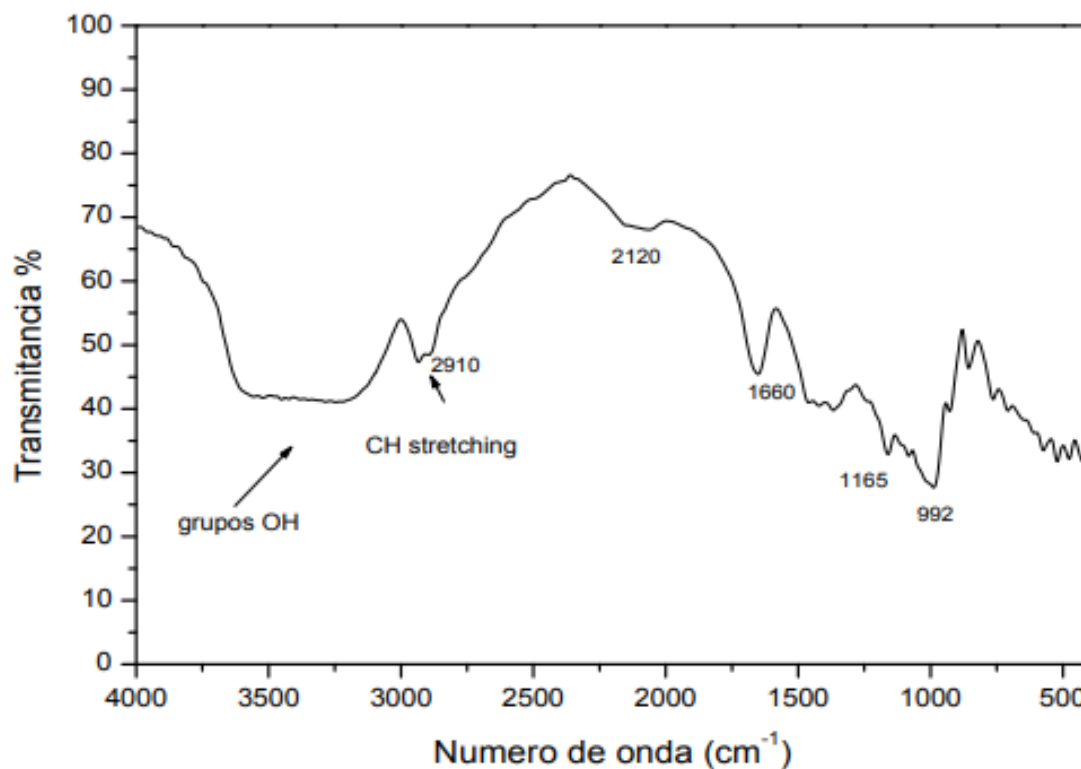
Fuente: informe anexo 4

**Los grupos alifáticos son aquellos que están constituidos por una cadena carbonada de carbono-hidrogeno no aromático, los más sencillos de ejemplificar son los alcanos (cuyo grupo funcional son los alquilos) que posee una cadena lineal como estructura.*

Para poder deducir que el almidón es una de los principales componentes que actúan en el proceso de biosorción de cromo se comparó el espectro de cáscara de papa obtenido, con el espectro infrarrojo del almidón (figura 6). En este último se puede apreciar que a 3400 cm^{-1} se identifica una banda de estiramiento antisimétrica, la cual es característica de los grupos OH; a 2910 cm^{-1} se ubica el pico correspondiente al grupo metilo (CH_3); a 2120 cm^{-1} se reconoce la banda antisimétrica del grupo metileno (CH_2); a 1690 cm^{-1} la banda de estiramiento correspondiente a C=O; a 1370 cm^{-1} la banda de estiramiento de grupo metilo (CH_3) de acetilos; a 1165 cm^{-1} la banda de estiramiento O-C-O-C y finalmente a 992 cm^{-1} se identifica el pico perteneciente a la banda de estiramiento antisimétrico de C-O-C (Alarcón & Arroyo, 2014). Realizando la comparación se

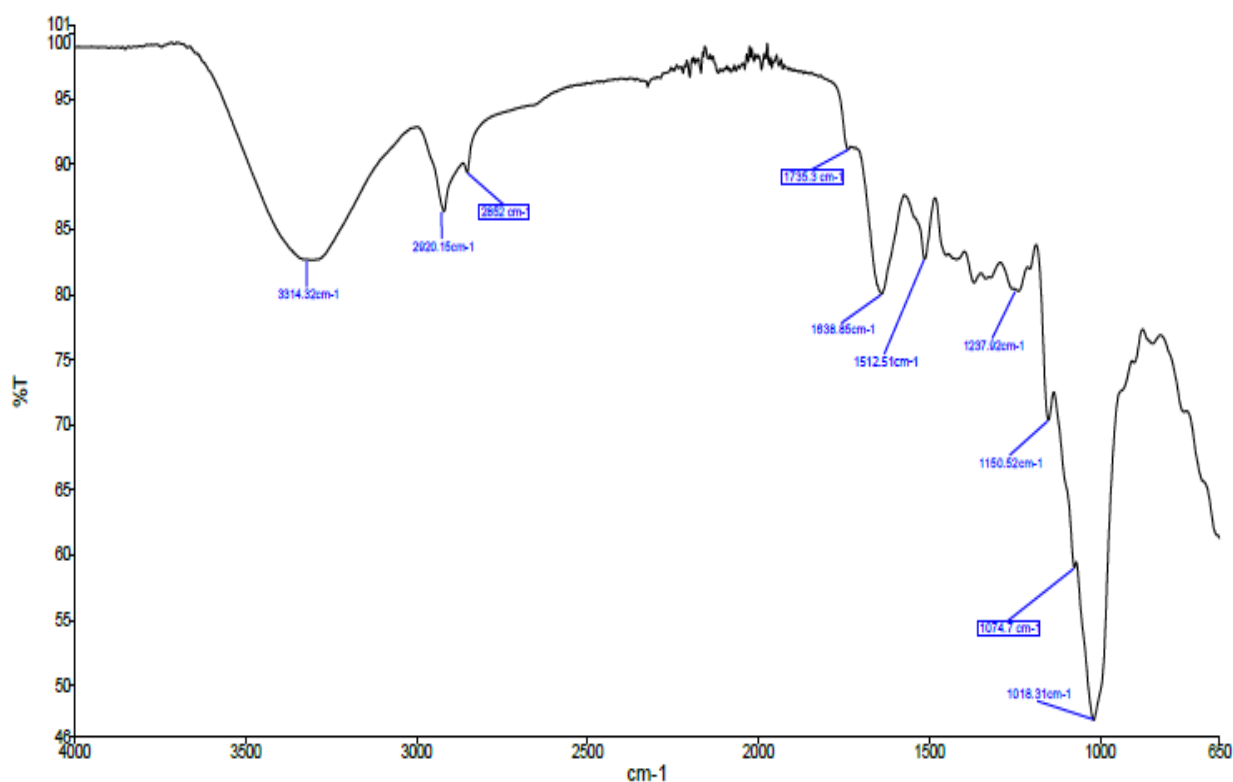
determinó que en ambos espectros, en el de la cáscara papa y en el de almidón, se presentan los mismos grupos funcionales.

Figura 6 Espectro infrarrojo del almidón presente en el tubérculo de papa



A continuación, en la figura 7, se muestra el espectro de infrarrojo FTIR de la cáscara de papa, después del proceso de sorción. Se observa una banda debida al estiramiento –OH (grupo hidroxilo) a 3314.32 cm^{-1} , sin embargo a una longitud de onda de 2920.15 cm^{-1} se evidencia el estiramiento C-H (grupo metoxilo). Por otra parte, el estiramiento simétrico C-O aparece a 1018.31 cm^{-1} y el estiramiento C-O-C glucosídico se ubica en las frecuencias 1150.52 y 1074.70 cm^{-1} . En este caso se observan la presencia de grupos alifáticos, los cuales no existían en la cáscara de papa antes de la adsorción, en los picos de 1368.70 y 1318.79 cm^{-1} .

Figura 7 Gráfica del Espectro FTIR de cáscara de papa después del proceso de adsorción



En la tabla 7 se muestran los grupos funcionales que se presentan en la cáscara, de acuerdo, al espectro FTIR.

Tabla 7 Bandas de absorción FTIR y sus respectivos grupos funcionales

Banda (cm-1)	Vibración	Grupo Funcional
3314.32	O-H (estiramiento)	Grupo hidroxilo
2920.15	C-H (estiramiento)	Grupo metoxilo
2852.00	C-H	Alcano
1735.30	C=O (estiramiento)	Grupo carbonilo
1638.85	C=C o C=O (deformación)	Grupos aromáticos
1512.51	C=C o C=O (deformación)	Grupos aromáticos
1237.92	C=C	Alqueno
1150.52	C-O-C y C-O-H	Glucosídicos
1074.70	C-O-C y C-O-H	Glucosídicos
1018.31	C-O	Grupos alcohólicos

Fuente: Informe anexo 5

Con todos los datos obtenidos se deduce que los grupos funcionales presentes en la superficie corresponden a compuestos de lignina y celulosa, las cuales están compuestas por grupos funcionales con oxígeno que posibilitan la interacción con los contaminantes disueltos (Bermejo, 2016).

4.2. Determinación de la capacidad de sorción con biomasa en función a la concentración

Para lograr determinar la influencia de la concentración en el proceso de biosorción se evaluaron distintas concentraciones las cuales fueron al 70% (490mg/L), 50% (350 mg/L) y al 30% (210 mg/L), la presencia de la variable de caudal fue necesaria para evaluar las concentraciones a un caudal máximo y mínimo.

Isotermas de Adsorción

➤ Isoterma de Langmuir a mayor caudal

Para determinar la isoterma de Langmuir mencionada anteriormente se trabajó con con la biomasa de cáscara de papa con un peso de 10g del biosorbente previamente tamizada con un tamaño de partícula menor a 250nm, con pH de 2 y 500 ml de una solución de cromo de acuerdo a las diferentes concentraciones que fueron anteriormente señaladas.

La determinación de la concentración máxima de biosorción es muy importante, por ello, es necesario determinar los valores de q_{max} (capacidad de sorción) y b (coeficiente de afinidad) de la ecuación lineal de Langmuir (Ecuación de Langmuir); en la tabla 8 se visualizan todos los parámetros que fueron aplicados para determinar el modelo lineal de la isoterma de Langmuir ; para graficar dicha isoterma se procede a calcular el valor de $1/q$ y $1/C_e$ donde el valor de q (concentración de adsorción) se obtiene mediante la ecuación 4 que se encuentra en el punto 2.1.3.

Con este tipo de isotermas se puede obtener el RL que nos permite determinar si el sistema isotérmico es irreversible ($RL = 0$), si es favorable ($0 < RL < 1$) o si es desfavorable y la biosorción del metal no es significativa ($RL > 1$), en este trabajo los valores RL obtenidos varían de 0.0028 a 0.0047, al estar estos resultados comprendidos en un rango de 0 a 1 se demuestra que el sistema isotérmico es favorable , Ordoñez (2017) también presento un RL entre el rango de 0 a 1 para la

cáscara de papa confirmando de esta manera que el biosorbente presenta cierta afinidad por metales como el cromo.

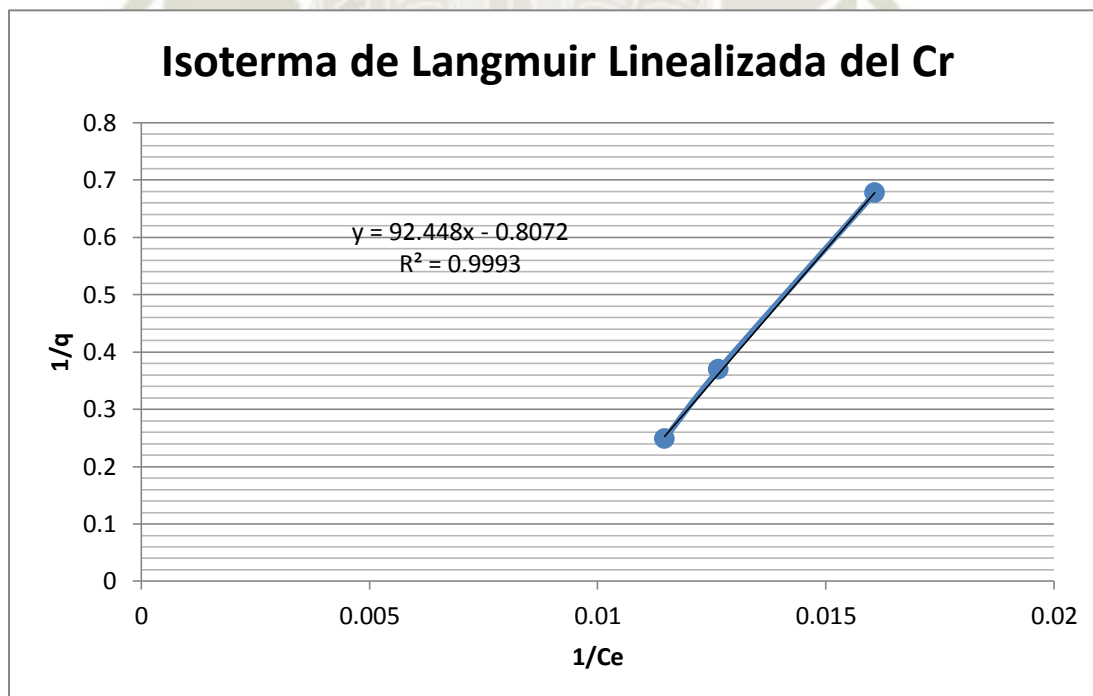
Tabla 8 Parámetros para el modelo lineal de Langmuir para el Cromo

Masa	Ci (mg/l)	Ce(mg/l)	1/CE	q (mg/g)	1/q
10	490	87.2	0.011	4.03	0.25
10	350	75.4	0.013	2.75	0.36
10	210	62.2	0.016	1.47	0.68

Fuente: autoría propia

En la figura 8 se puede observar la gráfica de regresión lineal de 1/q en función a 1/CE con una pendiente de 92.448 e intercepción de 0.8072 a partir de estos resultados se obtuvo la capacidad máxima de sorción (qmax) con un valor de 1.23 mg/g de Cr con una constante de afinidad $b=0.008$, nuestro valor de correlación (R^2) de 0.9923, Cabrera (2017) realizó pruebas con cáscara de tomate (familia de la papa) donde obtuvo un grado de correlación de 0.99 con un RL de rango entre 0 y 1 comprobando así la eficiencia de esta familia como biosorbente de cromo.

Figura 8 Gráfica de Isotherma de biosorción de Langmuir linealizada para el Cromo



➤ **Isoterma de Langmuir a menor caudal**

Este tipo de isotermas nos permitió determinar la capacidad máxima de sorción (q_{max}) y el coeficiente de afinidad (b) en la tabla 9 se visualizan todos los parámetros que fueron aplicados para determinar el modelo lineal de la isoterma de Langmuir; para graficar dicha isoterma se procede a calcular el valor de $1/q$ y $1/C_e$ donde el valor de q (concentración de adsorción) se obtiene mediante la ecuación 4 que se encuentra en el punto 2.1.3., estos datos nos ayudaron a determinar si el sistema isotérmico era favorable o no (RL).

Con este tipo de isotermas se puede obtener el RL que nos permite determinar si el sistema isotérmico es irreversible ($RL = 0$), si es favorable ($0 < RL < 1$) o si es desfavorable y la biosorción del metal no es significativa ($RL > 1$) en este trabajo los valores RL obtenidos van de 0.0020 a 0.0047 ya que estos están en un rango de 0 a 1 demostrando que el sistema isotérmico es favorable, según (Ordoñez, 2017) que también presento un RL entre el rango de 0 a 1 para la cáscara de papa confirmando de esta manera que el biosorbente presenta cierta afinidad por metales como el cromo.

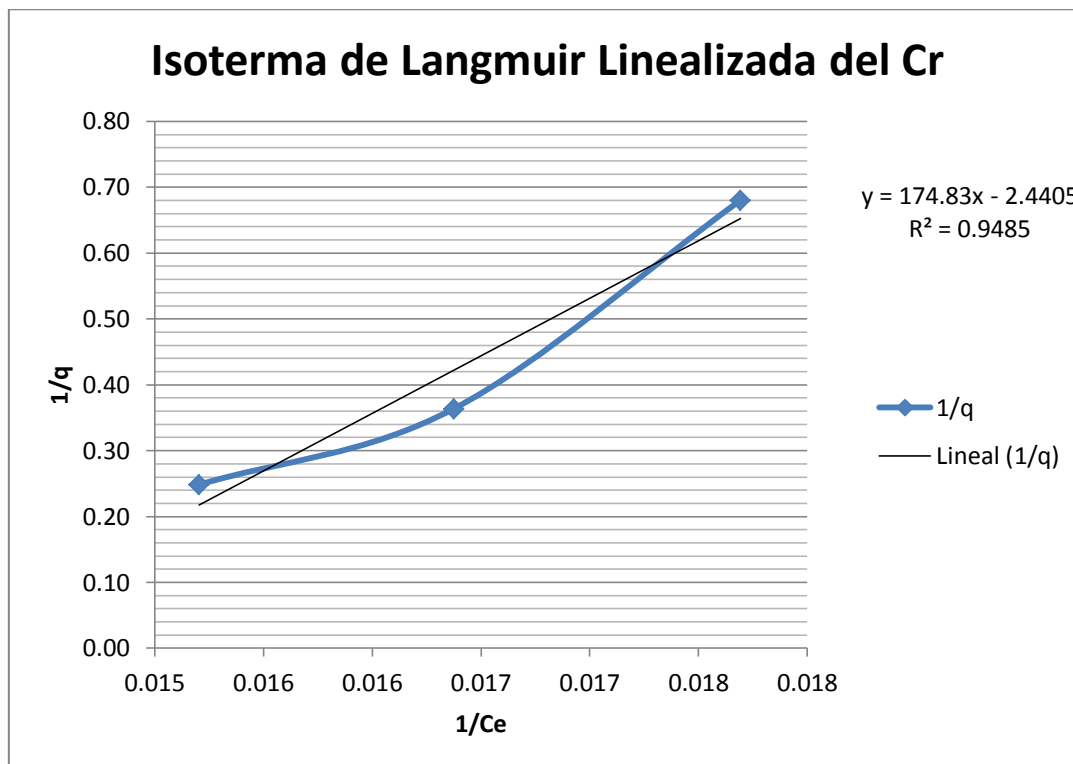
Tabla 9 Parámetros para el modelo lineal de Langmuir para el Cromo

Masa	C_i (mg/l)	C_e (mg/l)	$1/C_e$	q (mg/g)	$1/q$
10	490	65.78	0.015	4.03	0.25
10	350	61.07	0.016	2.75	0.36
10	210	56.52	0.018	1.47	0.68

Fuente: autoría propia

En la figura 9 se puede observar la gráfica de regresión lineal de $1/q$ en función a $1/C_e$ con una pendiente de 174.83 e intercepción de 2.4405 a partir de estos resultados se obtuvo la capacidad máxima de sorción (q_{max}) con un valor de 0.409 mg/g de Cr con una constante de afinidad $b=0.014$, nuestro valor de correlación (R^2) de 0.9485.

Figura 9 Gráfica de Isoterma de Biosorción de Langmuir linealizada para el Cromo



Isoterma de Freundlich

➤ **Isoterma de Freundlich a mayor caudal**

La isoterma de Freundlich es un modelo cuya grafica relaciona la concentración del metal que se encuentra en la superficie de sorbente con la concentración del metal que se encuentra en la superficie de biomaterial aplicando la ecuación 2 se determinó n que es la constante relacionada con la intensidad de sorción del biosorbente en función de su grado de heterogeneidad y K que vendría a ser la constante de Freundlich relacionada con la capacidad de sorción del biosorbente; en la tabla 10 se presenta los resultados obtenidos que permitió determinar q (valor de la concentración de adsorción).

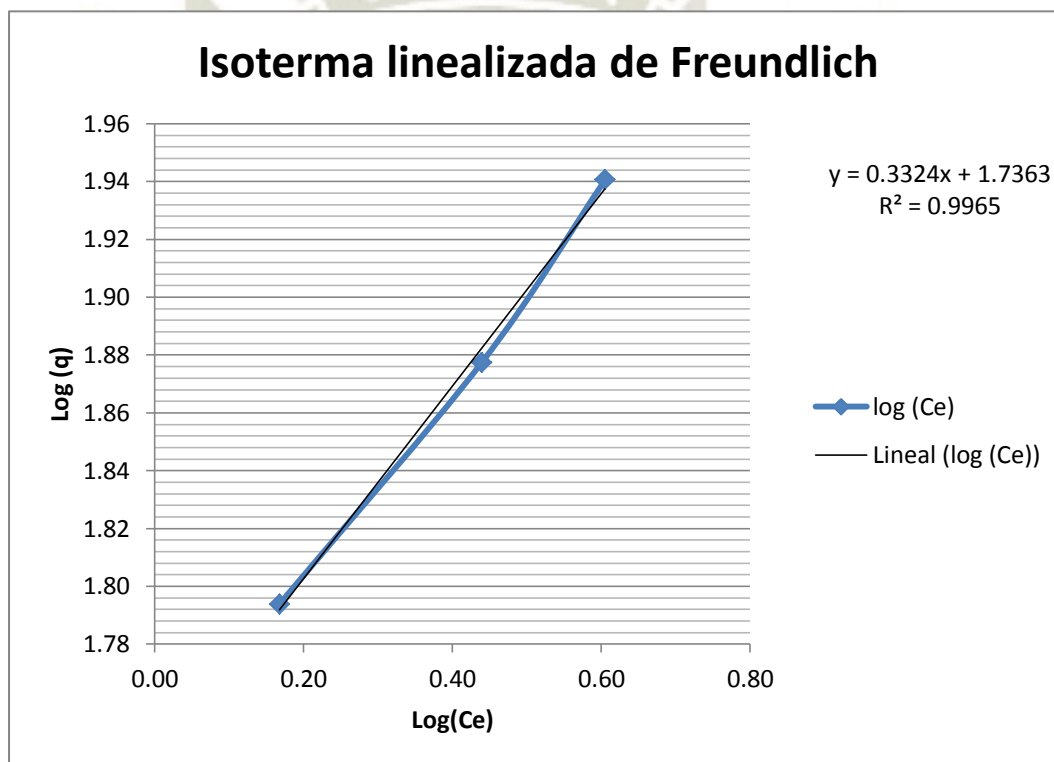
Tabla 10 Parámetros para el modelo lineal de Freundlich para el Cromo

masa (g)	Ci (mg/l)	Ce (mg/l)	q (mg/g)	log (q)	log (Ce)
10	490	87.20	4.03	0.61	1.94
10	350	75.40	2.75	0.44	1.88
10	210	62.20	1.47	0.17	1.79

Fuente propia

Con el modelo de Freundlich linealizado ($\log q$ y $\log C_e$) obtuvimos una pendiente de 0.3324 y ordenada al origen de 1.7363 posteriormente con estos valores se calculó la constante de Freundlich relacionada con la capacidad de sorción del biosorbente que es $K=5.67$ que al ser mayor a 1 demostró que existe una capacidad significativa de sorción del biosorbente y $n=3.00$ que al ser mayor a 1 nos indicó que existe una afinidad significativa del biosorbente por el cromo, según (Ordoñez ,2017) que realizo estudio con la biomasa de papa presentando valores de $K=5.65$ y $n=2.55$ podemos deducir que la biomasa de papa tiene una gran disposición a la captación de iones como el cromo.

Figura 10 Gráfica de isoterma de biosorción linealizada de Freundlich para el cromo



➤ **Isoterma de Freundlich a menor caudal**

La isoterma de Freundlich es un modelo cuya grafica relaciona la concentración del metal que se encuentra en la superficie de sorbente con la concentración del metal que se encuentra en la superficie de biomaterial aplicando la ecuación 2 se determinó n que es la constante relacionada con la intensidad de sorción del biosorbente en función de su grado de heterogeneidad y K que vendría a ser la constante de Freundlich relacionada

con la capacidad de sorción del biosorbente; en la tabla 11 se presenta los resultados obtenidos que permitió determinar q (valor de la concentración de adsorción).

Tabla 11 Parámetros de aplicación para el modelo lineal de Freundlich para el Cromo

masa (g)	C_i (mg/l)	C_e (mg/l)	q (mg/g)	$\log(C_e)$	$\log(q)$
10	490	65.78	4.028	1.81809387	0.60508946
10	350	61.06	2.75	1.7857568	0.43933269
10	210	56.52	1.47	1.75220215	0.16731733

Fuente propia

Con el modelo de Freundlich linealizado ($\log q$ y $\log C_e$) obtuvimos una pendiente de 6.5841 y ordenada al origen de 11.373 posteriormente con estos valores se calculó la constante de Freundlich relacionada con la capacidad de sorción del biosorbente que es $K=1.03 \times 10^{-5}$ que al ser mayor a 1 demostró que existe una capacidad significativa de sorción del biosorbente y $n=0.15$ que al ser mayor a 1 nos indicó que existe una afinidad significativa del biosorbente por el cromo, con una relación (R^2) de 0.9968.

Figura 11 Gráfica de isoterma de biosorción linealizada de Freundlich para el cromo

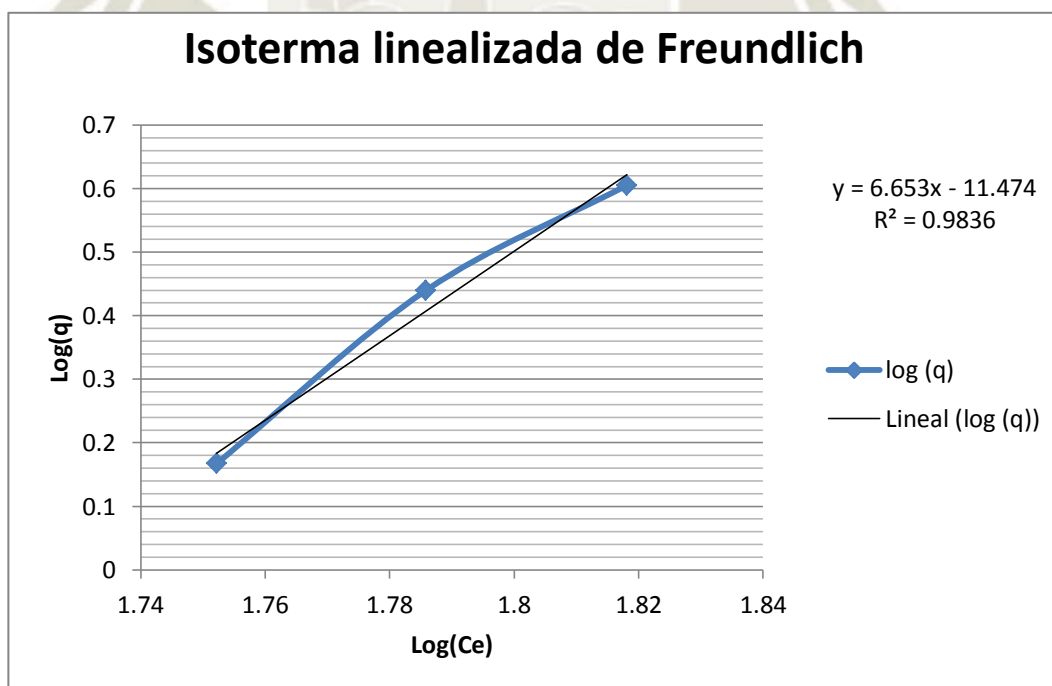


Tabla 12 Cuadro resumen de sorción de cromo en función al caudal y la concentración

Caudal	Concentraciones		
	490 (mg/L)	350(mg/L)	210 (mg/L)
0.68 ml/s	75%	69%	61%
0.05 ml/s	82%	78%	68%

La tabla 12 muestran un resumen general del porcentaje de adsorción de cromo en las concentraciones de 490 mg/l, 350 mg/l y 210 mg/l a dos caudales diferentes de 0.68 ml/s y 0.05 ml/s como se puede observar los mayores valores de adsorción de cromo se presentaron con el caudal más bajo debido a que se prolonga el tiempo de contacto entre biomasa-metal, según (Ordoñez ,2017) que realizó pruebas con cáscara de papa donde obtuvo un 74% de rendimiento de sorción de cromo y según (Cabrera F. , 2017) de 65% de sorción de cromo con cáscara de tomate (familia de la papa) se deduce que los porcentajes obtenidos de sorción de cromo son aptos, demostrando la capacidad de esta biomasa a captar metales como el cromo.

Determinación del tiempo de retención hidráulica (TRH)

La determinación del tiempo de retención hidráulica (TRH) nos permitió determinar el tiempo de permanencia del cromo en la biomasa para ello se usaron los valores del volumen y el caudal; para el mayor caudal de 0.68ml/s resultó un TRH de 18.08 s y para el menor caudal de 0.05 ml/s se obtuvo un TRH de 4.1 min (246 s); es decir que el fluido de cromo se tarda en salir aproximadamente 4 min, esto explica porque este caudal presenta mejores resultados en el porcentaje de biosorción.

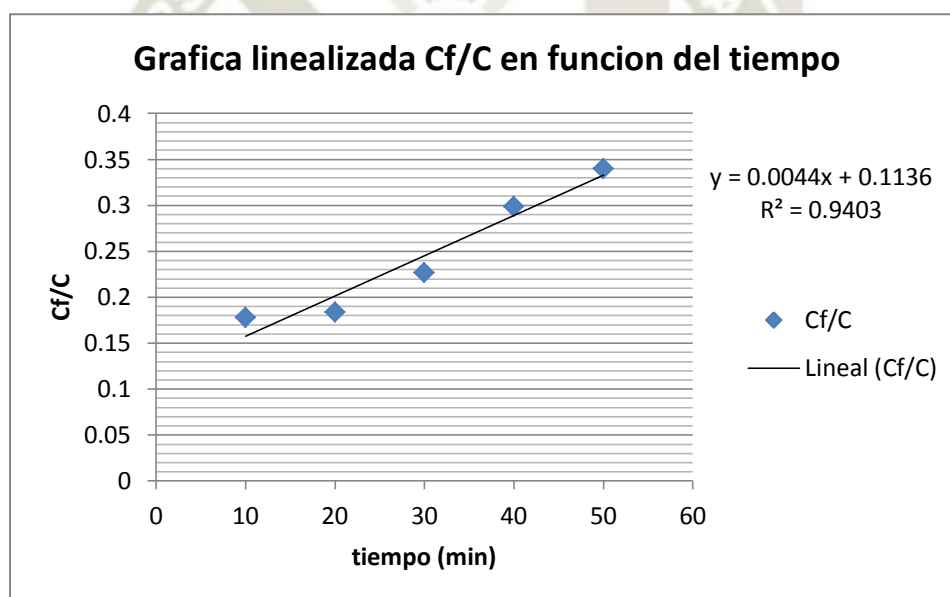
4.3. Determinación de la capacidad de sorción de cromo con biomasa de papa en función al caudal

Los caudales de 0.68 ml/s (mayor caudal) y 0.05 ml/s (menor caudal) son fundamentales para el modelo de dosis y respuesta que demostró que, si se da el proceso de biosorción de cromo, estos caudales fueron medidos con las diferentes concentraciones anteriormente presentadas.

Modelo dosis y respuesta

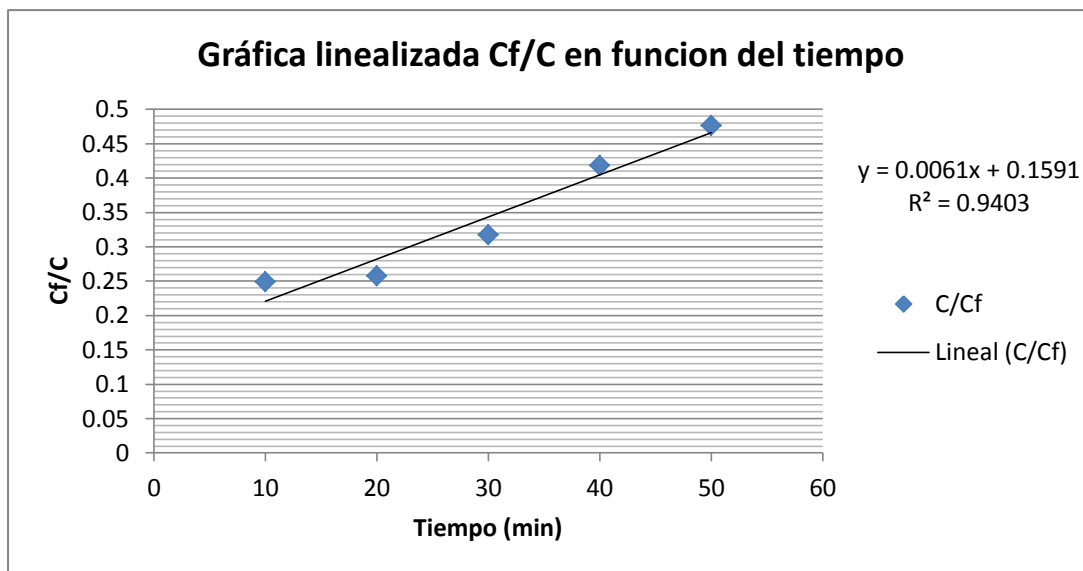
Para estudiar la biosorción de Cr en una columna de relleno, se ha utilizado el dispositivo experimental descrito anteriormente, posteriormente se realizó la aplicación de la ecuación lineal (Ecuación 8) para determinar los valores de a (que representa la pendiente) y q_0 (representado por la ordenada); a continuación, se presentan los modelos en base a las diferentes concentraciones y el menor caudal. Ya linealizado el modelo de dosis y respuesta, y con el fin de determinar la capacidad de biosorción (q_0), se realiza una relación (figura 12) entre C/C_f y tiempo (m), obteniendo como resultados una recta cuyo valor de a es 4.4 y la capacidad de adsorción q_0 es de 1.70, dando una relación (R^2) de 0.9403, con estos resultados se manifiesta una afinidad del biosorbente en la captación de iones de Cr.

Figura 12 Linealización del modelo dosis y respuesta a 70% y 0.05 ml/s



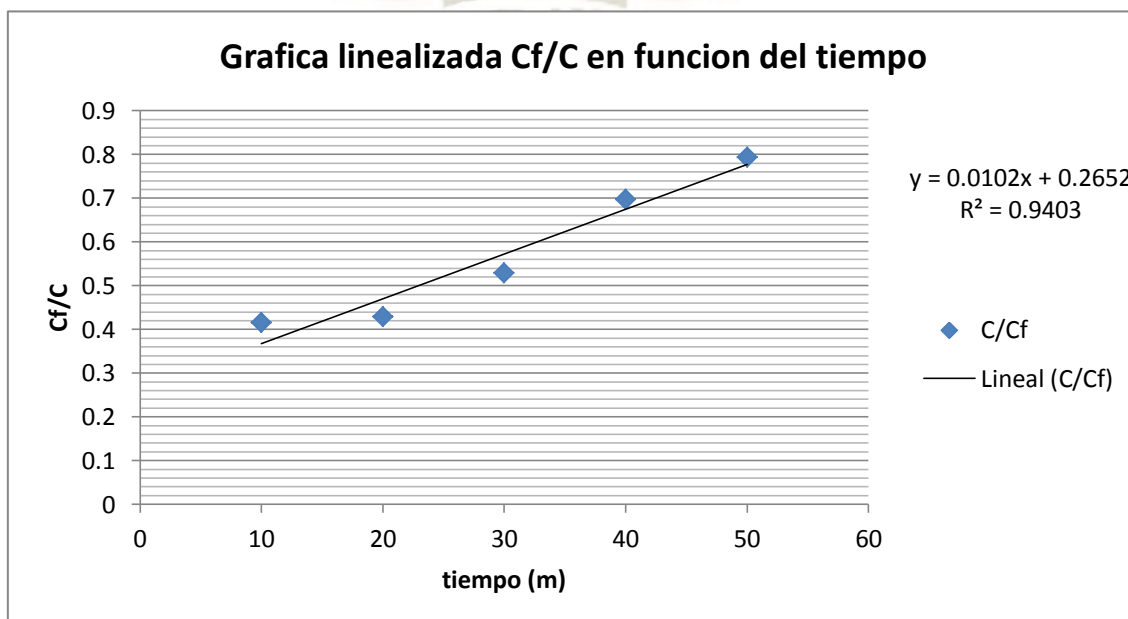
La linealización del modelo de dosis y respuesta es realizada con el fin de determinar la capacidad de biosorción (q_0), se realiza una relación (figura 13) entre C/C_f y tiempo (m), obteniendo como resultados una recta cuya pendiente de 0.0061 y ordenada al origen de 0.1591 con una capacidad de adsorción q_0 es de 2.25(mg/g) , dando una relación (R^2) de 0.9403, con estos resultados se manifiesta una afinidad del biosorbente en la captación de iones de Cr, según (Kumar,2013) que obtuvo valores de capacidad de sorción de 1.05 a 1.9 (mg/g) de cromo en su biomasa demostrando así que el presente modelo reproduce de manera aceptable la biosorción de cromo con un valor de R^2 de 0.90.

Figura 13 Linealización del modelo dosis y respuesta al 50% de concentración de cromo y 0.05 ml/s



La Linealización del modelo de dosis y respuesta es realizada con el fin de determinar la capacidad de biosorción (q_0), se realiza una relación (figura 14) entre C/C_f y tiempo (m), obteniendo como resultados una recta cuya pendiente de 0.010 y ordenada al origen de 0.2652 con una capacidad de adsorción q_0 es de 3.33, dando una relación (R^2) de 0.9403, con estos resultados se manifiesta una afinidad del biosorbente en la captación de iones de Cr

Figura 14 Linealización del modelo dosis y respuesta al 30% de concentración de cromo y 0.05 ml/s



Análisis estadístico

La figura 15, representa el consolidado general del cromo del proceso de sorción con 10 g de biomasa tratada de *Solanum tuberosum* "papa", con tres concentraciones iniciales de cromo (490, 350 y 210 mg/L) y dos caudales de ingreso a las columnas de adsorción (0.68 y 0.05 mL/s), donde claramente la concentración de 490 mg/L de cromo y el caudal de 0.68 mL/s expresan la mayor cantidad de cromo residual final.

Figura 15 Concentración final de Cr (mg/L) después de 50 min. del proceso de sorción con 10 g de biomasa tratada de *Solanum tuberosum* "papa" con dos niveles de caudal y tres concentraciones iniciales de Cromo

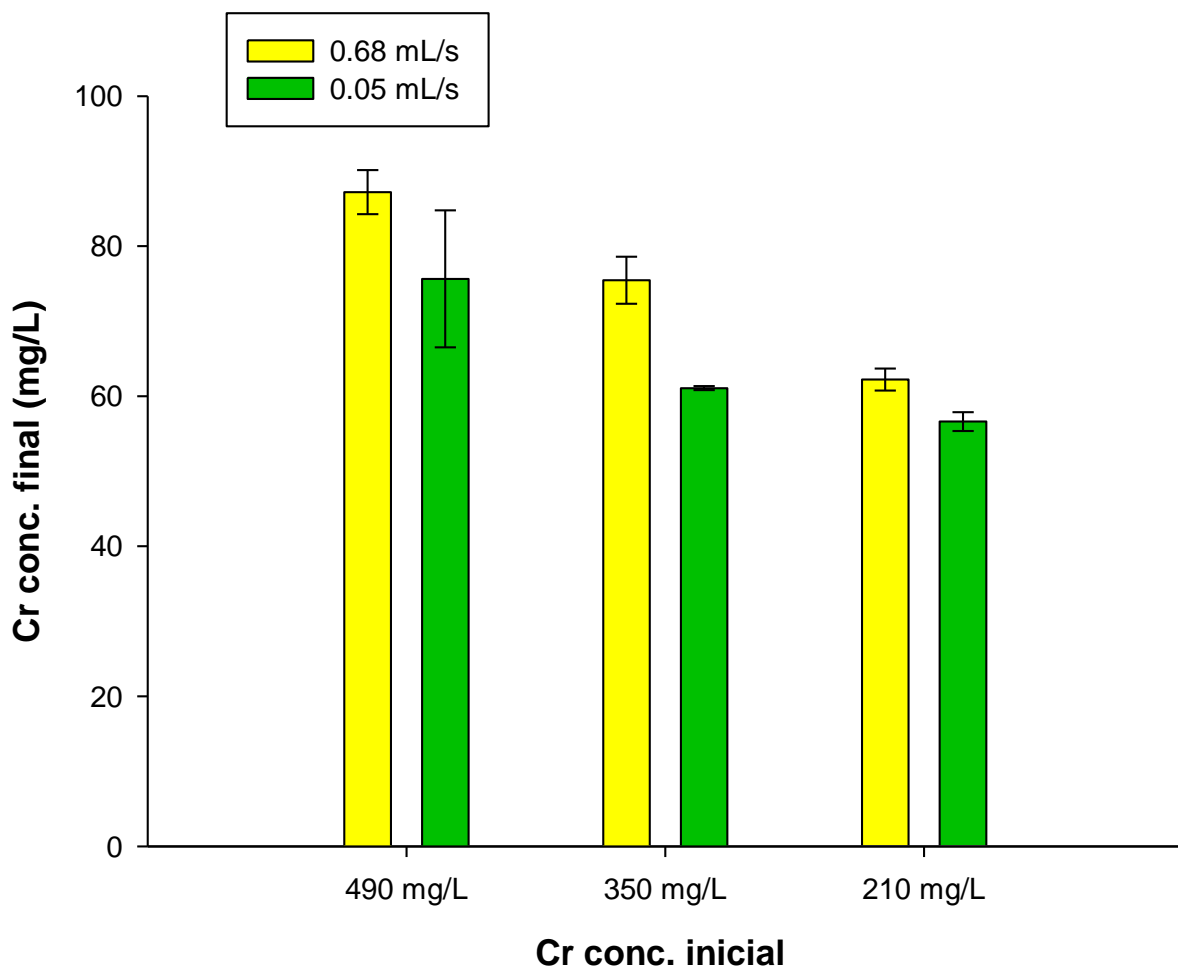


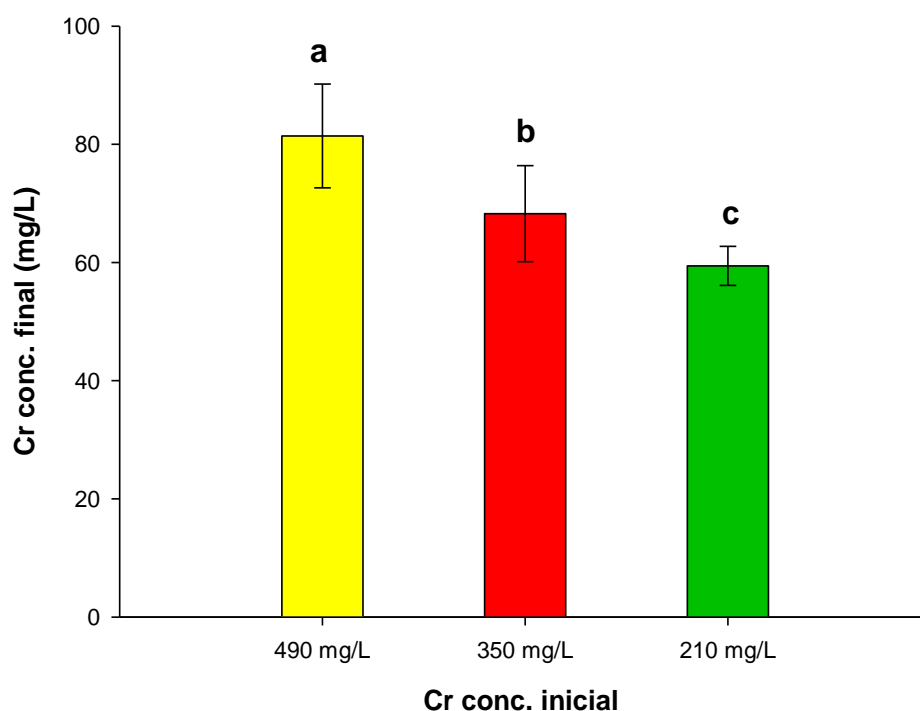
Tabla 13 Concentración final de Cromo (mg/L) después de 50 min. del proceso de sorción con 10 g de biomasa tratada de Solanum tuberosum” papa”

Cr Conc. inicial	Tratamientos		Promedio
	Caudal		
	0.68 mL/s	0.05 mL/s	
490 mg/L	87.2 ± 2.94	75.64 ± 9.13	81.42 ± 8.77 a
350 mg/L	75.47 ± 3.14	61.07 ± 0.27	68.27 ± 8.14 b
210 mg/L	62.23 ± 1.47	56.62 ± 1.26	59.42 ± 3.31 c
Promedio	74.96 ± 11.06 a	64.44 ± 9.77 b	

Letras iguales indican que no existe diferencias significativas (p<0.05)

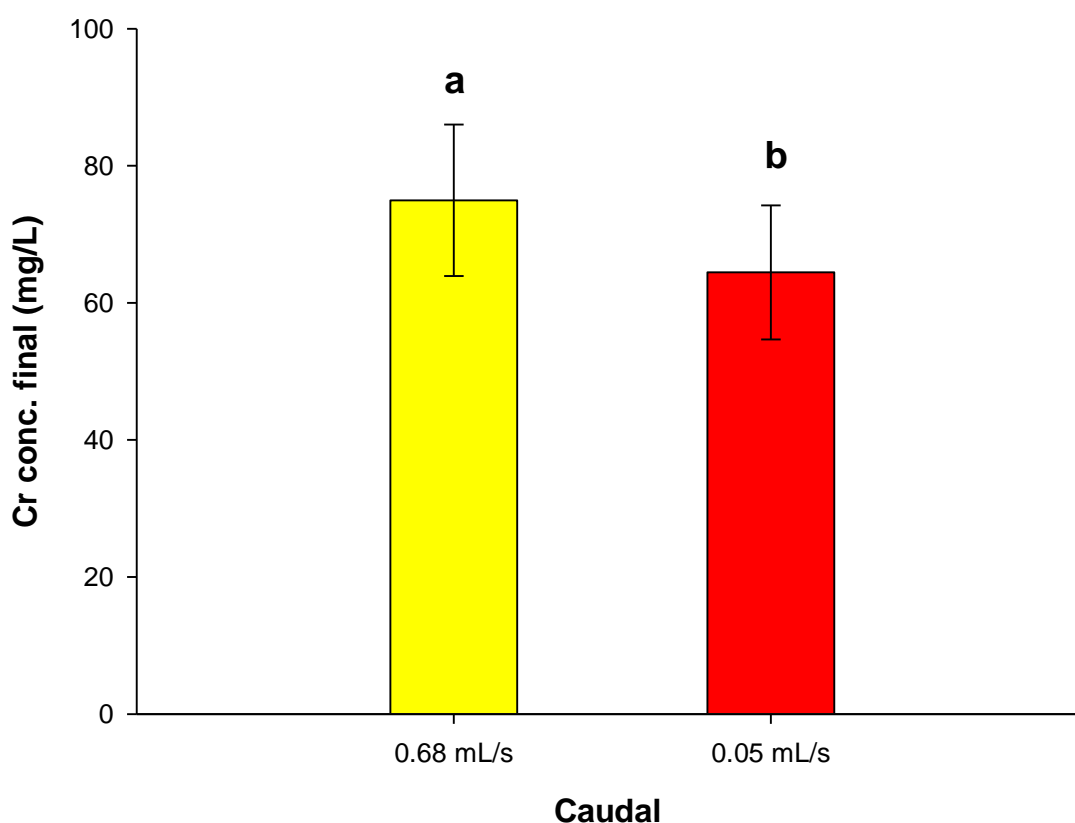
En la Tabla N° 13 y Figura N° 16, Se observa los promedios de concentración final de cromo (mg/L) con tres niveles iniciales (490, 350 y 210 mg/L), se evidencia también que existe diferencias significativas (p<0.05) entre los promedios de cromo final (mg/L), siendo la concentración inicial de 490 mg/L, la que registro después de 50 min. de procesamiento en la columna de adsorción con cáscara de tubérculo de papa, la mayor cantidad de cromo residual (con 81.42 ± 8.77 mg/L.).

Figura 16 Concentración final de Cr (mg/L) después de 50 min. del proceso de sorción con 10 g de biomasa tratada de Solanum tuberosum” papa” frente a tres niveles (mg/L) de Cromo inicial



En la Figura N° 17, se observa los promedios de concentración final de cromo (mg/L) con dos niveles iniciales de caudal (0.68 y 0.05 mL/s), se demuestra que existe diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los promedios de cromo final (mg/L), siendo el caudal de 0.68 mL/s, quien registro después de 50 min. de procesamiento en la columna de adsorción con cáscara de tubérculo de papa, la mayor cantidad de cromo residual con 81.42 ± 8.77 mg/L.

Figura 17 Concentración final de Cr (mg/L) después de 50 min. del proceso de sorción con 10 g de biomasa tratada de *Solanum tuberosum*” papa” frente a dos niveles de caudal (mL/s)



Mediante el análisis estadístico se demostró que el caudal y la concentración no son dependientes entre sí; estos resultados son similares a los encontrados por otros investigadores en sistemas de biosorción en columna para diferentes metales pesados y utilizando distintos materiales sorbentes que mostraron que las variables que afectan al caudal son el tiempo de retención y el pH de la solución (Vijayaraghavan, 2005).

4.4. Evaluación de la capacidad de sorción con efluente de curtiembre proveniente del Parque Industrial de Río Seco

En la tabla 14 se muestran los resultados de la concentración de cromo de la muestra obtenida del efluente de curtiembre.

Tabla 14 Resultados del análisis de la concentración de cromo del efluente de curtiembre

Determinación	Concentración de cromo	Unidades
Elemento Cr	661.60	mg/L

De acuerdo al D. S. N° 001-2015-VIVIENDA, donde se determinan los valores máximos admisibles (VMA), el parámetro de Cr total, no debe exceder la concentración de 10 mg/L; sin embargo, en el análisis realizado al efluente de curtiembre, se obtuvo una concentración de 661.60 mg/L, este valor supera ampliamente al establecido en el decreto supremo.

Tabla 15 porcentaje de sorción de cromo del efluente de curtiembre

Tiempo	Porcentaje de sorción		
	Concentración inicial (mg/L)	Concentración final (mg/L)	% de sorción
10	330.5	153.04	54%
20	330.5	130.64	60%
30	330.5	96.72	71%
40	330.5	92.02	72%
50	330.5	44.72	86%

En la tabla 15 se muestran los porcentajes de adsorción de efluente por la biomasa el mayor porcentaje de sorción se da a los 50 minutos con un 86% de adsorción, la bibliografía anterior había demostrado que se puede tener un porcentaje de adsorción del 90% según Yong y Gang (2017).

4.5. Determinación de la capacidad de desorción de biomasa de la cáscara de papa

A continuación, se presenta los resultados de desorción en base a las concentraciones iniciales y los caudales utilizados

Tabla 16 Porcentaje de desorción a 70% y 0.68 ml/s

Muestra	Porcentaje de desorción		
	Cromo en columna (mg/L)	% en desorción	Desorción (mg/L)
1	323.4	26%	129.37
2	343.6	28%	137.44
3	378.7	31%	151.49
4	400.0	33%	160.00
5	402.8	33%	161.12

En la tabla 16 se observa que el mayor porcentaje de desorción del 33% esto debido a que teóricamente la desorción de metales como el cromo solo puede darse hasta un máximo 50% debido al enlace que metal-biomasa según (Pinilla, 2014) que realizo un proceso de desorción con hidróxido de sodio en diferente concentración para el cromo, por lo que se concluye que el porcentaje de desorción obtenida es buena puesto que se recuperó 161mg/l de cromo.

Tabla 17 Porcentaje de desorción a 70% y 0.05 ml/s

Muestra	Porcentaje de desorción		
	Cromo en columna (mg/L)	% en desorción	Desorción (mg/L)
1	341.5	28%	136.59
2	406.4	33%	162.58
3	420.1	34%	168.06
4	424.2	35%	169.69
5	414.4	34%	165.74

En la tabla 17 se observa que el mayor porcentaje de desorción del 34% esto debido a que teóricamente la desorción de metales como el cromo solo puede darse hasta un máximo 50% debido al enlace que metal-biomasa según (Pinilla, 2014) que realizo un proceso de desorción con hidróxido de sodio en diferente concentración para el cromo, por lo que se concluye que el porcentaje de desorción obtenida es buena puesto que se recuperó 165.74 mg/l de cromo.

Tabla 18 Porcentaje de desorción a 50% y 0.68 ml/s

Muestra	Porcentaje de desorción		
	Cromo en columna (mg/L)	% en desorción	Desorción (mg/L)
1	115.60	13.21%	46.24
2	178.71	20.42%	71.4853333
3	186.09	21.27%	74.4346667

4	256.85	29.35%	102.738667
5	274.53	31.38%	109.813333

En la tabla 18 se observa que el mayor porcentaje de desorción del 31.38% esto debido a que teóricamente la desorción de metales como el cromo solo puede darse hasta un máximo 50% debido al enlace que metal-biomasa según (Pinilla, 2014) que realizó un proceso de desorción con hidróxido de sodio en diferente concentración para el cromo, por lo que se concluye que el porcentaje de desorción obtenida es buena puesto que se recuperó 109.81 mg/l de cromo.

Tabla 19 Porcentaje de desorción a 50% y 0.05 ml/s

Muestra	Porcentaje de desorción		
	Cromo en columna(mg/L)	% en desorción	Desorción (mg/L)
1	254.72	29.11%	101.887111
2	268.31	30.66%	107.325333
3	274.18	31.33%	109.672
4	286.33	32.72%	114.532444
5	288.93	33.02%	115.572444

En la tabla 19 se observa que el mayor porcentaje de desorción del 33.02% esto debido a que teóricamente la desorción de metales como el cromo solo puede darse hasta un máximo 50% debido al enlace que metal-biomasa según (Pinilla, 2014) que realizó un proceso de desorción con hidróxido de sodio en diferente concentración para el cromo, por lo que se concluye que el porcentaje de desorción obtenida es buena puesto que se recuperó 115.81 mg/l de cromo.

Tabla 20 Porcentaje de desorción a 30% y 0.68 ml/s

Muestra	Porcentaje de desorción		
	Cromo en columna (mg/L)	% en desorción	Desorción (mg/L)
1	138.98	26%	55.59
2	139.86	27%	55.94
3	140.58	27%	56.23
4	142.42	27%	56.97
5	147.74	28%	59.10

En la tabla 20 se observa que el mayor porcentaje de desorción del 28% esto debido a que teóricamente la desorción de metales como el cromo solo puede darse hasta un máximo 50% debido al enlace que metal-biomasa según (Pinilla, 2014) que realizo un proceso de desorción con hidróxido de sodio en diferente concentración para el cromo, por lo que se concluye que el porcentaje de desorción obtenida es buena puesto que se recuperó 59.10 mg/l de cromo.

Tabla 21 Porcentaje de desorción a 30% y 0.05 ml/s

Muestra	Porcentaje de desorción		
	Cromo en columna(mg/L)	% en desorción	Desorción (mg/L)
1	61.64	12%	24.66
2	132.31	25%	52.92
3	136.82	26%	54.73
4	151.42	29%	60.57
5	153.38	29%	61.35

En la tabla 21 se observa que el mayor porcentaje de desorción del 29% esto debido a que teóricamente la desorción de metales como el cromo solo puede darse hasta un máximo 50% debido al enlace que metal-biomasa según (Pinilla, 2014) que realizo un proceso de desorción con hidróxido de sodio en diferente concentración para el cromo, por lo que se concluye que el porcentaje de desorción obtenida es buena puesto que se recuperó 61.35 mg/l de cromo.

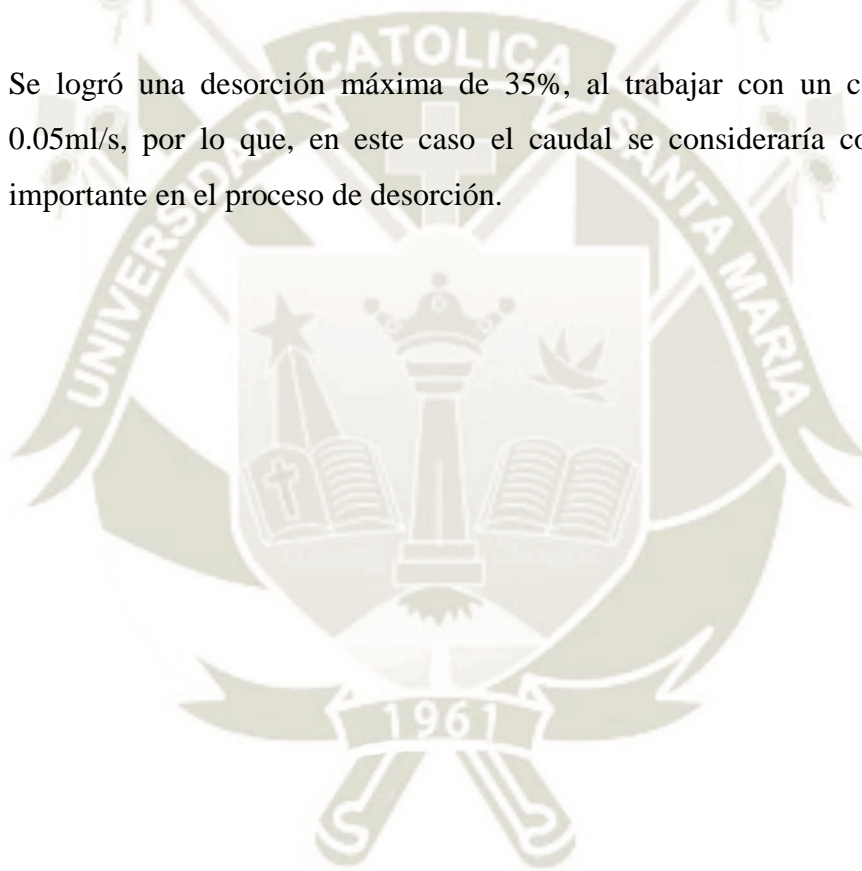
CAPITULO V

CONCLUSIONES

- La caracterización de la biomasa de papa (*Solanum tuberosum*), permitió concluir que dicha biomasa presenta óptimas condiciones para ser empleada como material biosorbente con un pH de 6.7, humedad de 12.06%, un valor en cenizas totales de 33.50%, densidad aparente de 0.813 y una porosidad de 36.77%, por otro lado la espectroscopia infrarroja permitió determinar la presencia de varios grupos funcionales en la cáscara de papa, dichos grupos son considerados sitios activos en el proceso de sorción de cromo.
- La capacidad de sorción de cromo en función a la concentración fue evaluada empleado las isotermas mencionadas en la presente investigación donde el modelo de Langmuir, es el que mejor se ajuste demostró de acuerdo a los resultados obtenidos, debido a que presenta valores de correlación de 0.95 y 0.99 para los dos caudales evaluados, este modelo demuestra que si existe un afinidad significativa del biosorbente con el cromo y una capacidad significativa de sorción del biomasa de papa empleadas.
- Se determinó que el porcentaje de remoción con mejores resultados de sorción (un valor de 82%, 78% y 68%) es a menor velocidad 0.05ml/s debido a que el tiempo de retención hidráulica es mucho mayor 246 s que a la velocidad mayor empleada, a mayor tiempo de contacto mejor capacidad de biosorción presenta la biomasa.
- Al trabajar la capacidad de sorción de cromo en función al caudal, se observó que con un caudal bajo de 0.05ml/s, se obtuvo una remoción de hasta 82 % de cromo; mientras que, con un caudal elevado de 0.68 ml/s, se lograron porcentajes de remoción inferiores. Por lo que se determina que al trabajar con un caudal bajo, se obtienen mejores resultados de remoción de cromo; Dosis y Respuesta representa el modelo utilizado, debido a que el nivel de correlación

fue alto ($R=0.94$) demostrando que la existe la presencia de biosorción en columna.

- Al evaluar la capacidad de sorción en el efluente de curtiembre obtenido del Parque Industrial de Rio Seco (PIRS), se determinó que con una concentración inicial de 330.5 mg/l, se obtuvo una sorción máxima de 86 % a los 50 minutos. Analizando este resultado de concluye que es factible el uso de la cáscara de papa (*Solanum tuberosum*) para la remoción de cromo en muestras naturales, es decir, en muestras que no fueron preparadas sintéticamente en el laboratorio
- Se logró una desorción máxima de 35%, al trabajar con un caudal bajo de 0.05ml/s, por lo que, en este caso el caudal se consideraría como un factor importante en el proceso de desorción.



RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar nuevos estudios orientados al aprovechamiento de otros residuos orgánicos que son generados a gran escala, que presenten moléculas cuyos enlaces sean fáciles de romper por activación acida o básica.
- Realizar estudios de biosorción en efluentes provenientes de diversos tipos de industrias, que presenten metales pesados en sus descargas.
- En el presente trabajo no se consideró los diferentes tamaños de partículas que pueden ser influyentes en la capacidad de biosorción, por lo que se recomienda realizar más estudios de este parámetro.
- La biomasa de cáscara de papa muestra una amplia capacidad de biosorción, por lo que se recomienda su estudio con otros tipos de metales que representen algún problema al medio ambiente o a la salud en la actualidad.
- La desorción es un método emergente de recuperación de cromo, se recomienda evaluar el uso de catalizadores con la finalidad de obtener una mayor cantidad de cromo.

BIBLIOGRAFIA

- Acosta, I.; López, V.; Cárdenas, J.; Martínez, V. (2010). *Remoción de Cromo (VI) en Solución Acuosa por la Biomasa de la Cáscara de Tamarindo (Tamarindus indica)*. Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería Vol. 14 No. 3, pp. 12- 18.
- Agarwal, M., & Singh, K. (2017). Methodologies for removal of heavy metal ions from wastewater: an overview. *Interdisciplinary Environmental Review*, 124-125.
- Al-Weshahy A.; Rao V. (2012). *Potato peel as a source of important phytochemical antioxidant*.
- Angulo, M., & Betancourt, A. (2008). Optimización de los parametros de operación en un proceso de tratamiento de aguas electro-oxidacion.
- Arapoglou, D., Varzakas, T., Vlyssides, A., & Israilides, C. (2010). Ethanol production from potato peel waste (PPW). *Waste Management*, 30, 1898-1902.
- Arapoglou, D.; Vlyssides, A.; Haidemenaki, K.; Malli, V.; Marchant, R.; Israilides, C., Road, C. (2009). *Alternative ways for potato industries waste utilisation*. Chania, Grecia.
- Arias, S. B. (2010). Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas. 12-22.
- ATSDR. (2012). Resumen de la Reseña Toxicológica del Cromo. *Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades*, 3.
- Barrera, J.; Esquivel, H. (2018). Biosorción de cromo VI en soluciones acuosas con cascarilla de cacao modificada con ácido cítrico. Bogotá: Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- Bermejo, D. (2016). Remoción de plomo y cadmio presente en aguas residuales mineras mediante biosorción en columnas con bagazo de caña y cáscara de cacao. *Universidad de Cuenca*.
- Bermúdez, F.; Blázquez, G.; Calero, M.; Martín, M.; Leyva, J. (2009). *Biosorción de plomo con hueso de aceituna en columna de lecho fijo*. Granada: Universidad de Granada.
- Bolio, G.; Valadez, A.; Veleza, L.; Andreeva, A. (2011). Whiskers de celulosa a partir de residuos agroindustriales de banano: obtención y caracterización. *Revista mexicana de Ingeniería Química*, 10(2), 291-299.

- Borba, N. (2008). La papa un alimento básico. Posibles impactos frente a la introducción de papa transgénica. *Boletín electrónico de la Red de Acción en Plaguicidas y sus alternativas para América Latina (RAP-AL)*(26), 11.
- Borda, O. (2014). Evaluación y reducción de los niveles de cromo en muestras de agua residuales provenientes de curtiembres. Exposición V Congreso Internacional de Ingeniería Civil. Universidad La Gran Colombia, Bogotá.
- Cabrera, L. (2017). Bioadsorción de iones de plomo y cromo procedentes de aguas residuales utilizando la cáscara del tomate de árbol (*Solanum Betaceum*). Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Calero, M., Blazquez, G., Hernainz, F., Ronda, A., & Martín-Lara, M. (2012). Biosorción de cobre con corteza de pino en columna de lecho fijo: optimización de las variables del proceso. *Afinidad LXIX*, 69(559), 175-184.
- Cardona, A.; Cabañas, D.; Zepeda, A. (2013) Evaluación del poder biosorbente de cáscara de naranja para la eliminación de metales pesados Pb (II) y Zn (II). *Revista académica de la Facultad de Ingeniería*, Universidad Autónoma de Yucatán.
- Cassano, A., & Molinari, R. (2001). Treatment of aqueous effluents of the leather industry by membrane processes. *Journal of membrane science*, 111-126.
- Castellar G.; Cardozo B.; Suarez J.; Vega J. (2013). Adsorción por lote y en una columna de lecho fijo del colorante B39 sobre carbón activado granular. *Prospect.*, 66-75.
- Castillo, L. A. (2006). Proceso de refinación electrolítica para metales del grupo 11. 11.
- Chavez, A. (2010). descripción de la nocividad del cromo proveniente de la industria curtiembre y de las posibles formas de removerlo. *revista ingenierías universidad de medellin*, 9 (17), 41-49.
- Chu, K. (2003). Prediction of two-metal biosorption equilibria using a neural network. *The European Journal of Mineral Processing and Environmental Protection.*, 119-127.
- Córdova, H.; Vargas, R.; Cesare, C.; Flores, L.; Visitación, L. (2014). tratamiento de las aguas residuales del proceso del curtido tradicional y alternativo que utiliza acompanyantes de cromo. *Rev. Soc. Quím. Perú*.
- Cordova, V. (2014). Estudio de los aportes funcionales de la papa (*Solanum tuberosum*) y desarrollo de dos productos alimenticios. *Universidad de las Américas*.
- Cronquist, A. (1981). An integrated system of classification of flowering plants. Columbia University Press, Nueva York.

- Cubides, P.; Ramirez, J. (2014). Adsorción de Cr VI sobre residuos de café. *MUTIS, Journal of the Faculty of Sciences and Engineering*, 4(2), 18-25.
- Delgadillo, A., Gonzales, C., Prieto, F., & Villagomez, J. (2011). Fitorremediacion una alternativa para eliminar la contaminacion. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 511-515.
- Dobrosz-Gómez, Izabela, Gómez, Miguel-Ángel, & Santa, Camilo. (2018). Optimización del Proceso de Adsorción de Cr(VI) sobre Carbón Activado de Origen Bituminoso. *Información tecnológica*, 29(6), 43-56.
- Duymovich, & Acheme, S. (2005). Espectrofotómetros y fotocolorímetros guía práctica de actualización. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*.
- Eggs, N., Salvarezza, S., Azario, R., & Fernandez, N. (2012). Adsorción de cromo hexavalente en la cáscara de arroz modificada químicamente. *Alcances en Ciencias e Ingeniería*, 5.
- EPA (2010) Toxicological review of hexavalent chromium: In Support of Summary Information on the Integrated Risk information System (IRIS). Office of Research and Development, Washington, DC
- Fadzil, F., & Ibrahim, S. (2016). Adsorption of Pb II onto organic acid modified rubber leaf powder, batch and column studies. *Process safety and environmental protection*, 1-8.
- FAO. (2008). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado el 05 de enero de 2019, de <http://www.potato2008.org/es/index.html>.
- Garcia, G., Olguin, M., Colin, A., & Romero, E. (2011). Effect of the pH and temperature on the biosorption of lead(II)and cadmium(II) by sodium-modified stalk sponge of Zea mays. *Environ Sci Pollut Res*, 5.
- Gorriti, J. (2018). Gestion integral de residuos solidos en ciudades de dos mil a diez mil habitantes: problemas economicos e institucionales. Pontificia Universidad Catolica del Peru.
- Gunatilake. (2015). Methods of Removing Heavy Metals from Industrial Wastewater. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science Studies*, 15.
- Handbook. (2015). Patato nutrition. *United States Patato Board*, 1-3.
- Hoover, R. (2010). The Impact of heat-moisture treatment on molecular structures and properties of starches isolated from different botanical sources. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 835-847.
- Hoyos, B. M. (2007). Electrodeposición de Níquel Duro con Ondas de Corriente Pulsante Triangulares.

- Huisman, H. (2000). Microfiltration. Academic press.
- Ibarren, M., Ortiz, N., & Piccinna, M. (2004). Determinacion de cromo VI en muestras ambientales, estudio comparativo de diferentes medios para su separacion y preconcentracion. *Instituto Nacional de Tecnologia Industrial*.
- Inga, P. (2012). Estudio Isotermico de biosorción de cadmio, cromo, plomo y zinc en solución acuosa empleando el pinzote(raquis) de plátano (*Musa paradisiaca* L).
- Ismael, A. P. (2012). Bioadsrocion de cromo VI por la cáscara de mamey. *Avances en ciencias e Ingenieria*, 1-11.
- Izquierdo, J., Cunil, F., Tejero, J., Iborra, M., & Fite, C. (20114). Cinetica de las reacciones químicas. España: Edicions de la Universitat de Barcelona.
- Izquierdo, M. (2010). Eliminación de metales pesados en aguas mediante bioadsorción. Evaluación de materiales y modelación del proceso. Valencia, España: Universitat de València.
- Jauregui, J. (2015). Adsorción y desorción de iones plata sobre quitina y quitosano de *Litopenaeus Vannamei*. 19.
- Keerti, M., & Maitreyi, H. (2016). Biosorption of Nickel (II) from Aqueous Solutions using Potato. *Research Journal of Chemical and Environmental Sciences*, 96-101.
- Kumar, N. (2013). Modelación matemática del proceso de biosorcion de cromo y niquel estudio en serie en columnas de lecho fijo con bagazo de caña de azucar. 29.
- Lagos, L. (2016). Bioadsorción de cromo con borra de cafe en efluentes de un industria crutiembre local.
- Lazo, C. E. (2017). Evaluación de la contaminación ambiental generada por efluentes industriales en el proceso productivo de una curtiembrede mediana capacidad del parque industrial de Rio Seco, Arequipa. 7.
- Lopez, A. (2017). Bioremediación y fitorremediación de suelos contaminados. 86.
- Mc Can, M. (2001) Cuero, pieles y calzado. INSHT (Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo) 88, 1-13.
- Mejía, P. &. (2014). Propuesta de un plan integral para el manejo de los residuos solidos del Canton Tisaleo. 43-61.
- Mijaylova, P.; Lopez, S.; Cardoso, L.; Ramirez, E. (2003) Tecnología para la remoción y recuperación del cromo trivalente en efluentes de curtido de pieles. *Ingeniería Hidráulica en México*, 18(1): 21-37

- MINAGRI. (22 de mayo de 2017). Recuperado el 03 de enero de 2019, de <http://minagri.gob.pe/portal/noticias-anteriores/notas-2017/19273-peru-es-imbatabile-en-la-produccion-de-papa-en-latinoamerica>
- Moreno, J. (2000). Calidad de la papa para usos industriales. *Boletín de la papa*, 1-7.
- Mwinyhija, M. (2010). Main Pollutants and Environmental Impacts of Tanning Industry. *Ecotoxicological Diagnosis in the Tanning Industry*.
- Nicolet, T. (2001). Introduction to Fourier Transform Infrared Spectrometry. Thermo Nicolet Corporation
- OEEE. (2011). La papa nuestra de cada día. *Oficina de Estudios Económicos y Estadísticos, Ministeria de Agricultura*, 7-13.
- OEFA. (2014) Fiscalización ambiental en residuos sólidos de gestión municipal provincial. INFORME 2013 - 2014. Índice de cumplimiento de los municipios provinciales a nivel nacional. Lima
- Ordoñez, A. (2017). Determinación de la capacidad adsorbente de los residuos de industria de la papa para remoción de metales pesados en aguas contaminadas.
- Ordoñez, J., & Moreno, R. (2013). Estudio del aprovechamiento de residuos orgánicos de cultivo de flores como biosorbente de cadmio para el tratamiento de aguas residuales. *Universidad Politécnica Salesiana*.
- Ortiz, J. (2015). Remoción de cromo en columna empacada con cáscara de yuca (*Manihot esculenta*). Barranquilla: Universidad del Atlántico.
- Ortiz, N. (2013). Recuperación y reutilización de cromo de las aguas residuales del proceso de curtido de curtiembres de san benito (bogotá), mediante un proceso sostenible y viable tecnológicamente. *Universidad de Manizales*.
- Oyarzo, J. (2007). Precipitación química del fósforo mediante la adición de sulfato de aluminio en plantas de tratamiento de aguas.
- Pechova, A.& Pavlata, L. (2007). Chromium as an essential nutrient.
- Pinilla, D. (2014). Precipitación de cromo y reutilización del agua de vertimientos de curtiembres de San Benito. 17-18.
- Reich, G. (2005) Leather. Ullmann's Encyclopedia of industrial chemistry. *Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim*, 20. 621-664.
- Remtavares. (17 de septiembre de 2010). *Fundación para el conocimiento de Madrid*. Recuperado el 02 de junio de 2018, de Madrid blog: <http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2010/09/17/131491>

- Rinehart, W., & Gad, S. (2008). “Current Concepts in Occupational Health metal Chromium. *American Industrial Hygiene Association Journal*.
- Rodas, M., & Ñurinda, E. (2016). Estudio de adsorción de cromo hexavalente en columna de lecho fijo con biomasa de tamarindo. Managua: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Rodriguez, I., Kumar, N., Aloma, I., Cabrera, R., & Ronda, A. (2014). Modeling of two up-flow fixed-bed columns in series for the biosorption of Cr+6 and Ni+2 by sugarcane bagasse. *Desalination and water treatment*.
- Sala, L., Garcia, S., & Gonzales, J. (2010). biosorción para la eliminación de metales pesados en aguas de desecho. *An. Química*, 114-120.
- Sánchez, A. (2016). Biosorción en tanque agitado de Cd, Pb con cáscara de cacao. *Universidad Estatal de Cuenca*.
- Sanchez, G. (2007). Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos en los Municipios de Actopan, San Salvador y el Arenal del Estado de Hidalgo.
- Schieber, A.; Saldaña, M. (2009). Potato peels: A source of nutritionally and pharmacologically interesting compounds- A review. *Food*, 23-29.
- Strathmann, Giorno, & Drioli. (2006). An introduction to membrane science. Italy: Institute on Membrane Technology, CNR-ITM.
- Sukumar, C.; Janaki, V.; Vijayaraghavan, V.; Kamala-Kannan, S. (2016). Removal of Cr(VI) using co-immobilized activated carbon and *Bacillus subtilis*: fixed-bed column study. *Clean Techn Environ Policy*, 19, 251–258.
- Tadesse, T. (2009). Environmental concern and its implication to household waste separation and disposal: Evidence from Mekelle, Ethiopia. *Resources, Conservation and Recycling*, 183-191.
- Tejada, C., Villabona, A., & Jimenez, M. (2017). Remoción de cromo hexavalente sobre residuos de cacao pretratados químicamente. *U.D.C.A.*, 139-147.
- Tenorio, G. (2006). Caracterización de la biosorción de cromo con hueso de aceituna. *Universidad Granada, Facultad de ciencias*, 41-79.
- Tsezos, M. (2001). Biosorption of metals. The experience accumulated and the outlook for technology development. *Hydrometallurgy*, 241-243.
- Ures, P. J. (2015). Filtración de membrana y ósmosis inversa.
- Uria, C., & Daniel, A. (2008). Estudio isotermico de biosorción de plomo en aguas utilizando residuos vegetales. *Universidad de Coruña*.

- Valverde, M., & Lezama, J. (2017). Influencia de la hidrólisis química en las características fisicoquímicas y funcionales de los residuos industriales de papa, camote y yuca. Universidad nacional de santa.
- Vera, L., Bermejo, D., & Uguña, M. (2017). Biosorción de cadmio y plomo en columna de lecho fijo con cáscara de cacao. *Afinidad LXXV*.
- Vijayaraghavan K, Jegan J, Palanivelu K, Velan M. (2005). Biosorption of cobalt (II) and nickel (II) by seaweeds: batch and column studies. *Separation and Purification Technology*
- Wu, Z.; Xu, H.; Ma, Q.; Cao, Y.; Ma, J.; Ma, C. (2012). Isolation, identification and quantification of unsaturated fatty acids, amides, phenolic compounds and glycoalkaloids from potato peel. *Food Chemistry*, 2425-2429.
- Yong, S., & Gang, Y. (2017). Biosorption of heavy metals: a case study using potato peel waste. *desalination and waster treatment*, 159-167.
- Zamora, V. G. (2010). Obtención de carbono activado a partir de semillas de palmeras de la amazonia peruana y aguaje. *Universidad Nacional Agraria la Molina*.
- Zhang, H. (2014). Biosorption of heavy metal from aqueous solutions using keratin biomaterials. *Universidad Autonoma de barcelona* , 9-14.

Anexos

Anexo 1: Galería fotográfica



Figura 18 Preparación de la cáscara de papa obtenida



Figura 19: Cáscara de papa secada en estufa



Figura 20: Pulverizado de la cáscara de papa



Figura 21 Tamizado de la biomasa



Figura 22 Determinación de cenizas totales (calcinación de la biomasa)

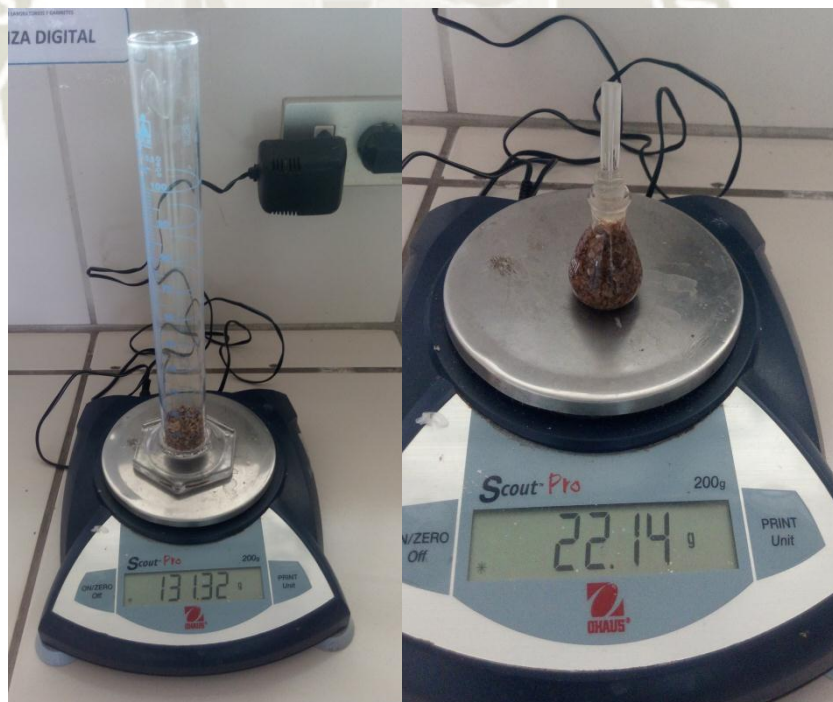


Figura 23 Determinación de densidad real y aparente



Figura 24 Preparación de solución de cromo para la curva de calibración



Figura 25 Montaje de la columna en laboratorio



Figura 26 Montaje de la columna para la desorción



Anexo 2


Análisis de varianza para concentración final de Cromo (mg/L) después de 50 min. del proceso de adsorción con 10 g de biomasa tratada de *Solanum tuberosum* “papa”

PARAMETRO	SC	GL	CM	F	P
Cr Conc. inicial mg/L	1470.13	2	735.068066	41.682024	0.000004*
Caudal mL/s	498.227	1	498.227222	28.251968	0.000184*
Cr Conc. inicial mg/L*Caudal mL/s	60.4152	2	30.2076222	1.7129228	0.221612
Error	211.621	12	17.6351333		




Anexo 3

Informe de ensayo de muestra de agua residual industrial



BHIOS
LABORATORIOS

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-055



INFORME DE ENSAYOS N° 5757- 2018
PÁGINA 1 DE 2

SOLICITANTE	: MARIA ALEXANDRA PUMACAYO GUTIERREZ
DIRECCIÓN	: Pasaje los rosales C19 - Socaballa
PRODUCTO DECLARADO	: AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	: Líquido color turquesa.
CODIFICACIÓN / MARCA	: No especificada.
DATOS DECLARADOS POR EL CLIENTE	: Ninguno
TAMAÑO DE MUESTRA RECIBIDA	: 01 muestra de 400 mL aprox.
PRESENTACIÓN, ESTADO Y CONDICIÓN	: En botella de polietileno transparente cerrada. A una temperatura de 24.0 °C.
CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA	: Recibida en el Laboratorio (Envases del Cliente)
CONTRAMUESTRA Y PERIODO DE CUSTODIA	: Ninguna (por ser muestra única)
FECHA PRODUCCIÓN	: No especificada
FECHA DE VENCIMIENTO	: No especificada
CONTRATO N°	: 2125-2018
FECHA DE RECEPCIÓN	: 14/12/2018

CONDICIONES DE USO DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS:

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la Muestra analizada / el Lote muestreado , según sea el caso.
- No deben inferirse a la Muestra analizada o al Lote muestreado otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente, BHIOS LABORATORIOS no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por BHIOS LABORATORIOS , la presentación, estado y condición del lote corresponden a las encontradas al momento del muestreo.
- Los datos declarados por el cliente son consignados a solicitud expresa del mismo cliente y no son necesariamente verificados por el Laboratorio, por lo que BHIOS LABORATORIOS no asume responsabilidad por el uso de los mismos.
- El Periodo de Custodia es dependiente del tipo de ensayo y de la disponibilidad de la Muestra.
- BHIOS LABORATORIOS no guarda contramuestras de productos perecibles o de productos cuyas características pudieran variar durante el almacenamiento.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad del productor.
- Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este Informe de Ensayos sin el conocimiento y la autorización escrita de BHIOS LABORATORIOS.
- Cualquier modificación, borrón o enmienda, anula el presente Informe de Ensayos.

PRT-10-F-05-IE Versión: 03 Fecha de Emisión: 02/01/18 Elaborado por: GT / Revisado por: CAC / Aprobado por: GG

Página 1 de 2

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51 (0)54 273320 / 274515 RPC 983768883 RPM #954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-055



INFORME DE ENSAYOS N° 5757- 2018
PÁGINA 2 DE 2

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL No especificada.	UNIDADES
FQ	Elemento Cr	661.60	mg/L

ABREVIATURAS:

mg/L : Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

Elemento Cr : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 3000.
Method 3111-B. Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry. Direct Air-Acetylene Flame
Method. Pag.3-17. 22nd Ed. 2012.

FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS : FQ 14/12/2018

FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS : 21/12/2018



[Signature]
Blgo Miguel Valdivia Martínez
Gerente Técnico

Fin del Informe


PRT-10-F-05-IE Versión: 03 Fecha de Emisión: 02/01/18 Elaborado por: GT / Revisado por: CAC / Aprobado por : GG Página 2 de 2

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51 (0)54 273320 / 274515 RPC 983768883 RPM #954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

Anexo 4

Análisis por espectroscopia infrarroja de la biomasa de papa sin tratar

	UNSA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA	LABINVSERV Laboratorio de Investigación y Servicios
INFORME DE ENSAYOS		
N° DE REPORTE:	20457-19	
CLIENTE:	PAMELA MILAGROS CONDORI RAMOS	
DIRECCIÓN:	AREQUIPA	
ENSAYO SOLICITADO:	ANÁLISIS POR ESPECTROSCOPIA INFRARROJA	
PRODUCTO	CASCARA DE PAPA TRATADAL	
CANTIDAD DE MUESTRA	01	
FECHA DE RECEPCION:	Miércoles 26 de diciembre de 2018	
CARACTERÍSTICAS	MUESTRA EN POLVO	
ENVASE:	FRASCO DE PLÁSTICO	
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS:	Jueves 17 de enero de 2019	
REFERENCIA	MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE	
PROCEDENCIA	CACERA	
CÓDIGO DE MUESTRA	26341	
<p>LOS RESULTADOS OBTENIDOS CORRÉSPONDEN AL ANÁLISIS SOLICITADO EN LA MUESTRA RECIBIDA. ESTE FORMATO NO SERÁ REPRODUCIDO SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO LABINVSERV</p>		
Página 1 de 3		
Av. Independencia s/n. Ciudad Universitaria Pabellón de Química - Laboratorio 108 - Primer Piso		Telefono: 054 - 220360 E-mail: fcnf_labinserv@unsa.edu.pe



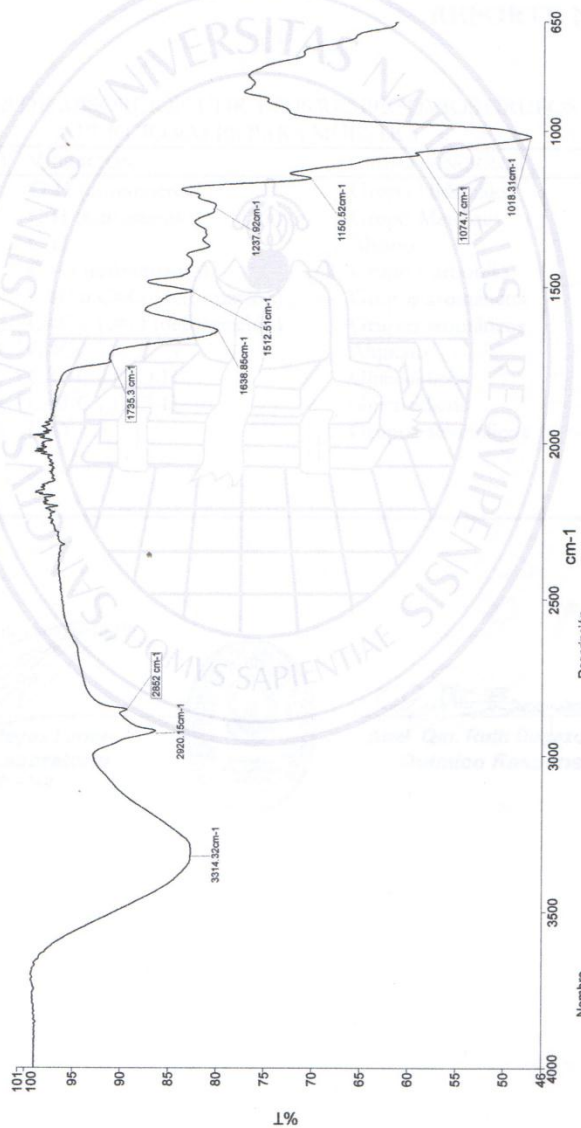
UNSA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

LABINVSERV
Laboratorio de Investigación y Servicios

INFORME DE ENSAYOS

REPORTE N°: 20457-19

Espectro FTIR de MT - 01



Nombre Descripción
26341 cáscara de papa Espectro FTIR (accesorio UATR) de cáscara de papa 26341 Fecha lunes, diciembre 31 2018

Página 2 de 3

Av. Independencia s/n. Ciudad Universitaria
Pabellón de Química - Laboratorio 108 - Primer Piso

Teléfono: 054 - 220360
E-mail: fcnf_labinserv@umsa.edu.pe



UNSA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

LABINVSERV
Laboratorio de Investigación y Servicios

INFORME DE ENSAYOS

REPORTE N°: 20457-18

**BANDAS DE ABSORCIÓN FTIR Y SUS RESPECTIVOS GRUPOS
FUNCIONALES PARA MUESTRA**

BANDA (CM-1)	VIBRACIÓN	GRUPO FUNCIONAL
3314.32	O-H (estiramiento)	Grupo Hidroxilo
2920.15	C-H (estiramiento)	Grupo Metoxilo
2852.00	C-H	Alcano
1735.30	C=O (estiramiento)	Grupo Carbonilo
1638.85	C=C o C=O (deformación)	Grupos aromáticos
1512.51	C=C o C=O (deformación)	Grupos aromáticos
1237.92	C=C	Alqueno
1150.52	C-O-C y C-O-H	Glucosídicos
1074.70	C-O-C y C-O-H	Glucosídicos
1018.31	C-O	Grupos alcohólicos

Emitido en Arequipa, el 17 de enero de 2019

Juan Reyes Larico
Dr. Juan Reyes Larico
Jefe de Laboratorio
RCQP - 348



Ruth Begazo Guillén
Anal. Qm. Ruth Begazo Guillén
Químico Responsable


Página 3 de 3

Av. Independencia s/n. Ciudad Universitaria
Pabellón de Química - Laboratorio 108 - Primer Piso

Teléfono: 054 - 220360
E-mail: fcnf_labinvserv@unsa.edu.pe

Anexo 5

Análisis por espectroscopia infrarroja de la biomasa de papa tratada

	UNSA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA	LABINVSERV Laboratorio de Investigación y Servicios
INFORME DE ENSAYOS		
N° DE REPORTE:	20456-19	
CLIENTE:	PAMELA MILAGROS CONDORI RAMOS	
DIRECCIÓN:	AREQUIPA	
ENSAYO SOLICITADO:	ANÁLISIS POR ESPECTROSCOPIA INFRARROJA	
PRODUCTO	CASCARA DE PAPA NATURAL	
CANTIDAD DE MUESTRA	01	
FECHA DE RECEPCION:	Miércoles 26 de diciembre de 2018	
CARACTERÍSTICAS	MUESTRA EN POLVO	
ENVASE:	FRASCO DE PLÁSTICO	
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS:	Jueves 17 de enero de 2019	
REFERENCIA	MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE	
PROCEDENCIA	CACERA	
CÓDIGO DE MUESTRA	26340	
LOS RESULTADOS OBTENIDOS CORRESPONDEN AL ANÁLISIS SOLICITADO EN LA MUESTRA RECIBIDA. ESTE FORMATO NO SERÁ REPRODUCIDO SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO LABINVSERV		
Página 1 de 3		
Av. Independencia s/n. Ciudad Universitaria Pabellón de Quinta - Laboratorio 108 - Primer Piso		Teléfono: 054 - 220360 E-mail: fcrof_labinserv@unsa.edu.pe



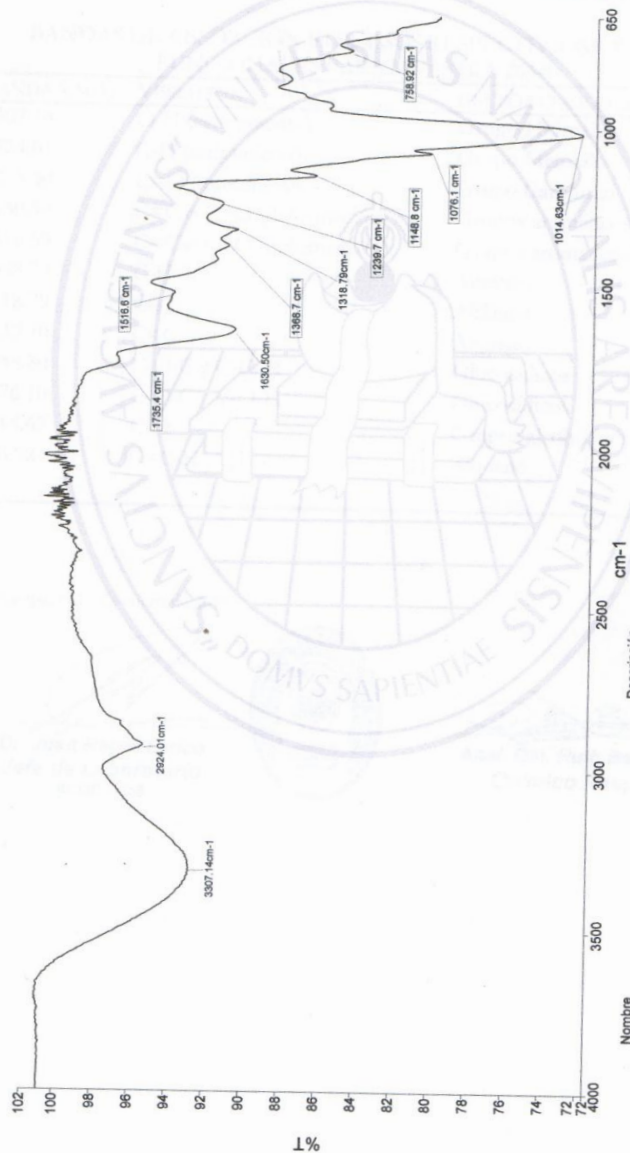
UNSA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

LABINVSERV
Laboratorio de Investigación y Servicios

INFORME DE ENSAYOS

REPORTE N°: 20456-19

Espectro FTIR de MT - 01



Nombre: 26340 cáscara de papa
Descripción: Espectro FTIR (accesorio UATR) de cáscara de papa 26340 Fecha lunes, diciembre 31 2018

Página 2 de 3

Av. Independencia s/n. Ciudad Universitaria
Pabellón de Química - Laboratorio 108 - Primer Piso

Teléfono: 054 - 220360
E-mail: conf_labinserv@unsa.edu.pe



UNSA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

LABINVSERV
Laboratorio de Investigación y Servicios


INFORME DE ENSAYOS

REPORTE N°: 20456-18

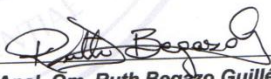
**BANDAS DE ABSORCIÓN FTIR Y SUS RESPECTIVOS GRUPOS
FUNCIONALES PARA MUESTRA 26340**

BANDA (CM-1)	VIBRACIÓN	GRUPO FUNCIONAL
3307.14	O-H (estiramiento)	Grupo Hidroxilo
2924.01	C-H (estiramiento)	Grupo Metoxilo
1735.40	C=O (estiramiento)	Grupo Carbonilo
1630.50	C=C o C=O (deformación)	Grupos aromáticos
1516.50	C=C o C=O (deformación)	Grupos aromáticos
1368.70	C-H	Alifático
1318.79	C-H	Alifático
1239.70	C=C	Alqueno
1148.80	C-O-C y C-O-H	Glucosídicos
1076.10	C-O-C y C-O-H	Glucosídicos
1014.63	C-O	Grupos alcohólicos
758.92	C=C-H	Alqueno

Emitido en Arequipa, el 17 de enero de 2019


Dr. Juan Reyes Larico
Jefe de Laboratorio
RCQP - 348




Anal. Qm. Ruth Begazo Guillén
Químico Responsable

Página 3 de 3

Av. Independencia s/n. Ciudad Universitaria
Pabellón de Química - Laboratorio 108 - Primer Piso

Teléfono: 054 - 220360
E-mail: fcnf_labinvserv@unsa.edu.pe

Anexo 6

Informe de dictamen de plan de tesis



Universidad Católica de Santa María

☎ (51 54) 382038 Fax:(51 54) 251213 ✉ ucsm@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe Apartado:1350

AREQUIPA - PERÚ

INFORME DICTAMEN PLAN DE TESIS

VISTO,

El plan de tesis Titulado:

*Evaluación de la remediación de aguas contaminadas con
Cromo empleando una columna de lecho fijo con
Bromasa de cascara de Papa "Solanum tuberosum", Arequipa 2018*

Presentado por el (los) Bachiller (es):

Condori Ramos, Pamela Milagros.

Pismacayo, Gutierrez, Maria Alexandra

Nuestro Dictamen es:

Favorable

Observaciones:

Arequipa *11 de Setiembre del 2018.*

cod. 2829.

Blgo. Armando Apenizas P.

cod. 2028

Ing. Javier Roque Rodriguez

Anexo 7

Aprobación del uso de laboratorio



Universidad Católica de Santa María

(51 54) 382038 Fax:(51 54) 251213 ✉ ucsm@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe Apartado:1350

AREQUIPA - PERÚ

EXPEDIENTE 2018000045970

UCSM-COORD.LAB - 072-2018

CONDORI RAMOS PAMELA MILAGROS
PUMACAYO GUTIERREZ MARIA ALEXANDRA

Arequipa, 2018 octubre 17

Pase a los Asistentes de Laboratorio:

Sra Janet Gomez y Sra Elsa Davila.

Se autoriza el uso del Laboratorio, *H-301*
A las señoritas indicadas, a fin de desarrollar su proyecto de Tesis "EVALUACION DE LA REMEDIACION DE AGUAS CONTAMINADAS CON CROMO EMPLEANDO UNA COLUMNA DE LECHO FIJO CON BIOMASA DE CASCARA DE PAPA "Solanum tuberosum" AREQUIPA 2018" previa coordinación de horario.

Desde *26-10-2018*.....Hasta *26-11-2018*.....

Horario: *Lunes y Martes 7.00 - 19.00*.....

Atentamente,

JMZS/CLYG
R/r

J. Zambrano S.
Dra. JESUS MARIA ZAMBRANO SALAS DE CALLE
COORDINADORA DE LABORATORIOS
Y GABINETES
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA