

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas y Biotecnológicas

Escuela Profesional de Ingeniería Biotecnológica



“EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DE LA BIOSORCIÓN DE Cr (VI) USANDO CÁSCARAS DE CUATRO VARIEDADES DE PAPA (*Solanum tuberosum*)”

Tesis Presentada por los Bachilleres:

Herrera Guillén, Alvaro Favio

Sosa Pulcha, Stephanie Elena

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Biotecnólogo

Asesor:

PhD Villanueva Salas, José

AREQUIPA – PERÚ

2018

UNIVERSIDAD CATOLICA SANTA MARIA
y Biotecnológicas
Escuela Profesional de Ingeniería Biotecnológica

Expediente N°. 2016000055278
N° Trámite en Fac. 321-2016
Fecha Recep. Fac. 28-12-2016

FORMATO UNICO PARA TRAMITACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

DE: **HERRERA GUILLEN, Alvaro Favio**
SOSA PULCHA, Stephanie Elena

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE **INGENIERO BIOTECNOLOGO**

**"EVALUACION Y COMPARACION DE LA BIOSORCION DE Cr (VI) USANDO CASCARAS DE 4
VARIEDADES DE PAPA (Solanum tuberosum)"**

DICTAMINADORES: 1) Mgter. Fredy Molina Rodríguez 2) Ing. Cinthia Córdova Barrios

DICTAMEN DE PLAN: Señor Decano de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas y Biotecnológicas, en atención a su designación, el Jurado Dictaminador del Plan de Tesis informa que, hechas las observaciones y subsanadas las correcciones, sugerimos que el título debe cambiar a: **"EVALUACION Y COMPARACION DE LA BIOSORCION DE Cr (VI) EN EFLUENTES DE CURTIEMBRES, USANDO CASCARAS DE CUATRO VARIEDADES DE Solanum tuberosum (Papa)"** después de lo cual consideramos se encuentra APTO para continuar con el trámite de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad.

Atentamente
FIRMAS:   (Devolver antes de 8 días hábiles) FECHA

ASESOR: Dr. José Villanueva Salas

DICTAMEN ASESORÍA:

Señor Decano de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas y Biotecnológicas: habiéndose concluido el trabajo de investigación intitulado "EVALUACION Y COMPARACION DE LA BIOSORCION DE Cr (VI) USANDO CASCARAS DE CUATRO VARIEDADES DE PAPA (Solanum tuberosum)", verificado el cumplimiento de los objetivos y la redacción del informe con los resultados, discusión y conclusiones correspondientes, considero se encuentra APTO para continuar con los trámites estipulados en el Reglamento de Grados y Títulos de nuestra Facultad.

FIRMA



FECHA 22/11/17

DICTAMINADORES BORRADOR DE TESIS:

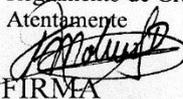
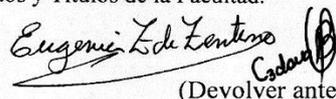
- 1) **Ing. Eugenia Zeballos Delgado** 3) **Ing. Cinthia Córdova Barrios**
2) **Dr. Fredy Molina Rodríguez**

DICTAMEN FINAL:

Señor Decano de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas y Biotecnológicas, atendiendo a su designación como Dictaminadores del presente Borrador de Tesis y luego de hechas las observaciones y correcciones pertinentes, cumpliendo con las exigencias mínimas establecidas para un trabajo de investigación de Tesis profesional, es que consideramos APTO para continuar con los trámites estipulados en el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad.

Atentamente

FIRMA

(Devolver antes de 15 días hábiles) FECHA 21/12/17

JURADOS: PRESIDENTE
VOCAL
SECRETARIO

FECHA 09/01/18 HORA 13.00 LOCAL C-402

FIRMA DEL DECANO



FECHA 03/01/18

DEDICATORIA

A Dios, a mi familia y a todos los que han contribuido a que pueda cumplir este objetivo.

Alvaro

A mis padres, por ser mi apoyo y soporte, por todas sus enseñanzas y todo lo que me brindaron a lo largo de mi carrera universitaria y vida entera.

A mi Fernandita por ser uno de mis más grandes motores y motivaciones para culminar mi tesis.

Stephanie



AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios que me ha dado la vida y la oportunidad de dar este gran paso en mi vida, por guiarme y por ayudarme a levantar en mis caídas, por estar siempre conmigo.

A mis padres, por su apoyo incondicional en toda mi vida, sus consejos, enseñanzas que han hecho de mí una persona de bien con valores y principios. Porque gracias a ellos y a su esfuerzo es que he podido llegar hasta este lugar y ser un profesional ya que de ellos aprendí a ser perseverante y lograr siempre mis metas, pensar en grande y nunca darme por vencido, porque cada una de sus lecciones me ayudo a seguir adelante, les debo todo lo que soy a ellos y les estaré eternamente agradecido.

A mi hermana, porque siempre quise y quiero ser un ejemplo para ella, así como yo doy un paso en la vida quiero que ella también lo de y llegue a ser la persona que mis padres y yo deseamos, porque a pesar de todo siempre estuvo junto a mí y fue la persona con la que compartí más tiempo de mi vida, momentos y experiencias que nunca olvidare.

A mi colegio, el Mariscal Ramón Castilla en el que me formaron para enfrentar la vida de la mejor manera posible, en sus aulas viví una de las mejores etapas de mi vida y nunca me olvidare todo lo que aprendí de cada una de las personas a las que conocí en ese lugar, ya que es ahí donde empecé a crecer y formarme para llegar hasta donde quiero llegar.

A mi universidad, la Universidad Católica de Santa María en la que decidí estudiar la carrera profesional de Ingeniería Biotecnológica, la que me dio las herramientas para culminarla con éxito y a la que confié mi formación profesional, la formación de mí futuro, el futuro del que hoy estoy escribiendo un capítulo más.

A cada uno de los profesores que fueron parte de mi formación, a ellos que siempre me impulsaron a dar lo mejor de mí poniendo cada uno su granito de arena para que hoy sea el profesional que soy y no dudo que sus enseñanzas me servirán para toda la vida. Haciendo hincapié en mi asesor de tesis el Dr. José Villanueva Salas.

A mis compañeros y amigos, a todas esas personas que hicieron que mi vida de colegio y la universitaria sean de las mejores, gracias a todos porque aprendí mucho de cada uno, por cada anécdota, por cada recuerdo, por cada experiencia vivida, por su amistad y por estar conmigo en buenas como en malas, gracias muchachos.

A mi compañera de esta batalla llamada tesis, Stephanie, por su apoyo cuando me daba por vencido o cuando no quería seguir avanzando, por su esfuerzo, trabajo, empuje y perseverancia para lograr que este proyecto se cumpla por el bien de ambos, por sus consejos en todo aspecto y porque esta tesis ha sido un gran pretexto para conocerla y hacernos amigos. Estoy seguro que hemos hecho un gran equipo y aunque veíamos lejos el que llegue este momento, lo logramos y es por eso que hoy estoy orgulloso tanto de mi como de ella y de verdad le deseo lo mejor en su futuro.

Finalmente quiero agradecer a todas las personas que han aportado de alguna manera para que yo pueda llegar hasta este momento, a mis abuelos Juan y Felipe porque en vida y hasta hoy sé que están orgullosos de cada logro en mi vida, a todos mis familiares, abuelas, tíos, primos y personas que me han ayudado, han estado siempre orgullosos y al tanto de cada uno de los pasos que he dado en mi vida, por su apoyo, comprensión y por todo lo que han hecho por mí y porque sea mejor persona día a día. Citando al gran compositor y cantante Gustavo Cerati solo me queda decir a cada uno GRACIAS TOTALES.

Alvaro

A Dios por siempre mostrarme el lado correcto y guiarme en todos los aspectos de mi vida, por haberme dado todo lo que tengo y a confiar en Él en todo momento más en los momentos difíciles.

A mis papás, Sonia y Jesús, por su incondicional apoyo a lo largo de mi carrera universitaria, por sus consejos y que me empujo para ser constante y titularme.

A mi Fernandita, porque sin conocerla se convirtió en lo más importante en mi vida, porque fue uno de los motores para culminar mi tesis.

A mis amigas del colegio; Mirella, Milagros y Lucero, que nunca dejaron de preguntar por mi tesis y me presionaron a seguir avanzando para poder culminarla.

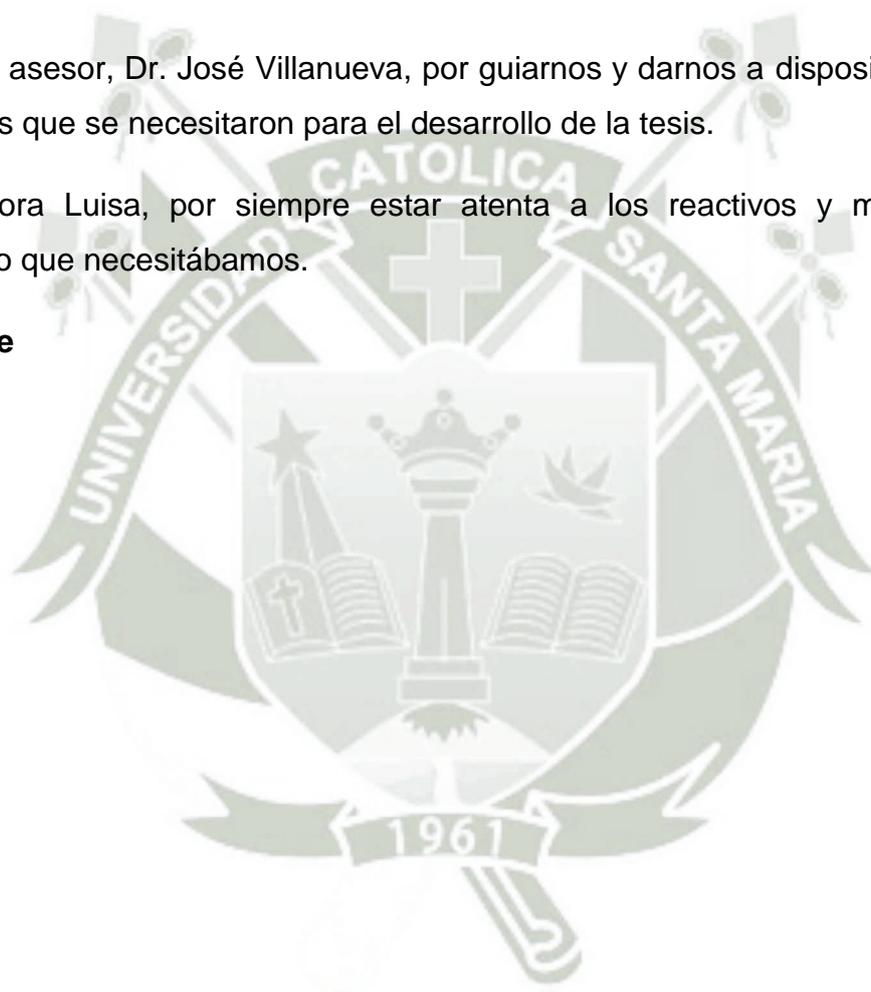
A mis amigas de laboratorio Mercurio; Karla, Georgia, Betty, Julitza y Juliana que siempre nos sacaron las dudas y nos proporcionaron información y equipos de laboratorio.

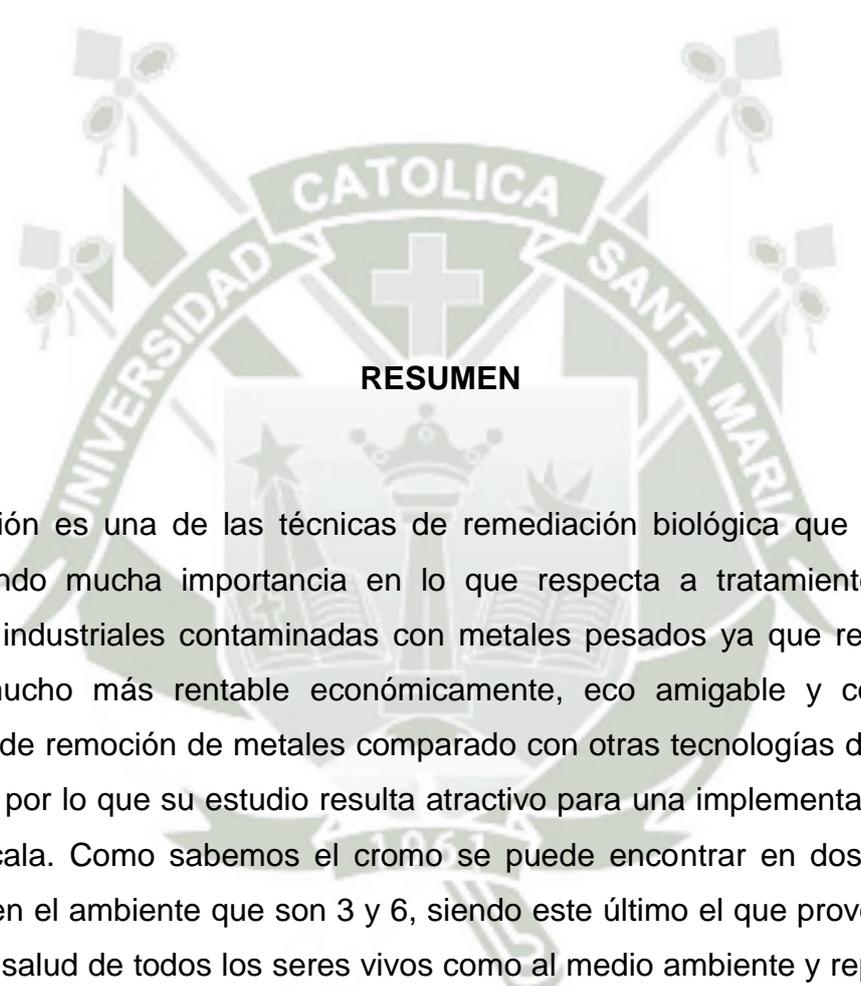
A mi compañero de tesis, Alvaro, que a pesar de las discusiones que teníamos, sin él no hubiese sido posible culminar la tesis, por su perseverancia y por apoyarme en todo momento.

A nuestro asesor, Dr. José Villanueva, por guiarnos y darnos a disposición equipos y reactivos que se necesitaron para el desarrollo de la tesis.

A la señora Luisa, por siempre estar atenta a los reactivos y materiales de laboratorio que necesitábamos.

Stephanie



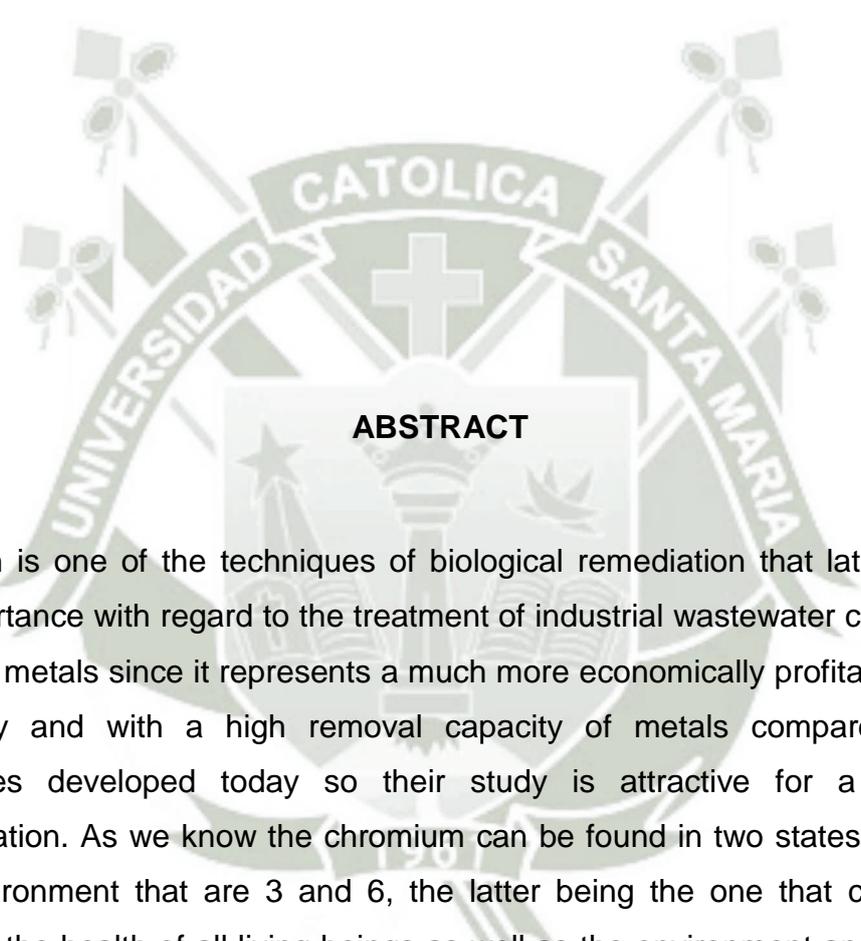


RESUMEN

La biosorción es una de las técnicas de remediación biológica que últimamente está tomando mucha importancia en lo que respecta a tratamiento de aguas residuales industriales contaminadas con metales pesados ya que representa un proceso mucho más rentable económicamente, eco amigable y con una alta capacidad de remoción de metales comparado con otras tecnologías desarrolladas hoy en día por lo que su estudio resulta atractivo para una implementación de este a gran escala. Como sabemos el cromo se puede encontrar en dos estados de oxidación en el ambiente que son 3 y 6, siendo este último el que provoca grandes daños a la salud de todos los seres vivos como al medio ambiente y representando una gran amenaza, como alternativa para su remediación biológica usamos la técnica de biosorción, la cual ha tomado gran importancia últimamente, por esta razón que se decidió usar las cáscaras de 4 variedades de papa, que actualmente son desechadas y no se les da uso alguno, escogiendo al azar y por juicio propio las variedades de Canchan, Única, Peruanita y Perricholi para tratar aguas generadas en laboratorio con concentraciones conocidas de cromo de 1.5 ppm y 3 ppm a partir de una solución madre de Dicromato de potasio y usando la

espectrofotometría UV/VIS como método principal para determinar la concentración final de cada tratamiento. Una parte de la biomasa se llevó a un pretratamiento posterior al secado, molido y tamizado (150 – 850 μm) usando ácido cítrico con la finalidad de aumentar la capacidad de retención de Cr (VI) en su superficie y la otra solo por los pasos previos. Se analizó también la cinética tanto de la biomasa con pretratamiento como la que no fue sometida a este procedimiento dando como resultado que en un tiempo de 30 minutos la biomasa tenía su más alto índice de retención, por lo que todos los tratamientos posteriores fueron realizados tomando este tiempo como el más óptimo. Teniendo la cinética se comparó la biosorción de la biomasa tratada con ácido cítrico como la que no fue tratada corroborando que la biomasa tratada obtuvo hasta un 96% de adsorción, siendo la que mejores resultados dio en las cuatro variedades de papa. A partir de lo anterior se llevó el tratamiento a diferentes pH (2, 4, 6 y 8), cantidades de biomasa (1.00, 2.00, 3.00 y 4.00 g) y temperaturas (20 ± 2 °C y 30 ± 2 °C). Se obtuvo como resultado una mejor adsorción a pH 2, usando 2.00 g de biomasa tratada y a 30 °C, siendo las variedades Peruanita y Canchan las que presentaron la mayor capacidad remediante. Finalmente se pudo comprobar que la biosorción de Cr (VI) usando cáscaras de papa es una técnica muy fácil de desarrollar, muy rentable, que no necesita de mucho tiempo de acción y que nos ofrece resultados bastante aceptables comparados con métodos usados desde hace mucho tiempo, con la opción de poder ser aplicada en aguas residuales industriales como las de curtiembres a posterior en una mayor escala o como remediante de otro tipo de metales pesados que generen un impacto negativo al ambiente.

Palabras clave: Biosorción, remediación biológica, eco amigable, cromo, espectrofotometría.



ABSTRACT

Biosorption is one of the techniques of biological remediation that lately is taking great importance with regard to the treatment of industrial wastewater contaminated with heavy metals since it represents a much more economically profitable process, eco-friendly and with a high removal capacity of metals compared to other technologies developed today so their study is attractive for a large-scale implementation. As we know the chromium can be found in two states of oxidation in the environment that are 3 and 6, the latter being the one that causes great damage to the health of all living beings as well as the environment and represents a great threat, as an alternative to its biological remediation we use the technique of biosorption, which has taken great importance lately, for this reason it was decided to use the husks of 4 potato varieties, which are currently discarded and are not given any use, choosing at random and by trial Own varieties Canchan, Única, Peruanita and Perricholi to treat lab-generated waters with known concentrations of chromium of 1.5 ppm and 3 ppm from a stock solution of potassium dichromate and using UV / VIS spectrophotometry as the main method to determine the final

concentration of each treatment. A part of the biomass was pre-treated after drying, grinding and sieving (150 - 850 μm) using citric acid in order to increase the retention capacity of Cr (VI) on its surface and the other only by the steps previous. We also analyzed the kinetics of both the biomass with pretreatment and the one that was not submitted to this procedure, resulting in a biomass with a higher retention index in a time of 30 minutes, so all subsequent treatments were carried out taking this time as the most optimal. Taking the kinetics, we compared the biosorption of the biomass treated with citric acid as the one that was not treated, corroborating that the treated biomass obtained up to 96% adsorption, being the one that gave the best results in the four potato varieties. From the above, the treatment was carried out at different pH (2, 4, 6 and 8), biomass quantities (1.00, 2.00, 3.00 and 4.00 g) and temperatures ($20 \pm 2^\circ \text{C}$ and $30 \pm 2^\circ \text{C}$). As a result, a better adsorption was obtained at pH 2, using 2.00 g of treated biomass and at 30°C , with the Peruanita and Canchan varieties having the highest remediation capacity. Finally, it was found that the biosorption of Cr (VI) using potato skins is a very easy technique to develop, very cost-effective, that does not need much time of action and that offers us quite acceptable results compared with methods used for a long time, with the option of being able to be applied in industrial wastewater such as those of tanneries later on a larger scale or as a remediation of another type of heavy metals that generate a negative impact on the environment.

Keywords: Biosorption, biological remediation, eco-friendly, chromium, UV / VIS spectrophotometry.



INTRODUCCIÓN

La contaminación de las aguas surge como resultado de distintas actividades humanas, principalmente la industria, la agricultura y la eliminación de residuos mineros. Los contaminantes son desechados al medio ambiente y alcanzan concentraciones por encima de los valores permitidos. Todas las fuentes hídricas son las que tienen mayor riesgo de contaminación por su alta velocidad de propagación. (1)

Hoy en día se han desarrollado muchas técnicas para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con metales pesados entre las que se pueden encontrar la filtración, oxidación, precipitación, reducción, entre otras, las que muchas veces son muy costosas y no se obtienen los resultados esperados luego de dichos tratamientos, es así que muchas veces se opta por otras tecnologías mucho más efectivas y menos costosas. Una de estas es la biosorción poco usada para la remoción o remediación de contaminantes como los metales pesados en el medio ambiente debido a la falta de conocimiento que actualmente existe de esta o a la

falta de desarrollo de tecnologías a gran escala que permitan su uso industrial y tomando en cuenta las ventajas comprobadas que tiene esta técnica de remediación biológica de esta manera es que surge la idea de ahondar un poco más en el tema y ver la factibilidad que se puede tener usando residuos domésticos, los cuales no son aprovechados en la actualidad. (2)

Existen muchos tipos de biomasa que se usa para el fin y lo hacen atrapando o enlazando los contaminantes mediante diferentes mecanismos, siendo estos materiales fuente de energía limpia y son lógicamente biodegradables por lo que ofrecen muchas ventajas comparados con los métodos tradicionales. Esto se ve reflejado en muchas investigaciones usando una variedad de la ya mencionada biomasa y remediando metales pesados conocidos y los más perjudiciales para la salud como son el cadmio, cobre, cromo, plomo, zinc, entre otros. (3)

Entre las ventajas que presenta esta técnica; son la reducción de costos, capacidad para regenerarse, la posibilidad para recuperar el metal y el incremento de remoción de los metales pesados. (4)

En el Perú existen una gran variedad de materia que se puede usar como biomasa entre ellas se destaca a los desechos que se pueden originar a partir de la papa, ya que en nuestro país contamos con más de 360 variedades de papa, entre ellas las que más se cultivan son; Perricholi, Única y Canchan, y hoy en día existen muchas empresas de procesamiento de tubérculos y restaurantes que generan desechos como las cáscaras de papa, que según a su composición poseen una alta capacidad de adsorción de metales pesados.

En cuanto a los procedimientos usados para realizar la técnica de biosorción existen muchos dependiendo del material que se use para el tratamiento y el metal que va a ser tratado o removido por lo que un punto muy importante es escoger la mejor técnica para obtener los mejores resultados. (2)

De los contaminantes más críticos y que existen en mayor cantidad encontramos al cromo, el cual puede provocar muchos efectos negativos en la salud sobre todo en su estado de oxidación +6, acumulándose en los cuerpos de organismos acuáticos y del suelo, afectando la producción de fitoplancton, que es una fuente importante de producción de oxígeno en mares y a la salud humana provocando anemia, daño

a los riñones, abortos, perturbación del sistema nervioso, cáncer, producen daño en el ADN, mutaciones genéticas, intercambio entre cromátidas hermanas, aberraciones cromosómicas, transformaciones celulares y mutaciones letales, entre otros, pudiendo estos ser irreversibles. Además, como se sabe el cromo en la industria es generado principalmente en las curtiembres, de las cuales como resultado de su proceso generan grandes concentraciones de este metal que al ser almacenado o desechado tiende a convertirse en su totalidad en Cr (VI) lo que origina un grave problema para el medio ambiente. (3)

Habiendo encontrado tantas curtiembres aledañas a la ciudad de Arequipa y que generan diariamente residuos líquidos que no son tratados y son enviados al ambiente sin el cuidado alguno es que se genera el interés por darle una solución a tal problema y de una manera eco amigable, eficiente y a un bajo costo.

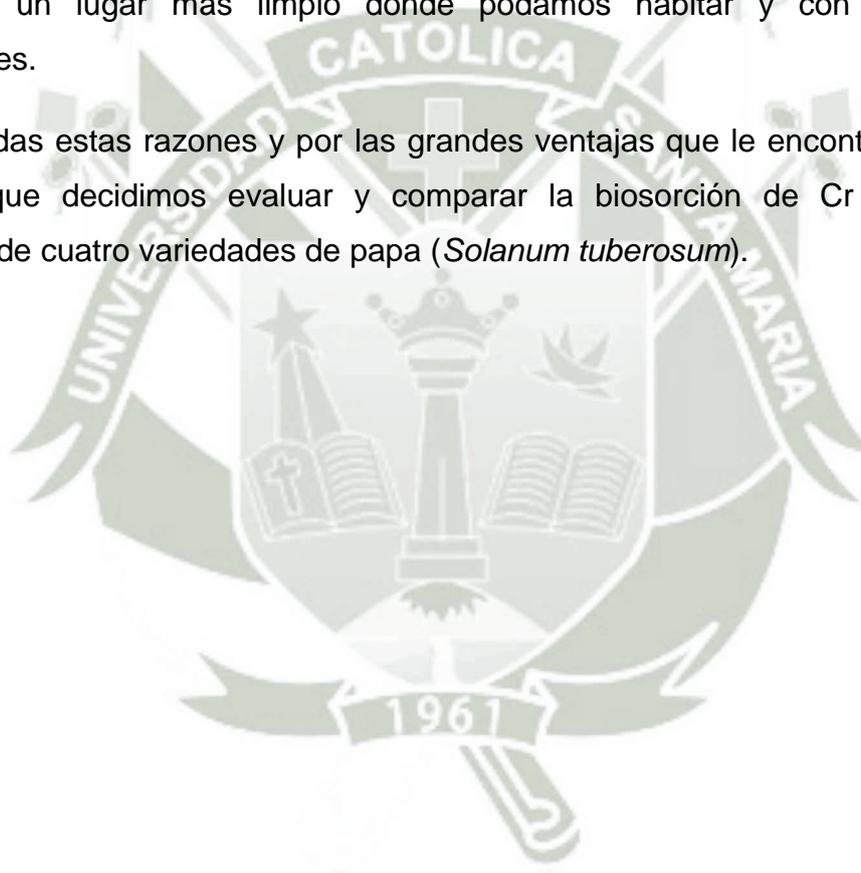
Para determinar la mejor forma de tratar las aguas residuales se puede usar como agente a tratar aguas contaminadas de forma sintética, es decir elaborados a partir de una concentración madre para poder determinar de forma más sencilla la concentración que se tendrá como inicial y las sucesivas para el tratamiento de forma que se puede tener una idea clara de la concentración final y la cantidad de metal pesado remediado por la biomasa y luego esto pueda ser aplicado para aguas residuales industriales a pequeña escala y así ir viendo la factibilidad para hacerlo a gran escala y presentarse como una opción muy viable para muchas empresas y curtiembres que deseen acoger una tecnología mucho mejor que las que se vienen aplicando hasta el día de hoy. (2)

Existen muchos trabajos acerca del uso de esta técnica y el objetivo es poder desarrollar tecnologías que puedan competir con las que actualmente se usan y así poder poco a poco ir mejorando y aumentando nuestra conciencia ambientalista, evitando y disminuyendo la contaminación con el uso de nuevas y mejores herramientas para una remediación que no genera subproductos y que nos ofrece una mayor efectividad, así como también que puedan usarse en todos los tipos de contaminación y para todos los metales pesados perjudiciales para la salud y el ambiente, de tal manera que con el pasar del tiempo y con nuevos avances en estos temas podamos lograr que todo el mundo las adopte para poder llegar a tener un desarrollo sostenible a lo largo de los años y en el que las tecnologías

biológicas, biodegradables sean las encargadas de descontaminar cada ambiente ya sea acuífero, terrestre o aéreo usando como agente remediante cualquier tipo de biomasa que tengamos al alcance como son los organismos vivos o desechos orgánicos que no son usados y generan basura acumulable sin pensar en el gran beneficio que podemos sacarle y lo mejor es que se obtienen de una manera rápida contribuyendo de tal manera a la disminución de la basura generada día a día por estos.

Los pasos que se dan en estos temas son agigantados y se espera que año a año mucho más empresas e instituciones las tomen en cuenta y las pongan en marcha por ahora trabajos de investigación como estos contribuyen al desarrollo con el fin de tener un lugar más limpio donde podamos habitar y con las mejores condiciones.

Es por todas estas razones y por las grandes ventajas que le encontramos a este método que decidimos evaluar y comparar la biosorción de Cr (VI) usando cáscaras de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum*).



ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I..... 1

OBJETIVOS..... 1

HIPÓTESIS..... 3

CAPÍTULO II..... 4

2. MARCO TEÓRICO..... 4

2.1. Papa "*Solanum tuberosum*" 4

2.1.1. Generalidades 4

2.1.2. Características químicas: 5

2.1.2.1. Almidón..... 6

2.1.2.2. Glicoalcaloides de la papa 8

2.2. Método de activación fisicoquímica..... 10

2.2.1. Activación fisicoquímica con ácido cítrico de la cáscara de papa 11

2.3. Cromo..... 12

2.3.1. Generalidades del cromo.....12

2.3.2. Afectaciones del cromo al ambiente y seres vivos13

2.3.3. Reacciones y mecanismos del cromo en sistemas acuosos14

2.3.4. Métodos convencionales para la eliminación del cromo15

2.4. Procesos biológicos usados para la remediación..... 16

2.4.1. Adsorción.....16

2.4.1.1. La bioadsorción como alternativa de solución	18
2.4.1.2. Metales de interés en el proceso de biosorción	19
2.4.1.3. Biomateriales	21
2.4.1.4. Fundamentos fisicoquímicos del proceso usando biomasa residual	24
2.4.1.4.1. Efecto de la temperatura	25
2.4.1.4.2. Efecto del pH.....	25
2.4.1.4.3. Efecto del tamaño de partícula.....	25
2.4.1.4.4. Presencia de otros iones.....	26
2.5. Modelos teóricos	26
2.6. Espectroscopia UV/VIS	27
CAPÍTULO III.....	31
3. MATERIALES Y MÉTODOS	31
3.1. CAMPO DE INVESTIGACIÓN	31
3.1.1. Lugar de experimentación	31
3.1.2. Unidades de estudio	31
3.2. MATERIALES.....	32
3.2.1. Muestras y/o unidades biológicas:.....	32
3.2.2. Material de laboratorio:.....	32
3.2.3. Insumos y reactivos químicos:.....	33
3.2.4. Equipos e instrumentación:.....	33
3.2.5. Otros:.....	34
3.2.6. Software:.....	34
3.3. METODOLOGÍA.....	34
3.3.1. Recolección y preparación de la biomasa	34
3.3.2. Caracterización de la biomasa.....	35
3.3.3. Preparación de soluciones.....	35

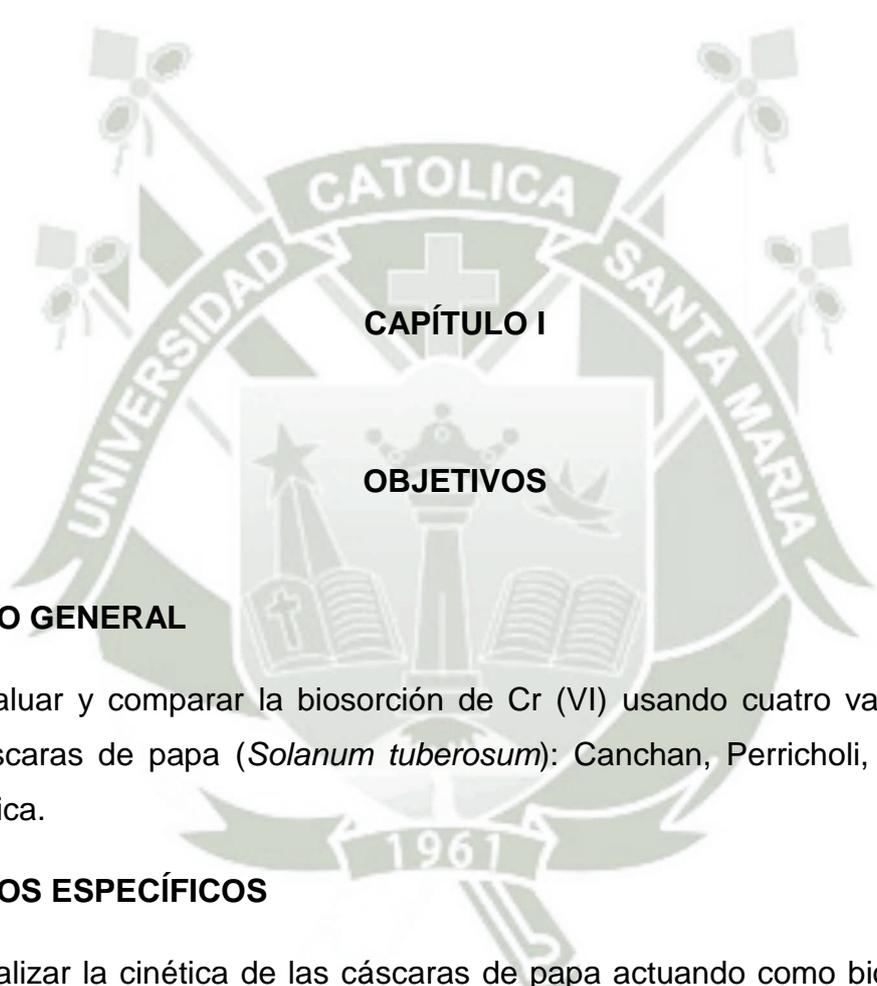
3.3.4. Determinación del límite de detección (LOD), límite de cuantificación (LOQ) y elaboración de la curva de calibración	36
3.3.5. Análisis de la cinética del material bioadsorbente	38
3.3.6. Determinación del efecto de la biomasa sin tratamiento (BST) y de la biomasa con tratamiento (BCT) en la biosorción de Cr (VI).....	38
3.3.7. Evaluación del efecto del pH en la biosorción de Cr (VI) utilizando cáscaras de papa	39
3.3.8. Evaluación del efecto de la cantidad del bioadsorbente en la biosorción de Cr (VI).....	39
3.3.9. Evaluación del efecto de la temperatura en la biosorción de Cr (VI) 40	
3.3.10. Análisis estadístico.....	40
CAPÍTULO IV	41
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
4.1. Recolección y preparación de la biomasa	41
4.2. Caracterización de la biomasa	43
4.3. Determinación del LOD, LOQ y elaboración de la recta de calibración.....	44
4.4. Análisis de cinética del material bioadsorbente.....	46
4.5. Determinación del efecto de la biomasa sin tratamiento (BST) y de la biomasa con tratamiento (BCT) en la biosorción de Cr (VI).....	49
4.6. Evaluación del efecto del pH en la biosorción de Cr (VI) utilizando cáscaras de papa	52
4.7. Evaluación del efecto de la cantidad del bioadsorbente en la biosorción de Cr (VI)	60
4.8. Evaluación del efecto de la temperatura en la biosorción de Cr (VI) ...	69
CONCLUSIONES	75
RECOMENDACIONES	77
BIBLIOGRAFÍA	78
ANEXOS.....	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características de algunos almidones comunes	8
Tabla 2. Ventajas y desventajas de los mecanismos de captación de iones metálicos	20
Tabla 3. Materiales biosorbentes usados para la adsorción de metales pesados...	23
Tabla 4. Modelos de isotermas de adsorción	27
Tabla 5. Curva de calibración para análisis espectrofotométrico	37
Tabla 6. Datos para la cuantificación de Cr (VI)	44
Tabla 7. Cantidad adsorbida, porcentaje de remoción y capacidad de biosorción obtenidos en la cinética para el ensayo de biomasa sin tratamiento (BST)	48
Tabla 8. Cantidad adsorbida, porcentaje de remoción y capacidad de biosorción obtenidos en la cinética para el ensayo de biomasa con tratamiento (BCT)	48
Tabla 9. Tabla comparativa de la capacidad de adsorción de la BST y la BCT	49
Tabla 10. Efecto del pH 2 en la biosorción de Cr (VI).....	53
Tabla 11. Efecto de pH 4 frente a la biosorción de Cr (VI)	54
Tabla 12. Efecto de pH 6 frente a la biosorción de Cr (VI)	55
Tabla 13. Efecto de pH 8 frente a la biosorción de Cr (VI)	57
Tabla 14. Efecto de 1.00 g de bioadsorbente frente a la biosorción de Cr (VI)	61
Tabla 15. Efecto de 2.00 g de bioadsorbente frente a la biosorción de Cr (VI)	62
Tabla 16. Efecto de 3.00 g de bioadsorbente frente a la biosorción de Cr (VI)	64
Tabla 17. Efecto de 4.00 g de bioadsorbente frente a la biosorción de Cr (VI)	66
Tabla 18. Efecto de 20 °C frente a la biosorción de Cr (VI)	70
Tabla 19. Efecto de 30 °C frente a la biosorción de Cr (VI)	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estructura química de la amilosa	7
Figura 2: Estructura química de la amilopectina.....	7
Figura 3: Reacción termodinámica entre el ácido cítrico con los grupos hidroxilos de la celulosa	12
Figura 4: Recolección y preparación de la biomasa.....	42
Figura 5: Curva de calibración para la cuantificación de Cr (VI).....	45
Figura 6: Gráfico comparativo del proceso de cinética de biosorción para la remoción de Cr (VI) de BST	47
Figura 7: Gráfico comparativo del proceso de cinética de biosorción para la remoción de Cr (VI) de BCT.	47
Figura 8: Biosorción de biomasa sin tratamiento a partir de una solución de Cr (VI) de 3 ppm en 30 minutos de interacción.....	51
Figura 9: Biosorción de biomasa con tratamiento a partir de una solución de Cr (VI) de 3 ppm en 30 minutos de interacción.....	51
Figura 10: Gráfico comparativo de porcentaje de remoción de las distintas variedades de papa (BST y BCT).....	52
Figura 11: Porcentaje de remoción del biosorbente frente a pH 2.	53
Figura 12: Porcentaje de remoción del biosorbente frente a pH 4.	55
Figura 13: Porcentaje de remoción del biosorbente frente a pH 6.	56
Figura 14: Porcentaje de remoción del biosorbente frente a pH 8.	57
Figura 15: Gráfico comparativo del porcentaje de remoción frente a la variación de pH.....	58
Figura 16: Porcentaje de remoción para 1.00 g de bioadsorbente.....	61
Figura 17: Porcentaje de remoción para 2.00 g de bioadsorbente.....	63
Figura 18: Porcentaje de remoción para 3.00 g de bioadsorbente.....	64
Figura 19: Porcentaje de remoción para 4.00 g de bioadsorbente.....	66
Figura 20: Gráfico comparativo del porcentaje de remoción frente a la variación de cantidades de bioadsorbente.	68
Figura 21: Porcentaje de remoción frente a 20 °C.....	70
Figura 22: Porcentaje de remoción frente a 30 °C.....	72
Figura 23: Gráfico comparativo del porcentaje de remoción frente a la variación de temperatura.	73



CAPÍTULO I

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

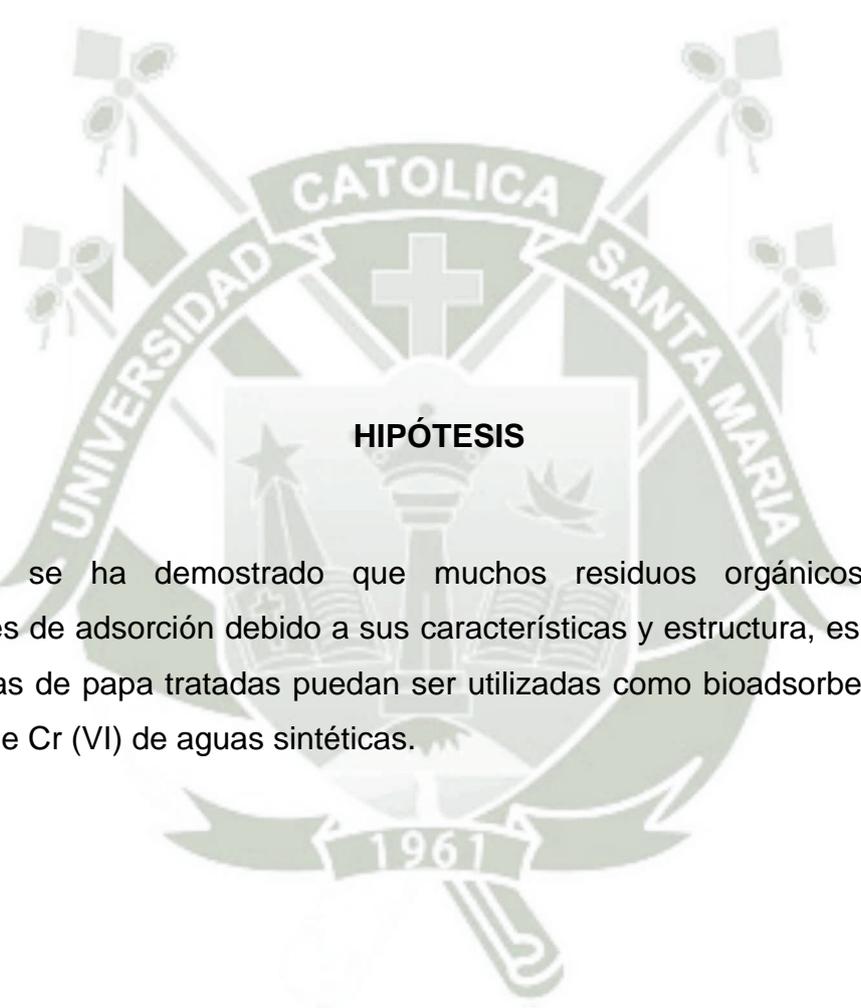
- ❖ Evaluar y comparar la biosorción de Cr (VI) usando cuatro variedades de cáscaras de papa (*Solanum tuberosum*): Canchan, Perricholi, Peruanita y Única.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Analizar la cinética de las cáscaras de papa actuando como bioadsorbente de Cr (VI).
2. Determinar el efecto del tratamiento con ácido cítrico de las cáscaras de papa de las variedades: Peruanita, Perricholi, Única y Canchan, en la biosorción de Cr (VI) de aguas generadas en laboratorio.
3. Evaluar el efecto del pH en la biosorción de Cr (VI) de las aguas generadas en laboratorio utilizando la cáscara de papa.

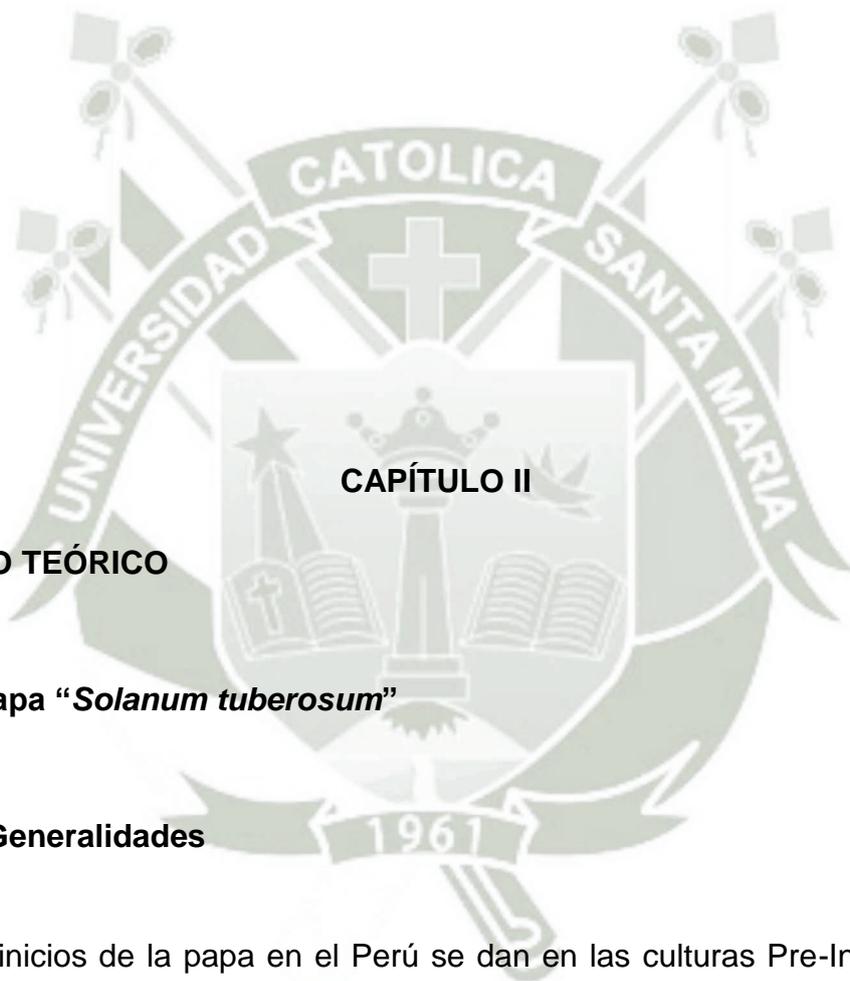
4. Evaluar el efecto de la cantidad de biomasa usada para la biosorción de Cr (VI) de aguas generadas en laboratorio.
5. Evaluar el efecto de la temperatura en la biosorción de Cr (VI) de aguas generadas en laboratorio.





HIPÓTESIS

Dado que se ha demostrado que muchos residuos orgánicos presentan propiedades de adsorción debido a sus características y estructura, es posible que las cáscaras de papa tratadas puedan ser utilizadas como bioadsorbentes para la remoción de Cr (VI) de aguas sintéticas.



CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Papa "*Solanum tuberosum*"

2.1.1. Generalidades

Los inicios de la papa en el Perú se dan en las culturas Pre-Incas e Incas. Hace aproximadamente 10500 años, en el cañón de Chilca, al sur de Lima, en donde se encontraron las muestras más antiguas, conociéndose que el origen de este cultivo se dio en el altiplano peruano-boliviano. (5)

Nosotros poseemos la mayor cantidad de especies de papa conocidas en el mundo. El Perú cuenta con 8 especies nativas domesticadas y 2301 de las más de 4000 variedades que existen en Latinoamérica. Además de poseer

91 de las 200 especies que crecen en forma silvestre en casi todo nuestro continente. Sembrada a lo largo de toda la sierra del Perú, desde la sierra piurana hasta la sierra de Tacna. En 1952 se crearon dos primeras variedades mejoradas caracterizadas por tener mayor capacidad productiva, hoy en día en el Perú cuenta con 3526 muestras de *Solanum tuberosum*; 2567 subespecie indígena, 938 subespecies *tuberosum* y 21 muestras de la hibridación entre las dos subespecies; con colaboración del INIA (Instituto de Innovación Agraria) y del CIP (Centro Internacional de la Papa). (5)

La papa (*Solanum tuberosum*) a nivel mundial es el 4º cultivo más sembrado en más de cien países, con una producción de 290 millones de tn. En el Perú la producción anual de papa es de 4,7 millones de tn, ubicándolo así como el mayor productor de América Latina y en el puesto número doce a nivel mundial, con 317000 hectáreas dedicadas al cultivo de papa y un rendimiento de aproximadamente 14.9 tn/ha, el MINAGRI comunicó que el consumo anual de papa llegó en este 2016 a 89 kilos por persona y se espera que al 2021 se alcance a los 100 kilos anuales, este auge es debido al incremento de pollerías y al consumo de estas. (6) (7)

2.1.2. Características químicas:

Este tubérculo posee el 80 % de agua, 2 % de proteína, aminoácidos esenciales y vitamina A y C, la papa es usada en diversas industrias ya sea para la producción de almidón, papas pre-cocidas a la francesa, chips, hojuelas, entre otras.

La papa en su composición posee el 80 % de agua, seguido por los carbohidratos entre el 16 – 20 % en donde destacan los almidones, proteínas del 1 – 2 % del peso total de la papa que se encuentra mayoritariamente en el córtex (debajo de la cáscara) y la médula (el corazón o zona central); destacando las albuminas (49 %) y globulinas (26 %) siendo estas las más abundantes, posee también glutelinas (8.3 %) y prolaminas (4.3 %). Tiene una baja cantidad en lípidos de 0.1 %. Contiene vitamina C y

A y algunas vitaminas del complejo B, rica en minerales. Componentes no nutritivos resaltan los pigmentos, como los carotenoides que le proporcionan ese color característico a la papa. (8)

2.1.2.1. Almidón

Polímero de gran peso molecular de 3000 a 300000 unidades, formado por moléculas de α -D-glucosa unidas por enlaces glucosídicos α -1,4 originando dos polímeros; la amilosa en la parte interior del almidón y la amilopectina en las capas externas del almidón.

El almidón es un polisacárido de reserva de los vegetales, presente en semillas, algunos frutos, tubérculos y cereales, como se muestra en la Tabla 1.

- Amilosa: Polímero lineal y de gran longitud, de peso molecular de 200000 a 800000 Da, el peso se puede ver afectado según la especie de fruto o planta y también el estado de maduración. Formada por una cadena lineal de glucosas unidas por un enlace glucosídico α -1,4, con características de formar complejos con alcoholes, yodos y ácidos orgánicos.

Estos complejos reciben los nombres de clatratos o compuestos de inclusión helicoidal, la amilosa al estar a temperatura ambiente, adopta una conformación en espiral y que puede albergar una molécula de yodo. Si este complejo se ve afectado por cambios de temperatura la estructura helicoidal se ira desintegrando transitoriamente.

Se conoce que la relación del fósforo y la amilosa es inversamente proporcional, esto quiere decir que mientras mayor sea la cantidad de amilosa en la molécula de almidón, menor será la cantidad de fósforo presente en este. (8) (9)

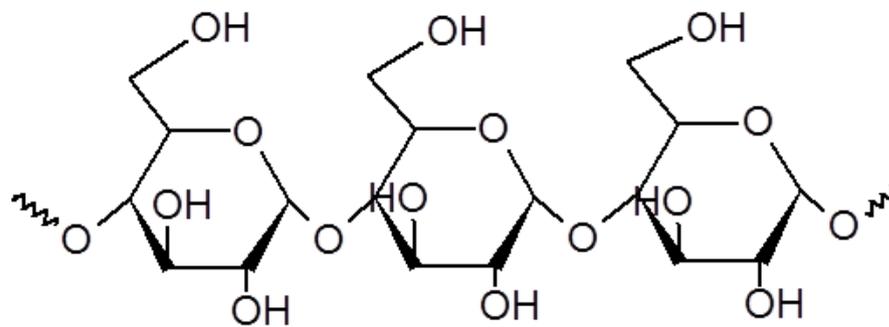


Figura 1: Estructura química de la amilosa

- Amilopectina: Polisacárido de peso muy alto que puede llegar a los 200 millones de Da, de cadenas de restos de glucosa unidos en enlace α -1,4, y presentan cada 15 a 25 unidades de glucosa, ramificaciones de enlaces α -1,6 por estos enlaces se da la formación de una molécula ramificada al igual que la amilosa, adquiriendo solo un grupo funcional.

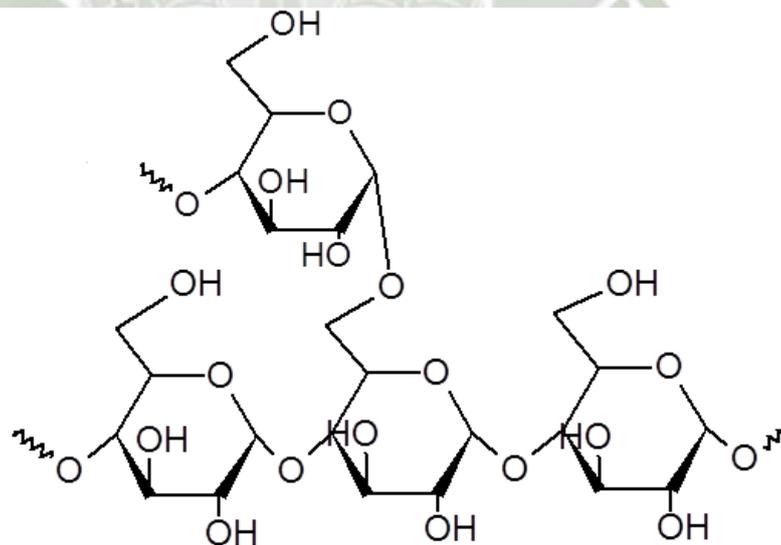


Figura 2: Estructura química de la amilopectina

Fuente Figura 1 y 2: Martínez J., Otras vías metabólicas de carbohidratos, Universidad Autónoma de Aguas Calientes.

Tabla 1: Características de algunos almidones comunes

TIPO	AMILOPECTINA %	AMILOSA %	TAMAÑO (μm)
Maíz	73	23	5 – 25
Maíz Amiláceo	20 – 45	55 – 80	5 – 25
Papa	78	22	5 – 100
Arroz	83	17	2 – 55
Yuca	82	18	5 – 35
Maíz Céreo	99 – 100	0 – 1	5 – 25
Sorgo	99 – 100	0 – 1	5 – 45
Trigo	76	24	11 – 41

Fuente: Mendoza M., Estructura del almidón. Revista de Ganadería.

2.1.2.2. Glicoalcaloides de la papa

Los principales glicoalcaloides en especies de papa cultivadas son la alfa solanina y la alfa chaconina. En ambas, la aglicona solatriosa y la segunda chacotriosa. La solatriosa se forma por unión de glucosa y rhamnosa a galactosa, en tanto que la chacotriosa surge de la unión de dos unidades de rhamnosa a una de glucosa. Los glicoalcaloides se consideran fitoalexinas, es decir, compuestos que se forman antes de la infección por un patógeno y contribuyen a impedir que este se propague en el tubérculo, en las variedades comerciales.

Entre los factores ambientales que pueden incrementar los niveles de glicoalcaloides están: la exposición a la luz ultravioleta, el almacenamiento, incluso al oscuro o a baja temperatura, y el daño mecánico. Obviamente, la luz y las altas temperaturas los incrementan bastante.

Las mayores concentraciones de glicoalcaloides se acumulan en la piel y en los brotes y otros tejidos de alta actividad metabólica.

Las papas peladas tienen menos cantidad de glicoalcaloides puesto que hasta el 60 % de estos se remueve por el pelado.

El almacenamiento prolongado hace que los glicoalcaloides penetren más al centro del tubérculo.

Las temperaturas bajas de almacenamiento causan menor incremento que las altas, aunque los reportes de unos pocos casos señalan lo contrario. El contenido de glicoalcaloides es mayor en papas cultivadas en regiones de clima cálido que en las montañosas. La exposición de los tubérculos a la luz los vuelve verdes por síntesis de clorofila. Mucha gente asocia el enverdecimiento con el sabor amargo, sabor este que resulta del incremento en el contenido de glicoalcaloides. Existe estrecha relación entre la síntesis de clorofila y la de glicoalcaloides.

La luz del sol y la luz artificial aumentan bastante la clorofila y los glicoalcaloides antes y después de la cosecha. El cultivo inadecuado que expone los tubérculos a la luz del sol o los que quedan al descubierto resulta de menor calidad debido al incremento en el contenido de glicoalcaloides.

El daño mecánico (cortado, pinchado, golpe por caída, martillado, cepillado) incrementa el contenido de glicoalcaloides, incluso al oscuro (Wu y Salunke 1976) pero el incremento es mayor cuando el daño mecánico va seguido de iluminación o de alta temperatura durante el almacenamiento. La formación de glicoalcaloides se presenta en gran medida dentro de los 15 días después del daño, con poco incremento después de 30 días.

Los métodos de procesamiento pueden afectar el contenido de glicoalcaloides en los productos de papa. Sizer citado por Woolfe (1987) encontró que en las papitas fritas no quedan destruidos los glicoalcaloides, sino que se concentran aún más, si antes no se remueve la piel. Algunos reportes muestran reducción del contenido de glicoalcaloides por horneado usual y por fritura.

Concentraciones de glicoalcaloides de menos de 10 mg/100 g de tubérculo fresco son normalmente imperceptibles por el gusto. Valores superiores al anterior imparten al tubérculo un sabor amargo. Contenidos de 20 mg/ 100 g o más dan sensación inmediata de quemadura y, en general, se consideran peligrosos para el consumo humano. En efecto, a niveles de 30 mg/100 g o más, se han reportado casos de muertes. En las papitas fritas la sal y el aceite pueden enmascarar el sabor amargo causado por altas concentraciones de glicoalcaloides.

Sinden y Deahl (1976) utilizaron 13 clones de papa para evaluación de sabor amargo y sensaciones afines según el método de comparación pareada. Encontraron que la magnitud de las sensaciones de quemadura y amargura están altamente correlacionadas con el contenido de glicoalcaloides. De otra parte, observaron que los fenoles no contribuyeron al menos significativamente, al amargo, quemadura o astringencia. (10)

2.2. Método de activación fisicoquímica

El proceso involucra el mezclado de la materia prima original con el agente activante (deshidratante), formando una pasta que luego es secada a una temperatura entre los 60 y 120 °C ocurriendo una impregnación con el resultado final de la creación de una estructura porosa y una ampliación de área superficial. El producto resultante se lava con objeto de dejarlo tan libre como sea posible del químico utilizado.

Los agentes activantes más usados son el ácido sulfúrico y el ácido fosfórico, aunque también se han utilizado otro tipo de sustancias, pero este dependerá de la materia prima original. (11)

La acción electrolítica del agente activante hace que la celulosa se someta a un cambio conocido como tumefacción, esto quiere decir que las moléculas en dirección del eje longitudinal permanecen sin cambios, y los enlaces laterales

son rotos, produciéndose así espacios inter e intra miceliales en donde serán agregados los iones metálicos. (12)

Los parámetros fundamentales que controlan el proceso de activación química y la biomasa a obtener son: la relación de impregnación, la temperatura de activación y el tiempo de residencia en el que se encuentra la sustancia activante con la biomasa. (13)

2.2.1. Activación fisicoquímica con ácido cítrico de la cáscara de papa

Teniendo en cuenta que el Perú está considerado entre los principales productores agrícolas de papa con una producción anual de 4.7 millones de toneladas de este tubérculo, ubicándolo como el mayor de productor en América Latina. Sin embargo, la literatura no reporta una gran cantidad de trabajos de investigación respecto al aprovechamiento de cáscara de papa. En el área de adsorción de metales se reportan trabajos en la remoción de cadmio, zinc, plomo y cobre. (14)

La modificación que presenta el ácido cítrico sobre la cáscara de papa se basó en un mecanismo de carbonización, en el cual el objetivo es adicionar grupos carboxilos a la fibra tratada mediante la formación de un anhídrido entre dos grupos carboxílicos debido a la pérdida de una molécula de agua durante el calentamiento del ácido cítrico junto con la cáscara de papa, que luego reacciona con un grupo hidroxilo de la biomasa para formar un éster y así aumentar la posibilidad de enlace con el ion metálico tal como se observa en la Figura 3. (15)

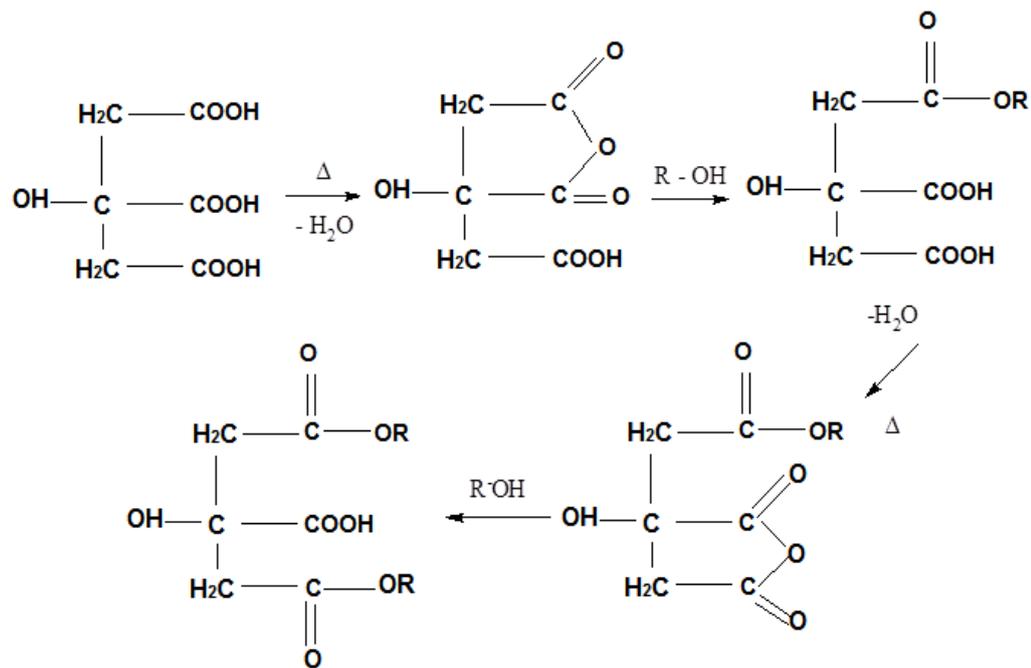


Figura 3: Reacción termodinámica entre el ácido cítrico con los grupos hidroxilos de la celulosa

Fuente: Pitsari et al.,2013 citado en Tejada C. et al., 2016.

2.3. Cromo

2.3.1. Generalidades del cromo

El Cromo es un metal de color blanco plateado, duro y quebradizo; su número atómico 24, peso atómico 51.996, este tiene el punto de fusión más alto 1890°C. Se sabe que el cromo posee tres principales estados de oxidación Cromo II, III y VI, también se lo puede encontrar en Cromo V y IV, pero estos son muy inestables. El cromo hexavalente es el más tóxico y este al ser soluble aumenta su peligrosidad. (16)

El cromo es uno de los elementos de transición comunes, ya que el óxido de Cr (VI) y los dicromatos son usados como agentes oxidantes y como recubrimiento electrolítico protector del acero.

El Cr (VI) lo encontramos presente en residuos industriales de la producción de acero inoxidable, galvanoplastia, sistemas de control de emisiones, curtido de cuero, en la preservación de madera, en vertederos de cenizas volátiles de carbón y drenaje ácido de la mina. (17)

Se conoce que el cromo en baja concentración (trazas), es un componente esencial para la dieta diaria, ya que tiene propiedades como el regulamiento del metabolismo de la glucosa, pero, así como cualquier metal pesado una cantidad excesiva de este componente es muy peligroso por su efecto carcinógeno humano de tipo A. Así como el cromo afecta a humanos también si se encuentra en altas concentraciones en los suelos, afecta al crecimiento de las plantas, en caso de microorganismos y otras pequeñas formas de vida, el cromo no es esencial. (18)

2.3.2. Afectaciones del cromo al ambiente y seres vivos

La contaminación producida por los metales pesados es uno de los problemas medioambientales más importantes. Un gran número de industrias producen desechos que contienen altas concentraciones de estos metales y son vertidos en el medio ambiente, contaminando un recurso que es cada vez más escaso en el planeta, el agua, por lo que puede llegar a constituir una amenaza para la vida humana. Este hecho justifica por sí solo cualquier acción investigadora encaminada a preservar y mantener dicho recurso en unos parámetros de calidad aceptables. A continuación, podemos observar la afectación del cromo a las diferentes fuentes y seres vivos. (19)

Agua: En los sistemas acuáticos, la toxicidad de los compuestos solubles del cromo varía según la temperatura, pH y dureza del agua, y según las especies de organismos que los pueblan. En cuanto al comportamiento del cromo, se puede afirmar que los compuestos del Cr (III) tienen gran estabilidad, el caso contrario ocurre para los compuestos del Cr (VI).

Plantas: Se conocen, entre otras, lesiones en el sistema radicular, originadas principalmente por el Cr (VI). Los efectos tóxicos que el cromo ejerce sobre las plantas han sido descritos, fundamentalmente, en base a ensayos vasculares. (20)

No solo las distintas especies sino también las distintas partes internas de las plantas difieren considerablemente en el modo de asimilar el cromo y en el tipo de lesiones que acusan. En la avena pudo comprobarse que las raíces no se desarrollaban y que las hojas se mantenían angostas, tomando una coloración pardo-rojiza con aparición de pequeñas manchas necróticas. (21)

Seres humanos: Debido a su insolubilidad, el cromo metálico no es tóxico en el agua. Los diversos compuestos del cromo hexavalente representan la mayor amenaza, especialmente debido a sus efectos genéticos. Los compuestos del Cr (VI) actúan en casi todos los sistemas de ensayo diseñados para determinar sus efectos mutagénicos. El hecho comprobado de que atraviesa la placenta significa un alto riesgo para los embriones y fetos. El efecto carcinógeno de los compuestos del Cr (VI) no sólo ha sido demostrado experimentalmente con animales, sino también ha sido confirmado por los resultados de estudios epidemiológicos realizados con grupos humanos expuestos a esta sustancia en su lugar de trabajo. Se considera que el período de latencia correspondiente oscila entre 10 y 27 años. Contrariamente a lo que ocurre con los compuestos del Cr (VI). (18)

Las intoxicaciones crónicas pueden producir mutaciones en el tracto gastrointestinal, así como acumulaciones en el hígado, en el riñón, en la glándula tiroidea y en la médula ósea, el índice de eliminación es lento. (3)

2.3.3. Reacciones y mecanismos del cromo en sistemas acuosos

La química del cromo en un acuífero es muy complicada. En situaciones en las que existe contaminación, la concentración de Cr (VI) es muy pequeña (resultado de la oxidación de Cr (III); siendo Cr (III) la forma prevalente. La

humedad de la tierra y de los sedimentos en equilibrio con el oxígeno atmosférico proporcionan las condiciones necesarias para que la reducción y la oxidación ocurran simultáneamente. Las especies de Cr (III) pueden ser oxidadas a Cr (VI) por compuestos oxidantes que existen en la tierra, como por ejemplo el dióxido de manganeso. Al mismo tiempo las especies de Cr (VI) pueden ser reducidas también a Cr (III) en presencia del óxido de manganeso reducido (MnO) y ácidos orgánicos presentes en la materia orgánica de la tierra. (4) (22) (23)

2.3.4. Métodos convencionales para la eliminación del cromo

En vista de los graves problemas de salud y ambientales que surgen por la presencia de altas concentraciones de cromo en cuerpos de agua, como consecuencia de los diversos procesos industriales, alrededor del mundo se han estudiado los métodos y procesos más eficaces para remover este metal, de hecho, existen métodos convencionales para el tratamiento de aguas residuales con metales que incluyen: precipitación, oxidación-reducción, intercambio iónico, filtración, tratamiento electroquímico, tecnologías de membrana y adsorción. (3) (24) (25)

Los metales pesados son considerados los contaminantes inorgánicos más perniciosos para el medio ambiente, aun cuando se encuentren presentes en pequeñas cantidades, incluso indetectables. La recalcitrancia y consiguiente persistencia de los mismos en el agua hace que por medio de procesos naturales como la biomagnificación su concentración llegue a ser tan elevada que alcance niveles tóxicos para la vida. Entre los mecanismos moleculares que determinan la toxicidad de los metales pesados, se encuentran: (4) (26) (27)

Las tecnologías convencionales: precipitación, oxidación, reducción, intercambio iónico, filtración, tratamiento electroquímico, osmosis inversa, adsorción y evaporación son costosas y a veces poco eficaces. Por ejemplo, en los métodos químicos el agente activo no puede ser recuperado para su reutilización y el producto final es un lodo con alta concentración de metales

pesados que debe ser eliminado. Además, dichos métodos no son efectivos a bajas concentraciones de metales en disolución, por ejemplo, la precipitación química y tratamiento electroquímico son ineficaces cuando la concentración del metal es próxima a 100 mg/L. (18) (28) (29)

2.4. Procesos biológicos usados para la remediación

Existen diferentes procesos y técnicas biológicas para poder remediar ambientes contaminados con cromo como son microorganismos o materia viva, desechos o material orgánico que no es usado son de los más usados y de los que mejores resultados se han obtenido.

Los microorganismos aislados de ecosistemas contaminados retienen los metales presentes en el agua a velocidades relativamente altas cuando entran en contacto con las disoluciones de dichos metales. Los costes del proceso se reducen porque no requieren la adición de nutrientes al sistema debido a que no es necesario un metabolismo activo por parte del microorganismo, es decir, la biomasa microbiana es capaz de remediar metales pesados viva o muerta. (17) (30)

Por otro lado, el uso de residuos orgánicos o material de desecho es otra gran opción para el proceso de biosorción, debido a su alta capacidad de retención de metales pesados y a su bajo costo de obtención ya que no se le da uso alguno y se considera basura. Existen muchos tipos de biomasa de este tipo que pueden ser usados para la remediación y los encontramos en la literatura como pueden ser la cascarilla de arroz, las cáscaras de todo tipo de vegetales, entre otros. (31)

2.4.1. Adsorción

La adsorción es el enriquecimiento del adsorbato (gas o líquido) en la superficie de un adsorbente que debe quedar retenido este gas o este

líquido, siendo la desorción el fenómeno inverso. La adsorción surge como resultado de la instauración y el desbalance de las fuerzas moleculares presentes en la superficie sólida. Por lo tanto, cuando un sólido entra en contacto con un fluido, líquido o gas, se produce una interacción entre sus campos de fuerza, debido a que el sólido busca la compensación atrayendo y reteniendo en su superficie moléculas, átomos o iones del gas o del líquido. Al inicio de la adsorción la atracción es mayor, ya que toda la superficie se encuentra disponible, conforme se va dando este fenómeno disminuye la superficie sólida y libre y decrece la velocidad de adsorción mientras aumenta la velocidad de desorción hasta alcanzar el equilibrio. La adsorción comprende dos tipos de fuerzas: fuerzas físicas que pueden ser momentos dipolo, fuerzas de polarización, fuerzas de dispersión o interacciones repulsivas de corto alcance y las fuerzas químicas que son fuerzas de valencia derivadas de la redistribución de los electrones entre la superficie sólida y los iones adsorbidos. (32)

En el caso de la fisiosorción, el adsorbato se une a la superficie por fuerza de Van der Waals relativamente débil, la entalpia de adsorción esta entre los 10 y 20 kJ/mol, este es considerado un proceso reversible ya que la interacción disminuye con el aumento de la temperatura y la adsorción toma lugar en cualquier punto del adsorbente y se lleva a cabo en monocapa o multicapa. La quimiosorción implica intercambiar o compartir electrones entre las moléculas del adsorbato y la superficie del adsorbente, esta unión presenta verdaderos enlaces químicos y es más efectiva y más fuerte que la fisiosorción, su entalpia de adsorción se encuentra entre 40 y 400 kJ/mol y el incremento en la temperatura es favorable para este ya que es un proceso irreversible, este se da en puntos específicos y el adsorbato cambia su estructura química respecto al precursor. (22) (33)

El proceso de adsorción se da en tres etapas:

- Difusión externa: el adsorbato se aproxima a la superficie externa del sólido, venciendo la resistencia de la interfase solido-fluido.

- Difusión interna: debido a que la superficie externa tiende a ser menor al 1% del total, por ende, el adsorbato migra a través de la red porosa del sólido para finalmente producirse la tercera etapa.
- Adsorción: es el objetivo de la tercera etapa. (Sepúlveda & Bustamante – 2008). (34)

2.4.1.1. La bioadsorción como alternativa de solución

Las resinas de intercambio iónico son extremadamente caras cuando se tratan grandes volúmenes de efluentes contaminados conteniendo metales pesados en bajas concentraciones. Frente a estas técnicas, el empleo de microorganismos o residuos orgánicos se presenta como alternativa eficiente y económica, pues es conocida su alta capacidad para retener metales solubles y particulados, sobre todo a partir de disoluciones diluidas, lo que hace que la movilización y recuperación de metales pesados de efluentes líquidos por medio de la biosorción presente ventajas en comparación con las técnicas convencionales expuestas anteriormente. (35)

La biosorción es un proceso fisicoquímico que incluye los fenómenos de adsorción y absorción de moléculas e iones. Este método poco convencional busca principalmente la remoción de metales pesados en aguas residuales provenientes del sector industrial, usando como sorbente diferentes materiales de origen biológico (vivo o muerto), tales como: algas, hongos, bacterias, cáscaras de frutas, productos agrícolas y algunos tipos de biopolímeros. Estos materiales son de bajo costo y se encuentran en gran abundancia en la naturaleza, además, su transformación a biosorbente no es un proceso costoso. El proceso de bioadsorción involucra una fase sólida (biomasa) y una fase líquida (agua) que contiene disueltos la sustancia de interés que será adsorbida (en este caso, los iones de los metales pesados). Para que el proceso de bioadsorción se pueda realizar con éxito, debe existir una gran afinidad entre los grupos funcionales de la biomasa y el contaminante,

ya que este último debe ser atraído hacia el sólido y enlazado por diferentes mecanismos. El fenómeno de bioadsorción de iones metálicos, usando materiales biológicos como adsorbentes, se puede realizar mediante diversos mecanismos fisicoquímicos y metabólicos en los cuales, el proceso de captación de los metales pesados puede diferir. (36)

- Bioacumulación: adsorción de las especies metálicas mediante los mecanismos de acumulación al interior de las células de biomásas vivas.
- Bioadsorción: adsorción de los iones en la superficie de la célula. El fenómeno puede ocurrir por intercambio iónico, precipitación, complejación o atracción electrostática.

El proceso de bioacumulación implica una primera etapa que es la bioadsorción, sin embargo, luego le siguen otras etapas las cuales permiten el transporte de los contaminantes a través de un sistema de transporte activo que permite el consumo de energía al interior de la célula. En la Tabla 2, se pueden observar las ventajas y desventajas de ambos procesos. (37)

2.4.1.2. Metales de interés en el proceso de biosorción

Los metales se pueden clasificar según el interés y su impacto ambiental en cuatro categorías:

Pesados tóxicos: los metales pesados lo constituyen un grupo de aproximadamente 40 elementos, de elevado peso atómico (mayor a 44) cuya densidad específica es superior a 5 g/cm³, excluyendo generalmente a los metales alcalinos.

Estratégicos: son minerales que entran en la producción del acero.

Preciosos: son aquellos que se encuentran en estado libre en la naturaleza, es decir, no se encuentran combinados con otros elementos formando compuestos.

Radionúclidos: es la forma inestable de un elemento que libera radiación a medida que se descompone y se vuelve más estable. Los radionúclidos se pueden presentar en la naturaleza o producir en el laboratorio. (38)

Tabla 2. Ventajas y desventajas de los mecanismos de captación de iones metálicos

Bioadsorción	Bioacumulación
<ul style="list-style-type: none"> • Proceso pasivo 	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso activo
<ul style="list-style-type: none"> • Biomasa sin vida 	<ul style="list-style-type: none"> • Biomasa con vida
<ul style="list-style-type: none"> • Metales unidos a la superficie de la pared celular 	<ul style="list-style-type: none"> • Metales unidos a la superficie de la pared celular y acumulados en el interior de la célula.
<ul style="list-style-type: none"> • Proceso reversible 	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso parcialmente reversible
<ul style="list-style-type: none"> • No requiere nutrientes 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere nutrientes
<ul style="list-style-type: none"> • Rápido 	<ul style="list-style-type: none"> • Lento
<ul style="list-style-type: none"> • No es controlado por el metabolismo 	<ul style="list-style-type: none"> • Controlado por el metabolismo
<ul style="list-style-type: none"> • No se ve afectado por el efecto toxico de los contaminantes 	<ul style="list-style-type: none"> • Se ve afectado por el efecto toxico de los contaminantes
<ul style="list-style-type: none"> • No hay crecimiento celular 	<ul style="list-style-type: none"> • Implica crecimiento celular
<ul style="list-style-type: none"> • Alcanza concentraciones intermedias de equilibrio de los contaminantes 	<ul style="list-style-type: none"> • Alcanza muy bajas concentraciones de equilibrio de los contaminantes
<ul style="list-style-type: none"> • Posibilidad de recuperación y reúso de los contaminantes mediante un proceso de desorción 	<ul style="list-style-type: none"> • Los metales no pueden recuperarse
<ul style="list-style-type: none"> • La biomasa puede regenerarse y emplearse en varios ciclos de adsorción. 	<ul style="list-style-type: none"> • La biomasa no puede recuperarse

Fuente: Tejada C., Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico.

Los metales pesados y radionúclidos son los que presentan mayor interés en la comunidad científica, al ser considerados altamente tóxicos y perjudiciales para el medio ambiente y la salud humana. Se establece que la captación de aniones por acción de biomásas es de gran interés desde el punto de vista industrial y ecológico; un ejemplo claro de eso, es la remoción de iones de cromo hexavalente presente en aguas residuales; se ha demostrado, mediante diversos estudios que el principal mecanismo de eliminación de Cr (VI) para distintos biomateriales es la reacción oxido-reducción, convirtiendo el Cr (VI) a Cr (III). Este mecanismo consta básicamente de tres pasos, primero el cromo hexavalente debe unirse a los grupos funcionales cargados positivamente, los cuales se encuentran en la superficie del biomaterial, entre estos grupos podemos mencionar los iones carbonilo, hidroxilo, amino entre otros. El segundo paso es la reducción de Cr (VI) a Cr (III) por los grupos donadores de electrones adyacentes del biomaterial. Finalmente, el Cr (III) es reducido y liberado a la fase acuosa debido a la repulsión electrónica entre los grupos con carga positiva y el Cr (III). (39)

2.4.1.3. Biomateriales

Los biosorbentes son materiales provenientes de la flora microbiana, algas, plantas, biomásas residuales, productos agroindustriales o algunos biopolímeros, estos deben ser capaces de adsorber directamente el metal de forma iónica de la solución. Los biomateriales son sometidos a tratamientos fisicoquímicos sencillos y de bajo costo; con el fin de mejorar su capacidad de adsorción en los procesos de aplicación como remoción de metales pesados o recuperación de especies metálicas en solución. (40)

La calidad del biosorbente está ligada a la cantidad de sorbato que pueda atraer y retener; en este sentido, la búsqueda de nuevos materiales biosorbentes de bajo costo y con gran potencial de adsorción de iones metálicos presentes en aguas residuales, se ha convertido en

el objetivo principal de la ciencia. Razón por la cual, se han realizado diversos estudios evaluando la efectividad de muchas biomazas microbiológica, vegetal y animal, al igual que diversos productos derivados de su pre-tratamiento físico y modificación química. En la Tabla 3, se registran algunos de los principales materiales usados en diferentes investigaciones para la remoción de metales pesados en medios acuosos. Aunque se han realizado un sin número de investigaciones donde diversos materiales orgánicos e inorgánicos han sido estudiados, con el fin de evaluar su potencial de adsorción de metales pesados en efluentes industriales, las biomazas microbianas (hongos, bacterias y algas) y los residuos agroindustriales (cáscaras de coco, cáscaras de naranja, cáscaras de limón, cáscaras de yuca, cáscaras de manzana, cáscaras de tamarindo entre otras), constituyen el conjunto más estudiado hasta el momento.

Se observa que todos estos biomateriales presentan ciertas características en su estructura (rigidez, porosidad, festividad, entre otras) y composición química (grupos funcionales o sitios activos para la unión con los iones metálicos) que permiten la formación de fuertes enlaces con los iones metálicos, además, determinan las posibles modificaciones químicas o físicas que se llevarían a cabo para aumentar el potencial de adsorción del biomaterial. La bioadsorción es un proceso que se empezó a implementar a principios de los años 90 con el fin de remover sustancias contaminantes de las aguas residuales provenientes del sector industrial; a lo largo de esos años, las investigaciones se han centrado principalmente en la utilización de la biomasa viva y/o muerta. Sin embargo, los resultados arrojados en la bibliografía muestran como mejor alternativa los materiales derivados de la biomasa muerta, por sus ventajas tanto económicas como de mantenimiento, se destaca que el uso de las biomazas muertas evita el suplemento de nutrientes y elimina el problema de la toxicidad, además, el proceso de adsorción no se ve interrumpido por la muerte de la biomasa debido a las altas concentraciones de los contaminantes en el interior de las mismas. Además, las biomazas vivas, pueden presentar una variedad más

amplia de mecanismos para la acumulación de metales. Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. (41) (42)

Tabla 3. Materiales biosorbentes usados para la adsorción de metales pesados

Tipo de adsorbente	Biosorbente
Organismos vivos	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Penicillium</i> • <i>Aspergillus Rizopus</i> • <i>Paecilomyces</i>
Biomasas	<ul style="list-style-type: none"> • Cáscara de tamarindo • Cáscara de naranja • Cáscara y semilla de manzana • Cebada (<i>Hordecum vulgare</i>)
Biopolímeros	<ul style="list-style-type: none"> • Bentonita – Quitosano • Quitosano • Epiclorhidrinatrifosfato
Carbones activados	<ul style="list-style-type: none"> • Carbón activado a partir de <i>Escherichia coli</i> y carbón activado a partir de <i>Arthrobacter viscous</i>. • Carbón activado a partir de cáscara de coco.
Modificación química	<ul style="list-style-type: none"> • Biomasa reticulada con glutaraldehído. • Biomasa reticulada con cloruro de calcio. • Biomasa modificada con ácido cítrico.
Otros materiales	<ul style="list-style-type: none"> • Arena • Zeolita • Cenizas volantes

Fuente: Tejada C., Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico.

2.4.1.4. Fundamentos fisicoquímicos del proceso usando biomasa residual

En general, la extracción de metales mediante biomasa residual se atribuye a sus proteínas, carbohidratos y componentes fenólicos que contienen grupos carboxilo, hidroxilo, sulfatos, fosfatos y amino, los cuales presentan gran afinidad por los iones metálicos, facilitando su captación. Cabe distinguir tres clases de adsorción según el tipo de atracción que se dé entre el soluto y el adsorbente. Si la adsorción se da por el intercambio iónico en el cual, los iones de una sustancia de interés se concentran en una superficie del material adsorbente como resultado de la atracción electrostática entre ambos, se dice que la adsorción es de tipo eléctrico. Sin embargo, si la molécula adsorbida no está fija en un lugar específico de la superficie, sino más bien está libre de trasladarse dentro de la interfase, se dice que la adsorción es debido a las fuerzas de Van der Waals o también llamada fisorción. Dicho sea de paso, si el adsorbato forma unos enlaces fuertes localizados en los centros activos del adsorbente, se puede decir que la adsorción tiene naturaleza química. Cabe resaltar que, en la fisorción, la especie adsorbida conserva su naturaleza química, mientras que, durante la quimisorción, la especie adsorbida sufre una transformación dando lugar a una especie distinta. (43) (44)

El fenómeno de adsorción se puede ver afectado de manera positiva o negativa, por ciertas variables como la temperatura, pH, tamaño de partículas o simplemente por la presencia de otros iones. Estos parámetros pueden aumentar o disminuir la captación de los iones metálicos. (45) (46)

Como se puede ver en el caso del pH y el tamaño de partícula, estos factores son de los que más influencia tienen al desarrollar un proceso de adsorción usando biomasa y en todos los casos en los que se trabaja con materia orgánica, pero existen otros factores determinantes también como la temperatura, velocidad de agitación, entre otros.

2.4.1.4.1. Efecto de la temperatura

Un aumento elevado de la temperatura puede causar un cambio en la textura del sorbente y un deterioro del material que desembocan en una pérdida de capacidad de sorción.

2.4.1.4.2. Efecto del pH

El pH de la solución acuosa es un importante parámetro que controla los procesos de adsorción de metales en diferentes adsorbentes, debido al hecho, de que los iones hidrógeno se constituyen en un adsorbato fuertemente competitivo. 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 la solución acuosa. El valor del pH de la fase acuosa es el factor más importante tanto en la adsorción de cationes como de aniones, siendo el efecto distinto en ambos casos. Así, mientras que la adsorción de cationes suele estar favorecida para valores de pH superiores a 4,5, la adsorción de aniones prefiere un valor bajo de pH, entre 1,5 y 4.

2.4.1.4.3. Efecto del tamaño de partícula

La adsorción tiene lugar fundamentalmente en el interior de las partículas, sobre las paredes de los poros en puntos específicos. La cantidad de adsorbato (soluto) que se puede adsorber es directamente proporcional al volumen, y es bien conocido que este volumen es directamente proporcional al área externa y también que una partícula pequeña tiene mayor área superficial, o sea mayor área de la superficie interna por su cantidad de poros por unidad de masa, es por ello que en muchos trabajos de investigación sobre adsorción

se prefiera trabajar con un rango en micras para el tamaño de partícula. (47)

2.4.1.4.4. Presencia de otros iones

La presencia de iones en la disolución hace que estos puedan competir con el metal en el interés de las zonas de sorción. (48)

2.5. Modelos teóricos

Para el tratamiento de los datos experimentales obtenidos en las condiciones de equilibrio, y el análisis de los procesos de adsorción, los datos de equilibrio se expresan normalmente como isotermas de adsorción, relacionando analíticamente la cantidad de un determinado componente adsorbido en una interfase con la concentración de este componente en el seno de la fase. El análisis del ajuste de los datos experimentales obtenidos en el proceso a los distintos modelos de isotermas existentes, permiten estimar el grado de purificación que puede ser alcanzado, la cantidad de adsorbente requerido, y la sensibilidad del proceso respecto a la concentración del producto. (49)

Cuando el proceso de adsorción se da en un sistema sólido-gas, la isoterma permite determinar el área superficial del adsorbente, el calor de adsorción y la adsorividad relativa del gas o vapor sobre el adsorbente. Las isotermas en fase líquida permiten: identificar si la adsorción es una tecnología viable, realiza una estimulación previa de la capacidad de equilibrio del adsorbente a utilizar y la dificultad relativa de este para eliminar los contaminantes, evalúa el proceso de adsorción respecto a la concentración de los contaminantes, determina la cantidad máxima de contaminantes que pueden ser adsorbidos y compara las deficiencias relativas de las diversas calidades de adsorbentes existentes.

Para describir este proceso de adsorción se han desarrollado diversos modelos matemáticos, entre ellos están las ecuaciones propuestas por: Langmuir, Freundlich, Temkin, Brunauer-Emmett-Teller y Dubinin. En la Tabla 4 se encuentran registrados los principales modelos de isotermas estudiados en los

procesos de adsorción de metales pesados usando biomazas como material adsorbente. (32)

Si bien es cierto que las isotermas de adsorción pueden determinar el grado de separación que ha de ser logrado, además es necesario poder establecer la velocidad de la adsorción para alcanzar la separación. Los modelos cinéticos permiten darle explicación al fenómeno de adsorción dentro de un proceso específico, estableciendo la velocidad con la cual los contaminantes (iones metálicos) son retirados del medio acuoso.

Tabla 4. Modelos de isotermas de adsorción

<i>Isotermas</i>	<i>Ecuación</i>	<i>Parámetros</i>
<i>Isoterma de Freundlich</i>	$q_e = kF \cdot C_e^{1/n}$	kF es el indicador de la capacidad de absorción, n es la intensidad de absorción, C_e es la concentración del metal.
<i>Isoterma de Langmuir</i>	$q_e = \frac{q_{max} b C_e}{1 + b C_e}$	q_{max} es la cantidad máxima metal/peso de biomasa, b es la afinidad de los sitios de unión, C_e es la concentración del metal.

Fuente: Tejada C., Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico.

2.6. Espectroscopia UV/VIS

La espectrofotometría en la región UV-VIS del espectro electromagnético es una de las técnicas analíticas más empleadas, en función de robustez, costo relativamente bajo y gran número de aplicaciones desarrolladas. Al consultar la base de datos del "Analytical Abstracts", se verifica que existen como 40000 ocurrencias relacionadas con la espectrofotometría. Los procedimientos involucran medidas directas de especies que absorben radiación, medidas después de derivación química y acoplamiento a diversas técnicas o procesos, como cromatografía, electroforesis y análisis en flujo. Además, se constituye en una importante herramienta para la determinación de parámetros físico-químicos, tales como constantes de equilibrio y de velocidad de reacciones. A pesar de la amplia utilización, varias innovaciones recientes relacionadas con

las medidas espectrofotométricas todavía son poco conocidas. Con respecto al aspecto instrumental, es notable la evolución desde los procedimientos basados en comparaciones visuales y de los fotómetros empleando filtros para la selección de longitudes de onda hasta los equipos más recientes, que emplean arreglos de fotodetectores. Estos permiten la adquisición de espectros de absorción en intervalos de tiempo del orden de milésimas de segundos y están disponibles, incluso, en versiones miniaturizadas acopladas a computadoras del tipo "palm-top". La espectrofotometría se basa en la ley de Lambert-Beer, que es la base matemática para medidas de absorción de radiación por muestras en estado sólido, líquido o gaseoso, en las regiones ultravioleta, visible e infrarroja del espectro electromagnético. Para las medidas de absorción de radiación en determinada longitud de onda, se tiene:

$$A = \log\left(\frac{I_0}{I}\right) = \epsilon bc$$

Donde A es la absorbancia, I_0 es la intensidad de la radiación monocromática que incide en la muestra y I es la intensidad de la radiación que emerge de la muestra. La absorbancia molar (ϵ) es una magnitud característica de la especie absorbente, cuya magnitud depende de la longitud de onda de la radiación incidente. El término c es la concentración de la especie absorbente y b, la distancia recorrida por el haz a través de la muestra. Muchas de las innovaciones referentes a la espectrofotometría consisten en estrategias para aumentar la sensibilidad, con vistas a la ampliación. (50)

La constante de proporcionalidad que relaciona la absorbancia con el camino óptico y la concentración de las especies absorbentes, denominada absorptividad molar (ϵ), empíricamente asume valores máximos del orden de $10^5 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$, para absorción de radiación en la región UV- VIS. La magnitud de ϵ depende de la sección transversal de captura (S) de la especie y de la probabilidad de ocurrencia de la transición electrónica (P), relacionada a la absorción de radiación, de la manera descrita por la ecuación que se muestra en la parte de abajo. Considerando esta ecuación, se puede planificar cambios estructurales en los reactivos, para maximizar la sección transversal

de captura y / o la probabilidad de ocurrencia de transiciones electrónicas, visando el aumento de la absorción molar de la especie.

$$e = 8.7 \times 10^{19} \text{ PXS}$$

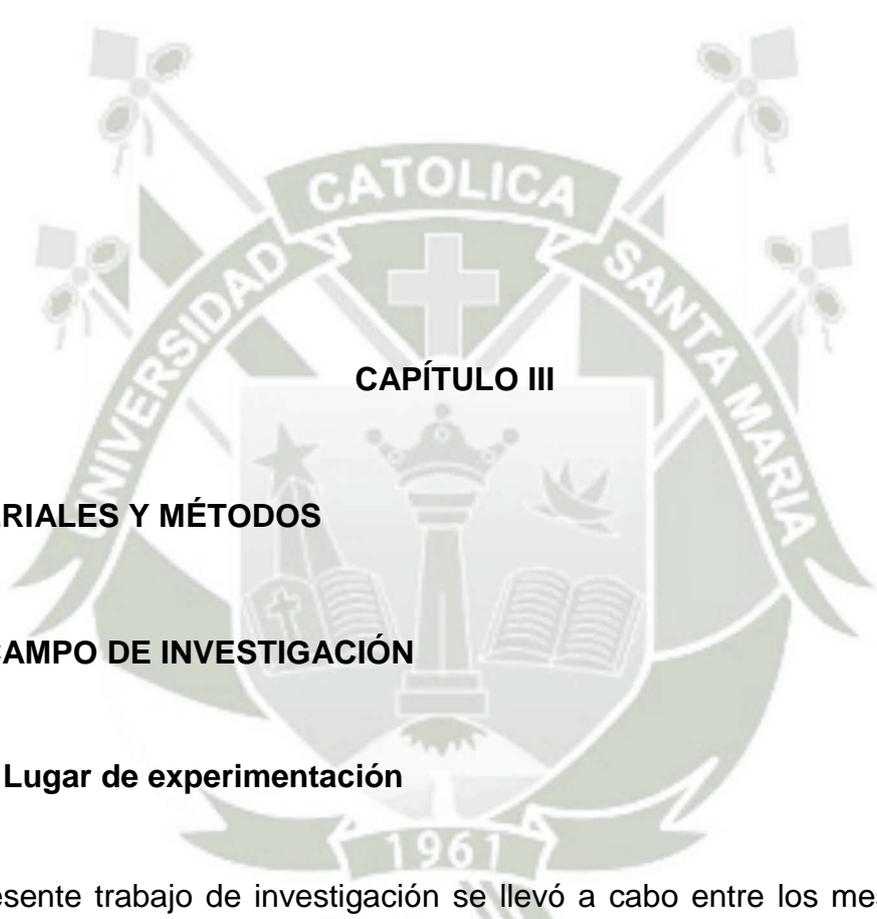
Para la determinación espectrofotométrica de especies en la región UV-VIS, normalmente es necesario el uso de reactivos para la conversión de la especie de interés en una forma que permita la medida de absorción de radiación con mayor sensibilidad y / o selectividad. Por lo tanto, las especies que absorben débilmente pueden ser convertidas en compuestos con mayor absorción molar, buscando la determinación de menores cantidades del analito. (51)

La sensibilidad y la selectividad de los reactivos orgánicos utilizados para la determinación espectrofotométrica pueden modificarse por la incorporación de diferentes sustituyentes en la molécula del reactivo cromogénico. Por ejemplo, entre los varios reactivos disponibles para determinaciones espectrofotométricas de metales, los compuestos heterocíclicos que contienen la estructura α , α -diamina ($-\text{N} = \text{CC} = \text{N}-$), conocida como grupo funcional ferroína, son una de las clases de reactivos cromogénicos más estudiados. Los compuestos más conocidos de esta clase son la 1,10-fenantrolina y la 2,2'-bipiridina, que forman quelatos estables e intensamente coloreados con Fe (II) y Cu (I). Se realizaron varias modificaciones en las estructuras de estos reactivos con el objetivo de mejorar la sensibilidad en las determinaciones espectrofotométricas. De la misma manera, se pueden citar los reactivos de la familia de la cuproína, conocidos por la alta selectividad para la determinación de cobre (I). Los ejemplos de reactivos de esta familia que generan complejos de cobre con diferentes absorbentes molares son 2,2'-biquinolina ($\epsilon = 6220 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ en 546 nm), neocuproína ($\epsilon = 7950 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ En 545 nm) y batocuproína ($\epsilon = 13900 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ en 479 nm). Otra estrategia que se puede emplear para aumentar la sensibilidad en determinaciones espectrofotométricas es la formación de complejos ternarios. Las reacciones entre un complejo AB y un tercer componente C no necesariamente ocurren por el mecanismo de sustitución regido por la diferencia energética de las conexiones A-B y A-C (I). El tercer componente puede formar parte del producto, formando un complejo ternario (II). (52)

$AB + C \cdot AC + B$ (I)

$AB + C \cdot ABC$ (II)





CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. CAMPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Lugar de experimentación

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo entre los meses enero a marzo de 2017, en el laboratorio de investigación H-101 y en el laboratorio del proyecto Mercurio de la Universidad Católica de Santa María.

3.1.2. Unidades de estudio

En este trabajo se utilizó la cáscara de diferentes variedades de papa (Canchan, Peruanita, Perricholi y Única), que se generan como residuo de las

diferentes actividades de obtención de papa para el consumo humano, como biosorbente en la remoción del Cr (VI) usando el proceso de biosorción y la técnica de espectrofotometría UV/VIS para el análisis posterior.

3.2. MATERIALES

3.2.1. Muestras y/o unidades biológicas:

- Cáscaras de papa (Única, Perricholi, Canchan y Peruanita) provenientes de desechos de empresas procesadoras de tubérculos.

3.2.2. Material de laboratorio:

- Agua destilada
- Baguetas
- Barbijos
- Beakers de 150 mL.
- Beakers de 250 mL.
- Beakers de 5 mL.
- Cintas de pH
- Embudo
- Espátula
- Fiolas de 100 mL.
- Gradilla
- Guantes de nitrilo
- Micropipeta de 1000 uL.
- Micropipeta de 25 uL.
- Papel aluminio
- Papel filtro
- Pipeta de 10 mL.
- Pizeta

- Probeta de 10 mL.
- Probeta de 100 mL.
- Propipeta
- Tamizadores de tamaños de 150 y 850 μm .
- Tips azules y amarillos.
- Tubos de ensayo de 5 mL.
- Tubos falcon de 50 mL.

3.2.3. Insumos y reactivos químicos:

- Acetona al 100 % (PA, Diproquim)
- Ácido cítrico 0.6 M (PA, Diproquim)
- Ácido clorídrico 1M (PA, Merck)
- Ácido sulfúrico al 50 % (PA, Merck)
- Dicromato de potasio (QP, Diproquim)
- Difenilcarbazida (PA, Merck)
- Hidróxido de sodio 1 M (PA, Merck)

3.2.4. Equipos e instrumentación:

- Balanza analítica (OHAUS, Adventurer)
- Balanza digital (OHAUS, Scout Pro)
- Bomba de vacío (Millipore)
- Centrífuga (Hettich, EBA 20)
- Cocina eléctrica (GE)
- Equipo de jarras (UCSM)
- Espectrofotómetro UV/VIS (Cary 60, 2.0)
- Estufa (Memmert)
- Molienda de cuchillas (Moulinex, D56)
- Shaker termostato (Scilogex, Ms-H-S)
- Termómetro

3.2.5. Otros:

- Envases para la cáscara tratada.
- Licuadora (Oster).
- Pelador de papas, tijeras.

3.2.6. Software:

- Microsoft Office Excel Professional 2010.

3.3. METODOLOGÍA

3.3.1. Recolección y preparación de la biomasa

Las cáscaras de papa se recolectaron de empresas dedicadas al procesamiento de papa en la ciudad de Arequipa. Se trabajó con cuatro variedades de papa “Canchan”, “Perricholi”, “Única” y “Peruanita”. Las muestras se lavaron tres veces usando agua destilada, con la finalidad de eliminar impurezas presentes, luego se dejaron escurrir para eliminar la mayor cantidad de agua.

Seguidamente se secaron inicialmente por 24 horas en estufa a una temperatura de 90° C. Estas se redujeron de tamaño utilizando una mollienda de cuchillas para después ser tamizadas:

- **Biomasa sin tratamiento (BST);** se utilizó la biomasa tamizada de tamaño de partícula de rango entre 150 – 850 μm y esta se conservó en frascos de plástico rotulados a temperatura ambiente.
- **Biomasa con tratamiento (BCT);** se utilizó la biomasa tamizada de tamaño de partícula de rango por encima de 850 μm . Se tomó una proporción de 40.00 g de biomasa con 200 mL de la solución de ácido

cítrico 0.6 M, se colocó en contacto. El bioadsorbente se filtró al vacío y lavó con agua destilada para retirar restos de ácido y se secaron a 75°C por 24 horas en estufa (Altun y Pehlivan, 2012; Pitsariet al., 2013), finalizando el tiempo se llevó una vez más a molienda de cuchillas y se tamizó a tamaño de partícula de rango entre 150 – 850 μm , de la misma manera se conservó en frascos de plástico rotulados a temperatura ambiente.

3.3.2. Caracterización de la biomasa

Se tomaron pequeñas muestras de las 4 variedades de cáscaras (Única, Perricholi, Canchan y Peruanita) previamente secadas y tamizadas, sin que hayan pasado por algún tratamiento químico, para ser enviadas a un laboratorio particular para conocer la composición orgánica de cada una de estas.

3.3.3. Preparación de soluciones

➤ Solución stock de cromo hexavalente 500 ppm

Para obtener la solución de cromo hexavalente se pesó 282.9 mg de Dicromato de potasio (debidamente secado en estufa durante 60 minutos), se llevó a una fiola de 200 mL y se enrasó con agua destilada. Se le agregó ácido nítrico y se llevó a pH 3 para su preservación.

Un mL de la solución contiene 0.5 mg de Cr (VI).

➤ Solución de difenilcarbazida al 0.5 % (m/v)

Esta solución debe prepararse al momento de su uso por lo que se debe tomar en cuenta el volumen necesario. Para esto y tomando en cuenta la bibliografía se debe tomar un volumen aproximado de solución de 10 mL como base para preparar las demás, por lo que se pesa 50 mg de 1.5 difenilcarbazida y se disuelve en 10 mL de acetona.

➤ **Solución de ácido sulfúrico 1:1 o de 50%**

Para esta solución se tomó 25 mL de ácido sulfúrico concentrado y se llevó a una fiola de 50 mL donde se enrasó con agua destilada.

➤ **Solución de ácido cítrico al 0,6 M**

Para la solución de ácido cítrico al 0,6 M se pesó 57.6 g, se llevó a una fiola de 500 mL y se enrasó con agua destilada. Se pasó a una botella de color caramelo para su preservación.

3.3.4. Determinación del límite de detección (LOD), límite de cuantificación (LOQ) y elaboración de la curva de calibración

El Cr (VI) se puede determinar por el método colorimétrico, basado en una reacción de óxido reducción donde el Cr (VI) reacciona con la 1,5 - difenilcarbazida en medio ácido para dar Cr (III) y 1,5 difenilcarbazona de color violeta, esta solución luego es medida en el espectrofotómetro a longitud de onda de 540 nm, siendo la absorbancia proporcional a la concentración de cromo en la muestra.

Para la elaboración de la curva de calibración se preparó una solución madre de Dicromato de potasio a 500 ppm, para luego hacer una solución stock de 5 ppm. A partir de esta solución stock se prepararon por triplicado las siguientes diluciones seriadas: 0.1 ppm, 0.2 ppm, 0.4 ppm, 0.6 ppm, 0.8 ppm y 1 ppm. La solución stock de Dicromato de potasio fue colocada en fiolas de 10 mL para luego agregarles 100 μ L de ácido sulfúrico al 50 % y 200 μ L de difenilcarbazida previamente diluida en acetona como se observa en la Tabla 5, se enrasó y se llevó a medir al espectrofotómetro a 540 nm según bibliografía.

Los datos se procesaron estadísticamente, para el análisis de linealidad se empleó regresión lineal determinando r (coeficiente de correlación de lineal), R^2 (coeficiente de determinación), intercepto (a) y pendiente (b) para el 95% de confianza. La precisión fue calculada mediante la desviación estándar y típica

relativa (porcentaje de coeficiente de variación), de los resultados obtenidos y la sensibilidad determinada en base a la pendiente de la curva de calibración.

Tabla 5. Curva de calibración para análisis espectrofotométrico

Concentración (ppm)	Solución stock 5 ppm de Cr (VI) (mL)	Difenilcarbazida (μ L)	Volumen final (mL)
0	0	200	10
0.1	0.2	200	10
0.2	0.4	200	10
0.4	0.8	200	10
0.6	1.2	200	10
0.8	1.6	200	10
1	2	200	10

La precisión fue calculada mediante la desviación estándar y típica relativa (porcentaje de coeficiente de variación), de los resultados obtenidos y la sensibilidad determinada en base a la pendiente de la curva de calibración. El límite de detección (LOD) y el límite de cuantificación (LOQ) se determinaron mediante las siguientes ecuaciones:

$$LOD = \frac{3\sigma}{S}$$

$$LOQ = \frac{10\sigma}{S}$$

Donde σ es la desviación estándar y S: la pendiente de la curva de calibración.

Para poder definir la concentración mínima y máxima de Cr (VI) que el método analítico medirá con fiabilidad.

3.3.5. Análisis de la cinética del material bioadsorbente

La cinética de adsorción se determina mediante la construcción de curvas, que, al ser linealizadas, permiten identificar si el comportamiento corresponde al pseudo-primer orden o pseudo-segundo orden, los cuales indicarían una absorción física o química respectivamente. Así mismo su estudio es importante puesto que permite conocer el tiempo de interacción adsorbato-adsorbente.

Una vez obtenido el material orgánico que será usado como agente adsorbente se procedió a realizar el análisis de la cinética de este, para lo cual se depositó 3 g de cáscaras de las 4 variedades de papa a estudiar tanto BST como la BCT, en beakers de 150 mL con 100 mL de solución de Dicromato de potasio con una concentración de 1.5 ppm. Luego estos fueron llevados al equipo de jarras a 260 rpm y cada 15 minutos se sacaron alícuotas de 10 mL por el periodo de 60 minutos.

Después se filtró el contenido de cada tubo conteniendo las alícuotas usando papel filtro y un embudo, eliminando así las partículas de mayor tamaño, para luego llevarlos a centrifugar por un periodo de 10 minutos a 5000 rpm, para eliminar la mayor cantidad de partículas interferentes. Finalmente, se tomó 5 mL del centrifugado al cual se le agregó 50 μ L de ácido sulfúrico al 50 % y 100 μ L de difenilcarbazida previamente preparada con acetona al 100 % (tener en consideración que la solución de difenilcarbazida se debe preparar al momento de medición). Se llevaron las muestras para su medición en el espectrofotómetro.

3.3.6. Determinación del efecto de la biomasa sin tratamiento (BST) y de la biomasa con tratamiento (BCT) en la biosorción de Cr (VI)

Se determinó y comparó el efecto de dos tratamientos en cada tipo de papa, en donde se comparó el tratamiento de la biomasa; en beakers de 150 mL, se depositó 3.00 g de las cáscaras de los distintos tipos de papa con 100 mL del

agua sintética generada a partir de Dicromato de potasio a concentración de 3 ppm y se dejó en el equipo de jarras durante el tiempo obtenido a partir de la cinética, a temperatura ambiente, tomando muestras de 10 mL una vez concluido el tiempo. Las muestras pasaron por el mismo procedimiento previamente señalado de filtración, centrifugación, adición del ácido sulfúrico y difenilcarbazida, con las mismas cantidades del procedimiento anterior, para finalmente ser llevados al espectrofotómetro y así hallar el tratamiento en el que se obtiene una mejor adsorción.

3.3.7. Evaluación del efecto del pH en la biosorción de Cr (VI) utilizando cáscaras de papa

Una vez escogido el tratamiento con mayor biosorción, se procedió a ajustar el pH (2, 4, 6, 8) de la solución de Dicromato de potasio con soluciones de HCl y NaOH 1 M. En un beaker de 150 mL se depositó 100 mL de solución de Dicromato de potasio a concentración de 3 ppm y a un pH determinado, se añadió 3.00 g de biomasa de los distintos tipos de papa con el tratamiento, esto se dejó en el equipo de jarras durante el tiempo óptimo a temperatura ambiente tomando muestras de 10 mL una vez concluido el tiempo. Las muestras pasaron por el mismo procedimiento previamente señalado de filtración, centrifugación, adición del ácido sulfúrico y difenilcarbazida, con las mismas cantidades del procedimiento anterior, para finalmente ser llevados al espectrofotómetro y así hallar el pH en el que se obtiene una mejor adsorción.

3.3.8. Evaluación del efecto de la cantidad del bioadsorbente en la biosorción de Cr (VI)

Al tener el tratamiento y el pH adecuados para una mayor biosorción de Cr (VI), se cambiaron las cantidades de la biomasa de los distintos tipos de papa usando los siguientes: 1.00 g, 2.00 g, 3.00 g y 4.00 g y se colocaron en beakers de 150 mL con 100 mL de la solución madre de Dicromato de potasio (3 ppm). Se dejaron en el equipo de jarras durante 30 minutos a temperatura

ambiente tomando muestras de 10 mL para luego realizarles el procedimiento ya señalado anteriormente y luego ser llevadas al espectrofotómetro para finalmente determinar la cantidad óptima de bioadsorbente para una mejor biosorción.

3.3.9. Evaluación del efecto de la temperatura en la biosorción de Cr (VI)

Una vez evaluado lo anterior se procedió a analizar el efecto de la temperatura en el desarrollo de la remediación del Cr (VI) por lo que se llevaron la cantidad de biomasa óptima hallada en el anterior paso, el pH óptimo, tiempo óptimo ya definido anteriormente. En 100 mL de solución de Dicromato de potasio 3 ppm en beakers de 150 mL a diferentes temperaturas, estas temperaturas fueron de 20 ± 2 °C y 30 ± 2 °C usando un termómetro y un termostato manteniéndose en agitación constante, luego de 30 minutos se retiró, tomando muestras de 10 mL de cada beaker para luego realizarles el procedimiento ya señalado anteriormente y luego ser llevadas al espectrofotómetro para finalmente determinar la temperatura adecuada de bioadsorbente para una mejor biosorción.

3.3.10. Análisis estadístico

De acuerdo con los datos obtenidos en los procedimientos anteriores, se realizaron los análisis estadísticos multifactoriales utilizando el software Microsoft Office Excel Professional 2010. Todas las pruebas se realizaron por triplicado.

De acuerdo a los valores obtenidos del análisis estadístico se elaboró las tablas y graficas que expresan los resultados obtenidos del presente estudio.



CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Recolección y preparación de la biomasa

La recolección de las muestras de cáscara de papa de las variedades Canchan, Perricholi y Única se obtuvieron de la empresa “Papisfrits”, que tiene su planta de procesamiento en el distrito de Alto Selva Alegre, esta empresa cuenta con procesamiento de pelado a mano y pelado por máquina y se recolectó las mismas del procesamiento de pelado a mano. La cáscara de la variedad Peruanita fue obtenida del mercado “El Altiplano” de la ciudad de Arequipa, ya que la empresa no contaba con dicha variedad. El lavado de las cáscaras se hizo para cada variedad por separado y en esta se eliminó la mayor parte de la tierra, así como otras partículas que podrían interferir en el proceso de biosorción.

El escurrido se realizó por filtración con ayuda de un colador de plástico para eliminar la mayor cantidad de agua que poseía la muestra, para después llevarlas al proceso de secado usando una estufa en la que como se menciona en los métodos se controló la temperatura y el tiempo para tener una muestra adecuada que este con la mínima cantidad de agua para que más adelante en el proceso de trituración, este se pueda desarrollar de la mejor manera.

Para entender mejor estos procesos es que se presenta la Figura 4 como un breve resumen de lo desarrollado desde la obtención de las cáscaras.



Figura 4: Recolección y preparación de la biomasa

- A. Lavado y escurrido de las cáscaras, B. Secado de las cáscaras en estufa a 90°C, C. Cáscaras secas, D. Trituración de las cáscaras secas, E. Tamizado de las cáscaras, F. Cáscaras tamizadas en rango 150 – 850 μm .**

En la Figura 4 detalla:

1. Escurrido de las cáscaras usando un colador donde se obtuvieron cáscaras semi secas para luego ser deshidratadas en la estufa.

2. Las cáscaras fueron colocadas en la estufa para su secado para ser tratadas.
3. Una vez obtenida la cáscara seca se pesó las cantidades obtenidas de cada tipo de cáscara para luego ser triturada.
4. Las cáscaras fueron trituradas con ayuda de una molineta de cuchillas hasta llegar a los tamaños de partícula deseados.
5. Se realizó el tamizado de la biomasa para obtener y separar las partículas de tamaño de 150 – 850 μm .
6. El tamaño de partícula de 150 – 850 μm se consideró el indicado en base a otra investigación en donde se realizó el tratamiento con yuca y ñame para la biosorción de metales pesados donde utilizaron un rango de 500 a 1000 μm (14), por lo que se tomó en cuenta tener un tamaño más pequeño para tener una mayor superficie de contacto con el agua a tratar.

4.2. Caracterización de la biomasa

Los resultados de la caracterización se realizaron en base a las cuatro variedades de papa presentándose un resumen a continuación. Se observa un alto contenido de humedad en las cáscaras de papa de la variedad Canchan y Peruanita al compararlo con otras cáscaras de papa que presentan un comportamiento similar de 79,80 %. El contenido de proteína de las cáscaras se encuentra en un rango de 2,00 – 2,08. El contenido de grasa es de 0,09 aproximadamente para todas las cáscaras de papa, como también el contenido de cenizas que se encuentran en un rango de 1,05 a 1,10. Los carbohidratos presentes en las cáscaras son de 17,47 como promedio para todas. Al comparar el porcentaje de almidón observamos que se presenta un rango de 14,8 a 15,9 siendo la Peruanita la que presenta mayor cantidad de almidón. La cantidad de cenizas es indicativo de la riqueza en minerales de la fuente de fibra dietaria, la cual varía dependiendo de la disponibilidad y magnitud en que la planta los absorba. Las cáscaras de papa presentaron 4,94 % de cenizas, probablemente constituidos por calcio, hierro, potasio y fosfatos. En otros reportes especifican que la cáscara de yuca, alimento similar a la papa, que posee una cáscara gruesa y dura, presenta 2,72 de proteínas coincidiendo con el de la papa, el

contenido de grasa es de 0,87 siendo este mayor al de la cáscara de papa, estas presentaron mayor cantidad de almidón entre un 20 a 24% y un porcentaje de cenizas menor al de la papa de 14,80%. (53).

4.3. Determinación del LOD, LOQ y elaboración de la recta de calibración

Con el fin de determinar las concentraciones de Cr (VI) para los experimentos de adsorción, se realizaron las pruebas por triplicado y los datos se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Datos para la cuantificación de Cr (VI)

Concentración de Cr, mg/L	Absorbancias			Promedio	Desviación Estándar
	1 ^a Medición	2 ^a Medición	3 ^a Medición		
0.1	0.0663	0.0663	0.0663	0.0663	0
0.2	0.1537	0.1538	0.1535	0.1536	0.000152753
0.4	0.311	0.3111	0.3112	0.3111	0.0001
0.6	0.4746	0.4744	0.4746	0.4745	0.00011547
0.8	0.6292	0.6292	0.6293	0.6292	0.00005773
1.0	0.7881	0.7879	0.7879	0.7879	0.00011547

Los resultados del ajuste realizado a un modelo lineal para describir la relación entre absorbancia y concentración dieron la ecuación del modelo ajustado:

$$\text{Absorbancia} = 0.7991 * \text{Concentracion} + 0.009$$

En cuanto a la linealidad, se observó en la Figura 6 que la curva de calibración presentó un coeficiente de correlación igual a 0.9999, indicando que el método es lineal en el intervalo de una solución de 0 a 2 ppm de Cr (VI), así mismo, el estadístico R^2 indicó que el modelo ajustado explica 99.99 % de la variabilidad en absorbancia y el error estándar del estimado indica que la desviación estándar de los residuos.

La pendiente de recta de la curva patrón fue 0.7991 indicando una buena sensibilidad.

La precisión del método fue alta ya que los valores de desviaciones estándar fueron muy cercanos a cero entre las repeticiones de una misma concentración tal como se muestra en la Figura 5.

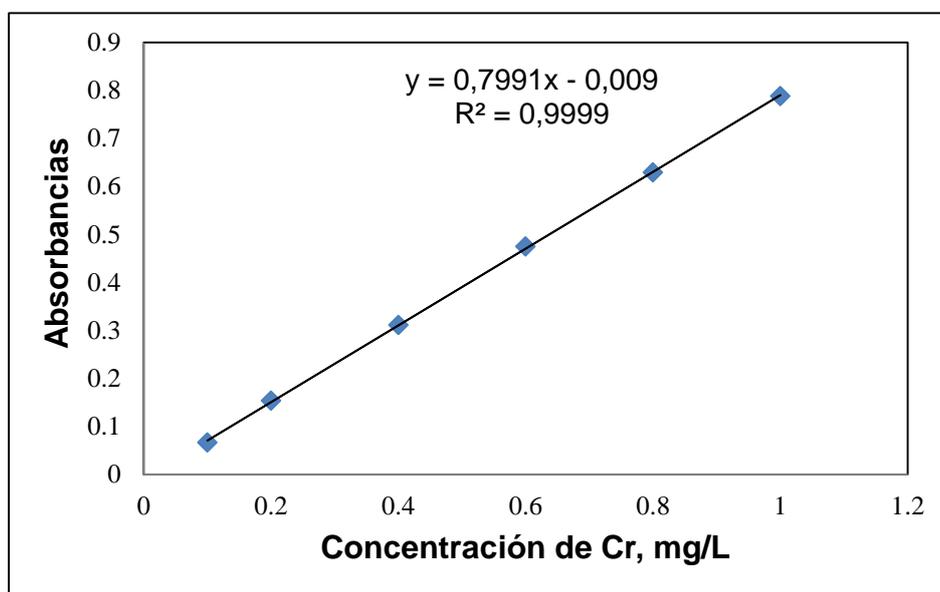


Figura 5: Curva de calibración para la cuantificación de Cr (VI)

Con respecto al límite de detección y cuantificación señaladas anteriormente este se calculó mediante las ecuaciones ya mencionadas, utilizando la desviación estándar del blanco y la pendiente de la recta.

$$LOD = \frac{3 \times 0.01098}{0.7991}$$

$$LOD = 0.04125$$

$$LOQ = \frac{10 \times 0.01099}{0.7991}$$

$$LOQ = 0.137486$$

Dando como resultado el límite de detección 0.04125 ppm de Cr (VI) y el límite de cuantificación 0.137486 ppm de Cr (VI).

4.4. Análisis de cinética del material bioadsorbente

El análisis de la cinética de adsorción permitió construir las curvas correspondientes a la adsorción de Cr (VI) sobre el material bioadsorbente BST y BCT, además de definir el tiempo de interacción adsorbato – adsorbente.

Según el ensayo de cinética para la biomasa sin tratamiento (BST), tal como se observa en la Tabla 7 se alcanzó un máximo porcentaje de remoción de Cr (VI) de 95.68 % y una máxima capacidad de biosorción de 49.06 mg/g correspondientes a la papa Canchan, que los alcanzó a los 60 minutos de agitación, sin embargo, esta variedad de papa fue la única con un porcentaje alto de remoción, ya que las demás variedades presentaron bajos porcentajes de remoción; la variedad Única con 63.26% a los 15 minutos de agitación, Perricholi con 85.69 % a los 30 minutos de agitación y Peruanita con 77.48 % de remoción a los 45 minutos de agitación.

Por otro lado, para el ensayo de cinética para la biomasa con tratamiento (BCT), tal como se observa en la Tabla 8, los porcentajes de remoción similares, siendo el más efectivo la variedad Única con 99.05 % de remoción a los 30 minutos de agitación, seguida por la variedad de papa Perricholi con 98.93 % de remoción a los 45 minutos de remoción, luego se encuentra la variedad Peruanita con un porcentaje de remoción de 98.87 % muy cerca al de la variedad Perricholi a los 30 minutos de tratamiento el mismo tiempo que la variedad Perricholi, y por último la variedad Canchan con 95.97 % de remoción a los 30 minutos de tratamiento, esta última variedad no difiere mucho en ambos casos, es decir, con y sin tratamiento, ya que tiene porcentajes muy similares a los de esta pero sin tratamiento. Los resultados obtenidos de los ensayos de cinética tanto de BST como de BCT se pueden observar en las Figuras 6 y 7.

Como resultado sobre el tiempo de interacción se tomó 30 minutos de agitación por la cantidad de incidencias en cada variedad de papa. Cabe resaltar que a linealizar la recta de la cinética de BCT nos da una ecuación de pseudo-primer orden lo que nos indicaría una adsorción física por parte del adsorbente.

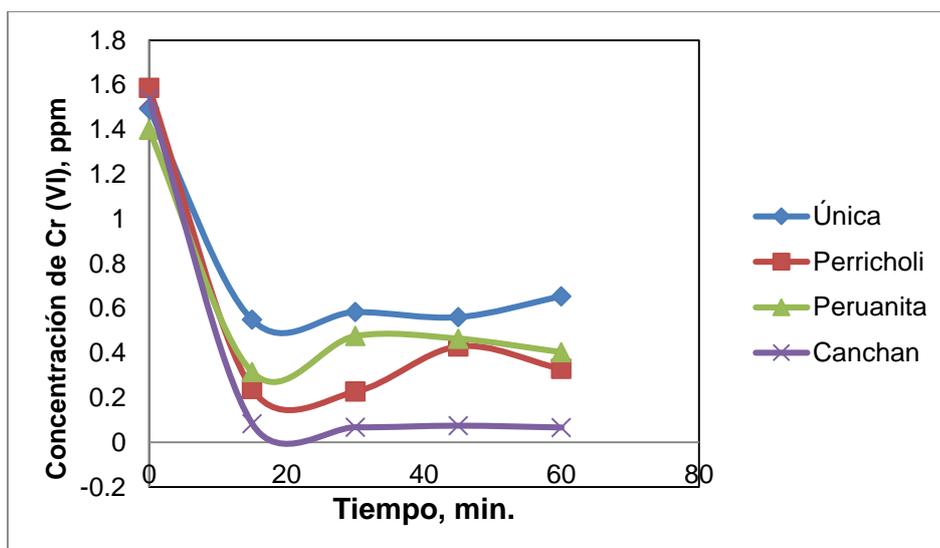


Figura 6: Gráfico comparativo del proceso de cinética de biosorción para la remoción de Cr (VI) de BST

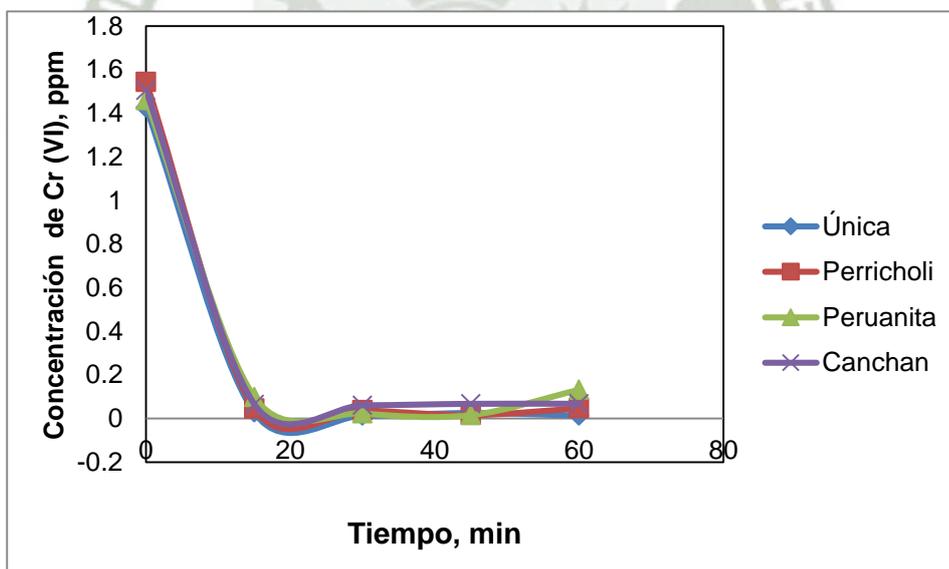


Figura 7: Gráfico comparativo del proceso de cinética de biosorción para la remoción de Cr (VI) de BCT

Tabla 7. Cantidad adsorbida, porcentaje de remoción y capacidad de biosorción obtenidos en la cinética para el ensayo de biomasa sin tratamiento (BST)

BIOMASA SIN TRATAMIENTO (BST)												
Tiempo, min.	ÚNICA			PERRICHOLI			PERUANITA			CANCHAN		
	Concentración Cromo (VI), ppm.	Porcentaje de remoción, %	Capacidad de Biosorción, mg/g	Concentración Cromo (VI), ppm.	Porcentaje de remoción, %	Capacidad de Biosorción, mg/g	Concentración Cromo (VI), ppm.	Porcentaje de remoción, %	Capacidad de Biosorción, mg/g	Concentración Cromo (VI), ppm.	Porcentaje de remoción, %	Capacidad de Biosorción, mg/g
0	1.4944	0	0	1.5881	0	0	1.3997	0	0	1.5382	0	0
15	0.5491	63.26	31.51	0.2387	84.97	44.98	0.3152	77.48	36.15	0.0838	94.55	48.48
30	0.5836	60.95	30.36	0.2272	85.69	45.36	0.4761	65.99	30.79	0.0674	95.62	49.03
45	0.5612	62.45	31.11	0.4298	72.94	38.61	0.4645	66.81	31.17	0.0746	95.15	48.79
60	0.6543	56.22	28.00	0.3288	79.30	41.98	0.4042	71.12	33.18	0.0665	95.68	49.06

Tabla 8. Cantidad adsorbida, porcentaje de remoción y capacidad de biosorción obtenidos en la cinética para el ensayo de biomasa con tratamiento (BCT)

BIOMASA CON TRATAMIENTO (BCT)												
Tiempo, min.	ÚNICA			PERRICHOLI			PERUANITA			CANCHAN		
	Concentración Cromo (VI), ppm.	Porcentaje de remoción, %	Capacidad de Biosorción, mg/g	Concentración Cromo (VI), ppm.	Porcentaje de remoción, %	Capacidad de Biosorción, mg/g	Concentración Cromo (VI), ppm.	Porcentaje de remoción, %	Capacidad de Biosorción, mg/g	Concentración Cromo (VI), ppm.	Porcentaje de remoción, %	Capacidad de Biosorción, mg/g
0	1.4263	0	0	1.5436	0	0	1.4607	0	0	1.5043	0	0
15	0.0279	98.04	46.61	0.0453	97.07	49.94	0.0989	93.23	45.39	0.0653	95.66	47.97
30	0.0135	99.05	47.09	0.0381	97.53	50.18	0.0239	98.36	47.89	0.0606	95.97	48.12
45	0.0257	98.20	46.69	0.0165	98.93	50.90	0.0165	98.87	48.14	0.0673	95.53	47.9
60	0.014	99.02	47.08	0.0469	96.96	49.89	0.1321	90.96	44.29	0.0676	95.51	47.89

4.5. Determinación del efecto de la biomasa sin tratamiento (BST) y de la biomasa con tratamiento (BCT) en la biosorción de Cr (VI)

Para definir la biomasa con la que se trabajará los siguientes ensayos se comparó las adsorciones de las biombras sin tratamiento (BST) con la de las biombras con tratamiento (BCT). En la Tabla 9 se puede observar los resultados hallados en el ensayo con un tiempo de contacto de 30 minutos; el porcentaje de remoción y la capacidad de biosorción. Estos son muy similares a los de la cinética ya que la única variación que se realizó fue la concentración inicial del contaminante Cr (VI) que estuvo en base a 3 ppm.

En la Tabla 9 se puede observar que la variedad Única (BCT) tuvo el máximo porcentaje de remoción, el mínimo porcentaje de remoción lo obtuvo la variedad Única (BST), resaltando que esta variedad de papa después del tratamiento con el ácido cítrico mejora su capacidad de biosorción en un 36.98 mg/g.

Tabla 9. Tabla comparativa de la capacidad de adsorción de la BST y la BCT

	Tipo de Papa	Concentración Inicial de Cr (VI), ppm	Absorbancia	Concentración Final de Cr (VI), ppm	Porcentaje de Remoción	Capacidad de Biosorción, mg/g
BST	Única	2.9548	0.7943	1.0138	65.69	64.7
	Peruanita	3.0256	0.7491	0.9510	68.57	69.15
	Perricholi	3.1485	0.6254	0.7808	75.20	78.92
	Canchan	2.7485	0.2642	0.2938	89.31	81.82
BCT	Única	3.1244	0.0499	0.0740	97.63	101.68
	Peruanita	3.0051	0.0600	0.0900	97.01	97.17
	Perricholi	2.9813	0.0833	0.0833	97.21	96.60
	Canchan	2.8639	0.0892	0.0892	96.89	92.49

Mientras que la variedad Canchan (BST) presenta un buen porcentaje de remoción de 89.31% y este no se eleva mucho con el tratamiento de ácido cítrico siendo este de

96.89 %, incrementándose en un 7.58 %, esta fue la única variedad que no mostró una gran diferencia en comparación a las otras variedades. Aquellas biomásas que fueron tratadas con ácido cítrico tienen una mayor capacidad de biosorción de Cr (VI), por esta razón para los siguientes ensayos de pH, cantidad de biomasa y temperatura se utilizarán aquellas biomásas con tratamiento (BCT).

Los resultados obtenidos en el ensayo de biosorción de BST y BCT se presentan en las Figuras 8 y 9, donde se puede observar la notoria diferencia entre las barras color verde pertenecientes a la biosorción BST comparadas con las barras color verde pertenecientes a la biosorción BCT, estas barras de color verde representan la concentración final de Cr (VI) una vez culminado el tiempo de contacto, demostrando que la activación por ácido cítrico elevó su capacidad de remoción.

Se realizó un ANOVA, análisis de varianza de un factor, con los porcentajes de biosorción, para confirmar la variación entre un tratamiento y el otro, véase en el ANEXO N°1, en el que se observa que las muestras sin tratamiento tuvieron una varianza de 110.8196, y las muestras con tratamiento una varianza de 0.1054, lo que significa que las muestras con tratamiento no difieren significativamente unas con otras y las muestras sin tratamiento difieren significativamente unas con otras, el análisis general de muestras sin tratamiento y con tratamiento nos da un valor F de 18.2434 que al ser mayor que 1 significa que existe una variación significativa entre los tratamientos, Es por eso que se escoge las muestras con tratamiento para los siguientes ensayos, porque presenta un alto porcentaje de remoción y una gran capacidad de biosorción de Cr (VI).

En la Figura 10 se observa la comparación de los porcentajes de remoción de la biomasa sin tratamiento (BST) con la biomasa con tratamiento (BCT).

En la Figura 10, las barras del mismo color pertenecen a la misma variedad de papa con la diferencia que las barras con menor altura pertenecen a la BST y las que se observan con mayor altura corresponden a la BCT.

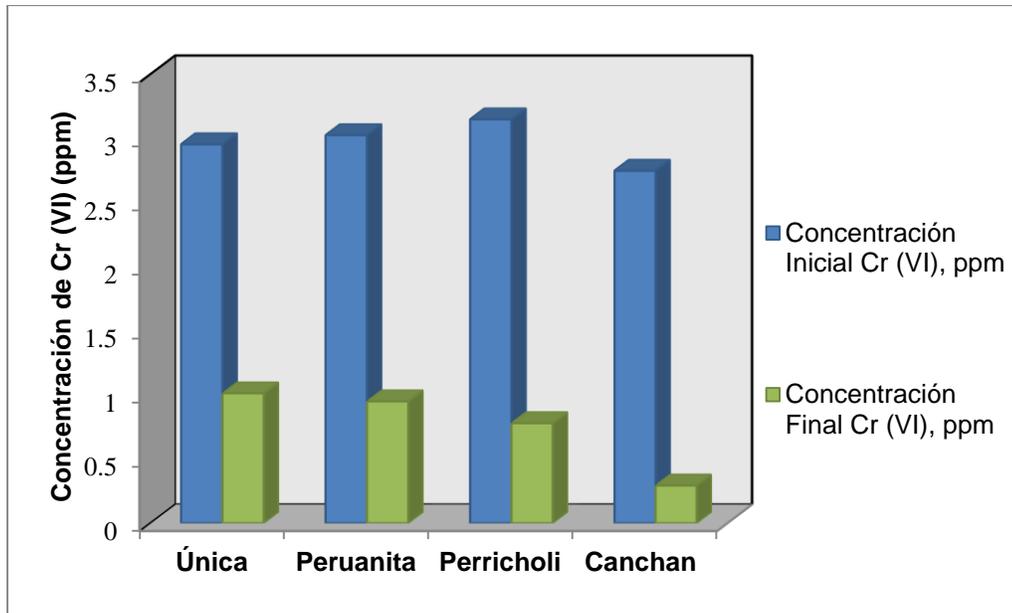


Figura 8: Biosorción de biomasa sin tratamiento a partir de una solución de Cr (VI) de 3 ppm en 30 minutos de interacción

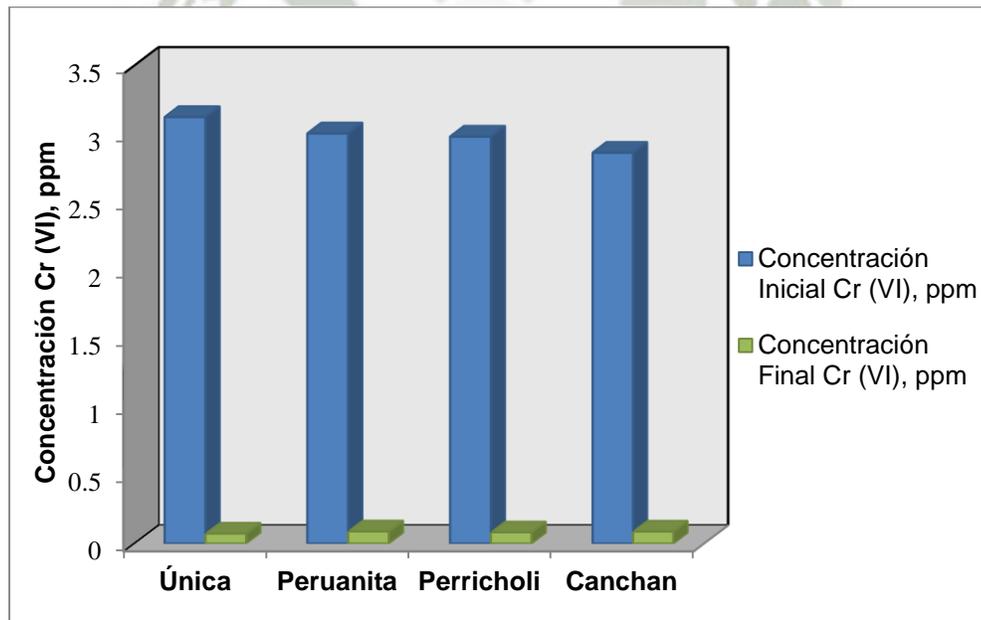


Figura 9: Biosorción de biomasa con tratamiento a partir de una solución de Cr (VI) de 3 ppm en 30 minutos de interacción

Se puede notar que el tratamiento de ácido cítrico incrementa el porcentaje de remoción comparado con aquellas variedades que no recibieron ningún tratamiento. Este método comparado con otros que se han desarrollado a la

biomasa refiere uno de los mejores mecanismos para aumentar la capacidad de sorción, ya que también se usa carbón activado u otros ácidos, pero en cuanto a resultados se puede decir que este además de ser efectivo es fácil de realizar y a su vez es de bajo costo.

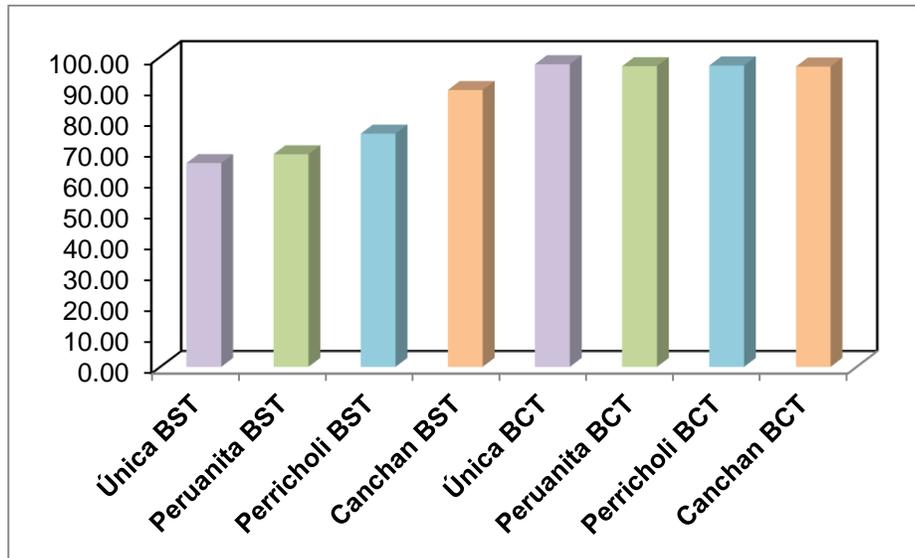


Figura 10: Gráfico comparativo de porcentaje de remoción de las distintas variedades de papa (BST y BCT)

4.6. Evaluación del efecto del pH en la biosorción de Cr (VI) utilizando cáscaras de papa

Para la evaluación del efecto del pH se trabajó con la BCT, ya que gracias al tratamiento con ácido cítrico es significativo el incremento del porcentaje de remoción y por ende la capacidad de biosorción.

En el ensayo de biosorción bajo el efecto del pH 2 se obtuvo que la variedad Peruanita fue la que tuvo un mayor porcentaje de remoción con 97.45 % seguida por la variedad Única con porcentaje de remoción de 97.12 %, finalmente la variedad Canchan con 95.85 % de remoción. Como se puede observar las variedades Única, Peruanita y Perricholi no presentaron gran diferencia en sus

porcentajes de remoción a comparación de la variedad Canchan cuyo porcentaje de remoción estuvo 1.12 % por debajo de la variedad Única.

La variedad Peruanita obtuvo una capacidad de biosorción de 100.58 mg/g. siendo la más eficaz en este pH, siendo esta también la más eficaz en esta categoría. Los resultados de este ensayo se muestran en la Tabla 13.

En el análisis de varianza de un factor, observado en el ANEXO N°2, indica un valor de varianza de 0.2051, el cual al ser menor a 1 indica que no existen diferencias significativas.

Tabla 10. Efecto del pH 2 en la biosorción de Cr (VI)

Tipo de Papa	Única	Peruanita	Perricholi	Canchan
Concentración Inicial Cr (VI), ppm	3.0154	3.0087	2.9678	2.9963
Absorbancia	0.0580	0.0517	0.0609	0.0738
Concentración Final Cr (VI), ppm	0.0869	0.0738	0.0915	0.1086
Porcentaje de Remoción (%)	97.12	97.45	96.92	96.37
Capacidad de Biosorción, mg/g	97.62	97.73	5.88	96.26

Como se puede observar en la Figura 11, la variedad Peruanita fue la más eficaz del grupo y la Canchan fue la que obtuvo un porcentaje más bajo.

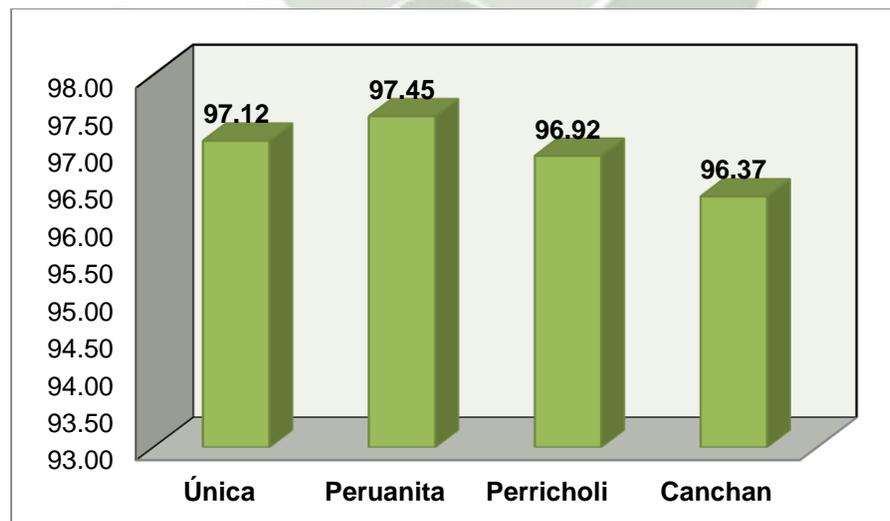


Figura 11: Porcentaje de remoción del biosorbente frente a pH 2

En el ensayo de biosorción bajo el efecto del pH 4 se obtuvo que la variedad Perricholi fue la que tuvo un mayor porcentaje de remoción con 96.48 % seguida por las variedades Peruanita y Única, ambas presentaron el mismo porcentaje de remoción de 96.94 %. Finalmente, la variedad Canchan presenta un 96.20 % de remoción. Como se puede observar las cuatro variedades de papa: Perricholi, Peruanita, Única y Canchan no presentaron gran diferencia en sus porcentajes de remoción, sin embargo, la variedad Única fue la que tuvo una mayor capacidad de biosorción la cual fue de 97.42 mg/g a comparación de la Perricholi que fue la que tuvo un mayor porcentaje de remoción, Los resultados de este ensayo se muestran en la Tabla 11.

En el análisis de varianza de un factor que se puede ver en el ANEXO N°2, indica un valor de varianza de 0.0147, el cual al ser menos a 1 muestra que no existen diferencias significativas.

Tabla 11. Efecto de pH 4 frente a la biosorción de Cr (VI)

Tipo de Papa	Única	Peruanita	Perricholi	Canchan
Concentración Inicial Cr (VI), ppm	3.0358	2.6483	2.986	3.0248
Absorbancia	0.0778	0.0653	0.0709	0.0793
Concentración Final Cr (VI), ppm	0.1131	0.0988	0.1052	0.1148
Porcentaje de Remoción (%)	96.27	96.27	96.48	96.20
Capacidad de Biosorción, mg/g	97.42	84.98	96.03	97.00

Los resultados de la Tabla 11 se muestran representados en la Figura 12. Como se puede observar no hubo una gran variación en las cuatro variedades, demostrando que a pH 4 los porcentajes de remoción no difieren uno del otro y están en base al 96 % de remoción, siendo este positivo, pero no el más óptimo.

En el ensayo de biosorción bajo el efecto del pH 6 se obtuvo que la variedad Única fue la que tuvo un mayor porcentaje de remoción con un 96.97 % seguida por las variedades Peruanita y Perricholi con porcentajes de remoción de 96.92 % y 96.85 % respectivamente, finalmente tenemos la variedad Canchan con 95.85 % de

remoción. Como se puede observar las variedades de Única, Peruanita y Perricholi no presentaron gran diferencia en sus porcentajes de remoción a comparación con la variedad Canchan cuyo porcentaje de remoción estuvo 1.12 % por debajo de la variedad Única.

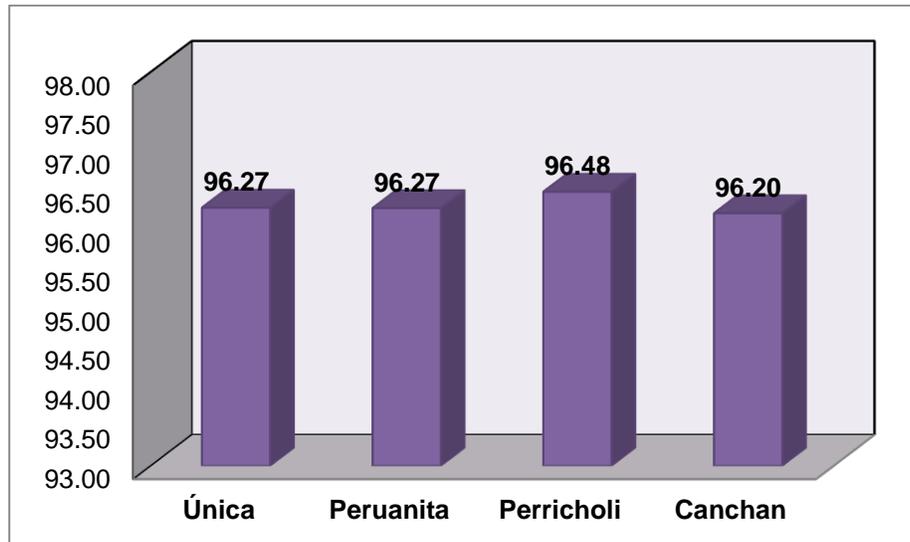


Figura 12: Porcentaje de remoción del biosorbente frente a pH 4

La variedad Peruanita obtuvo una capacidad de biosorción de 100.58 mg/g. siendo la más eficaz a este pH, siendo además la más eficaz en esta categoría. Los resultados de este ensayo se muestran en la Tabla 12.

En el análisis de varianza de un factor (ANEXO N°2), muestra un valor de varianza de 0.2851. Este al ser menos a 1 indica que no existen diferencias significativas.

Tabla 12. Efecto de pH 6 frente a la biosorción de Cr (VI)

Tipo de Papa	Única	Peruanita	Perricholi	Canchan
Concentración Inicial Cr (VI), ppm	2.986	3.1132	3.0021	2.9856
Absorbancia	0.0603	0.0636	0.0629	0.0873
Concentración Final Cr (VI), ppm	0.0905	0.0958	0.0946	0.1240
Porcentaje de Remoción (%)	96.97	96.92	96.85	95.85
Capacidad de Biosorción, mg/g	96.52	100.58	96.92	95.39

Los resultados de la Tabla 12 se muestran representados en la Figura 13. Como se puede observar no hay una gran variación en el porcentaje de remoción de tres variedades Única, Peruanita y Perricholi que estuvieron en base a 96 % de remoción, a comparación de Canchan que obtuvo un porcentaje de 95.85 %, el cual es el más bajo de su grupo.

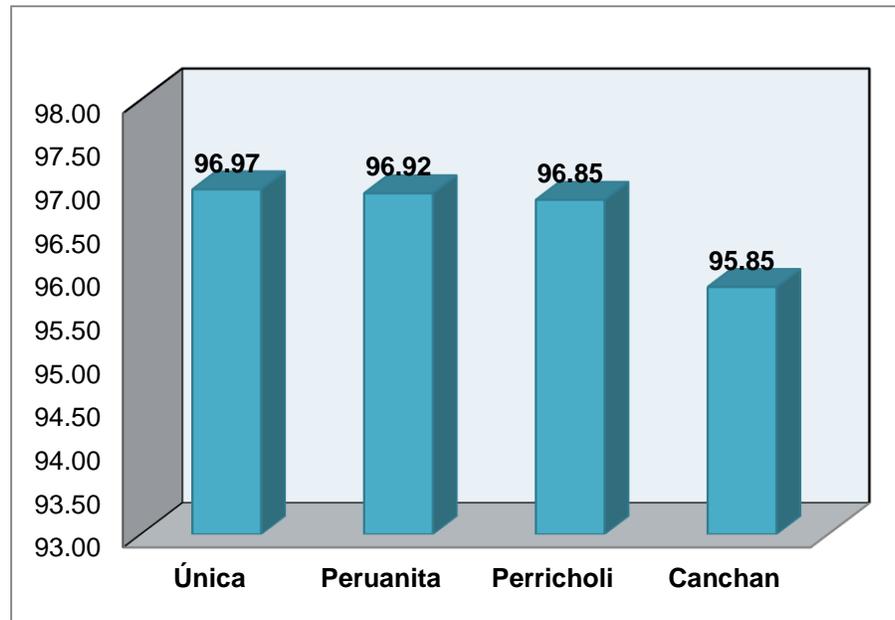


Figura 13: Porcentaje de remoción del biosorbente frente a pH 6

En el ensayo de biosorción bajo el efecto del pH 8 se obtuvo que la variedad Peruanita fue la que mayor porcentaje de remoción tuvo con 96.94 %, seguida por la variedad Perricholi con 96.63 % de remoción, a continuación, la variedad Única con 96.49 % de remoción finalizando con la variedad Canchan con un porcentaje de remoción de 95.87 %. Como se puede observar las variedades de Peruanita, Perricholi y Única no presentaron diferencia significativa en sus porcentajes de remoción a comparación de la variedad Canchan cuyo porcentaje de remoción estuvo 1.07 % por debajo de la variedad Peruanita. La variedad Peruanita obtuvo una capacidad de biosorción de 100.97 mg/g siendo la más eficaz a este pH. Los resultados de este ensayo se muestran en la Tabla 13.

En el análisis de varianza de un factor mostrado en el ANEXO N°2, indica un valor de varianza de 0.2021. Este al ser menos a 1 expresa que no existen diferencias significativas

Tabla 13. Efecto de pH 8 frente a la biosorción de Cr (VI)

Tipo de Papa	Única	Peruanita	Perricholi	Canchan
Concentración Inicial Cr (VI), ppm	2.9653	3.1245	3.1132	3.0041
Absorbancia	0.0698	0.0635	0.0707	0.0874
Concentración Final Cr (VI), ppm	0.1040	0.0955	0.1050	0.1241
Porcentaje de Remoción (%)	96.49	96.94	96.63	95.87
Capacidad de Biosorción, mg/g	95.38	100.97	100.27	96.00

Los resultados de la Tabla 13 se muestran representados en la Figura 14. Como se muestra no hay una gran variación en el porcentaje de remoción de dos variedades las cuales son Única y Peruanita que estuvieron en base a 97 % de remoción, a comparación de Perricholi que consiguió un 96.92 % de remoción de Cr (VI) y Canchan que obtuvo un porcentaje de remoción de 96.37 %, que fue el más bajo de su grupo, de esta manera se tiene que el porcentaje de remoción de la variedad Peruanita el más alto del grupo con un 97.45 %.

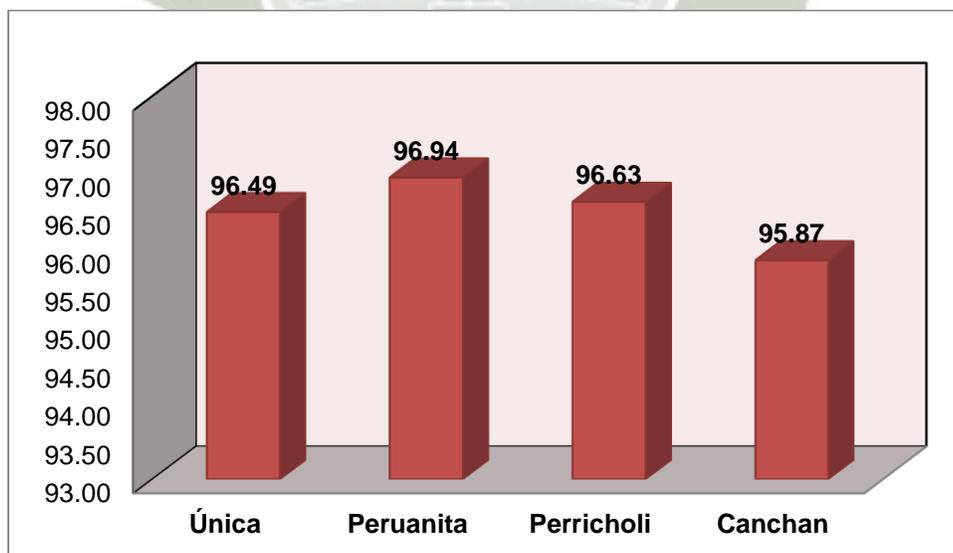


Figura 14: Porcentaje de remoción del biosorbente frente a pH 8

Una vez hecho los ensayos de biosorción con diferentes pH se elaboró un gráfico comparativo, para determinar el pH óptimo en el cual se deberán trabajar los siguientes ensayos de biosorción. Los resultados obtenidos se presentan en la Figura 16.

Como se puede observar en la Figura 15, las barras de color azul pertenecen al ensayo de biosorción a pH 2, las barras de color rojo al ensayo de biosorción a pH 4, las barras de color verde al ensayo de biosorción a pH 6 y las barras de color morado pertenecen al ensayo de biosorción a pH 8.

Se realizó un ANOVA, análisis de varianza de un factor, con los porcentajes de biosorción, para confirmar la variación entre los pH, véase en el ANEXO N°2, en el que se observa un valor F de 1.7827, este valor al ser mayor que 1 significa que existe diferencia significativa entre los tratamientos con variación de pH.

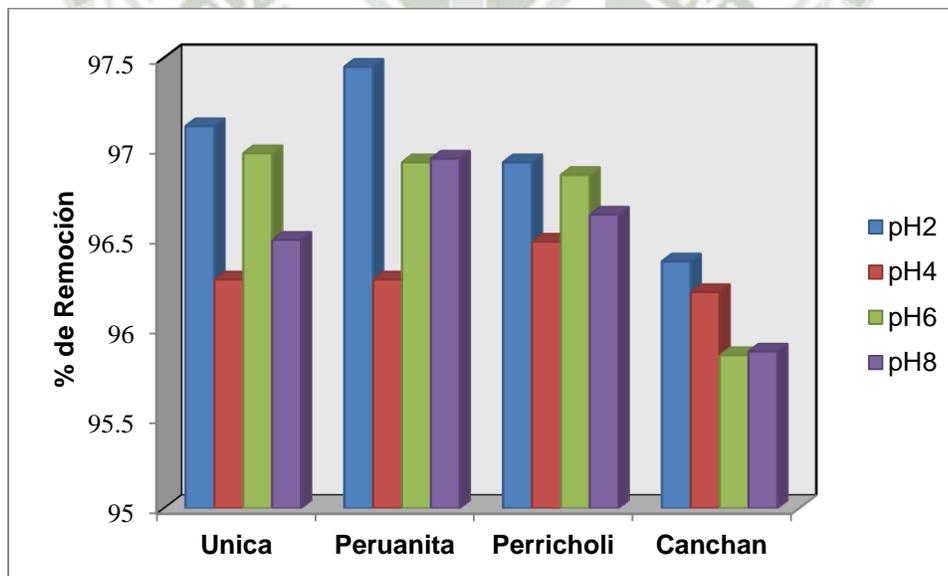


Figura 15: Gráfico comparativo del porcentaje de remoción frente a la variación de pH

Como se observa el bloque con barras que no crecieron a comparación de las otras fue el de la variedad Canchan, esto quiere decir que esta variedad tuvo los porcentajes de remoción menores de todo el ensayo, mientras que las demás variedades tuvieron unos porcentajes de remoción muy buenos y bastante parecidos.

- En cuanto a la variedad Única su porcentaje de remoción más alto fue con el pH 2 con un 97.12 % y el porcentaje de remoción más bajo lo obtuvo con el pH 4 siendo este 96.27 %, teniendo una diferencia de 0.85 %.
- La variedad Peruanita tuvo el porcentaje de remoción más alto con el pH 2 con un 97.45 % y el porcentaje de remoción más bajo lo obtuvo con el pH 4 con 96.27 %, siendo la diferencia entre estos 1.18 %.
- En la variedad Perricholi el porcentaje de remoción más alto fue con el pH 2 con un 96.92 % y el porcentaje de remoción más bajo lo obtuvo con el pH 4 con 96.48 %, siendo la diferencia entre estos 0.44 %.
- Con respecto a la variedad Canchan su porcentaje de remoción más alto fue a pH 2 con un 96.37 % y el porcentaje de remoción más bajo lo obtuvo al pH 8 con 96.20 %, siendo la diferencia entre estos 0.17 %.

Es notorio que el pH 2 fue el que obtuvo mayor porcentaje de remoción en todas las variedades de papa tratada y el pH 4 fue el que obtuvo menor porcentaje de remoción en todas las variedades de papa tratada. Siendo el pH 2 con el que se trabajará para los siguientes ensayos.

Comparando esta variable con las encontradas en otros trabajos de investigación es que se puede mencionar que trabajando con cáscaras de naranja y carbón activado se obtuvo que el pH que mejores resultados dio fue el 3, es decir un pH ácido, que según se puede ver en dicho trabajo se debe a la reacción que genera el carbón activado con el Cr (VI), por otro lado, usando cascarilla de arroz vemos que a un pH igual o menor a 2 se remueve un 85% de Cr(VI), esto habiendo tratado la cascarilla con ácido fosfórico y finalmente se ha visto que con amaranto el casi 100% de adsorción se da a pH 1 en un tiempo de 100 minutos. En este proyecto al igual que en los anteriores, se trabajó con un ácido para realizar la activación y esto hace que en un medio ácido se genere una mejor interacción entre el Cr (VI) y las cáscaras de papa de las diferentes variedades. De acuerdo a la forma de activación, al material activante y a la biomasa usada es que muchas veces se dan comportamientos como este, pero al enfocarse en este trabajo se puede ver que no hubo una variación significativa de porcentaje de remoción al variar el pH de la

solución a tratar, por lo que se considera que no es un factor determinante para el desarrollo de dicho tratamiento.

4.7. Evaluación del efecto de la cantidad del bioadsorbente en la biosorción de Cr (VI)

Para la evaluación del efecto de la cantidad del bioadsorbente, se trabajó con la BCT y soluciones ajustadas a pH 2, ya que gracias al tratamiento con ácido cítrico y la basicidad de la solución de Dicromato de potasio se incrementa el porcentaje de remoción y por ende la capacidad de biosorción.

En el primer ensayo de biosorción con 1.00 g del bioadsorbente, se obtuvo que la variedad Única fue la que mayor porcentaje de remoción tuvo con 97.29 %, seguida por la variedad Perricholi con 97.12 % de remoción, a continuación, la variedad Peruanita con 97.02 % de remoción finalizando con la variedad Canchan con un porcentaje de remoción de 97.01 %, esta última no difiere de la variedad Peruanita. Como se puede observar las cuatro variedades de papa Peruanita, Perricholi, Única y Canchan no presentaron gran diferencia en sus porcentajes de remoción ya que todos estuvieron alrededor del 97 %.

Sin embargo, la variedad Canchan que en porcentaje de remoción fue la más baja, obtuvo una capacidad de biosorción de 293.32 mg/g y la variedad Única que presentó una capacidad de biosorción de 290.64 mg/g. Los resultados de este ensayo se muestran en la Tabla 14.

En el análisis de varianza de un factor (ANEXO N°3), indica un valor de varianza 0.0169, que al ser menor a 1 muestra que no hay diferencias significativas entre los valores obtenidos durante el presente análisis y así como observamos en los anteriores no se presenta diferencias significativas en las acciones remediantes de las variedades de papa usadas para este proyecto, lo que nos da a entender que la mayoría de cáscaras de papa podrían obtener resultados muy alentadores en lo que respecta a biosorción de metales pesados como en este caso el Cr (VI).

Tabla 14. Efecto de 1.00 g de bioadsorbente frente a la biosorción de Cr (VI)

Tipo de Papa	Única	Peruanita	Perricholi	Canchan
Concentración Inicial Cr (VI), ppm	2.9874	2.9992	3.0043	3.0235
Absorbancia	0.0543	0.0597	0.0578	0.0602
Concentración Final Cr (VI), ppm	0.0810	0.0895	0.0865	0.0903
Porcentaje de Remoción (%)	97.29	97.02	97.12	97.01
Capacidad de Biosorción, mg/g	290.64	290.97	291.78	293.32

Los resultados de la Tabla 14 se muestran representadas en la Figura 16. Como se puede observar no hay una gran variación en el porcentaje de remoción de las cuatro variedades Única, Peruanita, Perricholi y Canchan que estuvieron cercanas a 97 % de remoción de Cr (VI), la Canchan obtuvo como se mencionó un porcentaje de remoción de 97.01 %, el cual fue el más bajo de su grupo, este no difirió del porcentaje de remoción de la variedad Peruanita con un 97.02 %, siendo el de la Única el más alto del grupo con 97.29 % de remoción.

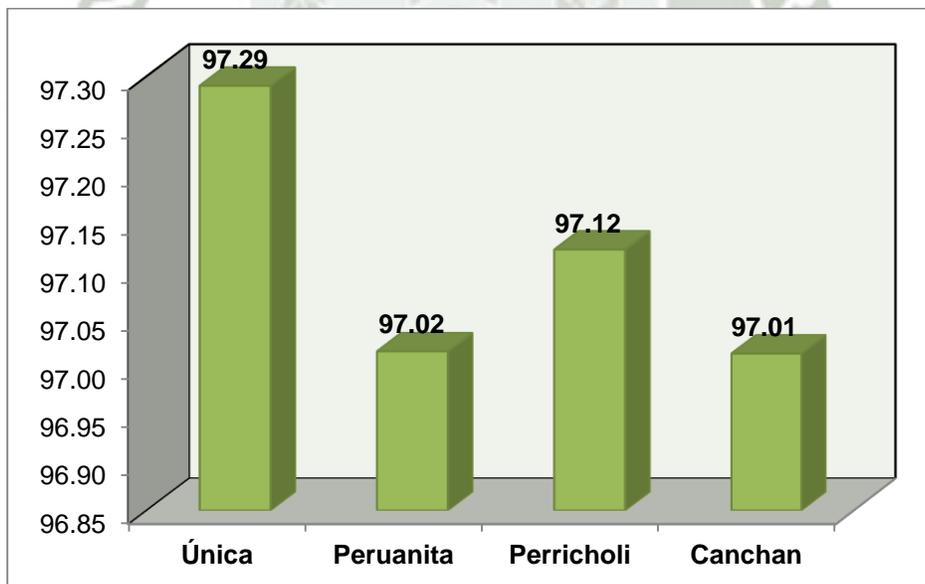


Figura 16: Porcentaje de remoción para 1.00 g de bioadsorbente

En el ensayo de biosorción con 2.00 g del bioadsorbente se obtuvo que la variedad Perricholi fue la que mayor porcentaje de remoción tuvo con 97.84 %, seguida por la variedad Única con 97.61 % de remoción, a continuación, la variedad Peruanita con 97.45 % finalizando con la variedad Canchan con un porcentaje de remoción de 97.26 %. Como se puede observar las cuatro variedades de papa Peruanita, Perricholi, Única y Canchan no presentaron gran diferencia en sus porcentajes ya que todos estuvieron alrededor de 97 %. La variedad Perricholi, que fue la que obtuvo el más alto porcentaje de remoción a diferencia de la variedad Canchan que fue la obtuvo el más bajo porcentaje obtenido, la diferencia de estos fue de 0.58 %. Al igual que los porcentajes de remoción, la capacidad de biosorción más alta la obtuvo la variedad Perricholi con 147.80 mg/g, mientras que la más baja fue la de variedad Única con 145.34 mg/g. Los resultados de este ensayo se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15. Efecto de 2.00 g de bioadsorbente frente a la biosorción de Cr (VI)

Tipo de Papa	Única	Peruanita	Perricholi	Canchan
Concentración Inicial Cr (VI), ppm	2.9782	3.0142	3.0213	3.0023
Absorbancia	0.0482	0.0518	0.0445	0.0551
Concentración Final Cr (VI), ppm	0.0713	0.0770	0.0653	0.0822
Porcentaje de Remoción (%)	97.61	97.45	97.84	97.26
Capacidad de Biosorción, mg/g	145.34	146.86	147.80	146.00

Los resultados de la Tabla 15 se muestran representados en la Figura 17 como se puede observar no hay una gran variación en el porcentaje de remoción de las cuatro variedades Única, Peruanita, Perricholi y Canchan que estuvieron en base a 97 % de remoción de Cr (VI), Canchan que obtuvo un porcentaje de remoción de 97.26 % fue el más bajo de su grupo, siendo el de la Perricholi el más alto del grupo con 97.84 % de remoción, esto nos indica que a esta cantidad las cáscaras de papa remedian mayor cantidad de contaminante y por ende hasta el momento viene siendo la cantidad ideal.

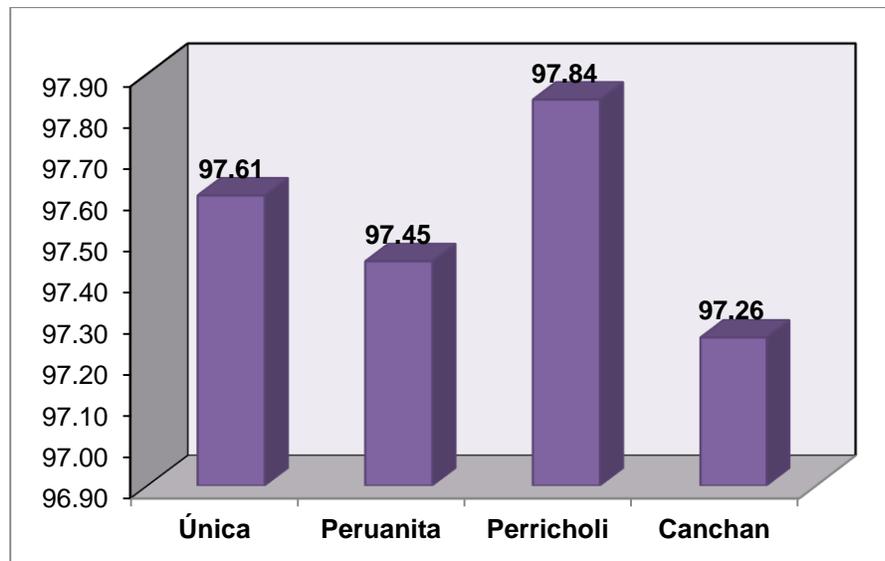


Figura 17: Porcentaje de remoción para 2.00 g de bioadsorbente

En el análisis de varianza de un factor que se puede ver en el ANEXO N°3, indica el valor de varianza igual a 0.0604, la cual, al ser menor a 1 indica que no hay diferencias significativas, por lo que podemos corroborar que con esta cantidad de biomasa usada las cuatro variedades de papa trabajan casi de igual manera, siendo la Única la que más resalta en cuanto a porcentaje de adsorción en comparación con las demás.

En el ensayo de biosorción con 3.00 g del bioadsorbente se obtuvo que la variedad Única fue la que mayor porcentaje de remoción tuvo con 97.53 %, seguida por la variedad Perricholi con 97.18 % de remoción, a continuación, la variedad Canchan con 97.04 % de remoción y finalmente la variedad Peruanita con un porcentaje de remoción de 96.99 %. Como se puede observar las cuatro variedades de papa Peruanita, Perricholi, Única y Canchan no presentaron gran diferencia en sus porcentajes de remoción. La variedad Única difiere de la variedad Peruanita presentando una diferencia de 0.54 % entre ambas.

Sin embargo, la capacidad de biosorción más alta la obtuvo la variedad Perricholi con 97.59 mg/g, esta no fue la que obtuvo mayor porcentaje de remoción, mientras que la más baja fue la de variedad Peruanita con 97.20 mg/g. Los resultados de este ensayo se muestran en la Tabla 16.

Tabla 16. Efecto de 3.00 g de bioadsorbente frente a la biosorción de Cr (VI)

Tipo de Papa	Única	Peruanita	Perricholi	Canchan
Concentración Inicial Cr (VI), ppm	2.9901	2.9871	3.0127	3.0147
Absorbancia	0.0499	0.0600	0.0568	0.0595
Concentración Final Cr (VI), ppm	0.0740	0.0900	0.0849	0.0892
Porcentaje de Remoción (%)	97.53	96.99	97.18	97.04
Capacidad de Biosorción, mg/g	97.20	96.57	97.59	97.52

Los resultados de la Tabla 16 se muestran representados en la Figura 20, como se puede observar no hay una gran variación en el porcentaje de remoción de las cuatro variedades, Única, Peruanita, Perricholi y Canchan. Siendo la variedad Peruanita la que obtuvo un porcentaje de remoción de 96.99 %, siendo el más bajo de su grupo y la Única el más alto del grupo con 97.04 % de remoción de Cr (VI).

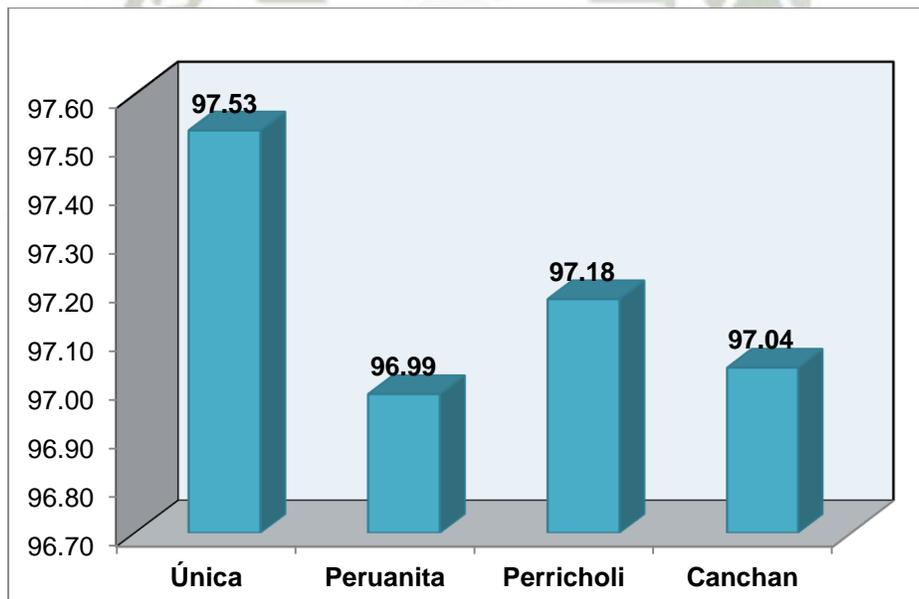


Figura 18: Porcentaje de remoción para 3.00 g de bioadsorbente

En el análisis de varianza de un factor observado en el ANEXO N°3, indica un valor de varianza de 0.0594, el cual es menor a 1 indicando que no hay diferencias significativas. En este caso tenemos a la variedad Peruanita con un alto índice de remoción de Cr (VI), pero a comparación de las otras no se genera una diferencia

significativa o que merezca tomar en cuenta para determinar que dicha variedad se comporta de una manera mucho mejor que las otras. Es por esta razón que como en los análisis anteriores no se observa hasta ahora una varianza que se puede considerar a tomar en cuenta o representativa para desarrollar el trabajo.

En el ensayo de biosorción con 4.00 g del bioadsorbente, se obtuvo que la variedad Canchan fue la que mayor porcentaje de remoción tuvo con 96.98 %, seguida por la variedad Única con 96.65 % de remoción, luego la variedad Peruanita con 96.41 % de remoción y finalmente la variedad Perricholi con un porcentaje de remoción de 96.40 %. Como se puede observar las cuatro variedades de papa Peruanita, Perricholi, Única y Canchan no presentaron gran diferencia en sus porcentajes de remoción ya que todos estuvieron en aproximadamente 96 %. La variedad Canchan, que fue la que obtuvo el más alto porcentaje difiriendo de la variedad Perricholi que fue la obtuvo el más bajo porcentaje de remoción representando una diferencia de 0.58 %.

Al igual que los porcentajes de remoción, la capacidad de biosorción más alta la obtuvo la variedad Canchan con 72.85 mg/g mientras que la más baja fue la de variedad Perricholi con 72.04 mg/g. Los resultados de este ensayo se muestran en la Tabla 17.

En el análisis de varianza de un factor (ANEXO N°3), se indica un valor de varianza 0.0742, que al ser menor a 1 indica que no hay diferencias significativas y como se puede observar también a 4.00 g tampoco se ve una variedad que presente mucha diferencia en comparación con las otras en cuestión de porcentajes de remoción, es decir, el rango varía, pero varía muy poco como en todos los anteriores análisis y corroborando que hasta ahora en cuanto a cantidad de biomasa no encontramos alguna diferencia significativa.

Seguidamente se muestran los resultados obtenidos para una cantidad de biomasa de 4.00 g donde como se mencionó la variedad de papa Canchan es la que ha obtenido mejores resultados comparado con las demás variedades, pero no existe una amplia diferencia entre estas. (Tabla 17).

Tabla 17. Efecto de 4.00 g de bioadsorbente frente a la biosorción de Cr (VI)

Tipo de Papa	Única	Peruanita	Perricholi	Canchan
Concentración Inicial Cr (VI), ppm	3.0067	3.0025	2.9891	3.0048
Absorbancia	0.0669	0.0750	0.0730	0.0605
Concentración Final Cr (VI), ppm	0.1007	0.1077	0.1077	0.0907
Porcentaje de Remoción (%)	96.65	96.41	96.40	96.98
Capacidad de Biosorción, mg/g	72.65	72.37	72.04	72.85

Los resultados de la Tabla 17 se muestran representados en la Figura 19, como se puede observar no hay una gran variación en el porcentaje de remoción de las cuatro variedades Única, Peruanita, Perricholi y Canchan. La variedad Canchan obtuvo un porcentaje de remoción de 96.98 % que fue el más alto de su grupo y la variedad Perricholi el más bajo del grupo con 96.40 % de remoción de Cr (VI), este no difiere mucho del porcentaje de remoción de la variedad Peruanita con tan solo 0.01 % de diferencia entre estas.

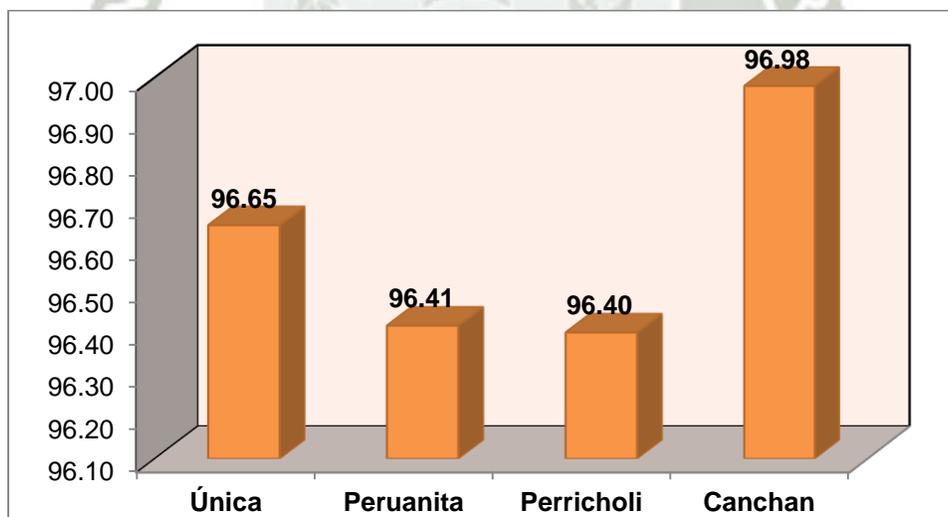


Figura 19: Porcentaje de remoción para 4.00 g de bioadsorbente

Una vez hechos los ensayos de biosorción con diferentes cantidades de bioadsorbente se elaboró un gráfico comparativo para determinar la cantidad en gramos óptima en el cual se deberán trabajar los siguientes ensayos de biosorción. Los resultados obtenidos se presentan en la Figura 20.

Como se puede observar en la Figura 20 las barras de color azul pertenecen al ensayo de biosorción con 1.00 g de bioadsorbente, las barras de color rojo al ensayo de biosorción con 2.00 g, las barras de color verde al ensayo de biosorción con 3.00 g y las barras de color morado pertenecen al ensayo de con cuatro gramos del bioadsorbente. Como se observa la cantidad de biomasa tiene distintos comportamientos de acuerdo a la variedad de cáscara de papa, muy distinto a los ensayos con variación de pH que fue notorio que el porcentaje de remoción de la variedad Canchan era menor con cualquier pH del ensayo en comparación al porcentaje de remoción de todas las demás variedades.

Se realizó un ANOVA, análisis de varianza de un factor, con los porcentajes de biosorción, para confirmar la variación entre los pH, véase en el ANEXO N°3, donde se observa un valor F de 11.14, este valor al ser mayor que 1, expresa que existe diferencia significativa entre los tratamientos con variación de cantidad de bioadsorbente.

- Con respecto a la variedad Única su porcentaje de remoción más alto fue con 2.00 g de bioadsorbente con un 97.61 % y el porcentaje de remoción más bajo lo obtuvo con 4.00 g de este con 96.65 %, siendo la diferencia entre estos de 0.96 %.
- En cuanto a la variedad Peruanita su porcentaje de remoción más alto fue con 2.00 g de bioadsorbente con un 97.45 % y el porcentaje de remoción más bajo lo obtuvo con 4.00 g de este con un 96.41 %, siendo la diferencia entre estos de 1.04 %.
- En base a la variedad Perricholi su porcentaje de remoción más alto fue con 2.00 g de bioadsorbente con un 97.84 % y el porcentaje de remoción más bajo lo obtuvo con cuatro gramos con 96.40 %, siendo la diferencia entre estos de 1.44 %
- Finalmente, la variedad Canchan tuvo un porcentaje de remoción alto con 2.00 g de bioadsorbente siendo de 97.26 % y el porcentaje de remoción más bajo lo obtuvo con 4.00 g de este con 96.98 %, siendo la diferencia entre estos de 0.28%.

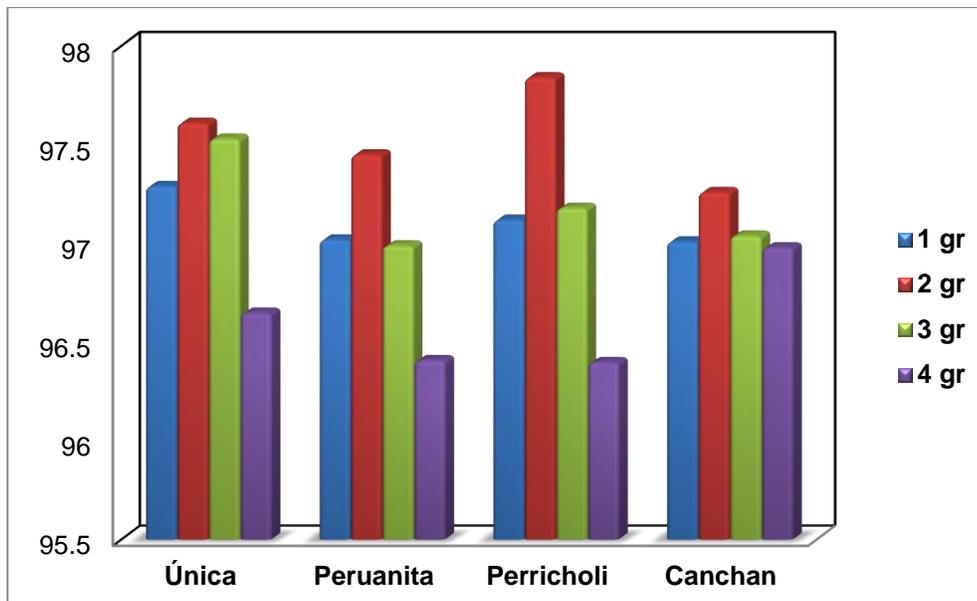


Figura 20: Gráfico comparativo del porcentaje de remoción frente a la variación de cantidades de bioadsorbente

Es notorio que con 2.00 g de bioadsorbente se obtuvo mayor porcentaje de remoción en todas las variedades de papa tratada y con 4.00 g de este se obtuvo menor porcentaje de remoción en todas las variedades de papa tratada. Esto nos indica que no es necesario tener una gran cantidad de cáscara tratada para tener una remoción óptima

Para comparar con los trabajos que se han mencionado previamente, se puede decir que en el caso de las cáscaras de naranja se usaron cantidades de 2, 4 y 6 g/L, resultando la más óptima para remediar la de 6 g/L, es decir en la que se usó la mayor cantidad de biomasa siguiendo la lógica de que a mayor cantidad de biomasa, mayor porcentaje de biosorción, para el caso de la cascarilla de arroz activada con ácido fosfórico sucede lo mismo, es decir, a medida que se aumenta la cantidad de biomasa, la concentración de Cr (VI) disminuye considerablemente, ya que al usar 1 g de biomasa partiendo de una solución con 10 ppm, se logra obtener una de 2 ppm, finalmente con la biomasa del amaranto se encontró que a 5 g absorbe mayor cantidad de Cr (VI) que a 2.5 g, con porcentajes de Cr (VI) del 35% a 28% respectivamente. Por el contrario, en este caso se ha observado el mayor porcentaje de adsorción se da a 2 g usando 100 ml de solución, lo que

equivale a 20 g/L, por lo que en este caso se puede ver que se satura la solución si le agregamos demasiada biomasa y su actividad disminuye tratándose de la cáscara de papa precisamente.

En todo caso estos análisis son a nivel de laboratorio, quizá durante la aplicación a una escala mayor estos resultados varíen de acuerdo a la cantidad de agua residual que se use. Por lo pronto se puede destacar que el trabajo con cada tipo de cáscara, se desarrolla de diferente manera, además, la forma en la que se realiza su activación, es un factor determinante para obtener los resultados y que estos varíen de trabajo en trabajo como sucede en este caso, al darnos cuenta que la cantidad en equivalencia de la biomasa usada por en este caso es mucho mayor a la que se usa en el otro trabajo.

4.8. Evaluación del efecto de la temperatura en la biosorción de Cr (VI)

Para la evaluación del efecto de temperatura se trabajó con un tiempo de contacto de 30 minutos, usando 2.00 g de cáscara de papa tratada previamente con ácido cítrico y soluciones de Dicromato de potasio ajustadas a pH 2 usando ácido clorhídrico para este fin.

En el ensayo de biosorción a 20 °C se obtuvo que la variedad Única fue la que mayor porcentaje de remoción tuvo con 98.37 % seguida por la variedad Peruanita con 98.37 % de remoción, a continuación, la variedad Canchan con un 98.30 % de remoción finalizando con la variedad Perricholi con un porcentaje de remoción de 98.15 %. Como se puede observar las cuatro variedades de papa Peruanita, Perricholi, Única y Canchan no presentaron gran diferencia en sus porcentajes de remoción ya que todos estuvieron en base a 98%.

En cuestión a la capacidad de biosorción la variedad Peruanita que en porcentaje de remoción fue una de las más altas, obtuvo una capacidad de biosorción de 148.19 mg/g, siendo esta la más alta, y la Perricholi presentó una capacidad de biosorción de 147.81 mg/g. Los resultados de este ensayo se muestran en la Tabla 18.

Tabla 18. Efecto de 20 °C frente a la biosorción de Cr (VI)

Tipo de Papa	Única	Peruanita	Perricholi	Canchan
Concentración Inicial Cr (VI), ppm	3.0059	3.0143	3.0120	3.0116
Absorbancias	0.0342	0.0351	0.0384	0.0356
Concentración Final Cr (VI), ppm	0.0490	0.0505	0.0557	0.0513
Porcentaje de Remoción (%)	98.37	98.33	98.15	98.30
Capacidad de Biosorción, mg/g	147.84	148.19	147.81	148.02

En el análisis de varianza de un factor (ANEXO N°4), se indica un valor de varianza 0.0092, el cual al ser menor a 1 indica que no hay diferencias significativas, como se ha evidenciado anteriormente, esta vez con la temperatura sucede lo mismo la capacidad de adsorción no varía de forma considerable de una variedad a otra.

Los resultados de la Tabla 18 se muestran representados en la Figura 21, como se puede observar no hay una gran variación en el porcentaje de remoción de las cuatro variedades Única, Peruanita, Perricholi y Canchan.

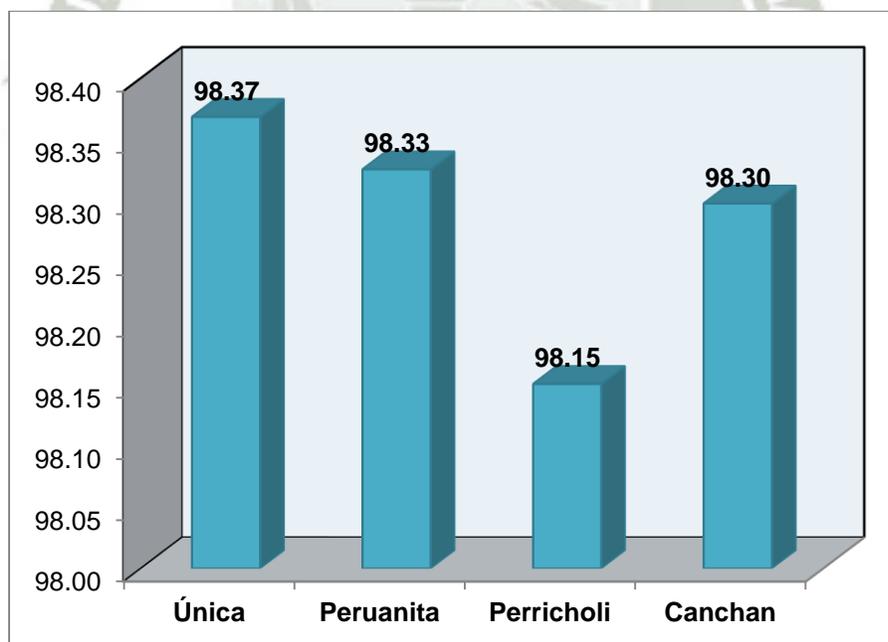


Figura 21: Porcentaje de remoción frente a 20 °C

Siendo la variedad Única que obtuvo un porcentaje de remoción de 98.37 %, el más alto de su grupo y el de la variedad Perricholi el más bajo del grupo con 98.15 % de remoción de Cr (VI).

En el ensayo de biosorción a 30 °C, se obtuvo como resultados que la variedad Peruanita fue la que mayor porcentaje de remoción tuvo con 98.64 %, seguida por la variedad Canchan con 98.62 % de remoción, la variedad Única con 98.50 % de remoción y la variedad Perricholi con un porcentaje de remoción de 98.20 %. Como se puede observar las cuatro variedades de papa Peruanita, Perricholi, Única y Canchan no presentaron gran diferencia en sus porcentajes de remoción ya que todos estuvieron en base a un 98 %.

En cuestión a la capacidad de biosorción la variedad Única que en porcentaje de remoción fue una de las más altas, obtuvo una capacidad de biosorción de 149.35 mg/g, siendo esta la más alta y la Canchan presentó una capacidad de de 147.12 mg/g. Los resultados de este ensayo se muestran en la Tabla 19.

En el análisis de varianza de un factor (ANEXO N°4), indica un valor de varianza de 0.20412, como se sabe al ser menor a 1 indica que no existen diferencias significativas, así como se observó a 20 °C, pero en este caso si los porcentajes subieron considerablemente.

Tabla 19. Efecto de 30 °C frente a la biosorción de Cr (VI)

Tipo de Papa	Única	Peruanita	Perricholi	Canchan
Concentración Inicial Cr (VI), ppm	3.0324	3.0027	3.0278	2.9835
Absorbancias	0.0319	0.0291	0.0376	0.0292
Concentración Final Cr (VI), ppm	0.0454	0.0410	0.0544	0.0411
Porcentaje de Remoción (%)	98.50	98.64	98.20	98.62
Capacidad de Biosorción, mg/g	149.35	148.09	148.67	147.12

Los resultados de la Tabla 19 se muestran representados en la Figura 22, como se puede observar no hay una gran variación en el porcentaje de remoción de las cuatro variedades Única, Peruanita, Perricholi y Canchan. Nos damos cuenta que

la variedad Peruanita que obtuvo un porcentaje de remoción de 98.64 %, el más alto de su grupo y el de la variedad Perricholi el más bajo del grupo con 98.20 % de remoción.

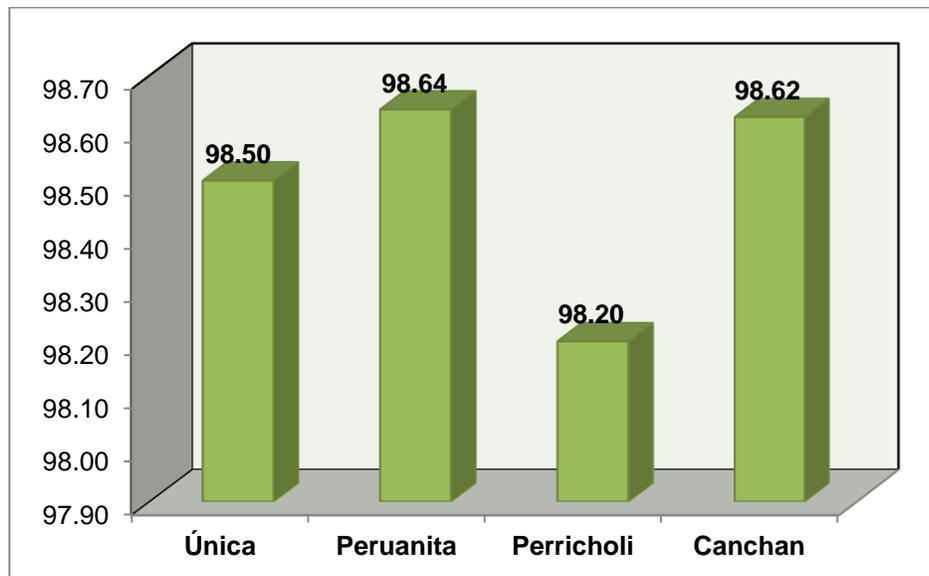


Figura 22: Porcentaje de remoción frente a 30 °C

Una vez hechos los ensayos de biosorción a diferentes temperaturas se elaboró un gráfico comparativo para determinar la temperatura óptima final. Los resultados obtenidos se presentan en la Figura 23.

Como se puede observar en la Figura 23 las barras de color azul pertenecen al ensayo de biosorción a 20 °C de temperatura, las barras de color rojo al ensayo de biosorción a 30 °C de temperatura. Como se puede ver la diferencia de temperatura tiene distintos comportamientos de acuerdo a la variedad de cáscara de papa, pero particularmente en este ensayo a una temperatura de 30 °C es que todas las variedades tienen su más alto índice de remoción del Cr (VI). Esto es distinto a los ensayos con variación de pH y cantidad de biomasa usada y por lo tanto se consideró la temperatura óptima para el trabajo de este tipo de biomasa.

Se realizó un ANOVA, análisis de varianza de un factor, con los porcentajes de biosorción para confirmar la variación entre los pH, véase en el ANEXO N°4, en el que se observa un valor F de 3.2529, siendo este valor mayor que 1 expresa que existe diferencia significativa entre los tratamientos con variación de temperatura.

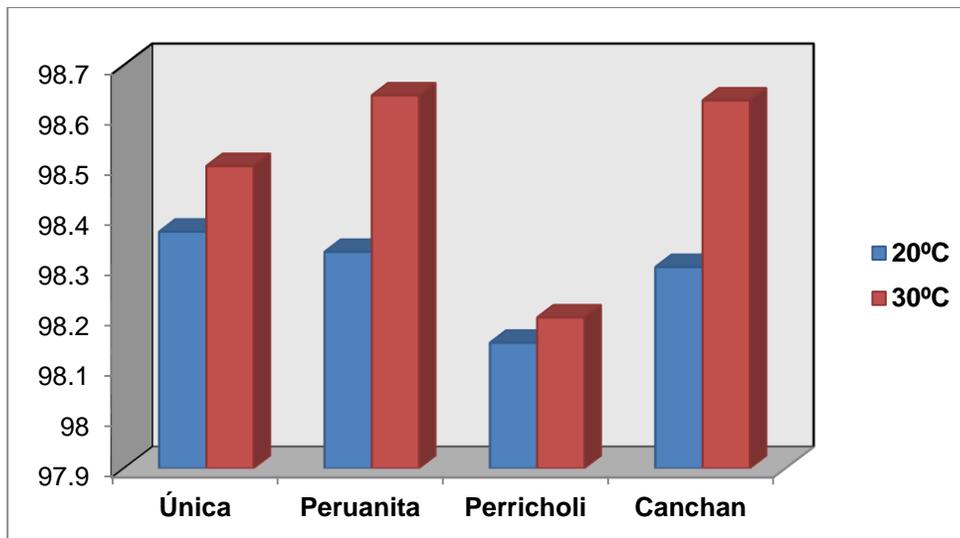


Figura 23: Gráfico comparativo del porcentaje de remoción frente a la variación de temperatura

Respecto a la temperatura, se puede destacar que según los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación y comparándolo con el de las cáscaras de naranja se sigue la misma idea de que toda reacción con Cr (VI) obtiene mejores resultados mientras mayor sea la temperatura usada, ya que al aumentar la temperatura se da una mayor interacción entre las moléculas que participan de la adsorción, generándose así una mayor captación del metal contaminante por parte de la biomasa que se use para tal fin, de hecho, la temperatura óptima también depende mucho de la biomasa usada, ya que en muchos casos esta puede trabajar a muy altas temperaturas y en otros casos tiene un límite, pero como se mencionó antes este suele ser normalmente a temperaturas mayores a 25 °C, para el caso de la naranja y para el amaranto, obteniéndose una mejor adsorción a 58 °C, pero en el caso de la cascarilla de arroz únicamente se trabajó con una temperatura de 20 °C y esta biomasa trabajó según se reporta de buena manera.

Se puede mencionar que como se observa en todos los resultados obtenidos, la cáscara de papa ha desarrollado un gran poder remediador de aguas sintéticas contaminadas con Cr (VI), variando diferentes factores para determinar un comportamiento óptimo y el mejor para futuros experimentos es que se ha podido ver que a un pH básico que en este caso es 8 se obtuvo los mejores resultados así

también en el caso de la cantidad de biomasa tratada usada, la cual refleja que usando solo 2.00 g de esta es que se llegó a ver mejores resultados y finalmente los gráficos así como las tablas dan a entender que a una temperatura mayor (30 °C) es que la adsorción se da de mejor manera como también se indica en el marco teórico.

Todos estos resultados fueron ajustados al trabajo realizado con espectroscopia UV/ VIS y dan una idea de cómo se desarrolla un proceso de biosorción con cáscaras de papa, así también, permite saber que tan factible puede ser el uso de esta biomasa y los requerimientos que esta necesita para trabajar mejor y así también se comparó 4 variedades muy conocidas en el Perú para tener una idea de las diferencias que estas pueden presentar.

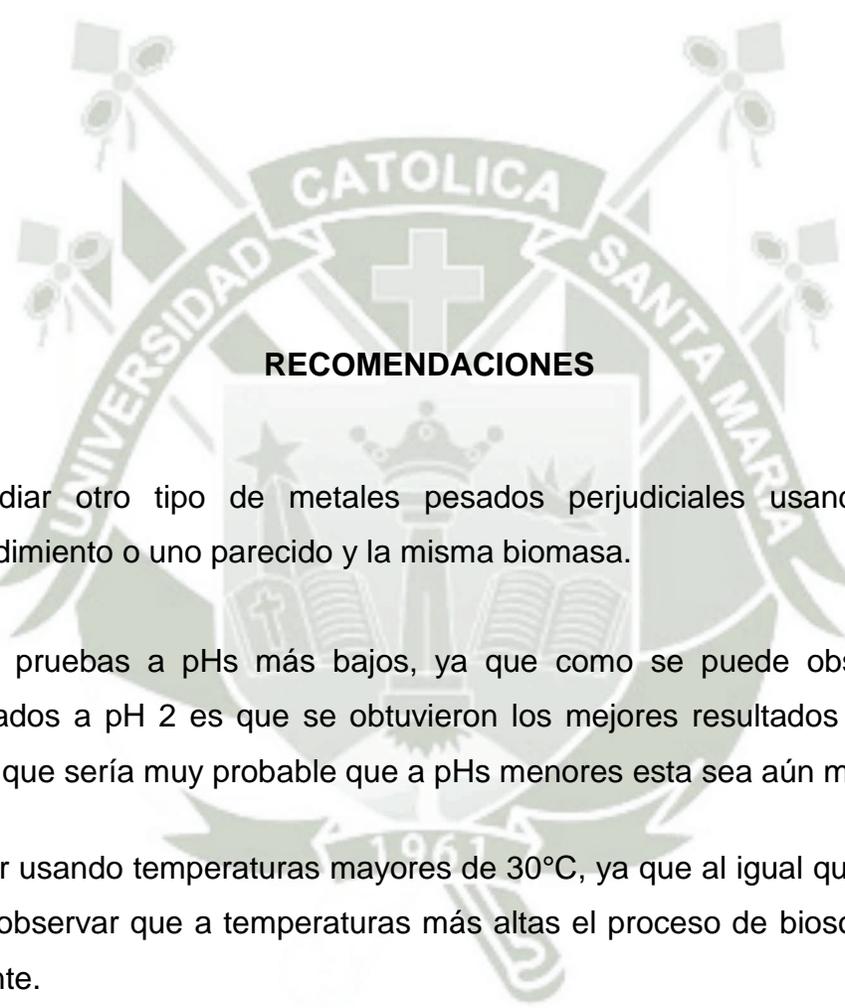


CONCLUSIONES

1. Se analizó la cinética de las cáscaras de papa actuando como bioadsorbente de Cr (VI), obteniendo así que el tiempo óptimo de contacto debe ser de 30 minutos.
2. Se determinó el efecto del tratamiento con ácido cítrico de las cáscaras de papa de las variedades: Peruanita, Perricholi, Única y Canchan, en la biosorción de Cr (VI) de aguas sintéticas, siendo las cáscaras con el tratamiento las que obtuvieron una mayor capacidad de remoción.
3. Se evaluó el efecto del pH en la biosorción de Cr (VI) de las aguas residuales generadas en laboratorio utilizando la cáscara de las diferentes variedades de papa, teniendo como resultado que a pH 2 se obtuvieron los mejores valores de remediación.
4. Se evaluó el efecto de la cantidad de biomasa usada para la biosorción de Cr (VI) de aguas residuales, dando como resultado que usando 2.00 g del biomaterial se logró los valores más altos de adsorción

5. Se evaluó el efecto de la temperatura en la biosorción de Cr (VI) de aguas residuales, donde se pudo comprobar que a 30 °C de temperatura la remoción presentó el índice más alto.





RECOMENDACIONES

1. Remediar otro tipo de metales pesados perjudiciales usando el mismo procedimiento o uno parecido y la misma biomasa.
2. Hacer pruebas a pHs más bajos, ya que como se puede observar en los resultados a pH 2 es que se obtuvieron los mejores resultados de remoción, por lo que sería muy probable que a pHs menores esta sea aún mucho mejor.
3. Probar usando temperaturas mayores de 30°C, ya que al igual que en el pH se pudo observar que a temperaturas más altas el proceso de biosorción es más eficiente.
4. Comenzar a biosorber aguas de efluentes industriales que posean como contaminante principal Cr (VI).

BIBLIOGRAFÍA

1. Medina EC. Estudio de la adsorción de cromo hexavalente utilizando como biomaterial la Ectodermis de Opuntia. Tesis. Toluca México: Universidad Autonoma del Estado de México; 2008.
2. Edison Duarte R., Jesús Olivero Verbel, Beatriz E. Jaramillo C. Remoción de Cromo de Aguas Residuales de Curtiembres usando Quitosano obtenido de Desechos de Camaron. Tesis. Cartagena: Universidad Tecnologica de Pereira; 2009.
3. Luz Ersilia Garces Jaraba, Susana Cecilia Coabas Romero. Evaluación de la Capacidad de Adsorción en la Cáscara de Naranja (*Citrus sinensis*) modificada con quitosano para la remoción de Cr (VI) en Aguas Residuales. Tesis. Cartagena: Universidad de Cartagena; 2012.
4. Candelaria Tejada Tovar, Angel Villabona Ortiz, Luz Garces Jaraba. Adsorción de Metales Pesados en Aguas Residuales Usando Materiales de Origen Biologico. Tesis. Cartagena: Universidad de Cartagena; 2015. Report No.: 34 vol. 18.
5. Andrade A. *Solanum Tuberosum*. Proyecto. México: CONABIO; 2002.
6. Schuler K. *Solanum tuberosum* (papa) articulo de revision. Elsevier Inc. 2001; 4 (14).
7. Isherwood F. Interconversión almidón - azúcar en *Solanum tuberosum*. ELSEVIER. 1973 Noviembre; 12(11).
8. Kamran Alvani, Xin Qi, Richard F. tester, Colin E. Snape. Physico-Chemical Properties of potato starches. ELSEVIER. 2011; 125(958 - 965).
9. Christelle M. Andre, Marc Ghislain, Pierre Bertin, Mouhssin Oufir, Marña del Rosario Herrera, Lucien Hoffmann, Jean Francois Hausman, Yvan Larondelle y Daniele Evers. Cultivos de patata Andina (*Solanun tuberosum* L.) como fuente de

- micronutrientes antioxidantes y minerales. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2006 Diciembre; 2(55).
10. Hector Villa Marín, Jairo Restrepo Merino. Efectos del Almacenamiento y de la Cocción sobre el Contenido Glicoalcaloides en papa (*Solanum tuberosum*). Facultad Nacional Agronomica. 1989 Diciembre; 42(1).
 11. Pino PLM. Optimización de la Producción de Carbón Activado a partir de cascarilla de arroz y su uso en la Adsorción de Cromo (VI). Tesis. Arequipa: Universidad Católica de Santa María; 2013.
 12. Oliva Primera Pedrozo, Fredy Colpas Castillo, Edgardo Meza Fuentes, Roberto Fernandez Maestre. Carbones activados a partir de Bagazo de Caña de Azúcar y Zuro de Maíz para la Adsorción de Cadmio y Plomo. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 2011 Julio; 35(136).
 13. Betty Marilia Salazar Pinto, Juliana Vanessa Zea Linares. Estudio del Proceso de Biosorción del Endocarpio de Aceituna "*Olea europea*" para la remoción de Pb (II) y Cd (II) de soluciones acuosas. Tesis. Arequipa: Universidad Católica de Santa María; 2015.
 14. Candelaria N. Tejada, Zaida Montiel, Diofanor Acevedo. Aprovechamiento de Cáscaras de Yuca y Ñame para el Tratamiento de Aguas Residuales Contaminadas con Pb (II). Tesis. Cartagena: Universidad de Cartagena; 2016.
 15. Karen Pena, Liliana Giraldo, Juan Moreno. Preparación de Carbon Activado de Cáscara de Naranja por activación química-física y caracterización química. *Revista Colombiana Química*. 2012; 41(2).
 16. Bidyut Saha, Chris Orvig. Biosorbents for hexavalent chromium elimination from industrial and municipal effluents. *ELSEVIER*. 2010; 254(2959 - 2972).
 17. Ahmet Kaya, Canan Onac, H. Korkmaz Alpoguz, Aydan Yilmaz, Necip Atar. Removal of Cr (VI) through calixarene based polymer inclusion membrane from

- chrome plating bath water. ELSEVIER. 2016; 283(141 - 149).
18. Samuel C.N. Tang, Peng Wang, Ke Yin, Irene M.C. Lo. Synthesis and Application of Magnetic Hydrogel for Cr (VI) Removal from Contaminated Water. Environmental Engineering Science. 2010; 27(11).
 19. Pehlivan E. Biosorption of Chromium (VI) ion from aqueous solutions using walnut, hazelnut and almon shell. Journal of Hazardous Materials. 2008 July; 11(071).
 20. Leidy Losada Galindo, Mayra Sotto, Oscar Artunduaga. Remoción de Cromo Hexavalente Utilizando Cáscara de Moringa Olifeira como Bioabsorbente. NOVA Grupo de Investigación. 2015 Diciembre; 1(1).
 21. Oscar Higuera Cabos, Luis Florez Garcia, Juan Arroyave Londoño. Estudio de la biosorción de cromo con hoja de café. Ingeniería e Investigación. 2009 Agosto; 29(2).
 22. Alma Netzahuatl Muñoz, Gabriela Pineda Camacho, Blanca Barragan Huerta, Eliseo Cristiani Urbina. Evaluación de la Cáscara del Aguacate para la remoción de Cromo Hexavalente y Cromo Total de Soluciones Acuosas. CENIC. 2010 Junio; 41(1).
 23. Macassi ALS. Diseño de un Biofiltro a Base del Alga Roja Cochayuyo (*Chondracanthus chamissoi*) para la Remoción de Cromo de Efluentes de la Industria de Curtidos. Tesis. Callao: Instituto de Investigación de la Facultad de Ciencias de la Salud, Ciencias de la Salud; 2014.
 24. Rivas GT. Caracterización de la Biosorción de Cromo con Hueso de Aceituna. Tesis. Granada: Universidad de Granada; 2006.
 25. A. R. Netzahuatl, M. C. Cristiani, E. Cristiani. Reducción de Cr(VI) y Biosorción de Cromo por la Cáscara de la Semilla de Mamey. Revista Cubana de Química. 2008 Setiembre; XX(2).

26. Carlos Diaz, Christian Jacinto, Rosa Medina, Abel Navarro, N. Cuizano y Bertha Llanos. Estudio de la Biosorción de Cromo (VI) con Quitosano Cuaternario Reticulado para su Aplicación en Biorremediación de Aguas Contaminadas. CENIC. 2013 Noviembre; 10(2).
27. Cuellar OA. Tratamientos para la Remoción de Cromo Hexavalente presente en Aguas Residuales. NOVA Grupo de Investigación. 2015 Diciembre; I(1).
28. A. R. Netzahualtl Muñoz, M.C. Cristiani Urbina, E. Cristiani Urbina. Uso de la Semilla de Mango Variedad Haden para la remoción de Cromo Hexavalente de Soluciones Acuosas. Revista Cubana de Química. 2008 Noviembre; XX(3).
29. Jaime Flores Vásquez, Martha Ly, Nelson Tapia Huanambal, Holger Maldonado García. Biorremediación de Metales Tóxicos en Efluentes Mineros Aplicando Biosorción. 2013 Julio.
30. Candelaria Tejada Tovar, Angel Villabona Ortiz, Juan Nuñez Zarur. Uso de biomاسas para la adsorción de plomo, níquel, mercurio y cromo. COLCIENCIAS. 2015 Junio; 9 (15).
31. Edgar Quiñones, Candelaria Tejada, Victor Ruiz. Remediación de aguas contaminadas con cromo utilizando diferentes biomateriales. Ciencias e Ingeniería al día. 2014 Enero; 9(1).
32. Gayle Newcombe, Mary Drikas, Rob Hayes. Influence of characterised natural organic material on activate carbon adsorption: II. Effect on pore volume distribution and adsorption of 2-methylisoborneol. ELSEVIER. 1197 Mayo; 31(1065 - 1073).
33. Vergara JV. Bioadsorción de Iones de Plomo y Cromo Procedentes de Aguas residuales Utilizando la Cáscara de la Mandarina. Tesis. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana, Ingeniería Ambiental; 2017.
34. Pamela Lizeth MP. Optimización de la Producción de Carbón Activado a Partir de Cascarilla de Arroz y su uso en la Adsorción de Cromo (VI). Tesis. Arequipa:

Universidad Católica de Santa María; 2014.

35. Nancy Eggs, Susana Salvarezza, Ricardo Azario, Nicolas Fernandez, María del C. García. Adsorción de Cromo Hexavalente en la Cáscara de Arroz Modificada Químicamente. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. 2012 Setiembre; 3(3).
36. Jennyfer M. Garzon, Juan Rodriguez Miranda, carolina Hernandez Gómez. Aporte de la Biorremediación para Solucionar Problemas de Contaminación y su relación con el Desarrollo Sostenible. Universidad y Salud. 2017 Agosto.
37. Medina EC. Estudio de la Adsorción de Cromo Hexavalente Utilizando como biomaterial la Ectodermis de Opuntia. Red de Revistas Científicas de America Latina y el Caribe, España y POrtugal. 2015 Agosto; 2(2).
38. Catherine Soto, Sonia Gutierrez, Alexandra Rey - León. Biotransformación de Metales Pesados Presentes en Lodos Ribereños de los Ríos Bogota y Tunjuelo. Gresia. 2010 Diciembre; 8(14).
39. Davila, P., Mendoza, V., Patiño, V. Biosorción de Metales Pesados. Latin American Journal of Science Education. 2015 Julio; 72(11).
40. Omar E. Cartaya, Ines Reynaldo, Carlos Peniche, María L. Garrido. Empleo de Polimeros Naturales como Alternativa para la Remediación de Suelos Contaminados por Metales Pesados. Revista Internacional Contaminación Ambiental. 2010 Octubre; 1(27).
41. Ania Conchi, Sofia Calero, Joaquin Silvestre, Teresa Valdes. Materiales en Adsorción y Catalisis. Revista del Grupo Especializado de Adsorción de la RSEQ. 2016 Marzo; 1(8).
42. Vania Marín Rangel. Hector Martinez Flores, Raul Cortes Martinez, Ruth Alfaro Cuevas. Biosorción de Arsenico (V) Utilizando Residuos de Limon. XIV Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería. 2014.

43. Adriana Rodriguez, Nancy Pacheco, Juan Cárdenas, Juana Tovar, Victor Martinez y Ismael Acosta. Bioadsorción de Cromo (VI) en Solución Acuosa por la Biomasa de Amaranto (*Amaranthus caudatus*). *Avances en Ciencias e Ingeniería*. 2017 Abril; 8(2).
44. Pablo Arévalo Moscoso. Bioadsorción de Iones de Plomo y Cromo Procedentes de Aguas Residuales Utilizando la Cáscara del Tomate de Arbol. Tesis. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana , Ingeniería Ambiental; 2017.
45. Milly Otiniano, Lurdes Tuesta, Heber Robles, Manuela Lujan, Milciades Chavez. Biorremediación de Cromo VI de aguas residuales de Curtiembres por *Pseudomonas sp* y su efecto sobre el ciclo celular de *Allium cepa*. *Vallejiana*. ; 4(1).
46. Ismael Acosta, Viviana Lopez, Elida Coronado, Juan Cárdenas, Victor Martínez. Remoción de Cromo (VI) en Solución Acuosa por la Biomasa de la Cáscara de Tamarindo (*Tamarindus indica*). *BioTecnología*. 2010; 14(3).
47. Cristina Rubio, Antonela Marquez, Soledad Suarez y Gladys Duca. Efecto de Factores Físicos y Químicos sobre la Remediación de Residuos Sólidos Contaminados con Cr (VI) por *Aspergillus niger* y Mecanismo de Detoxificación. *BioTecnología*. 2015; 19(1).
48. Campo NB. Producción Limpia y Biorremediación para Disminución de la Contaminación por Cromo en la Industria de Curtiembres. *Ambiente y Sostenibilidad*. 2011 Febrero; 1(25 - 31).
49. Judith Prieto, Francisco Prieto, Alma Román, Elena Otazo y María Méndez. Correlación de Modelos Matemáticos de Adsorción de Humedad en Cereales para Desayuno. 2012 Enero; 3(1).
50. Nieves Abril Díaz, Antonio Barcena Ruiz, Emilio Fernandez Reyes, Aurora Galván Cejudo, Jesús Jorrín Novo, José Peinado Peinado, Fermin Toribio Melendez Valdés, Isaac Túnez Fiñana. Espectrofotometría: Espectros de Adsorción y

cuantificación colorimétrica de biomoléculas. Practica. Córdoba: Universidad de Rabanales, Bioquímica y Biología Molecular.

51. César Alvarado Calderón, Andrea Martínez Cartajena. Validación de Métodos analíticos por espectrofotometría para determinar sulfatos, cianuros y cromo hexavalente en aguas, suelos y lixiviados. Tesis. Quito: Universidad Central de Ecuador, Ingeniería Química; 2013.
52. Vidal MJM. Desarrollo de métodos rápidos basados en espectroscopia UV-VIS-NIR para el análisis de vinos. Tesis. La Coruña: Universidad de Santiago de Compostela, Química Analítica; 2014.



ANEXOS

ANEXO 1

ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR DE LA DETERMINACIÓN DEL EFECTO DEL TRATAMIENTO

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Columna 1	4	298.77	74.6925	110.819625
Columna 2	4	388.74	97.185	0.10543333

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	1011.82511	1	1011.825113	18.2434001	0.00525597	5.98737761
Dentro de los grupos	332.775175	6	55.46252917			
Total	1344.60029	7				

ANEXO 2

ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR DE LA DETERMINACIÓN DEL EFECTO DEL pH

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Columna 1	4	385.93	96.4825	0.20209167
Columna 2	4	385.22	96.305	0.0147
Columna 3	4	386.59	96.6475	0.28509167
Columna 4	4	387.86	96.965	0.2051

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.94525	3	0.315083333	1.78269172	0.203935413	3.490294819
Dentro de los grupos	2.12095	12	0.176745833			
Total	3.0662	15				

ANEXO 3

ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR DE LA DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE LA CANTIDAD DE BIOSORBENTE

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Columna 1	4	388.44	97.11	0.01686667
Columna 2	4	390.16	97.54	0.06046667
Columna 3	4	388.74	97.185	0.05936667
Columna 4	4	386.44	96.61	0.0742

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	1.762075	3	0.58735833	11.1400348	0.000877004	3.49029482
Dentro de los grupos	0.6327	12	0.052725			
Total	2.394775	15				

ANEXO 4

ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR DE LA DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Columna 1	4	393.15	98.2875	0.009225
Columna 2	4	393.96	98.49	0.0412

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.0820125	1	0.0820125	3.25285077	0.121351602	5.98737761
Dentro de los grupos	0.151275	6	0.0252125			
Total	0.2332875	7				

ANEXO 5

DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM

**Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen
Disposiciones Complementarias**

Categoría 1: Poblacional y Recreacional

Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05

Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
Cromo total	mg/L	0,05	-
Cromo VI	mg/L	0,05	-

Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales

Parámetros	Unidad de medida	C1	C2	C3	C4
		Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras	Actividades portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas

Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,10
----------	------	------	------	------	------

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Cromo Total	mg/L	0,1		1

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05

ANEXO 6

CRITERIOS DE CALIFICACIÓN PARA CADA ÍTEM DE EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD TÉCNICA Y AMBIENTAL

<i>Aspectos técnicos</i>		
	<i>Descripción</i>	<i>Calificación</i>
<i>Agua</i>	El proceso no requiere el uso del recurso agua	3
	El proceso requiere entre 1 y 5 L de agua	2
	El proceso requiere más de 5 L de agua	1
<i>Energía</i>	El proceso no requiere el uso de energía	3
	El proceso requiere de energía eléctrica	2
	El proceso requiere de energía eléctrica y radiación UV	1
<i>Requerimientos de laboratorio</i>	El proceso no requiere de instalaciones de laboratorio	3
	El proceso requiere de una infraestructura básica de laboratorio	2
	El proceso requiere de una infraestructura básica de laboratorio y protección de radiación UV	1
<i>Equipos y Materiales</i>	El proceso requiere equipos y materiales fáciles de adquirir y sustituir	3
	El proceso requiere equipos y materiales no sustituibles, pero fáciles de adquirir	2
	El proceso requiere equipos y materiales no sustituibles, cuya adquisición se debe realizar en lugares especializados	1
<i>Insumos</i>	El proceso requiere el uso de biomasa residual	3
	El proceso requiere el uso de biomasa viva	2
	El proceso requiere el uso de insumos químicos	1

Eficiencia del proceso

Aplicabilidad

<i>Desempeño del proceso</i>		proceso es aplicable a residuos líquidos de Cr(VI) en el rango de concentración de 1.000 a 1.634 mg/L.	3	
		El proceso es aplicable a residuos líquidos de Cr(VI) en el rango de concentración de 500 a 999 mg/L.	2	
	<i>Requerimiento de un pretratamiento mínimo</i>		El proceso es aplicable a residuos líquidos de Cr(VI) en el rango de concentración de 0,6 a 499 mg/L.	1
			El proceso no requiere ningún pretratamiento.	2
			El proceso requiere un pretratamiento que no representa un alto costo adicional y es fácilmente aplicable.	3
	<i>Requerimiento de un postratamiento</i>		El proceso requiere un pretratamiento que representa un costo adicional y debe ser desarrollado en instalaciones especializadas.	1
			El proceso no requiere de tratamiento posterior.	3
			El proceso requiere un postratamiento que representa un costo adicional, pero es fácilmente aplicable.	2
	<i>Operabilidad del proceso</i>		El proceso requiere un postratamiento que representa un costo adicional y debe ser desarrollado en instalaciones especializadas.	1
			El proceso se puede operar fácilmente debido a su adaptabilidad y bajos requerimientos de recursos específicos.	3
			El proceso se puede operar fácilmente, pero debe adaptarse a unas condiciones mínimas de diseño y empleando recursos específicos.	2
	Nacional		El proceso se debe operar únicamente cumpliendo con todas las condiciones de diseño y empleando todos los recursos específicos.	1
			El proceso ha tenido una etapa de desarrollo superior a 5 años.	2
	<i>Aspectos técnicos</i>		El proceso ha tenido una etapa de desarrollo entre 1 y 5 años.	3
<i>Superficie de procesos</i>	Descripción			
	Calificación			
	Entre 98 y 100%		3	
	Entre 90 y 97%	Internacional	2	
Menor del 97%		1		
El				

El proceso no ha tenido antecedentes de haber sido aplicado. El proceso ha tenido	una etapa de desarrollo superior a 5 años.	3
	El proceso ha tenido una etapa de desarrollo entre 1 y 5 años.	2
	El proceso no ha tenido antecedentes de haber sido aplicado.	1



Aspectos ambientales		
	Descripción	Calificación
<i>Aire (emisiones atmosféricas)</i>	El proceso genera impactos ambientales bajos sobre el recurso aire.	3
	El proceso genera impactos ambientales moderados sobre el recurso aire.	2
	El proceso genera impactos ambientales altos sobre el recurso aire.	1
<i>Aire (ruido)</i>	Se genera ruido durante la ejecución del proceso, en niveles que no superan la normatividad vigente.	3
	Se genera ruido durante la ejecución del proceso, en niveles cercanos a los límites máximos establecidos en la normatividad vigente.	2
	Se genera ruido durante la ejecución del proceso, en niveles superiores a los límites máximos establecidos la normatividad vigente.	1
<i>Agua</i>	El proceso genera un efluente con una disminución del 100% de la toxicidad por Cr(VI).	3
	El proceso genera un efluente con una disminución de al menos el 99% de la toxicidad por Cr(VI).	2
	El proceso genera un efluente con una disminución de al menos el 96% de la toxicidad por Cr(VI).	1
Impactos ambientales <i>Suelo</i>	El proceso genera impactos ambientales recuperables a corto plazo sobre el recurso suelo.	3
	El proceso genera impactos ambientales recuperables a mediano plazo sobre el recurso suelo.	2
	El proceso genera impactos ambientales no recuperables sobre el recurso suelo.	1
<i>Flora</i>	El proceso genera impactos ambientales recuperables a corto plazo sobre el recurso flora.	3
	El proceso genera impactos ambientales recuperables a mediano plazo sobre el recurso flora.	2
	El proceso genera impactos ambientales no recuperables sobre el recurso flora.	1
<i>Fauna</i>	El proceso genera impactos ambientales recuperables a corto plazo sobre el recurso fauna.	3
	El proceso genera impactos ambientales recuperables a mediano plazo sobre el recurso fauna.	2

	El proceso genera impactos ambientales no recuperables sobre el recurso fauna.	1
	El proceso no genera ningún tipo de residuo.	2
<i>Generación de residuos</i>	El proceso genera residuos que pueden ser aprovechados.	3
	El proceso genera residuos no aprovechables y/o con alguna característica de peligrosidad.	1
Social	El proceso genera impactos bajos en la salud humana por acción de la contaminación.	3
	El proceso genera impactos moderados en la salud humana por acción de la contaminación.	2
	El proceso genera impactos altos en la salud humana por acción de la contaminación.	1



ANEXO 7

EL CURTIDO CON CROMO Y LAS CURTIEMBRES EN EL PERÚ

Actualmente en el Perú, existen demasiadas curtiembres capaces de producir más productos de cuero que el número limitado de pieles y la demanda efectiva que pueda absorber el mercado doméstico. Por lo tanto, el doloroso proceso de reconstrucción para esta industria continuará a pesar de las acciones gubernamentales. Sin embargo, la respuesta apropiada del gobierno a esta rápida transformación puede facilitar el proceso de tal manera que aquellos que sobrevivan resulten más competitivos y exitosos. Por ejemplo, la creciente tendencia hacia el informalismo en las curtiembres del Perú ha resultado en menos ingresos económicos para el gobierno, menos protección y seguridad para el trabajador, y una mayor, ampliamente dispersa, contaminación con serias consecuencias ambientales y para la salud pública.

El gobierno puede enfocar sus acciones en un número menor de curtiembres donde la contaminación pueda ser controlada de una manera económica a la vez que se mejora la producción de una manera eficiente. La contaminación es detrimento no sólo a la salud y al ambiente, sino que, además, la polución representa el producto perdido que resulta en una baja eficiencia y competitividad para el sub-sector industrial. Sin embargo, ninguna curtiembre es lo suficientemente grande para justificar el gasto de un sistema eficiente de tratamiento de efluentes líquidos, con el cual se podría alcanzar los estándares nacionales o internacionales. Igualmente, ninguna agencia reguladora gubernamental podría identificar, alcanzar y controlar un proceso tan fácilmente escondido como la curtiembre informal. Para que pueda sobrevivir el sector formal y para proteger la salud pública y el medio ambiente de daños adicionales, el gobierno debe intervenir y atacar las causas principales a los problemas para cambiar los incentivos económicos que han beneficiado por demasiado tiempo al sector informal a costa del sector formal. Sin una agresiva e inmediata acción del gobierno, el sector formal cesará de existir en un año o dos y la industria será netamente informal con consecuencias ambientales severas, sin ninguna protección ni seguridad para el trabajador, y con menos ingresos económicos para el gobierno.

Dentro del proceso de producción, los curtidores deberían/deben:

- Remover cada gramo de sólidos posible de los flujos residuales.
- Hacer una separación estricta de los residuos líquidos en 3 flujos diferentes.
- Actualizar los motores y correas de transmisión para reducir el volumen de flotación y aumentar la fijación de cromo.
- Re-usar y reciclar el cromo.
- Realizar cambios en forma incremental y aceptar el hecho de que no hay soluciones inmediatas.
- Aceptar la nueva realidad económica de la industria donde los procesos y las políticas de producción limpia y prevención de la contaminación son pasos que incrementando.

En el nivel público, el gobierno debería/debe:

- Controlar la venta de químicos importados para curtiembres.
- Recolectar impuestos por el curtido de pieles basado en la compra de químicos para curtido y en la venta de cueros en el camal.
- Encontrar recursos y capital para actualizar los parques industriales en Arequipa y Trujillo, teniendo en consideración la producción limpia para procesos de curtiembre, reciclaje de cromo y tratamiento de aguas residuales.
- Apoyar y fomentar el desarrollo de un mercado para cuero wet-blue, producido solamente por curtiembres formales.
- Hacer cumplir los estándares existentes para efluentes de manera rápida, imparcial y estricta una vez que los parques industriales estén establecidos, ofreciendo las opciones de localizar curtiembres en los parques industriales, compra de wet-blue, y tratamiento de efluentes líquidos a un nivel equivalente al sistema de tratamiento de efluentes común al parque, o cercano a él.
- Incentivar todos los posibles recursos técnicos y financieros para brindar asistencia técnica y demostrar las mejoras en el proceso de este sub-sector.
- Promover la exportación de wet-blue y de productos de cuero terminado mediante

el otorgamiento de un “sello de calidad” a aquellos productores que utilizan procesos de producción limpia.

- Comprometerse y aceptar que estos procesos y las políticas de producción limpia y prevención de la contaminación son pasos incrementales.

En caso de éxito, los cambios técnicos lograrían:

- Incrementar la competitividad del sub-sector, disminuyendo los costos de los químicos utilizados en pelambre y curtido al cromo y fomentado a los informales a formalizarse
- Reducir el impacto ambiental debido a los efluentes líquidos sin tratar hasta en un 75%.
- Mejorar la posibilidad que otros curtidores puedan acceder a los mercados de exportación mediante una mejor eficiencia, competitividad, y calidad del producto.
- Mejorar la protección y seguridad del trabajador.

En caso de éxito, los cambios en las políticas lograrían:

- Incrementar los ingresos por rentas públicas al gobierno.
- Hacer del sub-sector formal de curtiembres una industria más competitiva minimizando la real y gran ventaja de precios que tienen las curtiembres informales con respecto a las curtiembres formales.
- Cambiar los incentivos perversos que benefician al sector informal a costa del sector formal.
- Reducir, aunque no eliminar completamente, el clamor público sobre los peligros a la salud de una industria de curtiembres sin regulación.
- Apoyar los esfuerzos de las agencias gubernamentales reguladoras para regular de manera agresiva y efectiva a otras industrias.

- Mejorar las posibilidades para que más curtidores puedan acceder a mercados de exportación.

El éxito en trasladar las curtiembres formales a los parques industriales en Trujillo y Arequipa dependerá de los siguientes elementos críticos de la estrategia propuesta para la industria del cuero en el Perú:

- Cortar el suministro de químicos (i.e., cromo trivalente, ácidos y taninos vegetales) a las curtiembres informales para que no puedan producir “wet-blue”.
- Reforzar estrictamente las normas ambientales establecidas.
- Medir ambos la cantidad y la calidad de los efluentes de cada curtiembre que desemboca al sistema de tratamiento y basar el pago de servicios en el volumen y contenido del efluente.
- Instalar un laboratorio independiente certificado para tomar muestras al azar en la planta de tratamiento.
- Seguir prácticas de producción limpia en forma escrupulosa (segregando completamente los efluentes y removiendo todos los sólidos solubles y sedimentables).
- Coordinar con las agencias gubernamentales para facilitar los procesos de traslados y de permisos/licencias (incluyendo estudios de impacto ambiental).
- Elaborar y otorgar sellos de calidad y/o ecológicos a productos para poder penetrar mercados externos.

Las fuerzas globales continuarán haciendo que la industria del cuero y calzado del Perú sea vulnerable al ataque de zapatos importados baratos. Es muy posible que el número de curtidores formales continuará disminuyendo. El curtido de cuero para hacer wet-blue o costra de cuero para ser exportado a países con mano de obra más barata (China, Pakistán, Vietnam, etc.) podría ser una meta a largo plazo para la industria de curtiembres peruana.

Los procesos de pelambre y cromado constituyen las dos áreas de mayor

preocupación para las agencias reguladoras peruanas: alto nivel de DQO, alto DBO5, alto contenido de sólidos y cromo en solución. Es muy posible que el cambio a un sistema más centralizado de producción de wet-blue tendría un impacto muy pequeño en el nivel de empleo en la industria de curtiembres peruana. El proceso de curtido para obtener wet-blue usa muy poca mano de obra. Las pequeñas y micro empresas de curtiembres pueden obviar los pasos altamente contaminantes en la producción (pelambre y curtido al cromo) y seguir generando empleos para las etapas con intensiva mano de obra como son las de recurtido, teñido, engrasado y acabado del proceso.

La industria del cuero en el Perú se encuentra en estado crítico debido a la presencia de fuerzas internas y externas. Muchas curtiembres formales han cerrado. Frecuentemente, los operadores y empleados de una curtiembre formal que cierra han reaparecido como curtiembres informales. Muchas curtiembres formales inclusive alquilan sus servicios a curtidores informales como un medio para generar ingreso.

Una porción significativa de la economía peruana es informal. Algunas fuentes han estimado que las curtiembres formales producen hasta el 50% del cuero que se curte en el país. Las curtiembres informales están sub-capitalizadas. Gozan de una ventaja competitiva significativa con relación a los curtidores formales quienes cumplen con las leyes y regulaciones.

La disponibilidad de zapatos de cuero a menor precio proveniente de otros países ha deprimido la demanda por cuero y calzado peruano. La capacidad de producir cuero excede dramáticamente tanto la oferta de cueros como la demanda de los mercados domésticos de absorber dichos productos.

El crecimiento de la población ha expandido las ciudades. Las curtiembres formales, que alguna vez estuvieron lejos de las zonas residenciales, ahora se encuentran rodeadas de casas. Los residentes están indignados por el agua sin tratar y los desechos sólidos que generan las curtiembres vecinas y los malos olores. Muchos curtidores informales operan dentro de sus propias casas,

rodeados de sus vecinos que sufren las consecuencias. Los cueros de vaca son relativamente baratos en comparación con los EE.UU. (S/50 vs. S/200). Pero los cueros disponibles en el Perú son de calidad más baja que los disponibles en los EE.UU. La oferta anual de ganado vacuno en el Perú para beneficio actualmente es de aproximadamente 700,000. En la mayoría de casos, las curtiembres deben comprar cueros pobremente preservados y desollados. En las áreas remotas, los carniceros sin capacitación debida, utilizan pedazos de vidrio o las tapas de latas de metal en lugar de cuchillos para desollar y quitar la piel del ganado. Si no se cuenta con un cuchillo apropiado, en manos de un carnicero adecuadamente capacitado, para desollar, las pérdidas a lo largo del resto del proceso son considerables.

La baja calidad de las pieles hace peligrar las esperanzas del curtidor de cumplir con los estándares exigentes de los mercados domésticos y de exportación. Los curtidores pierden el valor agregado de la parte carnosa del cuero. En los Estados Unidos esto es fuente de muchos productos vendibles.

