

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE
RECURSOS NATURALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE
RECURSOS NATURALES



“BIOADSORCIÓN DE COBRE, CADMIO Y
MANGANESO CON CÁSCARA DE NARANJA DE LAS
AGUAS DE LA LAGUNA COLQUICOCHA”

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

MICHAEL MERLIN SCOTT RAMIREZ BRONCANO

ASERORA: MARIA TERESA VALDERRAMA ROJAS

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'M. T. Valderrama', is placed to the right of the supervisor's name.

Callao, Octubre, 2016

Perú

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

COMISION DE GRADOS Y TITULOS

**ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES
N° 003-2016-JEDT-FIARN**

Siendo las 10:15 horas del día viernes 14 de octubre de 2016, en el Auditorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales ubicado en la Av. Juan Pablo II 306-Bellavista-Callao; contando con la asistencia del Jurado Evaluador y Asesor a fin de dar cumplimiento a la Resolución N° 051-2016-D FIARN de fecha 10 de octubre de 2016, los mismos que están integrados por los siguientes docentes: Ing. Gabriel Eduardo Escudero Cornejo (Presidente), Ing. Abner Josué Vigo Roldán (Secretario), Lic. Janet Mamani Ramos (Vocal), M.s.C. María Teresa Valderrama Rojas (Asesora); se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada "BIOADSORCIÓN DE COBRE, CADMIO Y MANGANESO CON CÁSCARA DE NARANJA DE LAS AGUAS DE LA LAGUNA COLQUICOCHA" presentado por el Bachiller Michael Merlin Scott Ramírez Broncano, para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales.

Terminada la exposición de la Tesis y luego de la absolución de las preguntas planteadas por el Jurado Evaluador, se invita al Bachiller y al público en general se retiren del Auditorio para las deliberaciones del caso.


Luego de las deliberaciones el Jurado Evaluador Acuerda: **APROBAR POR UNANIMIDAD** la tesis, no habiendo observación alguna y con el Calificativo de **BUENO**.

En señal de conformidad firman el Jurado Evaluador y Asesor, siendo las 11:50 horas del día 14 de octubre de 2016.


Ing. Gabriel Eduardo Escudero Cornejo
Presidente



Lic. Janet Mamani Ramos
Vocal


Ing. Abner Josué Vigo Roldán
Secretario

**CERTIFICADO: QUE ESTA COPIA FOTOSTATICA
CORRESPONDE EXACTAMENTE AL ORIGINAL, EL CUAL
HA SIDO TENIDO A LA VISTA, D.C.Y.FE.**

Callao.....de **06 ENE 2017**



M.s.C. María Teresa Valderrama Rojas
Asesora


GERMAN NUÑEZ PALOMINO
NOTARIO DEL CALLAO

**CARECE DE VALOR SIN
SELLO PERFORADOR
Y SELLO DE AGUA.**

INFORME N° 01-2016-GEC.

PARA: Ms.C. María Teresa Valderrama Rojas
Decana de la FIARN
DE: Ing. Gabriel Eduardo Escudero Cornejo
Presidente del Jurado Evaluador de sustentación de Tesis
ASUNTO: Sustentación de tesis del Bachiller Michael Merlin Scott Ramírez Broncano
Fecha: 14 de octubre de 2016

Sirva la presente para saludarla muy cordialmente y al mismo tiempo informar a usted sobre el acto de sustentación de la tesis titulada "Bioabsorción de Cobre, Cadmio y Manganeso con cáscara de naranja de las aguas de la Laguna Colquicocha", elaborado por el Bachiller Michael Merlin Scott Ramírez Broncano en cumplimiento de la Resolución Decanal N°051-2016-D-FIARN de fecha 10/09/2016, sobre el particular, informo a usted:

1. El acto de instalación se llevó a cabo en el auditorio de la Facultad, el día viernes 09/12/2016 a las 11:45 horas en presencia de los miembros del Jurado.

Ing. Gabriel Eduardo Escudero Cornejo
Ing. Abner Josué Vigo Roldán
Lic. Janet Mamani Ramos

Presidente
Secretario
Vocal



2. A partir de las 10.45 horas se dió inicio a la sustentación de la tesis a cargo del Bachiller Michael Merlin Scott Ramírez Broncano, luego de la exposición se llevó a cabo la ronda de preguntas respectivas que fueron contestadas satisfactoriamente por el bachiller.
3. Terminada la exposición y las rondas de preguntas se invitó al Bachiller y público en general a retirarse del auditorio a fin de efectuar la calificación, luego de las deliberaciones pertinentes el Jurado Evaluador acuerda APROBAR por unanimidad y otorgar el calificativo de BUENO, en consecuencia se da por terminado el acto de sustentación a las 11.50 horas firmando las actas correspondientes.

Es todo cuanto tengo que informar, sin otro particular me despido de usted.



CERTIFICO: QUE ESTA COPIA FOTOSTÁTICA
ES EXACTAMENTE IGUAL A SU ORIGINAL, EL CUAL
HE TENIDO A LA VISTA, DOY FE.

Callao de del



Atentamente
9-6-ENE-2017
Ing. Gabriel Eduardo Escudero Cornejo
Presidente del jurado evaluador

GERMAN NUÑEZ PALOMINO
NOTARIO DEL CALLAO

CARECE DE VALOR SIN
SELLO PERFORADOR
Y SELLO DE AGUA.

JURADO DEL PROYECTO DE TESIS
“BIOADSORCION DE COBRE, CADMIO Y MANGANESO CON CASCARA
DE NARANJA EN LAS AGUAS DE LA LAGUNA DE COLQUICOCHA”

Ing. GABRIEL ESCUDERO CORNEJO
Presidente

Ing. JOSUE VIGO ROLDAN
Secretario

Lic. JANET MAMANI RAMOS
Vocal

DEDICATORIA

A mis padres, por su constante apoyo y consejos y que ahora pueden ver mi objetivo alcanzado.

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado hasta el día de hoy, por ser mi fortaleza en momentos de debilidad, por brindarme experiencia y aprendizaje todos los días de mi vida.

Le doy gracias a mis padres Miguel y Lucía, pues sin su apoyo y su guía constante, no me encontraría hoy aquí.

A mi hermano Weslee por la compañía y apoyo que siempre hemos compartido.

A la Universidad Nacional del Callao, mi alma máter, por la formación que me brindó y por las hermosas experiencias vividas durante los 5 años de mi vida universitaria.

A mis profesores de primaria, secundaria y a los docentes universitarios pues fueron ellos los que contribuyeron a mi formación humanística y profesional.

A mi asesora de tesis Mg. Teresa Valderrama Rojas por su ayuda incondicional durante la elaboración y revisión del presente trabajo de tesis.

A la Ing. Gladis Reyna, docente de la facultad de ingeniería química, por el incondicional y valioso apoyo que me brindó desde mi ingreso a la universidad hasta la culminación de la presente tesis, por su guía y tutela, así como por todos los consejos que me obsequió.

A mi tía, Ing. Ana Luz Ramírez Vizcarra, por ser partícipe en la elaboración de la tesis además del apoyo que me brindó para poder obtener las facilidades durante la etapa experimental. Gracias por ayudarme a ser un mejor profesional día a día.

A mis primos, juntos hemos avanzado y juntos llegamos hasta el día de hoy. Por ser el complemento perfecto a la parte académica y haber compartido muchas noches de diversión.

A mis tíos y tías, por todos los consejos que me dieron desde que era un niño y por los bellos momentos que hemos compartido juntos y por permitirme llevarlos siempre en mi corazón.

A mis abuelos Terencio y Orminda, quienes me inculcaron muchos valores que hoy en día poseo y por el engrimiento que siempre me regalaron.

A mi abuelo Serapio Ramírez Sifuentes, que Dios lo tenga en su santa gloria y que desde allá arriba se sienta orgulloso de éste logro.

A mis amigos, por las experiencias compartidas en todas las etapas de mi vida por los sueños que tuvimos y tendremos siempre; a todos ellos gracias por ser parte de mi vida y recordarme siempre que no debemos rendirnos nunca a la adversidad.

A todas las personas que he conocido durante éstos 24 años de vida porque cada uno ha significado mucho para mí, sin importar la distancia ni el tiempo los recuerdo con cariño.

INDICE

	Pág.
I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACION	11
1.1. Identificación del problema.	11
1.2. Formulación del problema.	15
Problema general.	15
Problemas específicos.	15
1.3. Objetivos de investigación.	16
1.4. Justificación.	16
1.5. Importancia	17
II. MARCO TEÓRICO	19
2.1. Antecedentes de estudio.	19
2.2. Bases científicas	35
2.3. Definición de términos	53
III. VARIABLES E HIPOTESIS	61
3.1. Variables de la investigación.	61
3.2. Operacionalización de las variables.	61
3.3. Hipótesis.	63
General.	63
Específicas.	63

IV. METODOLOGÍA	64
4.1. Tipo de investigación.	64
4.2. Diseño de Investigación	64
4.3. Población y muestra.	64
4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.	65
4.5. Procedimientos de recolección de datos	66
4.6. Procesamiento estadístico y análisis de datos.	68
V. RESULTADOS	70
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	104
6.1. Contrastación de hipótesis con los resultados	104
6.2. Contrastación de resultados con otros estudios similares	105
VII. CONCLUSIONES	110
VIII. RECOMENDACIONES	112
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113
ANEXOS	119
1. Matriz de consistencia.	120
2. Evidencias fotográficas	121
TABLAS	
Tabla 2.1.1: Contenidos de C, H, N y cenizas en diversos materiales	23
Tabla 2.1.2: Poder calorífico de materiales orgánicos.	24
Tabla 2.1.3: C.I.C de distintos materiales adsorbentes	24

Tabla 2.1.4:	Caracterización textural de muestras de carbón activado	35
Tabla 5.1:	Resultados del primer ensayo de metales totales	70
Tabla 5.2:	Resultados del segundo ensayo de metales totales	71
Tabla 5.3:	Resultados del tercer ensayo de metales totales	71
Tabla 5.4:	Resultados del primer ensayo de metales disueltos	72
Tabla 5.5:	Resultados del segundo ensayo de metales disueltos	73
Tabla 5.6:	Resultados del tercer ensayo de metales disueltos	73
Tabla 5.7:	Resultados del primer ensayo de metales totales	74
Tabla 5.8:	Resultados del segundo ensayo de metales totales	74
Tabla 5.9:	Resultados del tercer ensayo de metales totales	75
Tabla 5.10:	Resultados del primer ensayo de metales disueltos	76
Tabla 5.11:	Resultados del segundo ensayo de metales disueltos	76
Tabla 5.12:	Resultados del tercer ensayo de metales disueltos	76
Tabla 5.13:	Resultados de cobre total por absorción atómica	77
Tabla 5.14:	Análisis estadístico ANOVA para cobre total	77
Tabla 5.15:	Comparaciones múltiples	79
Tabla 5.16:	Resultados de cadmio total por absorción atómica	80
Tabla 5.17:	Análisis estadístico ANOVA para cadmio total	80
Tabla 5.18:	Comparaciones múltiples	81
Tabla 5.19:	Resultados de manganeso total por absorción atómica	82
Tabla 5.20:	Análisis estadístico ANOVA para manganeso total	82

Tabla 5.21: Comparaciones múltiples	83
Tabla 5.22: Resultados de cobre disuelto por absorción atómica	84
Tabla 5.23: Análisis estadístico ANOVA para cobre disuelto	84
Tabla 5.24: Comparaciones múltiples	85
Tabla 5.25: Resultados de cadmio disuelto por absorción atómica	86
Tabla 5.26: Análisis estadístico ANOVA para cadmio disuelto	86
Tabla 5.27: Comparaciones múltiples	87
Tabla 5.28: Resultados de manganeso disuelto por absorción atómica	88
Tabla 5.29: Análisis estadístico ANOVA para manganeso disuelto	88
Tabla 5.30: Comparaciones múltiples	89
Tabla 5.31: Resultados de cobre total por absorción atómica	90
Tabla 5.32: Análisis estadístico ANOVA para cobre total	90
Tabla 5.33: Comparaciones múltiples	91
Tabla 5.34: Resultados de cadmio total por absorción atómica	92
Tabla 5.35: Análisis estadístico ANOVA para cadmio total	92
Tabla 5.36: Comparaciones múltiples	93
Tabla 5.37: Resultados de manganeso total por absorción atómica	94
Tabla 5.38: Análisis estadístico ANOVA para manganeso total	94
Tabla 5.39: Comparaciones múltiples	95
Tabla 5.40: Resultados de cobre disuelto por absorción atómica	96
Tabla 5.41: Análisis estadístico ANOVA para cobre disuelto	96

Tabla 5.42: Resultados de cadmio disuelto por absorción atómica	96
Tabla 5.43: Análisis estadístico ANOVA para cadmio disuelto	97
Tabla 5.44: Comparaciones múltiples	98
Tabla 5.45: Resultados de manganeso disuelto por absorción atómica	98
Tabla 5.46: Análisis estadístico ANOVA para manganeso disuelto	99
Tabla 5.47: Comparaciones múltiples	100
Tabla 5.48: Mejores resultados obtenidos con 5g de cáscara de naranja	100
Tabla 5.49: Porcentaje de reducción con 5g de cáscara de naranja	101

GRAFICOS 23

Grafico 2.1.1: Capacidad de remoción de la cáscara de naranja para los 3 tamaños de partícula manejados	24
---	----

Grafico 2.1.2: Perfil de tiempo de la remoción de colorante con los 3 tamaños de partícula a una $C_0=500$ mg/l	24
---	----

Grafico 2.1.3: Porcentaje de remoción de colorante utilizando diferentes cantidades de biosorbente	27
--	----

Grafico 2.1.4: Isoterma de adsorción de Pb (II) en cáscara de naranja reticulada a diferentes pesos y concentraciones pH = 5	
--	--

FIGURAS 124

Figura 2.1	121
------------	-----

Figura 2.2	121
Figura 2.3	122
Figura 2.4	122
Figura 2.5	123
Figura 2.6	123

RESUMEN

Existen en el país gran cantidad de cuerpos de agua natural, entre las cuales existen lagunas con alta concentración de metales totales y disueltos en sus agua entre los que destacan el cobre, cadmio y manganeso ello como producto de diversas actividades económicas desarrolladas en los tiempos en las cuales no se contaba con una sólida base legal que regulase el tema ambiental; con el fortalecimiento de la legislación ambiental minera se requiere nuevos métodos para el tratamiento de agua y remediación de pasivos ambientales que a la vez sean de bajo costo. Es así que el presente estudio está orientado específicamente a la remediación de la Laguna Colquicocha ubicada en la provincia de Oyón, distrito de Oyón, la cual posee una alta concentración de dichos metales e impiden el desarrollo normal de la vida acuática. La presente tesis se desarrolló utilizando el tipo de investigación aplicada-tecnológica en el cual se experimenta con un residuo orgánico, la cáscara de naranja, con la cual se desea demostrar la bioadsorción de dichos metales y además dar aprovechamiento a éste residuo orgánico con la finalidad de desarrollar una alternativa para la remediación de la Laguna Colquicocha y otros casos a los que resulte aplicable.

Durante la etapa experimental se realizaron pruebas con muestras de agua de la Laguna Colquicocha a nivel de laboratorio bajo las mismas condiciones del entorno de la

laguna ($\text{pH} = 7,5$ y $T^\circ = 7^\circ\text{C}$.); se determinó la proporción óptima cáscara de naranja y agua de laguna, el tiempo de contacto teniendo resultados exitosos de reducción del cobre hasta en $0,02 \text{ mg/L}$ que representa el $66,67 \%$ con respecto a la concentración inicial, cadmio hasta en $0,041 \text{ mg/L}$ que representa una reducción de 84% con respecto a la concentración inicial y manganeso hasta en $3,68 \text{ mg/L}$ que representa una reducción de $53,97\%$ con respecto a la concentración inicial; estos resultados demostraron la bioadsorción de la cáscara de naranja la cual puede ser utilizada como un complemento a un método de remediación biológico para acelerar el tiempo de remediación de la laguna.

ABSTRACT

In the world there are large amount of natural water bodies, among which there are gaps with high concentrations of total and dissolved metals in their water among which copper, cadmium and manganese, it as a result of various economic activities in the days which it did not count on a solid legal basis that would regulate environmental issues; to strengthening environmental legislation mining new methods for water treatment and remediation of environmental liabilities that are both inexpensive required. The present study is geared specifically to the remediation of the Colquicocha lagoon located in the province of Oyon, Oyon district, which has a high concentration of these metals and prevent the normal development of aquatic life. This thesis was developed using the type of applied technological research in which it is experienced with an organic residue, orange peel, with which you want to show the biosorption of these metals and also make use of this organic waste in order to develop an alternative for remediation of Colquicocha lagoon and other cases where applicable.

During the pilot phase tests were performed with water samples from the Colquicocha lagoon in the laboratory under the same conditions of the environment of the lagoon (pH = 7.5 and T ° = 7 ° C.); the particle size was determined, the optimal ratio orange peel and lagoon water, the contact time having successful outcomes copper reduction

to 0.02 mg / L which represents 66.67% with respect to the initial concentration, cadmium 0.041 mg up in / L representing a reduction of 84% compared to the initial concentration and manganese up to 3.68 mg / L which represents 53.97% reduction compared to the initial concentration; These results demonstrated the biosorption of orange peel which can be used as an adjunct to a method of biological remediation to accelerate time remediation of the lagoon.

I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACION

1.1. Identificación del problema

Desde la antigüedad, el agua ha sido considerada un elemento necesario y de gran importancia para la vida. Las primeras civilizaciones se edificaron alrededor de las fuentes de agua, por ejemplo, la civilización egipcia sobre el río Nilo; la civilización sumeria en el entorno del Éufrates y del Tigris; así en la actualidad también las principales ciudades se desarrollaron muy cerca de un cuerpo de agua.

Los recursos hídricos en la actualidad han tomado una importancia superior en comparación con años anteriores, por ser parte importante del ciclo de vida de los seres vivos. Estudios del panel intergubernamental sobre cambio climático (IPCC) ratificaron que la escasez de agua dulce será un problema global y, consecuentemente a la presión de la escasez del agua, se suman la degradación de los mismos además de la implementación de estándares cada vez más exigentes lo que eleva el costo de tratamiento del agua.

Las actividades extractivas y productivas realizadas por el hombre vienen deteriorando la calidad de las fuentes de agua y con ello se tiene impacto directo sobre los seres humanos, la flora y la fauna ya que el problema en las sociedades modernas no es sólo la disponibilidad de fuentes de agua, sino también que la calidad de las mismas según el uso que se les pretenda dar. Por ésta razón el

impacto sobre las fuentes de agua se considera un tema de mucha importancia que afecta el desarrollo de las poblaciones actuales.

En la actualidad existen diferentes métodos de tratamiento de efluentes y cuerpos receptores impactados que han venido optimizándose con el tiempo, así tenemos la floculación, la sedimentación, la filtración, la flotación y la extracción con solvente, entre otros. La adsorción con sorbentes biológicos es también conocido como bioadsorción y es un proceso de remediación de bajo costo.

La industria extractiva y productiva ha tenido importantes avances tecnológicos, cada vez es mayor la demanda de recursos, entre ellos el recurso hídrico para sus operaciones, así como la demanda de tecnología para optimizar dichos recursos. En la parte ambiental también se ha tenido importantes avances en tecnologías para mitigar impactos producidos por la industria, tanto en los recursos hídricos como en otros componentes ambientales, pero hay que resaltar que en su mayoría tienen un costo muy elevado y no pueden ser implementados por las medianas y pequeñas empresas.

El Perú es un gran productor de cítricos y derivados, sin embargo, los residuos de dichos productos no son aprovechados en su mayoría, llevándose éstos residuos a los principales rellenos sanitarios de la ciudad muchas veces sin ser segregados

ni reaprovechados lo que reduce el tiempo de vida de los rellenos sanitarios donde son dispuestos.

En el sector minero, el recurso hídrico se ha convertido en la causa principal de los conflictos sociales que se han desarrollado en muchos lugares de nuestro país, tales como en Cajamarca, Cuzco, Puno, entre otros. Lo que ha generado la paralización de proyectos mineros importantes y como consecuencia la desaceleración de la economía peruana que depende mucho de las exportaciones de este sector.

Si bien un problema principal es el agotamiento de las fuentes de agua en las cabeceras de cuenca que puede ser mitigado con actividades de recirculación y reúso del agua de uso industrial y minero; no menos importante es el problema de exceder el límite máximo permisible de metales totales y disueltos en los efluentes mineros que son vertidos a los cuerpos receptores impactándolos, además debemos tener en cuenta que las cabeceras de cuenca son zonas ambientalmente de mucha importancia por ser el origen de muchos ríos y lagunas que son utilizados en las actividades que se realizan a lo largo de su recorrido. Se ha demostrado que el cobre, cadmio y manganeso son altamente peligrosos para la salud del ser humano y animales por su toxicidad; y con mucha frecuencia son vertidos a los cuerpos de agua debido a la actividad, en su mayoría, de pequeñas empresas extractivas que no cuentan con los controles necesarios por los elevados costos que significa.

Así también debemos tener en cuenta la baja del precio de los metales, que ha obligado a las empresas mineras a tomar estrictas medidas de reducción de costos por lo que debemos buscar alternativas de bajo costo para el tratamiento de efluentes mineros; esto, sumado a una estricta legislación ambiental, fiscalización ambiental y sanciones ambientales.

Además, las empresas mineras en la actualidad se encuentran comprometidas a realizar el cierre de los pasivos ambientales producto de la minería informal y la minería artesanal antigua. Muchos de esos pasivos ambientales han impactado cuerpos de agua como lagos y lagunas donde ya no existe vida por la alta concentración de metales totales y disueltos presentes en el cuerpo de agua.

Así pues, el sector minero se encuentra obligada hoy en día a implementar medidas para remediar pasivos ambientales relacionados con lagos y lagunas que sean también efectivas y de bajo costo.

Es pues necesario investigar un método de reducción de metales totales y disueltos que sea de bajo costo y que ayude a remediar cuerpos de agua que fueron afectados por pasivos ambientales mineros.

1.2. Formulación del problema

Problema general

¿En qué medida la bioadsorción de cobre, cadmio y manganeso con cáscara de naranja puede remediar las aguas de la laguna Colquicocha?

Problemas específicos.

- a) ¿Cuál es la capacidad de bioadsorción del cobre con cáscara de naranja en las aguas de la laguna Colquicocha?

- b) ¿Cuál es la capacidad de bioadsorción del cadmio con cáscara de naranja en las aguas de la laguna Colquicocha?

- c) ¿Cuál es la capacidad de bioadsorción del manganeso con cáscara de naranja en las aguas de la laguna Colquicocha?

1.3. Objetivos de investigación.

Objetivo general.

Demostrar la capacidad de bioadsorción de cobre, cadmio y manganeso con cáscara de naranja en las aguas de la laguna Colquicocha, provincia de Oyón.

Objetivos específicos

- a) Determinar la capacidad de bioadsorción del cobre con cáscara de naranja en las aguas de la laguna Colquicocha.

- b) Determinar la capacidad de bioadsorción del cadmio con cáscara de naranja en las aguas de la laguna Colquicocha.

- c) Determinar la capacidad de adsorción del Manganeseo con cáscara de naranja en las aguas de la laguna Colquicocha.

1.4. Justificación.

Una de las razones que justifica este estudio es el orden teórico que permite un proceso de teorización sistemática acerca de la capacidad de adsorción de la cáscara de naranja y su posible aplicación en otros campos tanto de la ciencia ambiental como en ciencias afines.

Otra de las razones de esta investigación es el de orden práctico, puesto que los resultados que se obtengan servirán para diseñar nuevos métodos para mitigar impactos ambientales, así como para mejorar procesos de tratamiento de efluentes ya existentes.

El tema es relevante porque se trata de una aplicación a un nuevo sector y mejora de una investigación que se realizó inicialmente en la industria textil y es

importante porque tienen relación con la conservación del medio ambiente frente a las operaciones mineras que generan impactos ambientales. Además de ello, el financiamiento del presupuesto necesario para realizar el presente trabajo de investigación se consideró viable; se trata de un proceso de remediación biológica, lo que la hace una alternativa de bajo costo frente a la actual coyuntura mundial de baja del precio de los metales, lo que ayudará posiblemente a tomar éste método en las operaciones mineras medianas, pequeñas e incluso artesanales; las cuales no cuentan en muchos casos con el presupuesto para instalar modernas plantas de tratamiento para cumplir con los estándares y límites máximos permisibles vigentes, así como cumplir con sus compromisos de remediación de pasivos ambientales mineros productos de las operaciones antiguas o informales.

El presente trabajo es importante además por la aplicación que puede tener éste método en otras industrias y la motivación que otras personas puedan tener para seguir investigando en mejoras de eficiencia o su aplicación en otros sectores.

1.5. Importancia

El agua elemento, recurso finito y escaso, es vital para el ser humano y para el desarrollo social y económico; debemos recordar que sólo puede utilizarse el 0,3% del agua dulce del planeta según un estudio de la Universidad de Buenos Aires. Sólo ese 0,3% que es de origen superficial, de fácil extracción y tratamiento. Además, debemos añadir que ese 0,3% de agua se encuentra distribuida de manera

irregular por todo el planeta.

Dentro del 0,3% de agua dulce disponible en el planeta se encuentra la laguna Colquicocha la que debe ser remediada; de la información que se obtuvo en el presente trabajo de tesis se podrá desarrollar un método alternativo para el tratamiento de los efluentes y otros pasivos ambientales, no sólo en el Perú, sino también en otros lugares del mundo.

Además, el presente trabajo de tesis servirá como una base para el desarrollo de nuevas técnicas de tratamiento de efluentes y remediación ambiental basadas en la bioadsorción que puedan desarrollar diversos residuos orgánicos, beneficiando no sólo al campo del tratamiento de efluentes y remediación ambiental, sino también contribuyendo al reaprovechamiento de residuos sólidos orgánicos y reduciendo su disposición en los rellenos sanitarios de forma indirecta.

II. MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes del estudio

a) Martínez Meza, Ramona Guadalupe et al (2011) ¹ han llegado a las siguientes conclusiones:

- La adsorción es del tipo mono capa ya que se ajusta al modelo de Langmuir. La velocidad de agitación no debe rebasar las 200 rpm.
- El pH afecta la capacidad de adsorción de la resina. Existe diferencia entre la capacidad máxima de adsorción para los metales que se encuentran en solución sintética y los que se encuentran en solución real.
- La capacidad de adsorción de la resina quelatante Dowex M-4195 en la solución sintética es: Cu 25,06 mg/g; Muestra J1: Cu 0,058 mg/g; Muestra M1: Cu 0,077 mg/g.
- La adsorción ocurre rápidamente en soluciones reales en comparación con las soluciones sintéticas, este es debido a la competencia entre iones, lo que se ve reflejado en la capacidad máxima de adsorción (Q_m).
- En las pruebas de envenenamiento la resina puede utilizarse por 96 horas continuas, después ocurre degradación de la misma.

¹ Martínez Meza, Ramona Guadalupe et al (2011) Capacidad de Adsorción y Despojamiento de Cobre presente en Solución Acuosa, utilizando la Resina Quelante, DOWEX M-4195. Instituto de Ingeniería, Universidad de Baja California, México. pp. 10-11.

- En las pruebas de envenenamiento y despojamiento, se obtuvo las siguientes concentraciones en la resina: Cobre en solución sintética Adsorción de resina: 227,6 mg; Tiempo de saturación: 120 h; Despojamiento: 170,7 mg; Tiempo de despojamiento: 12 h. Cobre en la Muestra J1: Adsorción de la resina: 51,2 mg; Tiempo de saturación: 168 h; Despojamiento: 23,04 mg; Tiempo de despojamiento: 6 h. Cobre en la Muestra M1: Adsorción de la resina: 23,2; Tiempo de saturación: 120 h; Despojamiento: 10,44; Tiempo de despojamiento: 4 h.

b) Pérez Marín, Ana Belén (2009) ² Presenta un estudio sobre la biosorción de cadmio, zinc y plomo en efluentes textiles, con una investigación experimental realizado a nivel de laboratorio específicamente en los metales mencionados.

c) Pinzón Bedoya, Martha Lucía y Cardona Tamayo, Angélica María (2008)³ En su trabajo se presentan los resultados obtenidos en la caracterización de la cáscara de naranja como material bioadsorbente para el atrapamiento de iones Cr^{3+} presentes a bajas concentraciones en disolución acuosa. Este residuo corresponde a un subproducto agrícola abundante en Colombia, específicamente en la región Norte Santandereana. La caracterización consistió

² Pérez Marín, Ana Belén (2009) Biosorción de Cadmio, Zinc y Plomo. Universidad de Murcia, Departamento de Ingeniería Química, Murcia. España.

³ Pinzón Bedoya, Martha Lucía y Cardona Tamayo Angélica María (2008) Caracterización de la cáscara de naranja para su uso como material bioadsorbente. Revista Bistua. Universidad Pamplona, Colombia

en la realización de análisis elemental para la cuantificación de %C, %H, % N, %S y contenido de cenizas; capacidad de intercambio catiónico, CIC; poder calorífico [kJ/kg]; y presencia de elementos metálicos tales como Na, Ca, Mg, K, Fe y Cr. Después de realizado el análisis elemental, se identificaron los grupos activos presentes en la superficie del sólido adsorbente, por espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR). Esta identificación se realizó antes y después del proceso de adsorción, con el objeto de establecer la participación en el atrapamiento de los iones cromo presente en disolución acuosa, por parte de algunos de los grupos activos identificados. Los resultados obtenidos muestran que la cáscara de naranja presenta bajo contenido de cenizas, están exentas de azufre y de cromo y poseen un alto poder calorífico. Todo ello conduce a la postulación de este residuo agrícola, abundante, típico y de bajo costo, como un posible material bioadsorbente.

En dicho trabajo de investigación se llegaron a las siguientes conclusiones:

- El material bioadsorbente objeto de esta investigación, en las condiciones de reducción y clasificación por tamaños establecidos, puede ser utilizado como material adsorbente para la eliminación de Cr^{3+} presente en disolución acuosa. Este material constituye una alternativa para el tratamiento de aguas con contenido de este metal.

- La caracterización de la biomasa, a partir de la cual se determinaron los contenidos de carbono, nitrógeno, hidrogeno, azufre, cenizas, poder calorífico y capacidad de intercambio catiónico, permite establecer que los valores promedios de estos parámetros son comparables con los de algunos residuos vegetales y agrícolas reportados en la literatura.
- La capacidad calorífica encontrada en la evaluación de este material bioadsorbente, indica que este se puede utilizar como combustible auxiliar en una cementera, ya que su potencia calorífica se encuentra dentro del rango de otros materiales adsorbentes reportados en la literatura.
- Los espectros FTIR del material bioadsorbente antes y después del proceso indican que la capacidad de adsorción de este material se debe principalmente a la coordinación con los grupos hidroxilo.

TABLA 2.1.1
 CONTENIDO EN C, H, N Y CENIZAS EN DIVERSOS MATERIALES VEGETALES.

Material vegetal	Elemento (%)			Cenizas (%)
	C	H	N	
Caña de Río	40,99	5,64	0,42	4,05
Tallos de algodón	42,49	5,29	0,96	3,77
Pino carrasco	48,75	6,23	0,52	4,08
Posidonia oceánica	38,47	5,57	0,62	11,48
Sarmientos de parra	45,47	5,27	0,80	3,10
Sarmientos de vid	50,59	6,41	0,65	2,38
Cáscara de naranja	44,43	6,10	0,87	4,90

Fuente: Elaboración propia con los datos consignados por SOLER et al, 1981; PINZÓN-BEDOYA M.L., 2005, PÉREZ CAMACHO, 2003

TABLA 2.1.2
 PODER CALORÍFICO DE ALGUNOS MATERIALES VEGETALES

Material vegetal	Poder calorífico (Kj/Kg)
Tallos de algodón	17100
Sarmientos de parra	17640
Sarmientos de vid	17900
Caña de río	17880
Posidocia Oceánica	13000
Cáscara de naranja	15910

Fuente: Elaboración propia según los datos consignados por SOLER, 1981; GARCÍA ESTRELLA, 2002

TABLA 2.1.3
CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO DE DISTINTOS
MATERIALES ADSORBENTES, INCLUYENDO SILICATOS Y
TURBAS

Materia (V. g.)	Intercambio (100 g)
Sepiolita (Vallecas)	5,2
Cáscara de naranja	8,04
Sepiolita (Orera)	9,1
Caolin	14,8
Posidonia Oceánica	24,31
Turba carbonizada	25,0
Lignito carbonizado	45,0
Bentonita	89,0
Turba molida fundida	150,0
Cenizas de turba molida	200,0

Fuente: Elaboración Propia con los datos de la autora Pinzón Bedoya, Martha Lucía

d) Salas Peregrín, Juan Manuel (2010)⁴ En su artículo de investigación para la real sociedad española de química, comenta sobre la biosorción que describe la eliminación mediante materiales no vivos de metales pesados en agua. Además, lo considera un proceso barato ya que utiliza como biosorbentes materiales naturales como por ejemplo desechos de la agricultura (cáscara de naranja, cáscara de limón, salvado de soja, etc.). Las partículas de biosorbente son empacadas en columnas de biosorción, que constituyen uno de los sistemas más efectivos para remoción continua de metales pesados. El autor considera

⁴ Salas Peregrín, Juan Manuel (2010) Biosorción para la eliminación de metales pesados en aguas de desecho. Departamento de química inorgánica. Universidad de Granada. Granada, España. Real Sociedad Española de Química.

que se necesita más información sobre la biosorción para determinar la mejor combinación entre metal, tipo de biomasa y condiciones ambientales; incentivando con su trabajo a continuar la investigación en materia de biosorción de metales en diferentes biosorbentes.

- e) Vargas Rodríguez, M. et al. (2009)⁵ en su Artículo investigación publicado en la revista académica Ingeniería, nos habla de las aguas residuales provenientes de la industria textil que ha sido estudiada por mucho tiempo debido a los problemas ambientales que ocasiona su vertido a cuerpos de aguas naturales. Tradicionalmente, dichas aguas han sido tratadas con procesos físicos y químicos que resultan costosos para remover los colorantes presentes. Actualmente se han desarrollado bioprocesos, como la biosorción, como una alternativa económica para este tipo de residuales. En este trabajo se utilizaron cáscaras de naranja como medio de biosorción en el tratamiento de aguas residuales de la industria textil. Las cáscaras de naranja fueron secadas, trituradas y tamizadas. Se evaluó el impacto de diferentes tamaños de partícula, tiempos de contacto y concentración de material biosorbente (cáscara de naranja). La mayor remoción de colorante se obtuvo con partículas de 1mm de diámetro y durante los primeros 60 min de contacto. Se observó también que la

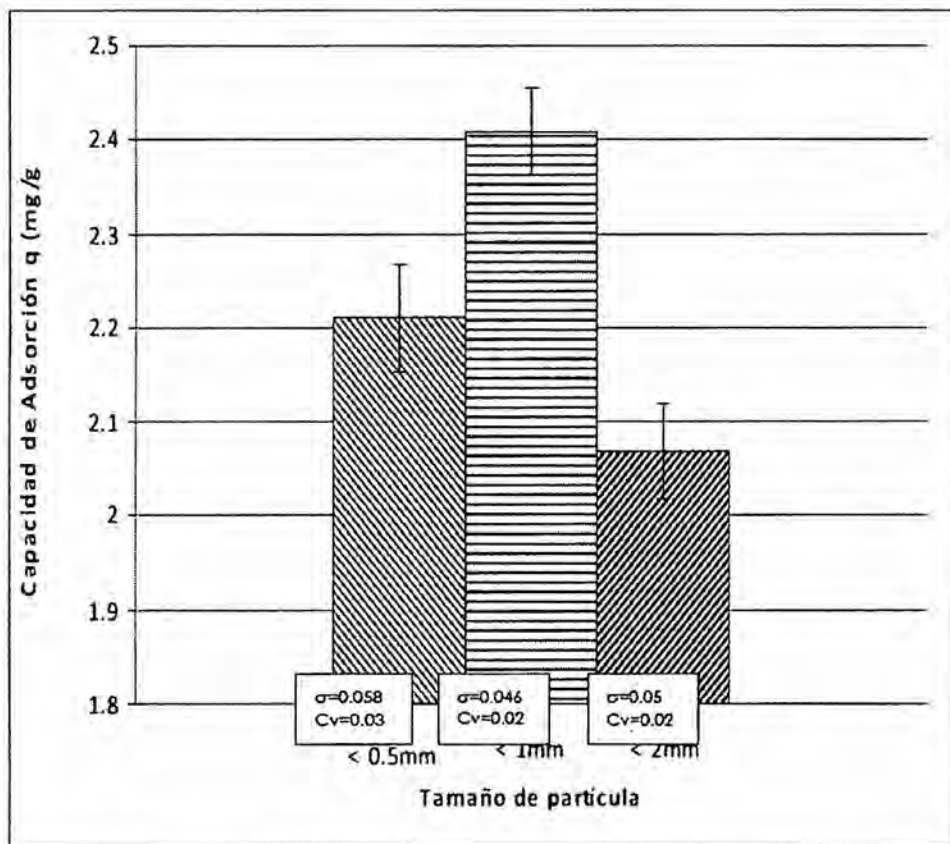
⁵ Vargas Rodríguez M. et al. (2009) Evaluación del proceso de biosorción con cáscaras de naranja para la eliminación del colorante comercial Lanazol Navy CE en aguas residuales de la industria textil. Ingeniería revista académica, Vol. 13, Núm. 3, septiembre-diciembre, 2009, pp. 39-43, Universidad Autónoma de Yucatán, México.

relación entre las cantidades de biosorbente y de la concentración de colorante removido fue de comportamiento lineal.

En éste trabajo de investigación los autores llegaron a las siguientes conclusiones:

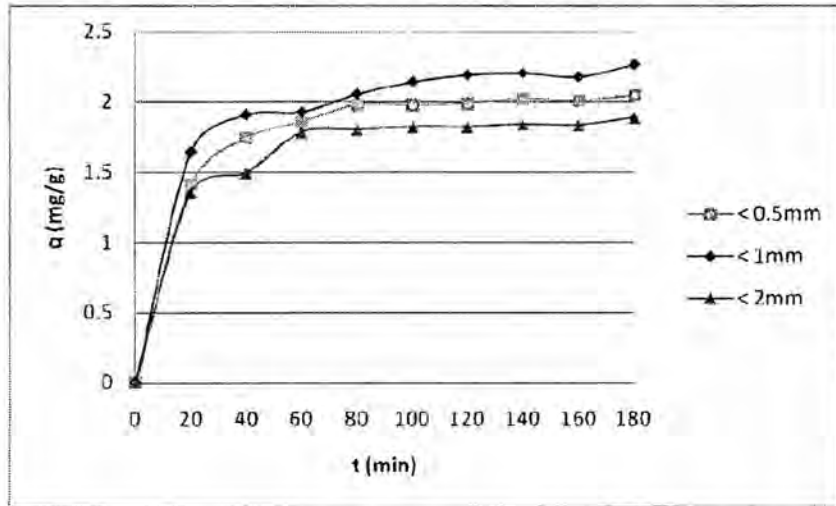
- Se logró la remoción del colorante *Reactive Black* utilizando cáscaras de naranja seca y molida.
- El mejor porcentaje de remoción de colorante se logró con partículas de < 1mm.
- La mayor remoción de colorante se alcanzó en la primera hora de contacto.
- La relación entre la concentración de biosorbente y el colorante removido se comportó en forma lineal para altas concentraciones de adsorbente.

GRAFICO N° 2.1.1
CAPACIDAD DE REMOCIÓN DE LA CÁSCARA DE NARANJA PARA
LOS 3 TAMAÑOS DE PARTÍCULA MANEJADOS:



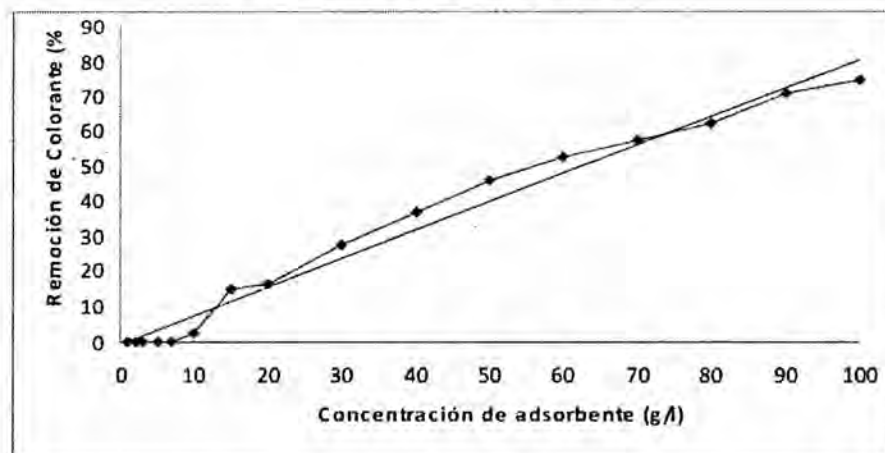
Fuente: Ingeniería revista académica, Vol. 13, Núm. 3, septiembre-diciembre, 2009

GRAFICO N° 2.1.2
 PERFIL DE TIEMPO DE LA REMOCIÓN DE COLORANTE CON LOS 3
 TAMAÑOS DE PARTÍCULA A UNA $C_0=500$ mg/l



Fuente: Ingeniería revista académica, Vol. 13, Núm. 3, septiembre-diciembre, 2009

GRAFICO N° 2.1.3
 PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE COLORANTE UTILIZANDO DIFERENTES
 CANTIDADES DE BIOSORBENTE



Fuente: Ingeniería revista académica, Vol. 13, Núm. 3, septiembre-diciembre, 2009

f) Muñoz Carpio, Juan Carlos (2007) ⁶ en su tesis para optar el título de Químico ha llegado a las siguientes Conclusiones: en su trabajo se ha investigado la biosorción de Pb (II) usando como material biosorbente la cáscara de naranja "Citrus cinensis", pre tratada. El pre tratamiento del material biosorbente se llevó a cabo mediante la reticulación con una solución 0,2M de CaCl₂, el pH de esta solución se ajustó a 5 usando una solución 0,05 M de HCl. La reticulación se efectuó manteniendo todo el sistema en agitación constante durante 24h. El material tratado fue secado en una estufa a la temperatura de 40 °C por 24 h. El tamaño de partícula es de 180 – 250 um. Los experimentos sobre el efecto del pH en el proceso de biosorción de Pb (II) por cáscara de naranja pre tratada, mostraron que el rango óptimo de pH se encontraba entre 4,5 – 5,0. Del estudio de la cinética del proceso de biosorción, se determinó que el equilibrio se alcanzó a las 4 horas del inicio del proceso de biosorción logrando un porcentaje de remoción de Pb (II) del 40%. Los resultados de los experimentos en batch se procesaron con la ayuda de las ecuaciones de Langmuir y Freundlich. La máxima capacidad de biosorción de Pb(II) por la cáscara de naranja pre tratada (q máximo) fue de 141,05 mg/g.

Las conclusiones a las que llegó el autor de la tesis fueron las siguientes:

- Las pruebas demostraron que el pH óptimo de adsorción estuvo entre

⁶ Muñoz Carpio, Juan Carlos (2007) Biosorción de plomo (II) por cáscara de naranja "Citrus cinesis" pre tratada. Facultad de Química e Ingeniería Química. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.

4,52 y 5,53.

- El tamaño de partícula óptimo para el estudio estuvo en la malla 60 – 80 (125 – 250 μm)
- Usando diferentes concentraciones de plomo se observó un rendimiento de remoción de plomo del 95% lo cual demuestra la eficacia de usar un biosorbente pre tratado.
- La mayor cantidad adsorbida de plomo fue usando un peso de biosorbente de 0,2g, 50 ml de solución de Pb(II) a un pH óptimo de 5 bajo agitación constante de 200 rpm a temperatura ambiente.
- Del tratamiento de los datos experimentales utilizando el modelo de Langmuir se obtuvo la capacidad máxima de biosorción 140,84 mg/g y la constante de equilibrio igual a 0,4.
- Del estudio de la cinética se determinó que el proceso de biosorción alcanza el equilibrio dentro de las 4 horas de iniciado el proceso.

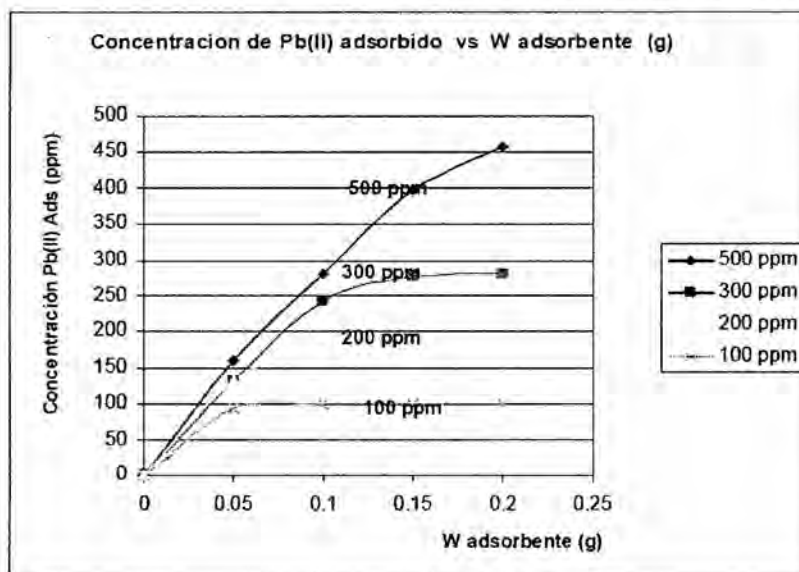
Además, en la investigación se dan las siguientes recomendaciones:

- Los desechos de la industria cítrica son abundantes y pueden ser usados como bioadsorbentes para el tratamiento de agua de efluentes industriales.
- Se sugiere utilizar métodos físicos y químicos para modificar las características de la biomasa y aumentar la capacidad de biosorción.

- Buscar otros métodos de reticulación.
- Investigar sobre la selectividad del biosorbente con una mezcla de iones.
- Buscar otras fuentes biológicas de pectinas (limón, toronja) para comparar resultados.

GRAFICO N° 2.1.4

ISOTERMA DE ADSORCIÓN DE Pb (II) EN CÁSCARA DE NARANJA RETICULADA A DIFERENTES PESOS Y CONCENTRACIONES PH = 5



Fuente: Muñoz Carpio, Juan Carlos (2007) Biosorción de plomo (II) por cáscara de naranja "Citrus cinesis" pre tratada. Facultad de Química e Ingeniería Química. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.

g) PEÑA H. Karen; GIRALDO, Liliana; MORENO, Juan Carlos (2012)⁷: Prepararon carbones activados por pirolisis de cáscara de naranja, residuos lignocelulósicos, por activación química mediante impregnación con soluciones de ácido fosfórico a diferentes concentraciones (32%, 36%, 40% y 48% p/V), a una temperatura de 373 K y un tiempo de residencia de 3 h, presentando rendimientos alrededor del 36%. La caracterización de la textura porosa de los carbones activados obtenidos se determina por adsorción física de N₂ a 77 K. El análisis isotérmico muestra para los carbones materiales activados obtenidos áreas superficiales entre 940 y 1200 m²g⁻¹ con características de materiales meso porosos. El estudio mediante técnicas de equilibrio como las titulaciones tipo Boehm y la determinación del fósforo residual, así como técnicas espectroscópicas como el infrarrojo (IR) permiten observar cómo la variación en la concentración del agente activante muestra una influencia sobre la química superficial del material carbonoso a obtener.

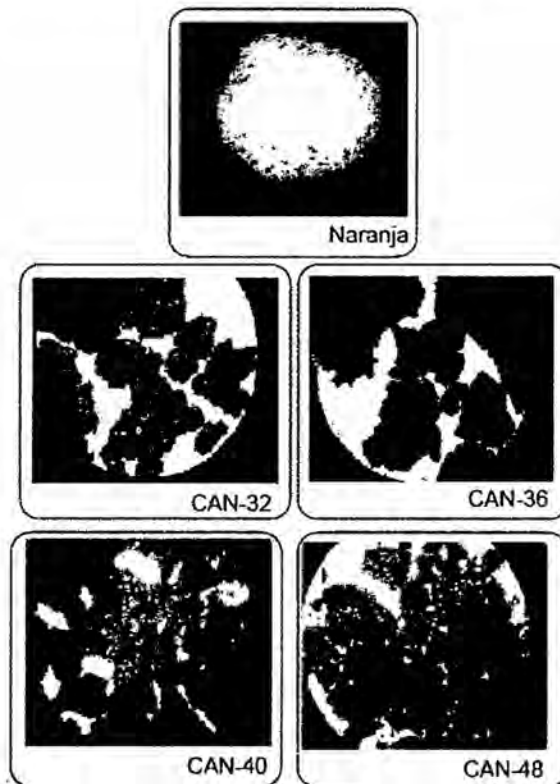
Los resultados de dicha activación fueron positivos, obteniendo un rendimiento máximo del 36,52%, correspondiente a la muestra activada con la solución del 40%, CAN-40. Las isothermas de N₂ obtenidas a 77 K permiten conocer que estos carbones desarrollan áreas superficiales BET entre 940 y 1200 m²g⁻¹, esta

⁷ PEÑA H. Karen; GIRALDO, Liliana; MORENO, Juan Carlos. **Preparación de carbón activado a partir de cáscara de naranja por activación química**, en *Revista Colombiana de Química*. Vol.41: 311 a 323. Diciembre 2012

última desarrollada por la muestra CAN-48 y con características de meso porosidad, con ciclos de histéresis tipo H4.

El incremento en la concentración de la solución de ácido fosfórico, agente activante, desarrolla en las muestras una mayor área superficial y una tendencia similar en cuanto al volumen de micro poro; además de ello tiene una influencia sobre la química superficial del material carbonoso, presentando variaciones en la cantidad de grupos ácidos, los cuales fueron caracterizados por espectroscopia infrarroja y no solo afirman la acidez propia de los carbones activados preparados, si no también permiten observar los cambios que se llevaron a cabo por acción de la carbonización.

FIGURA N° 2.1.1
CASCARA DE NARANJA Y CARBÓN ACTIVADO



Fuente: *Revista Colombiana de Química*. Vol.41: 311 a 323. Diciembre 2012.

Fotografías de microscopía óptica 40X del precursor, cáscara de naranja y de los carbones activados obtenidos por activación química mediante impregnación con soluciones de ácido fosfórico a 32% (CAN-32), 36% (CAN-36), 40% (CAN-40) y 48% (CAN-48).

TABLA 2.1.4
 CARACTERIZACIÓN TEXTURAL DE LAS MUESTRAS DE CARBÓN
 ACTIVADO OBTENIDAS

Tabla 1. Caracterización textural de las muestras de carbón activado obtenidas

Muestra	CAN-32	CAN-36	CAN-40	CAN-48
Rendimiento (%)	36,27	35,65	36,52	35,47
Concentración de fósforo residual (mg P ₂ O ₅ mL ⁻¹)	0,018	0,004	0,016	0,010
Concentración grupos ácidos (μmol g ⁻¹)	45,5	14,1	64,1	31,6
Área superficial BET (m ² g ⁻¹)	943	1032	1111	1203
Volumen total de poros DR (cm ³ g ⁻¹)	0,44	0,49	0,54	0,69
Volumen de microporos DR (cm ³ g ⁻¹)	0,20	0,23	0,24	0,26
Volumen de mesoporos DR (cm ³ g ⁻¹)	0,24	0,26	0,30	0,43

Fuente: *Revista Colombiana de Química*, Vol.41: 311 a 323. Diciembre 2012

2.2. Bases científicas

El Proceso de adsorción:

Para Alegsa (2010) ⁸ la adsorción “es la retención, adhesión o concentración en la superficie de un sólido de sustancias disueltas o dispersas en un fluido. Por lo general, cuando un sólido se halla en contacto con una disolución, la sustancia disuelta tiende a concentrarse en la superficie de contacto. Lo mismo ocurre con los gases que llevan alguna sustancia en suspensión. Los agentes de adsorción atrapan átomos, iones o moléculas y los llevan a la superficie de un material. La sustancia que se adsorbe es el adsorbato y el material sobre el cual lo hace es el

⁸ Alegsa (2010) Definición de adsorción. Santa Fe, Argentina.

adsorbente.” El proceso inverso de la adsorción es la desorción. Este fenómeno se explota en muchas aplicaciones industriales: la separación del alquitrán de los gases se efectúa por adsorción y las tierras adsorbentes se usan en las refinerías para purificar aceites, gasolina y otros productos derivados del petróleo. La adsorción permite eliminar compuestos orgánicos e impurezas del agua, quitar productos de fermentación, eliminar agua de hidrocarburos gaseosos, sustraer componentes azufrados del gas natural, retirar olores del aire, etc.

Es un fenómeno de atracción de partículas (átomos, iones, moléculas), que se encuentran en una determinada fase, por la superficie de un sólido o líquidos. La adsorción es un fenómeno espontáneo debido a la existencia de fuerzas no compensadas en la superficie de división de fases.

Para un determinado adsorbente podemos diferenciar la interacción con adsorbatos según: Especies con distintos grados de polaridad se explican mediante las reglas de Rebinder y Traube que se resume en “lo polar adsorbe lo polar y lo apolar adsorbe lo apolar”. Según Flores J (2003) ⁹ en el caso de iones la interacción dependerá del tipo de ion (anión o catión), la carga y tamaño del mismo. La

⁹ Flores J. (2003) Biosorción del ion cúprico con el biopolímero Quitosano nativo y modificado en forma de perlas y entrecruzado: Estudio de Equilibrio y Cinética. Tesis para optar el grado de Master en Ciencias con mención en Química Analítica, UNMSM.

adsorción implica un fenómeno de superficie¹⁰, en la actual secuestación del metal puede tener lugar fenómenos físicos (Adsorción física) o por enlaces químicos (quimiosorción).

La adsorción física, es no específica debido a que las fuerzas de atracción de las moléculas a las superficies sólidas son relativamente débiles. La energía de activación por adsorción física no es más de 1Kcal/gmol. Estas fuerzas decrecen rápidamente.

La quimiosorción, es una adsorción específica y las fuerzas de atracción son mucho más fuertes que la adsorción física, las moléculas adsorbidas son atraídas por fuerzas de valencia del mismo tipo como los que ocurren entre átomos en moléculas, estas son estudiadas utilizando el modelo de Langmuir.

Para Fruz W. Merk W. (1981)¹¹ la biosorción, “es un proceso espontáneo que consiste en el aumento de la concentración de las moléculas e iones en la superficie de sólidos o líquidos debido a la existencia de fuerzas no compensadas en la superficie de éstos. La biosorción es un proceso fisicoquímico que incluye los fenómenos de adsorción y absorción de moléculas e iones.”

¹⁰ Darnall D. Greene B. (1986) Selective Recovery of Gold and Other Metals Ions from Algae Biomass. Environ. Sci. Tech 20, p. 206.

¹¹ Fruz W. Merk W. (1981) Competitive adsorption of two dissolved organics onto activated carbon-II. Adsorption kinetics in batch reactors”. Chem. Engineering Sci. 36, 731-741.

Así mismo, Kirchmer C. Arboleda J. (1986) ¹² afirma que la tecnología de biosorción es muy similar a la del carbón activado e intercambio iónico. Esta tecnología principalmente dirigida a la remoción de metales pesados o especies metaloides de soluciones diluidas por diferentes materiales de origen biológico (algas, hongos, bacterias, frutos, productos agrícolas y algunos tipos de polímeros), estos materiales se encuentran en gran abundancia en la naturaleza y su transformación a bioadsorbentes no es un proceso costoso.

La biosorción ocurre cuando los cationes de los metales se unen por interacciones electrostáticas a los sitios aniónicos que se encuentran en la pared celular de los citados materiales biosorbentes. Estos sitios que sirven como centros activos para la biosorción se encuentran ubicados en los grupos carboxilo, hidroxilo, amino, imino, sulfónico, que forman parte de la estructura molecular de la mayoría de los polímeros de origen biológico. El descubrimiento y desarrollo del fenómeno de biosorción proporciona una base para una nueva tecnología integral apuntando a la remoción de especies de metales pesados de soluciones diluidas en el rango de 1 a 1000 mg/L. La recuperación de algunos de esos metales es una posibilidad.

De acuerdo con Tapi N (2002) ¹³ la biosorción utiliza la habilidad de materiales biológicos (biosorbentes) para acumular metales de residuos acuosos por

¹² Kirchmer C. Arboleda J. (1986) Polímeros naturales y su aplicación como ayudantes de filtración CEPIS/OPS. Documento técnico N° 11. 2-9.

¹³ Tapi N (2002) Adsorción y Biosorción, mecanismo y principales modelos para describir el fenómeno de biosorción", Proyecto Palma PUCP, 3, 5 y 6 de agosto, 35-50.

intervención metabólica o caminos fisicoquímicos. La secuestación del metal puede ocurrir vía complejación, coordinación, intercambio iónico, adsorción y/o precipitación inorgánica.

Acorde con Brierley J. Brierley C. (1987) ¹⁴. Los biosorbentes son materiales derivados de microorganismos, bacterias, hongos, algas marinas, plantas o algunos polímeros naturales. Estos biosorbentes para ser aplicados necesitan ser pre tratados químicamente para tener una mejor capacidad de adsorción en los procesos de aplicación como remoción de metales pesados o recuperación de especies metálicas en solución. Los biosorbentes son capaces de adsorber especies iónicas de metales en soluciones acuosas, esta propiedad es bien utilizada en la biorremediación y recuperación de efluentes industriales contaminados con metales pesados.

Proceso de Biosorción.

Esta tecnología se basa en la recuperación de metales usando biomasas de organismos vivos y no vivos como bacterias, micro algas, hongos, etc. La fuente para estos materiales puede encontrarse en desechos de agricultura, procesos de fermentación o uso de algas marinas.

¹⁴ Brierley J. Brierley C. (1987) Treatment of Microorganisms with Alkaline solution to Enhance Metal uptake Properties. U.S. Patent 4, 690, 874.

Los costos de estos productos pueden aumentar principalmente debido al procedimiento de preparación, pero aun así es relativamente bajo.

En esta técnica la biomasa extrae metales del efluente industrial contaminado; luego por filtración sólido/líquido se separan la descarga descontaminada y la biomasa cargada con el contaminante, de esta manera podremos recuperar el metal aplicando una técnica destructiva o no destructiva de recuperación, en el caso de esta última la biomasa puede ser regenerada para ser usada nuevamente en el proceso de biosorción.

El estudio de la biosorción de los iones metálicos, es afectado considerablemente por la naturaleza del biosorbente. Los iones capaces de ser polarizados son bioadsorbidos en la superficie de moléculas polares o iones, es por ello que frecuentemente la adsorción iónica es llamada adsorción polar.

Según Ho Y. Mac Kay G. (2000)¹⁵ para iones de la misma valencia el ion de mayor radio muestra máxima adsorción porque este ion es muy bien polarizable y consecuentemente capaz de ser atraído por la superficie de iones o moléculas polares, además estos iones de mayor radio tienen menor capa de solvatación lo cual les permite interactuar más fácilmente con los centros activos del biosorbente.

¹⁵ Ho Y. Mac Kay G. (2000) The kinetics of sorption of divalent metal ions onto sphagnum moss peat water Research 34, 735-742.

La búsqueda de mejores biosorbentes, selectividad del metal y capacidad de bioadsorción ha sido un esfuerzo continuo en los últimos 22 años.

La aplicación industrial de la bioadsorción ha estado dirigida principalmente hacia los sistemas microbianos. Los microorganismos tales como bacterias, levaduras y hongos pueden incorporar y acumular metales pesados y compuestos organometálicos de su medio externo con alta eficiencia.

De acuerdo con Fourest E. Roux J. (1992) ¹⁶ existen una gran variedad de mecanismos tanto fisiológicos como fisicoquímicos que, en la práctica, son difíciles de distinguir. Por eso todos estos procesos se denominan bioadsorción, aunque es mucho más apropiado usar este término en relación con aquellos procesos que son independientes del metabolismo. En este caso hay ligandos en la superficie celular (paredes celulares, polisacáridos extracelulares, pigmentos y otros materiales como grupos sulfhidrilo, carboxilo e hidroxilo) que forman complejos con los metales, de naturaleza iónica o covalente. Este tipo de proceso puede tener lugar tanto en células vivas como muertas y puede ser un proceso rápido.

¹⁶ Fourest E. Roux J. (1992) Heavy Metal Biosorption by fungal mycelial byproduct: mechanism and influence of pH". *Appl. Microbiol. Biotechnology* 37. 399-403.

Para llevar a cabo el proceso de bioadsorción, el biosorbente es expuesto a la concentración inicial del metal por un período de tiempo, el estado de equilibrio es el estado predominante para la biosorción del sistema examinado, la concentración final tiene que ser determinada cuando se comparan las concentraciones en el equilibrio.

Se ha demostrado que existe una única selectividad y capacidad de incorporación del metal entre biosorbentes además las concentraciones del metal por gramo de material biosorbente pueden ser adsorbidos en un período de tiempo corto sobre la exposición de la biomasa o material adsorbente a soluciones diluidas del metal. Todo ello puede ser útil en el desarrollo de procesos industriales para la disminución de la concentración de metales en aguas residuales.

Los factores que afectan el proceso de biosorción, son:

1. Peso del biosorbente.
2. El pH de la solución.
3. Concentración de metales en la solución.
4. Aniones o cationes presentes en la solución.
5. Velocidad de agitación.
6. Temperatura de la solución.

Jansson M. y Guibal E. (1996)¹⁷ en la cinética de biosorción, los modelos cinéticos describen el proceso desde el inicio del contacto soluto adsorbente hasta el tiempo en que se alcanza el equilibrio. Al igual que en el estudio del equilibrio se determina la influencia de las características fisicoquímicas del adsorbente, soluto y medio. Una vez identificado el biopolímero respecto a su peso molecular promedio, número de sitios activos, pKa y solubilidad, las características para el estudio cinético son seguidamente el tamaño de partícula, la porosidad, la concentración del medio pH y la temperatura; y para el proceso la velocidad de agitación.

Se han postulado las siguientes etapas en el mecanismo de la cinética de biosorción:

A. Desplazamiento de los iones metálicos desde la solución hasta la capa exterior alrededor de la partícula.

B. Difusión externa: Desplazamiento desde la capa exterior hasta la superficie del adsorbente.

C. Difusión intraparticular: Cuando el soluto se desplaza desde la superficie

¹⁷ Jansson M. Guibal E. (1996) Vanadium (IV) Sorption by Chitosan: Kinetics and Equilibrium. Water Research 30, pp. 465-475.

externa hasta el sitio de adsorción al interior de la partícula. Puede ser difusión intraparticular de poro o difusión homogénea de superficie.

D. Adsorción sobre los sitios activos por acomplejamiento, interacción iónica o precipitación. El paso A. solamente requiere la homogeneidad del medio mediante agitación suficiente y D. se considera instantáneo, así, la biosorción es controlada por mecanismos de difusión a partir de una velocidad mínima de agitación. El análisis demuestra que los sitios activos son provistos por macromoléculas llamadas biopolímeros; las cuales ordenadas en capas confieren la adecuada condición a la membrana celular.

Para Townsley C. Atkins S. (1986)¹⁸ la biosorción tiene interés industrial porque elimina potencialmente a los metales pesados tóxicos procedentes de soluciones de residuos industriales de procesos metálicos y mineros, puede conducir a una detoxificación y cura de la descarga ambiental. Actualmente se vienen desarrollando nuevas técnicas para el tratamiento de este tipo de efluentes las cuales son viables y permiten la eliminación de estos contaminantes de manera efectiva.

¹⁸ Townsley C. Atkins S. (1986) Biorecovery of Metallic Residues from Various Industrial Effluents Using Filamentous Fungi. Fundamental and Applied Biohydrometallurgy. Elsevier, Amsterdam. Pp. 12-24

La capacidad de bioadsorción industrial depende de las capacidades de carga, selectividad del metal y eficiencias de adsorción, estas variables son importantes ya que de esa forma la recuperación del metal se hace más factible usando materiales biosorbentes; todo esto comparado con otras técnicas convencionales como la flotación y precipitación.

El mecanismo de bioadsorción también varía entre los elementos. Otro ejemplo interesante es la recuperación del oro procedente de sus menas usando un nuevo proceso combinado que incluye la disolución del oro elemental (Au⁰) y la oxidación a un complejo iónico: Au-ión cianuro, con la subsiguiente y simultánea bioadsorción de estos complejos disueltos de oro usando ciertos microorganismos. La liberación de cianuro por parte de ciertos microorganismos es utilizada para oxidar, disolver y biosorber oro.

Los tratamientos de estas biomásas pueden llevar a recuperar elementos valiosos como Au, Ag, Pt. Al igual que la bioadsorción también es interesante la desorción, así por ejemplo se han hecho estudios de sorción y desorción de cobalto por medio de la biomasa no viva de algas. La desorción se llevó a cabo utilizando diversas soluciones, llegando a la conclusión de que la solución de CaCl₂ 0,05M en HCl era la mejor para desorber mas del 98% del metal secuestrado a un pH óptimo.

Biosorción por Pectina.

En procesos donde se extraen Jugo de naranjas y otros cítricos se dejan las cáscaras

como productos de desecho, estos residuos son serios contaminantes del medio ambiente sin embargo se ha encontrado aplicación para el tratamiento de estos desechos.

La cáscara de naranja es una muy buena fuente de pectina la cual también se encuentra en frutas y vegetales estas fuentes provienen principalmente de la industria de extracción de jugos y zumos.

Las pectinas nativas son moléculas complejas que se encuentran en las paredes celulares y en las láminas intercelulares de las plantas superiores. Algunas pectinas son solubles en agua y otras como las protopectinas no lo son. Aunque todas las plantas contienen pectina, su composición y calidad de la misma varía según la fuente, el método de obtención y los factores del medio.

Estructura de la Pectina.

Para Dronnet, V y Thibault, J. (1997) ¹⁹ la estructura de la pectina es importante para determinar la fuerza y flexibilidad en las paredes celulares de las plantas. En cuanto a su composición, podemos definir las pectinas como polímeros que constan fundamentalmente por cadenas de unidades de ácido poli- α -D-galacturónico unidas por enlaces glicosídicos, interrumpidas por la presencia de

¹⁹ Dronnet, V y Thibault, J. (1997) Binding of divalent metal cations by sugarbeet pulp. American Chemical Society. Ser 250, 34, pp. 73-82.

residuos de rammosa mediante enlaces 1,2; esto corresponde a una masa promedio de 50,000 a 150,000.

Acorde con Fernandez Zuñiga, G (1990)²⁰ afirma que debido a las diferentes propiedades que presentan, las pectinas, se dividen en dos grupos básicos: Las pectinas de alto metoxilo (HM), con más de un 50% de grupos carboxilo esterificados con un radical metil; y los de bajo metoxilo, (LM) con menos de un 50% de grupos esterificados.

Para Rombouts F y Thibault J. (1986)²¹ las pectinas de alto metoxilo, son mayoritariamente utilizadas para la producción de geles azucarados, como las mermeladas y jaleas. Las pectinas de bajo metoxilo, son utilizadas como agentes gelificantes en productos de bajo contenido de azúcar, ya que en su gelificación es menos sensible a la concentración de azúcar, si bien, por otra parte, requieren de la presencia de iones calcio para su reticulación.

Según Ho Y Mac Kay G. (2000)²² la gelificación de las pectinas de bajo metoxilo es debida a la formación de una red tridimensional, por interacción de las cadenas

²⁰ Fernandez Zuñiga, G (1990) Estudio del proceso óptimo de extracción de aceite esencial y pectina de lima. (Tesis título Químico). Lima. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

²¹ Rombouts F y Thibault J. (1986) Sugar beet pectin: Chemical structure and gelation through oxidative coupling. In: Chemistry and Functions of Pectins. American Chemical Society. Ser 310, pp. 5-16.

²² Ho Y. Mac Kay G. (2000) The kinetics of sorption of divalent metal ions onto sphagnum moss peat. Water Research 34, pp. 735-742.

de pectinas en disolución acuosa con los iones calcio y el azúcar, que retiene a la fase sólida en el interior de su estructura. Esta red se forma en condiciones óptimas de pH ácido, contenido de azúcar y a determinadas concentración de calcio. El mecanismo de gelificación que tiene lugar se conoce como “egg box”, o “caja de huevos”, denominado así porque la adsorción se realiza sobre los centros activos por acomplejamiento, interacción iónica o precipitación muy similar al que tiene lugar en los alginatos.

Para Thibault J y Renard C. (1993)²³ las pectinas son utilizadas ampliamente en la industria de alimentos como gelificantes; dependiendo del origen botánico y el proceso de extracción los grupos carboxílicos están parcialmente esterificados con metanol, mientras que en ciertas pectinas los grupos hidroxilo están parcialmente acetilados.

Schols, H. Voragen, A (1996)²⁴ los azúcares neutros también están presentes, a saber, rammosa, arabinosa, galactosa, xilosa y glucosa. De acuerdo al grado de esterificación (GE), las pectinas forman geles en un medio ácido y alta concentración de azúcar (pectinas de alto GE mayor a 50%) o por interacción con cationes divalentes, particularmente Ca^{+2} (pectina de bajo GE- menor a 50%). Se

²³ Thibault J. Renard C. (1993) Studies of the length of homogalacturonic regions in pectins by acid hydrolysis”. Carbohydr. Res. 283, pp. 271-286.

²⁴ Schols, H. Voragen, A (1996) Pectin and pectinases”. Progress in Biotechnology “Elsevier Science Vol 14. Amsterdam, 1996, pp.3-19.

propone la formación de dos redes gelificadas que coexisten en una fase homogénea: una gobernada por asociaciones diméricas tipo “caja de huevos”, mediada por R, y la otra por medio de hélices que se agregan al formarse.

Acorde a Aderhold D. Williams C. (1996)²⁵ la biomasa de algas marinas es un recurso biológico que está disponible en grandes cantidades y puede formar una buena base para el desarrollo de materiales biosorbentes. Sin embargo las aplicaciones de biomasa nativas es limitada debido a la lixiviación (separación) del alginato dentro de la solución y subsecuente bloqueo de los sitios de adsorción, para superar esta deficiencia es necesaria la modificación química de la biomasa algal esto se logra con una solución de CaCl_2 0,2M por 24 horas bajo agitación lenta, manteniendo un pH de 5 con NaOH 0,1 M, el cual es un pH óptimo para la activación del calcio de la biomasa, como también para impedir al alginato lixivarse fuera de la biomasa, estas modificaciones pueden incrementar la estabilidad además de ayudar a utilizar la alta capacidad de adsorción que tienen las algas.

Para Bohumil E. (1999)²⁶ la adsorción de iones fueron realizados por biomasa pre tratada del alga *Durvillaea potatorum*, como una función de pH de la solución. Hay un aumento en la curva de adsorción con el incremento de pH de 1,0 a 4,5.

²⁵ Aderhold D. Williams C. (1996) Removal of Heavy Metals Ions by Seaweed and Their Derivates”. *Bioresearch Technology* 58, pp. 1-6.

²⁶ Bohumil E. (1999) Matheical of Lead (II) from aquions solutions by pretreated biomass of marine alga *Durvillaea Potatorum*. *Water Research*, Vol 33, N°2, pp. 335-342.

Dentro del rango de pH de 2 a 4 la capacidad de adsorción se incrementa rápidamente, a un pH de 4,5 la capacidad de adsorción llega a su máximo nivel. Esto implica que el tipo y estados iónicos de los grupos funcionales de las paredes celulares determinen la magnitud de adsorción. Se tiene conocimiento que los elementos del grupo funcional carboxilo de las paredes celulares del alga son los responsables de la adsorción.

Para Fourest E. Volesky B. (1987)²⁷ la capacidad de biosorción depende de la protonación o desprotonación de estos grupos carboxilo, relativo para su valor de pKa alrededor de 2,6. A menores valores de pH, los ligandos de las paredes celulares podrían estar cercanamente asociados con los iones hidronio, que restringen el acceso hacia los ligandos por los iones metálicos, como resultados de las fuerzas repulsivas, esta repulsión es fuerte a bajos valores de pH y cuando el pH se incrementa más ligandos (llevando cargas negativas) podrían ser expuestos con la subsecuente atracción de las cargas positivas de los iones metálicos. Los iones metálicos que podrían asociarse con los ligandos de las paredes celulares compiten con los iones hidronio (H_3O^+) por los centros activos.

²⁷ Fourest E. Volesky B. (1987) Alginate properties and heavy metal biosorption by marine algae". *Biochem. Biotechnol* 67, pp. 215-226.

Para Townsley C. Atkins S. (1986)²⁸ el Quitosano es un polímero obtenido por deacetilación de la Quitina segundo en abundancia en la naturaleza después de la celulosa, componente del caparazón de crustáceos y constituyente principal de las paredes celulares de microorganismos fungales. En efecto la biosorción está localizada en las paredes celulares de los microorganismos mediante fenómenos pasivos que incluyen la adsorción, complejación o procesos de precipitación.

Según Guibal E. Jansson-Charrier M. Le Cloirec P. (1995)²⁹ en el caso de biomasa de hongos las paredes celulares consisten en una asociación de glycoproteínas, glucanos o quitosano. Estos polímeros contienen largas porciones de funciones amino útil en la remoción de iones metálicos, como consecuencia de varios estudios que fueron hechos en biosorción de metales por, quitosano, si el mayor sitio de sorción es en la función amino, la inserción de grupos funcionales permite que la realización de la biosorción se incremente, los grupos funcionales carboxílicos sustituidos en la matriz del quitosano incrementa el número y cambia la naturaleza de sitios capaces de biosorber iones metálicos en solución.

²⁸ Townsley C. Atkins S. (1986) Biorecovery of Metallic Residues from Various Industrial Effluents Using Filamentous Fungi. *Fundamental and Applied Biohydrometallurgy*. Elsevier, Amsterdam. Pp. 12-24

²⁹ Guibal E. Jansson-Charrier M. Le Cloirec P. (1995) Enhancement of metal ion sorption performances of chitosan. Effect of the structure on the diffusion properties. *Langmuir* 11, pp. 591-598.

Mientras que según Jansson M. Guibal E (1996)³⁰ su amplia aplicación incluye la floculación de contaminante en tratamiento de aguas y como matriz para dosificar fármacos. Posee centros activos $-NH_2$ en la posición 2 del monómero 2- amino-2-deoxi-D-glucósido (o 2-glucosamina).

La Remediación.

Para Jay David Bolter y Richard Grusin, (1999) generalmente, remediación significa dar remedio. En este artículo, el término se refiere a la remoción de contaminación o contaminantes del medio ambiente —suelo, aguas subterráneas, sedimento o aguas de la superficie— para la protección general de la salud humana y del ambiente, o de tierras provistas para el redesarrollo. La remediación es generalmente tema de requerimientos regulatorios y, además, puede estar basado en gravámenes de salud humana y riesgos ecológicos donde no existen estándares legislados o donde los estándares son consultivos. Remediación en términos de nuevos medios, es la representación de un medio en otro

El interés en procesos de descontaminación se debe a que los metales pesados son considerados perjudiciales para el medio ambiente. Los valores límite para las emisiones de metales se van reduciendo de forma constante según la Organización Mundial de la Salud (OMS).

³⁰ Jansson M. Guibal E (1996) Vanadium (IV) Sorption by Chitosan: Kinetics and Equilibrium". Water Research 30, pp. 465-475.

Actualmente en lo que respecta a biorremediación existen parámetros que indican cuales son los valores de límite máximo permisibles de estos contaminantes en el agua potable, según la OMS los valores límite para los metales pesados de las aguas residuales puede variar de acuerdo a los sectores industriales y a las regulaciones nacionales.

Es decir, estos materiales perjudiciales no tendrían que llegar a ser posible, al medio ambiente de manera que aquí también se tiene que tener en cuenta una nueva reducción del valor límite de las aguas residuales.

2.3. Definiciones de términos.

Adsorción.

La adsorción es el proceso mediante el cual un sólido poroso (a nivel microscópico) es capaz de retener partículas de un fluido en su superficie tras entrar en contacto con éste. La adsorción es un proceso exotérmico y se produce por tanto de manera espontánea si el adsorbente no se encuentra saturado. Las aplicaciones en las que se emplea éste proceso de adsorción como separación son: purificación de agua, tratamiento de aguas residuales, quitar olores, sabores o

colores no deseados por ejemplo en aceites, jarabes de azúcar, en la deshumidificación de gasolinas, o en el secado de aire. ³¹

Bioadsorción

Es un término que describe la eliminación de metales pesados por la unión pasiva a biomasa no viva a partir de soluciones acuosas; el mecanismo de remoción no está controlado por el metabolismo. La bioadsorción es de bajo costo, ya que emplea biomateriales sin aplicación industrial, como desechos agrícolas (cáscaras de arroz, naranja, limón y pomelo, marlo de maíz, salvado de soja y arroz, etc.), algas con pobre poder gelificante no utilizadas en procesos industriales, hongos y levaduras ³²

Adsorción por intercambio.

Es un proceso mediante el cual los iones de una sustancia se concentran en una superficie como resultado de la atracción electrostática en los lugares cargados de la superficie. Para dos adsorbatos iónicos posibles, a igualdad de otros factores, la carga del ion es el factor determinante en la adsorción de intercambio. Para iones

³¹ Alan L. Myers, (2004) Thermodynamics of Adsorption. Perteneciente a la publicación Chemical Thermodynamics for Industry - Ed. T.M. Letcher.

³² Luis Federico Sala (2010) Biosorción para la eliminación de metales pesados en aguas de desecho. Departamento de Química y Medio Ambiente. Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas, Universidad Nacional de Rosario. IQUIR-CONICET. Suipacha 531(2000) Rosario, Santa Fe. Argentina

de igual carga, el tamaño molecular (radio de solvatación) determina el orden de preferencia para la adsorción.³³

Adsorción física.

La adsorción que tiene lugar debido a las fuerzas de Van del Waals se llama generalmente adsorción física. En estos casos, la molécula adsorbida no está fija en un lugar específico de la superficie, sino más bien está libre de trasladarse dentro de la interfase. Esta adsorción, en general, predomina a temperaturas bajas. La adsorción de la mayoría de las sustancias orgánicas en el agua con carbón activado se considera de naturaleza física.³⁴

Adsorción química.

Se llama adsorción química el fenómeno, que el adsorbato sufre una interacción química con el adsorbente, adsorción activa o quimisorción. Las energías de adsorción son elevadas, del orden de las de un enlace químico, debido a que el adsorbato forma unos enlaces fuertes localizados en los centros activos del adsorbente. Esta adsorción suele estar favorecida a una temperatura elevada.³⁵

³³ Adsorción por intercambio. Recuperado el 20-2014 de: <http://www.agua.uji.es/pdf/leccionHQ17.pdf>

³⁴ Adsorción física. Recuperado el 20-2014 de: <http://www.agua.uji.es/pdf/leccionHQ17.pdf>

³⁵ Adsorción química. Recuperado el 20-02-2014 de: <http://www.agua.uji.es/pdf/leccionHQ17.pdf>

Absorción atómica

La espectroscopia de absorción atómica (AA) es un método instrumental de la química analítica que permite medir las concentraciones específicas de un material en una mezcla y determinar una gran variedad de elementos. Esta técnica se utiliza para determinar la concentración de un elemento particular (el analito) en una muestra y puede determinar más de 70 elementos diferentes en solución o directamente en muestras sólidas utilizadas en farmacología, biofísica o investigación toxicológica.³⁶

Metales pesados

Son sustancias tóxicas y no biodegradables que presentan una alta persistencia y tienden a acumularse en los organismos vivos, provocando trastornos y, en ocasiones, la muerte. Por lo tanto, es necesario controlar la entrada de estos elementos en el medio ambiente, evitando especialmente la contaminación provocada por las aguas residuales de numerosas industrias.³⁷

Remediación

Generalmente, remediación significa dar remedio. En este artículo, el término se refiere a la remoción de contaminación o contaminantes del medio ambiente -

³⁶ Absorción atómica. Recuperado el 13-06-2016 de [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Espectroscopia_de_absorci%C3%B3n_at%C3%B3mica_\(AA\)&oldid=89544048](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Espectroscopia_de_absorci%C3%B3n_at%C3%B3mica_(AA)&oldid=89544048).

³⁷ Metales pesados. Recuperado el 20-02-2014 de: <https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/5503/1/MEMORIA.pdf>

suelo, aguas subterráneas, sedimento o aguas de la superficie - para la protección general de la salud humana y del ambiente, o de tierras provistas para el redesarrollo. La remediación es generalmente tema de requerimientos regulatorios y, además, puede estar basado en gravámenes de salud humana y riesgos ecológicos donde no existen estándares legislados o donde los estándares son consultivos.³⁸

Bioremediación

Se define como biorremediación a cualquier proceso que utilice microorganismos, hongos, plantas o las enzimas derivadas de ellos para retornar un medio ambiente alterado por contaminantes a su condición natural. La biorremediación puede ser empleada para atacar contaminantes específicos del suelo, por ejemplo, en la degradación bacteriana de compuestos organoclorados o de hidrocarburos. Un ejemplo de un tratamiento más generalizado es el de la limpieza de derrames de petróleo por medio de la adición de fertilizantes con nitratos o sulfatos para estimular la reproducción de bacterias nativas o exógenas (introducidas) y de esta forma facilitar la descomposición del petróleo crudo.³⁹

³⁸ Remediación. Recuperado el 20-02-2014 de:

<http://jcproyectosonline.com/site/biblioteca/mantenimientos/Remediaci%C3%B3n%20de%20agua%20y%20tierra%20contaminada.pdf>

³⁹ Lovley, DR (2003). Cleaning up with genomics: applying molecular biology to bioremediation. *Nature Reviews. Microbiology*. 1 (1): pp. 35 – 44.

Agua.

Es un compuesto químico presente en grandes cantidades en la Tierra, en estado líquido, sólido o gaseoso. El agua es un compuesto de hidrógeno y oxígeno, su fórmula química, H₂O, indica que cada molécula de agua contiene dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. El agua, a pesar de ser un líquido incoloro, inodoro e insípido, es en realidad una sustancia química de reacciones esenciales para la vida. A la presión atmosférica (760 mm de Hg), el punto de congelación del agua es de 0° C y su punto de ebullición de 100° C. El agua es uno de los agentes ionizantes más conocidos. Puesto que todas las sustancias son de alguna manera solubles en agua, se la conoce frecuentemente como el disolvente universal. El agua combina con ciertas sales para formar hidratos, reacciona con los óxidos de los no metales formando ácidos o de los metales formando bases y actúa como catalizador en muchas reacciones químicas importantes.⁴⁰

Contaminación del agua.

Se define contaminación del agua como: "Acción y efecto de introducir materias o formas de energía o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con sus usos posteriores o su función ecológica. El agua se utiliza en numerosas actividades humanas. Se habla de usos consuntivos (se consume el agua) y no

⁴⁰ Agua. Recuperado el 20-02-2014 de:
<http://www.profesorenlinea.cl/Quimica/AguaCaracterisFM.htm>

consuntivos (ej.: navegación). El resultado de su utilización suele ser su contaminación. La contaminación puede ser natural o de origen antropogénico (urbano, agrícola, industrial, automóviles, asfaltos, mareas negras, ...) El 72% de los ríos y lagos del mundo están contaminados por vertidos urbanos o industriales. Más de la mitad de las enfermedades infecciosas conocidas depende del agua para su transmisión. La contaminación puede tener un origen difuso o puntual. La podemos clasificar en física, química y biológica.⁴¹

Metales totales

Es la suma de las concentraciones de metales en ambas fracciones de una muestra, disueltos y suspendidos. Estos pueden ser determinados en una muestra sin filtrar que previamente ha sido digerida vigorosamente con ácido para solubilizar completamente a los metales a determinar.⁴²

Metales disueltos

Son los metales existentes en una muestra no acidificada y filtrada a través de un filtro de 0,45 µm. Si se quieren determinar metales disueltos o en suspensión, lo

⁴¹ Regodón, J. A. (2007) Contaminación del agua: concepto, contaminantes y efectos. España.

⁴² ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE METALES POR ABSORCIÓN ATÓMICA EN AGUAS NATURALES, POTABLES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA. Recuperado el 16-09-2016 de: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-051-SCFI-2001.pdf>

más aconsejable es efectuar la filtración lo antes posible desde la toma de muestras.⁴³

⁴³ Ingeniería de agua y del terreno, Luis González – Universidad politécnica de Cartagena. Recuperado el 16-09-16 de http://www.upct.es/minaees/analisis_agua.ppt

III. VARIABLES E HIPOTESIS

3.1. Variables de la investigación

Variable Independiente

Bioadsorción de cobre, cadmio y manganeso con cáscara de naranja

Variable Dependiente.

Las aguas de la laguna Colquicocha

3.2. Operacionalización de las variables

Variables	Dimensiones
X ₀ Independiente	
Bioadsorción de cobre, cadmio y manganeso con cáscara de naranja	X ₁ Bioadsorción de Cobre con cáscara de naranja.
	X ₂ Bioadsorción de Cadmio con cáscara de naranja
	X ₃ Bioadsorción de Manganeso con cáscara de naranja
Y ₀ Dependiente	Indicadores
Las aguas de la laguna Colquicocha	I ₁ Reducción de Cu en las aguas
	I ₂ Reducción de Cd en las aguas
	I ₃ Reducción de Mn en las aguas
	I ₄ Reducción final de Cu, Cd y Mn en las aguas

Dimensión	Indicadores
X ₁ Bioadsorción de cobre	I ₁ Porcentaje de adsorción de cobre según cantidad de cáscara de naranja.
	I ₂ Porcentaje de adsorción de cobre con cáscara de naranja activada
	I ₃ Porcentaje de adsorción de cobre con cáscara de naranja sin activar

Dimensión	Indicadores
X ₂ Bioadsorción de cadmio	I ₁ Porcentaje de adsorción de cadmio según la cantidad de cáscara de naranja.
	I ₂ Porcentaje de adsorción de cadmio con cáscara de naranja activada
	I ₃ Porcentaje de adsorción de cadmio con cáscara de naranja sin activar

Dimensión	Indicadores
X ₃ Bioadsorción de manganeso	I ₁ Porcentaje de adsorción de manganeso según la cantidad de cáscara de naranja.
	I ₂ Porcentaje de adsorción de manganeso con cáscara de naranja activada
	I ₃ Porcentaje de adsorción de manganeso con cáscara de naranja sin activar

3.3. Hipótesis

General

La bioadsorción de cobre, cadmio y manganeso con cáscara de naranja es favorable en las aguas de la laguna Colquicocha.

Específicas.

- a) La bioadsorción de cobre con cáscara de naranja es favorable en las aguas de la laguna Colquicocha

- b) La bioadsorción de cadmio con cáscara de naranja es favorable en las aguas de la laguna Colquicocha.

- c) La bioadsorción de manganeso con cáscara de naranja es favorable en las aguas de la laguna Colquicocha.

IV. METODOLOGIA

4.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es el aplicado-tecnológico porque se trata de demostrar el proceso de bioadsorción de cobre, cadmio y manganeso con cáscara de naranja (variable independiente) en las aguas de la laguna Colquicocha (variable dependiente) que se encuentra a 4500 m.s.n.m aproximadamente, en la provincia de Oyón, distrito de Oyón.

4.2. Diseño de la investigación

El Diseño de Investigación es el transversal cuya representación simbólica es:

$$X \Rightarrow Y$$

Dónde:

X: es la variable independiente.

Y: es la variable dependiente

\Rightarrow : es la relación de implicancia

4.3. Población y muestra.

Población.

La población está comprendida por el volumen de agua la laguna Colquicocha.

Muestra.

La muestra está constituida por el volumen de agua extraído para realizar los ensayos de laboratorio (1 litro por cada ensayo); extraídas de la descarga de la laguna, dichas muestras serán analizadas tomando en cuenta una muestra de línea base para realizar las comparaciones cuando se agreguen cantidades diferentes de cáscara de naranja. La muestra fue tomada en la descarga de la laguna (de acuerdo al protocolo de monitoreo de calidad de los recursos hídricos aprobado y publicado por la Autoridad Nacional del Agua y actualizado mediante R.J. N°010-2016-ANA) para la determinación de concentraciones de cobre total y disuelto, cadmio total y disuelto; manganeso total y disuelto.

4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La recolección de datos se realizó de los informes de monitoreo remitidos por el laboratorio, para la toma de la muestra de agua se consideró la siguiente metodología: debe ser lo más representativo posible para determinar las características del cuerpo de agua (1L para cada ensayo de laboratorio), y debe ser una mezcla homogénea considerando la turbulencia, velocidad y apariencia física del mismo (de acuerdo al protocolo de monitoreo de calidad de los recursos hídricos aprobado y publicado por la Autoridad Nacional del Agua y actualizado mediante R.J. N°010-2016-ANA).

La bioadsorción es un proceso que permite la captación de metales que lleva a cabo la materia orgánica (viva o muerta), a través de mecanismos fisicoquímicos como

la adsorción o el intercambio iónico. El proceso de bioadsorción involucra una fase sólida y una fase líquida que contiene las especies disueltas que van a ser adsorbidas (metales).

La absorción atómica es un método instrumental espectroscópico que permite medir las concentraciones específicas de un metal en una muestra sólida o líquida y permite determinar una gran cantidad de elementos químicos, el principio en el que se basa esta técnica tiene sus fundamentos en la ley de Beer-Lambert.

4.5. Procedimientos de recolección de datos

La toma de muestras de agua de la laguna se hizo en la zona de descarga de la misma por ser el origen del río. Para ello se usó un recipiente de muestreo cuyo volumen fue de un litro de agua del cuerpo hídrico muestreado (volumen mínimo requerido para el método de absorción atómica); se tomó fotografías del cuerpo de agua; la toma de muestras se realizó sumergiendo el envase de forma contraria al flujo evitando que contenga aire, se agregó cáscara de naranja activada y sin activar en diferentes concentraciones (1.5, 3 y 5 gramos por litro) a las muestras de agua de la laguna, en algunos casos se usó 10 gramos para determinar si a mayor cantidad de cáscara de naranja se tenía mayor bioadsorción de metales; se identificaron las muestras con un rotulo en el recipiente de muestreo;

Se tomó una muestra de línea base para determinar las concentraciones iniciales de cobre, cadmio y manganeso en la laguna.

Las muestras de agua recogidas fueron preservadas con ácido sulfúrico (según procedimiento de laboratorio) y rotuladas solicitándose el análisis de metales totales y disueltos por el método de absorción atómica.

La materia orgánica (cáscara de naranja) se recogió manualmente, se eligió la cáscara de naranja por tener antecedentes exitosos en pruebas realizadas para el tratamiento de agua de otras industrias.

Para obtener el bioadsorbente activado se procedió al lavado, secado en una estufa a 70 °C por tres días, se acondiciono con ácido fosfórico 1,0 M, se calcino en una mufla a una temperatura de 500 °C por 24 horas, se trituro y se tamizo para obtener una granulometría homogénea.⁴⁴

Para obtener el bioadsorbente no activado se procedió al lavado, secado en una estufa a 70 °C por tres días, se trituro y se tamizo para obtener una granulometría homogénea.

Se prepararon cuatro dosis del bioadsorbente activado (1,5; 3,0; 5,0; 10,0 g) con un tiempo de residencia de 10 horas; para el análisis por absorción atómica se requirió de un litro de muestra por cada ensayo realizado, los análisis por absorción atómica se realizaron para tres metales: cobre, cadmio y manganeso incluyendo una muestra de línea base. Es importante mencionar que el tiempo de residencia

⁴⁴ Método basado en la síntesis de carbón activado de cáscaras de naranja – Peña H., Karen., Liliana; Moreno, Juan Carlos – Preparación de carbón activado a partir de cáscara de naranja por activación química. Caracterización física y química.

de 10 horas fue tomado de las investigaciones antecedentes en las cuales se menciona que el tiempo de residencia óptimo es de 10 horas.

Se preparó tres dosis del bioadsorbente no activado (3,0; 5,0 y 10,0 g); para el análisis por absorción atómica se requirió de un litro de muestra por cada análisis realizado, el tiempo de residencia fue de 10 horas; los análisis por absorción atómica se realizaron para tres metales: cobre, cadmio y manganeso incluyendo una muestra de línea base.

Las concentraciones de metales totales y disueltos se determinaron por el método de absorción atómica.

Se realizó la curva de calibración del equipo de absorción atómica de acuerdo a su protocolo, luego se realizó la lectura de las muestras preparadas, descritas anteriormente las que se pueden ver en resultados.

4.6. Procesamiento estadístico y análisis de datos

Se recolectó los datos en tablas Excel y fueron procesadas mediante el programa estadístico SPSS-22, realizando análisis de varianza (ANOVA) y la prueba post hoc (TUKEY) para determinar el tratamiento más efectivo con respecto a la reducción de los metales en las muestras de agua de la laguna Colquicocha, además, por tratarse de dos tratamientos diferentes de la cáscara de naranja se realizó el análisis de varianza para determinar el tratamiento más efectivo.

El Programa SPSS es un sistema global para el análisis de datos. SPSS puede adquirir datos de casi cualquier tipo de archivo y utilizarlos para generar informes

tabulares, gráficos y diagramas de distribuciones y tendencias, estadísticos descriptivos y análisis estadísticos complejos.

El modelo ANOVA es un método muy flexible que permite construir modelos estadísticos para el análisis de los datos experimentales cuyo valor ha sido constatado en muy diversas circunstancias. Básicamente es un procedimiento que permite dividir la varianza de la variable dependiente en dos o más componentes, cada uno de los cuales puede ser atribuido a una fuente (variable o factor) identificable.⁴⁵

El método de Tukey se utiliza en ANOVA para crear intervalos de confianza para todas las diferencias en parejas entre las medias de los niveles de los factores mientras controla la tasa de error por familia que especifique. Es importante considerar la tasa de error por familia cuando se realizan múltiples comparaciones debido a que la probabilidad de cometer un error tipo I para una serie de comparaciones es mayor que la tasa de error para cualquier comparación individual. Para contrapesar esta mayor tasa de error, el método de Tukey ajusta el nivel de confianza de cada intervalo individual, de modo que el nivel de confianza simultáneo resultante sea igual al valor que especifique.⁴⁶

⁴⁵ Apuntes de Análisis de varianza con SPSS 8.0. Ignacio Martín Tamayo pág. 25

⁴⁶ Soporte de Minitab 17. Revisado el 16-09-2016. <http://support.minitab.com/es-mx/minitab/17/topic-library/modeling-statistics/anova/multiple-comparisons/what-is-tukey-s-method/>

V. RESULTADOS

El análisis de parámetros de campo fue tomado el 02 de diciembre del 2014 – 9:00 a.m. los parámetros de campo del agua de la laguna Colquicocha fueron: pH = 7,5 y T° = 7°C.

De la recolección de datos se obtuvo los siguientes resultados:

A. Análisis de metales totales – con cascara de naranja activada

En los siguientes cuadros se presentan los resultados de los ensayos en los cuales se aplicó cáscara de naranja activada en las diferentes cantidades descritas anteriormente para determinar la reducción de Cu total, Cd total y Mn total en las muestras de agua de la laguna Colquicocha.

TABLA N° 5.1
RESULTADOS DEL PRIMER ENSAYO DE METALES TOTALES (PPM)

Código de muestra	ENSAYO N°1		
	Cobre total	Cadmio total	Manganeso total
MC	0,03	0,05	6,822
M1	0,03	0,05	3,44
M2	0,01	0,03	3,37
M3	0,01	0,008	3,14
M4	0,02	0,02	3,5

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 5.2
RESULTADOS DEL SEGUNDO ENSAYO DE METALES
TOTALES (PPM)

ENSAYO N°2			
Código de muestra	Cobre total	Cadmio total	Manganeso total
MC	0,03	0,05	6,822
M1	0,03	0,04	3,45
M2	0,015	0,02	3,36
M3	0,01	0,009	3,23
M4	0,01	0,01	3,28

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 5.3
RESULTADOS DEL TERCER ENSAYO DE METALES
TOTALES (PPM)

ENSAYO N°3			
Código de muestra	Cobre total	Cadmio total	Manganeso total
MC	0,03	0,05	6,822
M1	0,01	0,05	3,44
M2	0,01	0,02	3,37
M3	0,01	0,008	3,14
M4	0,01	0,02	3,32

Fuente: Elaboración propia

LEYENDA

Leyenda	
MC	Muestra control
M1	Muestra con 1.5 g de cáscara de naranja activada
M2	Muestra con 3 g de cáscara de naranja activada
M3	Muestra con 5 g de cáscara de naranja activada
M4	Muestra con 10 g de cáscara de naranja activada

Fuente: Elaboración propia

B. Análisis de metales disueltos – con cascara de naranja activada

En los siguientes cuadros se presentan los resultados de los ensayos en los cuales se aplicó cáscara de naranja activada en diferentes cantidades para determinar la reducción de Cu disuelto, Cd disuelto y Mn disuelto en las muestras de agua de la laguna Colquicocha.

TABLA N° 5.4
RESULTADOS DEL PRIMER ENSAYO DE METALES DISUELTOS (PPM)

ENSAYO N°1			
Código de muestra	Cobre disuelto	Cadmio disuelto	Manganeso disuelto
MC	0,01	0,009	3,49
M1	0,01	0,009	3,34
M2	0,01	0,008	2,98
M3	0,01	0,006	2,75
M4	0,02	0,006	2,25

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 5.5
RESULTADOS DEL SEGUNDO ENSAYO DE METALES
DISUELTOS (PPM)

ENSAYO N°2			
Código de muestra	Cobre disuelto	Cadmio disuelto	Manganeso disuelto
MC	0,01	0,009	3,49
M1	0,01	0,009	3,34
M2	0,01	0,008	2,94
M3	0,01	0,005	2,7
M4	0,01	0,005	2,29

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 5.6
RESULTADOS DEL TERCER ENSAYO DE METALES
DISUELTOS (PPM)

ENSAYO N°3			
Código de muestra	Cobre disuelto	Cadmio disuelto	Manganeso disuelto
MC	0,01	0,009	3,49
M1	0,01	0,009	3,36
M2	0,01	0,009	2,92
M3	0,01	0,005	2,72
M4	0,01	0,006	2,32

Fuente: Elaboración propia

LEYENDA

Leyenda	
MC	Muestra control
M1	Muestra con 1.5 g de cáscara de naranja activada
M2	Muestra con 3 g de cáscara de naranja activada
M3	Muestra con 5 g de cáscara de naranja activada
M4	Muestra con 10 g de cáscara de naranja activada

Fuente: Elaboración propia

C. Análisis de metales totales – con cascara de naranja sin activar

En los siguientes cuadros se presentan los resultados de los ensayos en los cuales se aplicó cáscara de naranja seca (sin activar) en las diferentes cantidades descritas anteriormente para determinar la reducción de Cu total, Cd total y Mn total en las muestras de agua de la laguna Colquicocha.

TABLA N° 5.7
RESULTADOS DEL PRIMER ENSAYO DE METALES TOTALES (PPM)

ENSAYO N°1			
Código de muestra	Cobre total	Cadmio total	Manganeso total
MC	0,03	0,05	6,822
M1	0,02	0,05	6,69
M2	0,02	0,01	6,54
M3	0,02	0,02	6,39

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 5.8
RESULTADOS DEL SEGUNDO ENSAYO DE METALES TOTALES (PPM)

ENSAYO N°2			
Código de muestra	Cobre total	Cadmio total	Manganeso total
MC	0,03	0,05	6,822
M1	0,03	0,05	6,58
M2	0,02	0,009	6,46
M3	0,02	0,01	6,64

Fuente: elaboración propia

TABLA N° 5.9
RESULTADOS DEL TERCER ENSAYO DE METALES
TOTALES (PPM)

ENSAYO N°3			
Código de muestra	Cobre total	Cadmio total	Manganeso total
MC	0,03	0,05	6,822
M1	0,03	0,048	6,71
M2	0,02	0,012	6,42
M3	0,02	0,025	6,59

Fuente: Elaboración propia

LEYENDA

Leyenda	
MC	Muestra control
M1	Muestra con 3 g de cáscara de naranja sin activar
M2	Muestra con 5 g de cáscara de naranja sin activar
M3	Muestra con 10 g de cáscara de naranja sin activar

Fuente: Elaboración propia

D. Análisis de metales disuelto – con cascara de naranja sin activar

En los siguientes cuadros se presentan los resultados de los ensayos en los cuales se aplicó cáscara de naranja seca (sin activar) en diferentes cantidades para determinar la reducción de Cu disuelto, Cd disuelto y Mn disuelto en las muestras de agua de la laguna Colquicocha.

TABLA N° 5.10
RESULTADOS DEL PRIMER ENSAYO DE METALES DISUELTOS (PPM)

ENSAYO N°1			
Código de muestra	Cobre disuelto	Cadmio disuelto	Manganeso disuelto
MC	0,01	0,009	6,87
M1	0,01	0,009	6,51
M2	0,01	0,008	6,29
M3	0,01	0,008	5,5

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 5.11
RESULTADOS DEL SEGUNDO ENSAYO DE METALES DISUELTOS (PPM)

ENSAYO N°2			
Código de muestra	Cobre disuelto	Cadmio disuelto	Manganeso disuelto
MC	0,01	0,009	6,87
M1	0,01	0,009	6,5
M2	0,01	0,007	6,27
M3	0,01	0,009	5,52

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 5.12
RESULTADOS DEL TERCER ENSAYO DE METALES DISUELTOS (PPM)

ENSAYO N°3			
Código de muestra	Cobre disuelto	Cadmio disuelto	Manganeso disuelto
MC	0,01	0,009	6,87
M1	0,01	0,009	6,5
M2	0,01	0,008	6,26
M3	0,01	0,009	5,53

Fuente: Elaboración propia

LEYENDA

Leyenda	
MC	Muestra control
M1	Muestra con 3 g de cáscara de naranja molida
M2	Muestra con 5 g de cáscara de naranja molida
M3	Muestra con 10 g de cáscara de naranja molida

Fuente: Elaboración propia

Al procesar los datos con las herramientas estadísticas antes descritas, los resultados fueron:

TABLA N° 5.13
RESULTADOS DE COBRE TOTAL POR ABSORCIÓN ATÓMICA

Código de muestra	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
MC	0,03	0,03	0,03
M1	0,03	0,03	0,01
M2	0,01	0,015	0,01
M3	0,01	0,01	0,01
M4	0,02	0,01	0,01

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 5.14
ANÁLISIS ESTADÍSTICO ANOVA PARA COBRE TOTAL

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	0,001	4	0	6,381	0,008
Intra-grupos	0	10	0		
Total	0,001	14			

Fuente: Resultado estadístico Anova

Se puede apreciar que la prueba da un valor $p=0,008$; lo cual indica que hay diferencia significativa en los diferentes tratamientos (cantidades de cáscara de naranja).

Pruebas post hoc

Con esta prueba se identificará que pares son distintos y según los valores obtenidos se demuestra que es mejor o no. La prueba post hoc permite evaluar entre que pares de tratamiento existen diferencia significativa. El valor de comparación siempre es para alfa igual a 0,05. Cualquier valor inferior a este indica que las diferencias son significativas (resaltados en color amarillo).

TABLA N° 5.15
COMPARACIONES MÚLTIPLES

Cobre						
Variable dependiente:		2MT				
HSD de Tukey						
(I) NUM_MT2	(J) NUM_MT2	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza: 95%	
					Límite inferior	Límite superior
MC	M1	0,00667	0,00483	0,652	-0,0092	0,0226
	M2	0,01833	0,00483	0,023	0,0024	0,0342
	M3	0,2	0,00483	0,013	0,0041	0,0359
	M4	0,1667	0,00483	0,039	0,0008	0,0326
M1	MC	-0,00667	0,00483	0,652	-0,0226	0,0092
	M2	0,01167	0,00483	0,188	-0,0042	0,0276
	M3	0,01333	0,00483	0,113	-0,0026	0,0292
	M4	0,01	0,00483	0,303	-0,0059	0,0259
M2	MC	-0,01833	0,00483	0,023	-0,0342	-0,0024
	M1	-0,01167	0,00483	0,188	-0,0276	0,0042
	M3	0,00167	0,00483	0,996	-0,0142	0,0176
	M4	-0,00167	0,00483	0,996	-0,0176	0,0142
M3	MC	-0,02	0,00483	0,013	-0,0359	-0,0041
	M1	-0,01333	0,00483	0,113	-0,0292	0,0026
	M2	-0,00167	0,00483	0,996	-0,0176	0,0142
	M4	-0,00333	0,00483	0,954	-0,0192	0,0126
M4	MC	-0,01667	0,00483	0,039	-0,0326	-0,0008
	M1	-0,01	0,00483	0,303	-0,0259	0,0059
	M2	0,00167	0,00483	0,996	-0,0142	0,0176
	M3	0,00333	0,00483	0,954	-0,0126	0,0192

La diferencia de medias es significativa al nivel 0,05

Fuente: Resultado estadístico Anova

Se observa que hay una diferencia con M3 versus MC.

TABLA N° 5.16
 RESULTADOS DE CADMIO TOTAL POR ABSORCIÓN ATÓMICA

Código de muestra	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
MC	0,05	0,05	0,05
M1	0,05	0,04	0,05
M2	0,03	0,02	0,02
M3	0,008	0,009	0,008
M4	0,02	0,01	0,02

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 5.17
 ANÁLISIS ESTADÍSTICO ANOVA PARA CADMIO TOTAL

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	0,004	4	0,001	50,997	0
Intra-grupos	0	10	0		
Total	0,004	14			

Fuente: Resultado estadístico Anova

Se puede apreciar que la prueba da un valor p muy pequeño ($<0,05$); lo cual indica que hay diferencia significativa en los diferentes tratamientos (cantidades de cáscara de naranja aplicada a las muestras de agua).

Pruebas post hoc

Con esta prueba se identificará que pares son distintos y según los valores obtenidos se demuestra que es mejor o no. La prueba post hoc permite evaluar entre que pares de tratamiento existen diferencia significativa. El valor de comparación siempre es

para alfa igual a 0,05. Cualquier valor inferior a este indica que las diferencias son significativas (resaltados en color amarillo).

TABLA N° 5.18
COMPARACIONES MÚLTIPLES

Variable dependiente:		Cadmio 2MT				
HSD de Tukey						
(I) NUM_MT2	(J) NUM_MT2	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza: 95%	
					Límite inferior	Límite superior
MC	M1	0,00333	0,00366	0,886	-0,0087	0,0154
	M2	0,02667	0,00366	0	0,0146	0,0387
	M3	0,04167	0,00366	0	0,0296	0,0537
	M4	0,033333	0,00366	0	0,0213	0,0454
M1	MC	-0,003333	0,00366	0,886	-0,0154	0,0087
	M2	0,02333	0,00366	0,001	0,0113	0,0354
	M3	0,03833	0,00366	0	0,0263	0,0504
	M4	0,03	0,00366	0	0,018	0,042
M2	MC	-0,02667	0,00366	0	-0,0387	-0,0146
	M1	-0,02333	0,00366	0,001	-0,0354	-0,0113
	M3	0,015	0,00366	0,014	0,003	0,027
	M4	0,00667	0,00366	0,413	-0,0054	0,0187
M3	MC	-0,04167	0,00366	0	-0,0537	-0,0296
	M1	-0,03833	0,00366	0	-0,0504	-0,0263
	M2	-0,015	0,00366	0,014	-0,027	-0,003
	M4	-0,00833	0,00366	0,228	-0,0204	-0,0037
M4	MC	-0,03333	0,00366	0	-0,0454	-0,0213
	M1	-0,03	0,00366	0	-0,042	-0,018
	M2	-0,00667	0,00366	0,413	-0,0187	0,0054
	M3	0,00833	0,00366	0,228	-0,0037	0,0204

La diferencia de medias es significativa al nivel 0,05

Fuente: Resultado estadístico Anova

Se observa que hay una diferencia con M3 versus MC.

TABLA N° 5.19
RESULTADOS DE MANGANESO TOTAL POR ABSORCIÓN ATÓMICA

Código de muestra	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
MC	6,822	6,822	6,822
M1	3,44	3,45	3,44
M2	3,37	3,36	3,37
M3	3,14	3,23	3,14
M4	3,5	3,28	3,32

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 5.20
ANÁLISIS ESTADÍSTICO ANOVA PARA MANGANESO TOTAL

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	29,277	4	7,319	2217,953	0
Intra-grupos	0,033	10	0,003		
Total	29,31	14			

Fuente: Resultado estadístico Anova

Se puede apreciar que la prueba da un valor p muy pequeño ($<0,05$); lo cual indica que hay diferencia significativa en los diferentes tratamientos (cantidades de cáscara de naranja aplicada a las muestras de agua).

Pruebas post hoc

Con esta prueba se identificará que pares son distintos y según los valores obtenidos se demuestra que es mejor o no. La prueba post hoc permite evaluar entre que pares de tratamiento existen diferencia significativa. El valor de comparación siempre es

para alfa igual a 0,05. Cualquier valor inferior a este indica que las diferencias son significativas (resaltados en color amarillo).

TABLA N° 5.21
COMPARACIONES MÚLTIPLES

		Manganeso				
Variable dependiente:		2MT				
HSD de Tukey						
(I) NUM_MT 2	(J) NUM_MT 2	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza: 95%	
					Límite inferior	Límite superior
MC	M1	3,37867	0,0469	0	3,2243	3,533
	M2	3,45533	0,0469	0	3,301	3,6097
	M3	3,652	0,0469	0	3,4976	3,8064
	M4	3,45533	0,0469	0	3,301	3,6097
M1	MC	-3,37867	0,0469	0	-3,533	-3,2243
	M2	0,07667	0,0469	0,51	-0,0777	0,231
	M3	0,27333	0,0469	0,001	0,119	0,4277
	M4	0,07667	0,0469	0,51	-0,0777	0,231
M2	MC	-3,45533	0,0469	0	-3,6097	-3,301
	M1	-0,07667	0,0469	0,51	-0,231	0,0777
	M3	0,19667	0,0469	0,012	0,0423	0,351
	M4	0	0,0469	1	-0,1544	0,1544
M3	MC	-3,652	0,0469	0	-3,8064	-3,4976
	M1	-0,27333	0,0469	0,001	-0,4277	-0,119
	M2	-0,19667	0,0469	0,012	-0,351	-0,0423
	M4	-0,19667	0,0469	0,012	-0,351	-0,0423
M4	MC	-3,45533	0,0469	0	-3,6097	-3,301
	M1	-0,07667	0,0469	0,51	-0,231	0,0777
	M2	0	0,0469	1	-0,1544	0,1544
	M3	0,19667	0,0469	0,012	0,0423	0,351

La diferencia de medias es significativa al nivel 0,05

Fuente: Resultado estadístico Anova

Se observa que hay una diferencia con M3 versus MC.

TABLA N° 5.22
RESULTADOS DE COBRE DISUELTO POR ABSORCIÓN ATÓMICA

Código de muestra	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
MC	0,01	0,01	0,01
M1	0,01	0,01	0,01
M2	0,01	0,01	0,01
M3	0,01	0,01	0,01
M4	0,02	0,01	0,01

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 5.23
ANÁLISIS ESTADÍSTICO ANOVA PARA COBRE DISUELTO

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	0	4	0	1	0,452
Intra-grupos	0	10	0		
Total	0	14			

Fuente: Resultado estadístico Anova

Se puede apreciar que la prueba da un valor p es 0,452; ello cual indica que no existe diferencia significativa en los diferentes tratamientos (cantidades de cáscara de naranja aplicada a las muestras de agua).

Pruebas post ad hoc

Con esta prueba se identificará que pares son distintos y según los valores obtenidos se demuestra que es mejor o no. La prueba post hoc permite evaluar entre que pares de tratamiento existen diferencia significativa. El valor de comparación siempre es

para alfa igual a 0,05. Cualquier valor inferior a este indica que las diferencias son significativas (resaltados en color amarillo).

TABLA N° 5.24
COMPARACIONES MÚLTIPLES

Variable dependiente:		Cobre 2MD				
HSD de Tukey						
(I) NUM_MT2	(J) NUM_MT2	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza: 95%	
					Límite inferior	Límite superior
MC	M1	0	0,00211	1	-0,0069	0,0069
	M2	0	0,00211	1	-0,0069	0,0069
	M3	0	0,00211	1	-0,0069	0,0069
	M4	-0,00333	0,00211	0,539	-0,0103	0,0036
M1	MC	0	0,00211	1	-0,0069	0,0069
	M2	0	0,00211	1	-0,0069	0,0069
	M3	0	0,00211	1	-0,0069	0,0069
	M4	-0,00333	0,00211	0,539	-0,0103	0,0036
M2	MC	0	0,00211	1	-0,0069	0,0069
	M1	0	0,00211	1	-0,0069	0,0069
	M3	0	0,00211	1	-0,0069	0,0069
	M4	-0,00333	0,00211	0,539	-0,0103	0,0036
M3	MC	0	0,00211	1	-0,0069	0,0069
	M1	0	0,00211	1	-0,0069	0,0069
	M2	0	0,00211	1	-0,0069	0,0069
	M4	-0,00333	0,00211	0,539	-0,0103	0,0036
M4	MC	0,00333	0,00211	0,539	-0,0036	0,0103
	M1	0,00333	0,00211	0,539	-0,0036	0,0103
	M2	0,00333	0,00211	0,539	-0,0036	0,0103
	M3	0,00333	0,00211	0,539	-0,0036	0,0103

La diferencia de medias es significativa al nivel 0,05

Fuente: Resultado estadístico Anova

TABLA N° 5.25
RESULTADOS DE CADMIO DISUELTO POR ABSORCIÓN ATÓMICA

Código de muestra	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
MC	0,009	0,009	0,009
M1	0,009	0,009	0,009
M2	0,008	0,008	0,008
M3	0,006	0,005	0,005
M4	0,006	0,005	0,005

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 5.26
ANÁLISIS ESTADÍSTICO ANOVA PARA CADMIO DISUELTO

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	0	4	0	49,667	0
Intra-grupos	0	10	0		
Total	0	14			

Fuente: Resultado estadístico Anova

Se puede apreciar que la prueba da un valor p muy pequeño ($<0,05$); lo cual indica que hay diferencia significativa en los diferentes tratamientos (cantidades de cáscara de naranja aplicada a las muestras de agua).

Pruebas post hoc

Con esta prueba se identificará que pares son distintos y según los valores obtenidos se demuestra que es mejor o no. La prueba post hoc permite evaluar entre que pares de tratamiento existen diferencia significativa. El valor de comparación siempre es

para alfa igual a 0,05. Cualquier valor inferior a este indica que las diferencias son significativas (resaltados en color amarillo).

TABLA N° 5.27
COMPARACIONES MÚLTIPLES

Variable dependiente:		Cadmio 2MD				
HSD de Tukey						
(I) NUM_MT2	(J) NUM_MT2	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza: 95%	
					Límite inferior	Límite superior
MC	M1	0	0,00037	1	-0,0012	0,0012
	M2	0,00067	0,00037	0,411	-0,0005	0,0019
	M3	0,00367	0,00037	0	0,0025	0,0049
	M4	0,00333	0,00037	0	0,0021	0,0045
M1	MC	0	0,00037	1	-0,0012	0,0012
	M2	0,00067	0,00037	0,411	-0,0005	0,0019
	M3	0,00367	0,00037	0	0,0025	0,0049
	M4	0,00333	0,00037	0	0,0021	0,0045
M2	MC	-0,00067	0,00037	0,411	-0,0019	0,0005
	M1	-0,00067	0,00037	0,411	-0,0019	0,0005
	M3	0,003	0,00037	0	0,0018	0,0042
	M4	0,00267	0,00037	0	0,0015	0,0039
M3	MC	-0,00367	0,00037	0	-0,0049	-0,0025
	M1	-0,00367	0,00037	0	-0,0049	-0,0025
	M2	0,003	0,00037	0	-0,0042	-0,0018
	M4	-0,00033	0,00037	0,886	-0,0015	0,0009
M4	MC	-0,00333	0,00037	0	-0,0045	-0,0021
	M1	-0,00333	0,00037	0	-0,0045	-0,0021
	M2	-0,00267	0,00037	0	-0,0039	-0,0015
	M3	0,00033	0,00037	0,886	-0,0009	0,0015

La diferencia de medias es significativa al nivel 0,05

Fuente: Resultado estadístico Anova

Se observa que hay una diferencia con M3 versus MC.

TABLA N° 5.28
RESULTADOS DE MANGANESO DISUELTO POR ABSORCIÓN ATÓMICA

Código de muestra	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
MC	3,49	3,49	3,49
M1	3,34	3,34	3,36
M2	2,98	2,94	2,92
M3	2,75	2,7	2,72
M4	2,25	2,29	2,32

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 5.29
ANÁLISIS ESTADÍSTICO ANOVA PARA MANGANESO DISUELTO

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	2,82	4	0,705	1201,665	0
Intra-grupos	0,006	10	0,001		
Total	2,826	14			

Fuente: Resultado estadístico Anova

Se puede apreciar que la prueba da un valor p muy pequeño ($<0,05$); lo cual indica que hay diferencia significativa en los diferentes tratamientos (cantidades de cáscara de naranja aplicada a las muestras de agua).

Pruebas post hoc

Con esta prueba se identificará que pares son distintos y según los valores obtenidos se demuestra que es mejor o no. La prueba post hoc permite evaluar entre que pares de tratamiento existen diferencia significativa. El valor de comparación siempre es

para alfa igual a 0,05. Cualquier valor inferior a este indica que las diferencias son significativas (resaltados en color amarillo).

TABLA N° 5.30
COMPARACIONES MÚLTIPLES

Variable dependiente:		Manganeso				
HSD de Tukey		2MD				
(I) NUM_MT2	(J) NUM_MT2	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza: 95%	
					Límite inferior	Límite superior
MC	M1	0,14333	0,01978	0	0,0782	0,2084
	M2	0,54333	0,01978	0	0,4782	0,6084
	M3	0,76667	0,01978	0	0,7016	0,8318
	M4	1,20333	0,01978	0	1,1382	1,2684
M1	MC	-0,14444	0,01978	0	-0,2084	-0,782
	M2	0,4	0,01978	0	0,3349	0,4651
	M3	0,62333	0,01978	0	0,5582	0,6884
	M4	1,06	0,01978	0	0,9949	1,1251
M2	MC	-0,54333	0,01978	0	0,6084	-0,4782
	M1	-0,4	0,01978	0	-0,4651	-0,3349
	M3	0,22333	0,01978	0	0,1582	0,2884
	M4	0,66	0,01978	0	0,5949	0,7251
M3	MC	-0,76667	0,01978	0	-0,8318	-0,7016
	M1	-0,62333	0,01978	0	-0,6884	-0,5582
	M2	-0,22333	0,01978	0	-0,2884	0,1582
	M4	0,43667	0,01978	0	0,3716	0,5018
M4	MC	-1,20333	0,01978	0	-1,2684	-1,1382
	M1	-1,06	0,01978	0	-1,1251	-0,9949
	M2	-0,66	0,01978	0	-0,7251	-0,5949
	M3	-0,43667	0,01978	0	-0,5018	-0,3716

La diferencia de medias es significativa al nivel 0,05

Fuente: Resultado estadístico Anova

Se observa que hay una diferencia con M3 y M4 versus MC.

TABLA N° 5.31
RESULTADOS DE COBRE TOTAL POR ABSORCIÓN ATÓMICA

Código de muestra	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
MC	0,03	0,03	0,03
M1	0,02	0,03	0,03
M2	0,02	0,02	0,02
M3	0,02	0,02	0,02

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 5.32
ANÁLISIS ESTADÍSTICO ANOVA PARA COBRE TOTAL

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	0	3	0	9	0,006
Intra-grupos	0	8	0		
Total	0	11			

Fuente: Resultado estadístico Anova

Se puede apreciar que la prueba da un valor $p=0,006$; lo cual indica que hay diferencia significativa en los diferentes tratamientos (cantidades de cáscara de naranja aplicada a las muestras de agua).

Pruebas post hoc

Con esta prueba se identificará que pares son distintos y según los valores obtenidos se demuestra que es mejor o no. La prueba post hoc permite evaluar entre que pares de tratamiento existen diferencia significativa. El valor de comparación siempre es

para alfa igual a 0,05. Cualquier valor inferior a este indica que las diferencias son significativas (resaltados en color amarillo).

TABLA N° 5.33
COMPARACIONES MÚLTIPLES

Variable dependiente:		Cobre				
HSD de Tukey		2MT				
(I) NUM_MT2	(J) NUM_MT2	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza: 95%	
					Límite inferior	Límite superior
MC	M1	0,00333	0,00236	0,525	-0,0042	0,0109
	M2	0,01	0,00236	0,012	0,0025	0,0175
	M3	0,01	0,00236	0,012	0,0025	0,0175
M1	MC	-0,00333	0,00236	0,525	-0,0109	0,0042
	M2	0,00667	0,00236	0,085	-0,0009	0,0142
	M3	0,00667	0,00236	0,085	-0,0009	0,0142
M2	MC	-0,1	0,00236	0,012	-0,175	-0,0025
	M1	-0,00667	0,00236	0,085	-0,0142	0,0009
	M3	0	0,00236	1	-0,0075	0,0075
M3	MC	-0,01	0,00236	0,012	-0,0175	-0,0025
	M1	-0,00667	0,00236	0,085	-0,0142	0,0009
	M2	0	0,00236	1	-0,0075	0,0075

La diferencia de medias es significativa al nivel 0,05

Fuente: Resultado estadístico Anova

Se observa que hay una diferencia con M2 y M3 versus MC.

TABLA N° 5.34
RESULTADOS DE CADMIO TOTAL POR ABSORCIÓN ATÓMICA

Código de muestra	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
MC	0,05	0,05	0,05
M1	0,05	0,05	0,048
M2	0,01	0,009	0,012
M3	0,02	0,01	0,025

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 5.35
ANÁLISIS ESTADÍSTICO ANOVA PARA CADMIO TOTAL

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	0,004	3	0,001	82,624	0
Intra-grupos	0	8	0		
Total	0,004	11			

Fuente: Resultado estadístico Anova

Se puede apreciar que la prueba da un valor p muy pequeño ($<0,05$); lo cual indica que hay diferencia significativa en los diferentes tratamientos (cantidades de cáscara de naranja aplicada a las muestras de agua).

Pruebas post hoc

Con esta prueba se identificará que pares son distintos y según los valores obtenidos se demuestra que es mejor o no. La prueba post hoc permite evaluar entre que pares de tratamiento existen diferencia significativa. El valor de comparación siempre es

para alfa igual a 0,05. Cualquier valor inferior a este indica que las diferencias son significativas (resaltados en color amarillo).

TABLA N° 5.36
COMPARACIONES MÚLTIPLES

Variable dependiente:		Cadmio 3MT				
HSD de Tukey						
(I) NUM_MT2	(J) NUM_MT2	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza: 95%	
					Límite inferior	Límite superior
MC	M1	0,00067	0,00321	0,997	-0,0096	0,011
	M2	0,03967	0,00321	0	0,0294	0,05
	M3	0,03167	0,00321	0	0,0214	0,42
M1	MC	-0,00067	0,00321	0,997	-0,011	0,0096
	M2	0,039	0,00321	0	0,0287	0,0493
	M3	0,031	0,00321	0	0,0207	0,0413
M2	MC	-0,03967	0,00321	0	-0,05	-0,0294
	M1	-0,039	0,00321	0	-0,0493	-0,0287
	M3	-0,008	0,00321	0,137	-0,0183	0,0023
M3	MC	-0,03167	0,00321	0	-0,042	-0,0214
	M1	-0,031	0,00321	0	-0,0413	-0,0207
	M2	0,008	0,00321	0,137	-0,0023	0,0183

La diferencia de medias es significativa al nivel 0,05

Fuente: Resultado estadístico Anova

Se observa que hay una diferencia con M2 y M3 versus MC.

TABLA N° 5.37
 RESULTADOS DE MANGANESO TOTAL POR ABSORCIÓN ATÓMICA

Código de muestra	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
MC	6,822	6,822	6,822
M1	6,69	6,58	6,71
M2	6,54	6,46	6,42
M3	6,39	6,64	6,59

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 5.38
 ANÁLISIS ESTADÍSTICO ANOVA PARA MANGANESO TOTAL

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	0,211	3	0,07	10,754	0,004
Intra-grupos	0,052	8	0,007		
Total	0,263	11			

Fuente: Resultado estadístico Anova

Se puede apreciar que la prueba da un valor $p=0,004$; lo cual indica que hay diferencia significativa en los diferentes tratamientos (cantidades de cáscara de naranja aplicada a las muestras de agua).

Pruebas post hoc

Con esta prueba se identificará que pares son distintos y según los valores obtenidos se demuestra que es mejor o no. La prueba post hoc permite evaluar entre que pares de tratamiento existen diferencia significativa. El valor de comparación siempre es

para alfa igual a 0,05. Cualquier valor inferior a este indica que las diferencias son significativas (resaltados en color amarillo).

TABLA N° 5.39
COMPARACIONES MÚLTIPLES

Manganeso						
Variable dependiente: 3MT						
HSD de Tukey						
(I) NUM_MT2	(J) NUM_MT2	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza: 95%	
					Límite inferior	Límite superior
MC	M1	0,162	0,066	0,143	-0,0493	0,3733
	M2	0,34867	0,066	0,003	0,1373	0,56
	M3	0,282	0,066	0,012	0,0707	0,4933
M1	MC	-0,162	0,066	0,143	-0,3733	0,0493
	M2	0,18667	0,066	0,085	-0,0247	0,398
	M3	0,12	0,066	0,332	-0,0913	0,3313
M2	MC	-0,34867	0,066	0,003	-0,56	-0,1373
	M1	-0,18667	0,066	0,085	-0,398	0,0247
	M3	-0,06667	0,066	0,748	-0,278	0,1447
M3	MC	-0,282	0,066	0,12	-0,4933	-0,0707
	M1	-0,12	0,066	0,332	-0,3313	0,0913
	M2	0,06667	0,066	0,748	-0,1447	0,278

La diferencia de medias es significativa al nivel 0,05

Fuente: Resultado estadístico Anova

Se observa que hay una diferencia con M2 versus MC.

TABLA N° 5.40
RESULTADOS DE COBRE DISUELTO POR ABSORCIÓN ATÓMICA

Código de muestra	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
MC	0,01	0,01	0,01
M1	0,01	0,01	0,01
M2	0,01	0,01	0,01
M3	0,01	0,01	0,01

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 5.41
ANÁLISIS ESTADÍSTICO ANOVA PARA COBRE DISUELTO

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	0	3	0		
Intra-grupos	0	8	0		
Total	0	11			

Fuente: Resultado estadístico Anova

No se evidencia ningún tipo de diferencia ya que todos los valores son iguales (0,01)

TABLA N° 5.42
RESULTADOS DE CADMIO DISUELTO POR ABSORCIÓN ATÓMICA

Código de muestra	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
MC	0,009	0,009	0,009
M1	0,009	0,009	0,009
M2	0,008	0,007	0,008
M3	0,008	0,009	0,009

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 5.43
ANÁLISIS ESTADÍSTICO ANOVA PARA CADMIO DISUELTO

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	0	3	0	7,167	0,012
Intra-grupos	0	8	0		
Total	0	11			

Fuente: Resultado estadístico Anova

Se puede apreciar que la prueba da un valor $p=0,012$; lo cual indica que hay diferencia significativa en los diferentes tratamientos (cantidades de cáscara de naranja aplicada a las muestras de agua).

Pruebas post hoc

Con esta prueba se identificará que pares son distintos y según los valores obtenidos se demuestra que es mejor o no. La prueba post hoc permite evaluar entre que pares de tratamiento existen diferencia significativa. El valor de comparación siempre es para alfa igual a 0,05. Cualquier valor inferior a este indica que las diferencias son significativas (resaltados en color amarillo).

TABLA N° 5.44
COMPARACIONES MÚLTIPLES

Cadmio						
Variable dependiente:		3MD				
HSD de Tukey						
(I) NUM_MT 2	(J) NUM_MT2	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza: 95%	
					Límite inferior	Límite superior
MC	M1	0	0,00033	1	-0,0011	0,0011
	M2	0,00133	0,00033	0,017	0,0003	0,0024
	M3	0,00033	0,00033	0,754	-0,0007	0,0014
M1	MC	0	0,00033	1	-0,0011	0,0011
	M2	0,00133	0,00033	0,017	0,003	0,0024
	M3	0,00033	0,00033	0,754	-0,0007	0,0014
M2	MC	-0,00133	0,00033	0,017	-0,0024	-0,0003
	M1	-0,00133	0,00033	0,017	-0,0024	-0,0003
	M3	-0,001	0,00033	0,067	-0,0021	0,0001
M3	MC	-0,00033	0,00033	0,754	-0,0014	0,0007
	M1	-0,00033	0,00033	0,754	-0,0014	0,0007
	M2	0,001	0,00033	0,067	-0,0001	0,0021

La diferencia de medias es significativa al nivel 0,05

Fuente: Resultado estadístico Anova

Se observa que hay una diferencia con M2 versus MC.

TABLA N° 5.45
RESULTADOS DE MANGANESO DISUELTO POR ABSORCIÓN ATÓMICA

Código de muestra	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
MC	6,87	6,87	6,87
M1	6,51	6,5	6,5
M2	6,29	6,27	6,26
M3	5,5	5,52	5,53

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 5.46
ANÁLISIS ESTADÍSTICO ANOVA PARA MANGANESO DISUELTO

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	2,941	3	0,98	7841,844	0
Intra-grupos	0,001	8	0		
Total	2,942	11			

Fuente: Resultado estadístico Anova

Se puede apreciar que la prueba da un valor p muy pequeño ($<0,05$); lo cual indica que hay diferencia significativa en los diferentes tratamientos (cantidades de cáscara de naranja aplicada a las muestras de agua).

Pruebas post hoc

Con esta prueba se identificará que pares son distintos y según los valores obtenidos se demuestra que es mejor o no. La prueba post hoc permite evaluar entre que pares de tratamiento existen diferencia significativa. El valor de comparación siempre es para alfa igual a 0,05. Cualquier valor inferior a este indica que las diferencias son significativas (resaltados en color amarillo).

TABLA N° 5.47
COMPARACIONES MÚLTIPLES

Manganeso 3MD						
Variable dependiente: HSD de Tukey						
(I) NUM_MT2	(J) NUM_MT2	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza: 95%	
					Límite inferior	Límite superior
MC	M1	0,36667	0,00913	0	0,3374	0,3959
	M2	0,59667	0,00913	0	0,5674	0,6259
	M3	1,35333	0,00913	0	1,3241	1,3826
M1	MC	-0,36667	0,00913	0	-0,3959	-0,3374
	M2	0,23	0,00913	0	0,2008	0,2592
	M3	0,98667	0,00913	0	0,9574	1,0159
M2	MC	-0,59667	0,00913	0	-0,6259	-0,5674
	M1	-0,23	0,00913	0	-0,2592	-0,2008
	M3	0,75667	0,00913	0	0,7274	0,7859
M3	MC	-1,35333	0,00913	0	-1,3826	-1,3241
	M1	-0,98667	0,00913	0	-1,0159	-0,9574
	M2	-0,75667	0,00913	0	-0,7859	-0,7274

La diferencia de medias es significativa al nivel 0,05

Fuente: Resultado estadístico Anova

Se observa que hay una diferencia con M3 versus MC.

TABLA N° 5.48
MEJORES RESULTADOS OBTENIDOS CON 5g. DE CÁSCARA DE NARANJA

Código de muestra	Cu (ppm)	Cd (ppm)	Mn (ppm)
Cáscara de naranja activada	0,02	0,042	3.682
Cáscara de naranja sin activar	0,01	0,041	0,432

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 5.49
 PORCENTAJES DE REDUCCIÓN OBTENIDOS CON 5g. DE CÁSCARA DE
 NARANJA

Código de muestra	Cu	Cd	Mn
Cáscara de naranja activada	66,67 %	84,00 %	53,97 %
Cáscara de naranja sin activar	33,33 %	82,00 %	6,33 %

Fuente: Elaboración propia

De las interpretaciones del análisis estadístico se tiene:

A. Resultados del análisis para metales totales con cascara de naranja activada:

(Véase la tabla N° 4.6.3, en la página 71)

Se observa que para el elemento cobre hay una diferencia con M3 versus MC, la mayor diferencia significativa se observa para la cantidad de cascara de naranja M3 = 5 g.

(Véase la tabla N° 4.6.6, en la página 73)

Se observa que para el elemento cadmio hay una diferencia con M3 versus MC, la mayor diferencia significativa se observa para la cantidad de cascara de naranja M3 = 5 g.

(Véase la tabla N° 4.6.9, en la página 75)

Se observa que para el elemento manganeso hay una diferencia con M3 versus MC, la mayor diferencia significativa se observa para la cantidad de cascara de naranja M3 = 5 g.

B. Resultados del análisis para metales disueltos con cascara de naranja activada:

(Véase la tabla N° 4.6.12, en la página 77)

Se observa que para el elemento cobre no hay una diferencia, la cascara de naranja activada significativamente no adsorbe.

(Véase la tabla N° 4.6.15, en la página 80)

Se observa que para el elemento cadmio hay una diferencia con M3 versus MC, la mayor diferencia significativa se observa para la cantidad de cascara de naranja M3 = 5 g.

(Véase la tabla N° 4.6.18, en la página 82)

Se observa que para el elemento manganeso hay una diferencia con M3 y M4 versus MC, la mayor diferencia significativa se observa para las cantidades de cascara de naranja M3 = 5 g y M4=10 g, por costo se prefiere M3.

C. Resultados del análisis para metales totales con cascara de naranja sin activar:

(Véase la tabla N° 4.6.21, en la página 84)

Se observa que para el elemento cobre hay una diferencia con M2 y M3 versus MC, no hay diferencia entre M2 y M3 que por costo se prefiere M2= 5g.

(Véase la tabla N° 4.6.24, en la página 86)

Se observa que para el elemento cadmio hay una diferencia con M2 y M3 versus MC, no hay diferencia entre M2 y M3, por costo se prefiere M2= 5g.

(Véase la tabla N° 4.6.27, en la página 88)

Se observa que para el elemento manganeso hay una diferencia con M2 versus MC, por lo que M2 = 5g.

D. Resultados del análisis para metales disueltos con cascara de naranja sin activar:

(Véase la tabla N° 4.6.29, en la página 89)

Para el elemento cobre no se evidencia ningún tipo de diferencia ya que todos los valores son iguales (0,01).

(Véase la tabla N° 4.6.32, en la página 91)

Se observa que para el elemento cadmio hay una diferencia con M2 versus MC, por lo que $M2 = 5g$.

(Véase la tabla N° 4.6.35, en la página 93)

Se observa que para el elemento manganeso hay una diferencia con M3 versus MC, por lo que $M3 = 10g$.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación de hipótesis con los resultados

De acuerdo a los resultados obtenidos en los resultados de monitoreo para el agua de la laguna Colquicocha a la cual se le agregó cáscara de naranja, podemos demostrar la capacidad de bioadsorción de la misma. Ésta capacidad a la vez varía de acuerdo al tratamiento que recibió la cáscara de naranja. Podemos demostrar a través de los resultados lo siguiente:

1. Los mejores resultados de bioadsorción se han obtenido con la cáscara de naranja activada.
2. La capacidad de bioadsorción de la cáscara de naranja es mayor para los metales totales y menor para los metales disueltos.
3. La dosificación óptima de cáscara de naranja para 1L de agua de la laguna Colquicocha es de 5g de cáscara de naranja activada.
4. Se consiguió una reducción de hasta 0,02 ppm para el cobre total.
5. Se consiguió una reducción de hasta 0,042 ppm para el cadmio total.
6. Se consiguió una reducción de hasta 3,682 ppm para el manganeso total.
7. Se consiguió una reducción de hasta 0,004 ppm para el cadmio disuelto.
8. Se consiguió una reducción de hasta 1,24 ppm para el manganeso disuelto.

6.2. Contratación de resultados con otros estudios similares

a) Evaluación del proceso de biosorción con cáscaras de naranja para la eliminación del colorante Lanazol Navy CE en aguas residuales de la industria textil⁴⁷.

De acuerdo a este estudio se pudo concluir “que por debajo de los 8 g/l de cáscara las remociones tienden a cero. A partir de 10 g/l las remociones son notorias y la máxima obtenida llegó a 74,5%”. Con lo cual podemos concluir que la bioadsorción es diferente según el tipo de medio en el cual se aplicará la cáscara de naranja, dado que en nuestro caso se utilizó para remover metales totales y disueltos de cobre cadmio y manganeso del agua de una laguna y tuvimos los mejores resultados a una concentración de 5 g/l a diferencia de los más de 10 g/l a los cuales se presentaron los mejores resultados para remoción de colorante Lanazol Navy CE.

b) Biosorción del plomo II con cáscara de naranja “citrus cinesis” pretratada. (Juan Carlos Muñoz Carpio) – Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

De acuerdo a las conclusiones de esta tesis se obtuvo una remoción de hasta el 95% de plomo II, un contraste mayor a lo obtenido en nuestra investigación

⁴⁷ Vargas Rodríguez, M., Cabañas Vargas D., Gamboa Marrufo, M. y Dominguez Benetton, X. – Evaluación del proceso de biosorción con cáscara de naranja para la eliminación del colorante comercial Lanazol NAVY CE en aguas residuales de la industria textil.

para el cobre, cadmio y manganeso a una concentración de 0,2 g para 50 ml de solución de Pb(II) a un pH óptimo de 5.

Es importante resaltar que en nuestra investigación no se pudo realizar un control de pH por tratarse de una laguna en la cual manipular el pH generaría condiciones adversas para la flora y fauna que la habitan. Es muy probable que también se pueda haber obtenido mejores resultados de remoción a pH menores. Por otro lado, y profundizando en la respuesta a este contraste debemos tener en cuenta los comentarios de los investigadores de España en la cual se menciona lo siguiente "...que la adsorción que tiene lugar debido a las fuerzas de Van der Waals se llama generalmente adsorción física. En estos casos, la molécula adsorbida no está fija en un lugar específico de la superficie, sino más bien está libre trasladándose dentro de la interfase. Esta adsorción, generalmente, predomina a temperaturas bajas. La adsorción de la mayoría de sustancias orgánicas en el agua con carbón activado se considera de naturaleza física". De nuestra investigación los tres elementos analizados presentan las siguientes electronegatividades Mn (1,55), Cd (1,69), Cu (1,90) mientras que el plomo presenta una electronegatividad de Pb (2,33). De ello podemos concluir que si el plomo hubiese formado parte del presente experimento no se habría tenido una remoción tan eficiente pues las fuerzas de Van Der Waals habrían seguido la siguiente afinidad: Cu>Cd>Mn>Pb. Al haber tenido nuestras muestras mayores cantidades de Mn y menores de Cu y Cd es la razón por la cual tuvimos mayor remoción del manganeso.

c) Influencia del pH en la bioadsorción de Cr(III) sobre cáscara de naranja:

Determinación de las condiciones de operación en proceso discontinuo

(Martha Lucía Pinzón – Bedoya, Angélica María Cardona Tamayo).

En la investigación se concluye que la cáscara de naranja es un excelente material bioadsorbente para la remoción de Cr (III) presentes en efluentes líquidos a concentración hasta de 100 ppm; además que la relación óptima sólido/líquido fue de 4 g/L, para adsorber Cr (III) presente en un efluente líquido a concentración de 100 ppm, el equilibrio del proceso se consiguió un máximo de extracción del metal de 61,4%, a un valor de pH 5 en un tiempo de 38 a 40 horas.

Nuevamente podemos apreciar que se ha tenido una mayor adsorción de cromo que la que obtuvimos con el manganeso; ello debido al tipo de activación realizada y la concentración inicial (100 ppm) en comparación a nuestra concentración inicial (6,88 ppm).

Una de las conclusiones de esta investigación refiere lo siguiente: “El proceso de adsorción de Cr (III) se ve afectado directamente por el pH; ya que, a valores bajos de pH, los iones hidrógeno compiten con los iones cromo por los sitios activos que aún se encuentran libres en el material bioadsorbente; competencia que disminuye a valores de pH cercanos a 7, valor a partir del cual los iones cromo tienen una mayor posibilidad de ser adsorbidos por la biomasa. Por lo tanto, los resultados de este estudio recomiendan llevar a cabo la extracción de Cr (III), con cáscara de naranja, a valores de pH 5 y de esta

forma garantizar que la competencia de los iones hidrógeno por los sitios activos del material es insignificante y que no existe precipitación del metal. De esta afirmación podemos concluir que en el caso del cromo el pH influye en la adsorción del metal, a mayor pH se proyecta una mayor adsorción; nuestra investigación no tuvo como alcance los ajustes pH por tratarse de un cuerpo de agua natural en la cual se desarrolla flora y fauna autóctona.

d) Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. –

Rosa Olivia Cañizares Villanueva – Departamento de biotecnología y bioingeniería. Centro de investigación y de estudios avanzados del instituto politécnico nacional – México D.F.

De acuerdo a las consideraciones generales y conclusiones de esta investigación se hace referencia a lo siguiente: “El desarrollo potencial de los sistemas microbianos para la recuperación de metales, depende de muchos factores que influyen la capacidad, eficiencia y selectividad del biosorbente, su facilidad de recuperación, su equivalencia con los tratamientos físicos y químicos actualmente en uso, así como su economía y tolerancia en contra de interferencias de otros componentes de los efluentes o de las condiciones de operación. Se ha sugerido que, para poder competir con las tecnologías existentes, las eficiencias de remoción tienen que ser $<99\%$ y sus capacidades de carga deben ser $>15 \text{ mg/g}$ ”; además en la investigación se hace referencia

a las adsorciones realizadas en metales pesados haciendo uso de *Pseudomonas aeruginosa*, *Rhizopus arrhizus*, *DP95Ca* (base de algas marinas).

Si bien no se puede realizar una comparación directa con nuestra investigación sí vemos una oportunidad de utilizar la biomasa microbiana como complemento al proceso de adsorción de la cáscara de naranja con la cual podemos incrementar la eficiencia de adsorción de Cadmio, cobre y manganeso.

En otra de las conclusiones de esta investigación se hace referencia a los siguiente: “Parece que el uso de biomasa muerta tiene ventajas sobre las células vivas; no es necesario adicionar nutrientes, resulta inmune a la toxicidad o a condiciones de operación adversas, la recuperación de los metales es más fácil por medio de tratamientos que permiten la regeneración de la biomasa y la propia masa puede obtenerse de manera más económica”; en ello nuevamente vemos que se sugiere utilizar materia orgánica muerta que en nuestro caso se trató de la cáscara de naranja, pero a todo ello se deben sumar las variables que ya hemos discutido con anterioridad como son: la electronegatividad de los metales, sus afinidades, los valores de pH óptimos, entre otros que aún deben ser analizados y son un tema de gran interés para futuras investigaciones en el extenso campo de la biosorción.

VII. CONCLUSIONES

- A) La bioadsorción de cobre, cadmio y manganeso con cáscara de naranja puede ser utilizado como un método de tratamiento para la remediación de la laguna Colquicocha.
- B) La reducción del cobre con cáscara de naranja en las aguas de la laguna Colquicocha sería hasta 0,02 mg/L con 5 g de cáscara de naranja activada representando una reducción del 66,67% con respecto a la concentración inicial.
- C) La reducción del cadmio con cáscara de naranja en las aguas de la laguna Colquicocha sería hasta 0,041 mg/L 5 g de cáscara de naranja activada representando una reducción del 84,00% con respecto a la concentración inicial.
- D) La reducción del manganeso con cáscara de naranja en las aguas de la laguna Colquicocha sería hasta 3,68 mg/L 5 g de cáscara de naranja activada representando una reducción del 53,97% con respecto a la concentración inicial.
- E) Los ensayos fueron realizados a un PH de 7.5 debido a que no es recomendable variar el PH en un cuerpo de agua natural, sin embargo, otras investigaciones han reportado mejores resultados a un PH de 5.
- F) Se demostró que existe mayor bioadsorción de metales totales en comparación a la bioadsorción de metales disueltos.

G) La bioadsorción de metales varía de acuerdo a las concentraciones iniciales de metales en la muestra, en nuestro caso la mayor bioadsorción fue para el manganeso que también presentó una concentración inicial mayor a los otros metales.

VIII. RECOMENDACIONES

- 1) Se deberá utilizar un método de tratamiento complementario para acelerar el proceso de remediación.
- 2) Debido a que los materiales orgánicos son diversos y cada uno posee propiedades y capacidades de adsorción diferentes, se recomienda experimentar con otros tipos de cáscara de frutas o biomásas bacterianas los cuales incluso podrían tener selectividad por adsorber ciertos metales específicos.
- 3) El presente método se basó en experiencias exitosas aplicadas en otras industrias, siendo este trabajo una aplicación a la actividad minera (quizás uno de los pioneros por no haberse encontrado antecedentes para este sector económico); por lo que se recomienda también experimentar con métodos y antecedentes para el tratamiento de agua orientado hacia el sector minero, ello debido a que es un sector en crecimiento y el cual requiere mayores alternativas y de preferencia con un costo de implementación bajo para adecuarse a la normatividad ambiental que se vuelva más rigurosa en nuestro país.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Aderhold D. Williams C. (1996) Removal of Heavy Metals Ions by Seaweed and Their Derivates". *Bioresearch Technology* 58, pp. 1-6.

Adsorción física. Recuperado el 20-2014 de:

<http://www.agua.uji.es/pdf/leccionHQ17.pdf>

Adsorción por intercambio. Recuperado el 20-2014 de:

<http://www.agua.uji.es/pdf/leccionHQ17.pdf>

Adsorción química. Recuperado el 20-2014 de:

<http://www.agua.uji.es/pdf/leccionHQ17.pdf>

Agua. Recuperado el 20-02-2014 de:

<http://www.profesorenlinea.cl/Quimica/AguaCaracterisFM.htm>

Alan L. Myers, (2004) *Thermodynamics of Adsorption*. Perteneciente a la publicación *Chemical Thermodynamics for Industry* - Ed. T.M. Letcher.

Alegsa (2010) *Definición de adsorción*. Santa Fe, Argentina.

Bohumil E. (1999) *Matheical of Lead (II) from aquions solutions by pretreated biomass of marine alga Durvillaea Potatorum*. *Water Research*, Vol 33, N°2, pp. 335-342.

Brierley J. Brierley C. (1987) *Treatment of Microorganisms with Alkaline solution to Enhace Metal uptake Properties*. U.S. Patent 4.

- Darnall D. Greene B. (1986) Selective Recovery of Gold and Other Metals Ions from Algae Biomass. *Environ. Sci. Tech* 20.
- Dronnet, V y Thibault, J. (1997) Binding of divalent metal cations by sugarbeet pulp. *American Chemical Society. Ser* 250, 34.
- Efectos de la Pectina. Recuperado el 20-02-2014 de:
<http://www.lalinaza.com/pectina.htm>
- Fernandez Zuñiga, G (1990) Estudio del proceso óptimo de extracción de aceite esencial y pectina de lima. (Tesis título Químico). Lima. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Flores J. (2003) Biosorción del ion cúprico con el biopolímero Quitosano nativo y modificado en forma de perlas y entrecruzado: Estudio de Equilibrio y Cinética. Tesis para optar el grado de Master en Ciencias con mención en Química Analítica, UNMSM.
- Fourest E. Roux J. (1992) Heavy Metal Biosorption by fungal mycelial byproduct: mechanism and influence of pH". *Appl. Microbiol. Biotechnology* 37.
- Fourest E. Volesky B. (1987) Alginate properties and heavy metal biosorption by marine algae". *Biochem. Biotechnol* 67, pp. 215-226.
- Fruz W. Merk W. (1981) Competitive adsorption of two dissolved organics onto activated carbon-II. Adsorption kinetics in batch reactors". *Chem. Engineering Sci.* 36.

- Guibal E. Jansson-Charrier M. Le Cloirec P. (1995) Enhancement of metal ion sorption performances of chitosan. Effect of the structure on the diffusion properties. *Langmuir* 11, pp. 591-598.
- Ho Y. Mac Kay G. (2000) The kinetics of sorption of divalent metal ions onto sphagnum moss peat water *Research* 34.
- Ho Y. Mac Kay G. (2000) The kinetics of sorption of divalent metal ions onto sphagnum moss peat. *Water Research* 34.
- Jansson M. Guibal E (1996) Vanadium (IV) Sorption by Chitosan: Kinetics and Equilibrium". *Water Research* 30, pp. 465-475.
- Jansson M. Guibal E. (1996) Vanadium (IV) Sorption by Chitosan: Kinetics and Equilibrium. *Water Research* 30.
- Kirchmer C. Arboleda J. (1986) Polímeros naturales y su aplicación como ayudantes de filtración CEPIS/OPS. Documento técnico N° 11.
- Lovley, DR (2003). Cleaning up with genomics: applying molecular biology to bioremediation. *Nature Reviews. Microbiology*. 1 (1): pp. 35 – 44.
- Luis Federico Sala (2010) Biosorción para la eliminación de metales pesados en aguas de desecho. Departamento de Química y Medio Ambiente. Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas, Universidad Nacional de Rosario. IQUIR-CONICET. Suipacha 531(2000) Rosario, Santa Fe. Argentina

Martínez Meza, Ramona Guadalupe et al (2011) Capacidad de Adsorción y Despojamiento de Cobre presente en Solución Acuosa, utilizando la Resina Quelante, DOWEX M-4195. Instituto de Ingeniería, Universidad de Baja California, México.

Metales pesados. Recuperado el 20-02-2014 de:

<https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/5503/1/MEMORIA.pdf>

Muñoz Carpio, Juan Carlos (2007) Biosorción de plomo (II) por cáscara de naranja "Citrus cinesis" pre tratada. Facultad de Química e Ingeniería Química. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.

Pectina. Recuperado el 20-02-2014 de: <http://www.lalinaza.com/pectina.htm>

Pérez Marín, Ana Belén (2009) Biosorción de Cadmio, Zinc y Plomo. Universidad de Murcia, Departamento de Ingeniería Química, Murcia. España.

Pinzón Bedoya, Martha Lucia y Cardona Tamayo Angélica María (2008) Caracterización de la cáscara de naranja para su uso como material bioadsorbente. Revista Bistua. Universidad Pamplona. Colombia

Regodón, J. A. (2007) Contaminación del agua: concepto, contaminantes y efectos. España.

Remediación. Recuperado el 20-02-2014 de:

<http://jcproyectosonline.com/site/biblioteca/mantenimientos/Remediación%20de%20agua%20y%20tierra%20contaminada.pdf>

Rombouts F y Thibault J. (1986) Sugar beet pectin: Chemical structure and gelation through oxidative coupling. In: Chemistry and Functions of Pectins. American Chemical Society. Ser 310.

Salas Peregrín, Juan Manuel (2010) Biosorción para la eliminación de metales pesados en aguas de desecho. Departamento de química inorgánica. Universidad de Granada. Granada, España. Real Sociedad Española de Química.

Schols, H. Voragen, A (1996) Pectin and pectinases". Progress in Biotechnology "Elsevier Science Vol 14. Amsterdam, 1996,

Tapia N (2002) Adsorción y Biosorción, mecanismo y principales modelos para describir el fenómeno de biosorción", Proyecto Palma PUCP, 3,5 y 6 de agosto.

Thibault J. Renard C. (1993) Studies of the length of homogalacturonic regions in pectins by acid hydrolysis". Carbohydr. Res. 283.

Townsley C. Atkins S. (1986) Biorecovery of Metallic Residues from Various Industrial Effluents Using Filamentous Fungi. Fundamental and Applied Biohydrometallurgy. Elsevier, Amsterdam.

Townsley C. Atkins S. (1986) Biorecovery of Metallic Residues from Various Industrial Effluents Using Filamentous Fungi. *Fundamental and Applied Biohydrometallurgy*. Elsevier, Amsterdam. Pp. 12-24

Vargas Rodriguez M. et al. (2009) Evaluación del proceso de biosorción con cáscaras de naranja para la eliminación del colorante comercial Lanazol Navy CE en aguas residuales de la industria textil. *Ingeniería revista académica*, Vol. 13, Núm. 3, septiembre-diciembre, 2009, pp. 39-43, Universidad Autónoma de Yucatán, México.

ANEXOS

1. Matriz de consistencia
2. Evidencias fotográficas

ANEXO I

Matriz de Consistencia. Bioadsorción de cobre, cadmio y manganeso con cáscara de naranja en las aguas de la laguna Colquicocha, provincia de Oyón.

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología
¿En qué medida la bioadsorción de cobre, cadmio y manganeso con cáscara de naranja ayuda a remediar las aguas de la laguna Colquicocha?	Demostrar la capacidad de bioadsorción de cobre, cadmio y manganeso con cáscara de naranja en las aguas de la laguna Colquicocha.	La bioadsorción de cobre, cadmio y manganeso con cáscara de naranja es favorable en las aguas de la laguna Colquicocha	X ₀ Independiente	X ₁ Bioadsorción de cobre	I ₁ Porcentaje de bioadsorción de cobre según cantidad de cáscara de naranja.	El tipo de investigación es: el aplicado. El diseño de investigación es el transversal Población: Laguna de Colquicocha. Muestra: 3 muestras. La recolección de datos se hará mediante fichas. Los datos recogidos se procesarán con el Excel. El análisis e interpretación de los resultados se hará mediante la estructura porcentual. La discusión se hará señalando los fundamentos teóricos y los resultados obtenidos.
					I ₂ Porcentaje de bioadsorción de cadmio con cáscara de naranja activada	
					I ₃ Porcentaje de bioadsorción de cobre con cáscara de naranja sin activar	
a) ¿Cuál es la capacidad de bioadsorción del cobre con cáscara de naranja en las aguas de la laguna Colquicocha?	a) Determinar la capacidad de bioadsorción del cobre con cáscara de naranja en las aguas de la laguna Colquicocha.	a) La bioadsorción de cobre con cáscara de naranja es favorable en las aguas de la laguna Colquicocha	Bioadsorción de cobre, cadmio y manganeso con cáscara de naranja	X ₂ Bioadsorción de cadmio	I ₁ Porcentaje de bioadsorción de cadmio según cantidad de cáscara de naranja.	
b) ¿Cuál es la capacidad de bioadsorción del cadmio con cáscara de naranja en las aguas de la laguna Colquicocha?	b) Determinar la capacidad de bioadsorción del cadmio con cáscara de naranja en las aguas de la laguna Colquicocha.	b) La bioadsorción de cadmio con cáscara de naranja es favorable en las aguas de la laguna Colquicocha.			I ₂ Porcentaje de bioadsorción de cadmio con cáscara de naranja activada	
c) ¿Cuál es la capacidad de bioadsorción del manganeso con cáscara de naranja en las aguas de la laguna Colquicocha?	c) Determinar la capacidad de bioadsorción del manganeso con cáscara de naranja en las aguas de la laguna Colquicocha.	c) La bioadsorción de manganeso con cáscara de naranja es favorable en las aguas de la laguna Colquicocha.			I ₃ Porcentaje de bioadsorción de cadmio con cáscara de naranja sin activar	
			Y ₀ Dependiente	X ₃ Bioadsorción de manganeso	I ₁ Porcentaje de bioadsorción de manganeso según cantidad de cáscara de naranja.	
					I ₂ Porcentaje de bioadsorción de manganeso con cáscara de naranja activada	
					I ₃ Porcentaje de bioadsorción de manganeso con cáscara de naranja sin activar	
			Las aguas de la laguna Colquicocha, provincia de Oyón.	Y ₁ Fases	I ₁ Reducción de Cu en las aguas	
					I ₂ Reducción de Cd en las aguas	
					I ₃ Reducción de Mn en las aguas	
					I ₄ Reducción final de Cu, Cd y Mn en las aguas	

ANEXO 2
PANEL FOTOGRAFICO



FIGURA 2.1: Toma de muestra en la laguna de Colquicocha



FIGURA 2.2: Trituración de la cascara de naranja



FIGURA 2.3 Secado de la cascara de naranja



FIGURA 2.4: Proceso de activación de la cascara de naranja

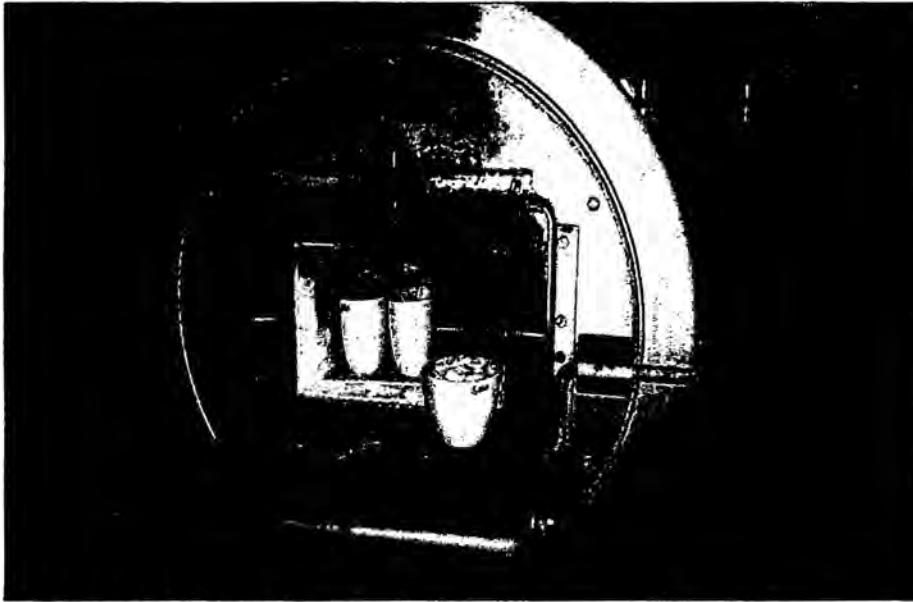


FIGURA 2.5 Proceso de carbonización de la cascara de naranja



FIGURA 2.6 Muestras al laboratorio para análisis ICP de metales y cianuro