

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN



CENTRO DE INVESTIGACIÓN:

**TECNOLOGIAS ECOLOGICAS RACIONALES PARA EL
TRATAMIENTO DE EFLUENTES**

CUARTO INFORME TRIMESTRAL

**“SISTEMA DE TRATAMIENTO FISICOQUIMICO PARA
LA REMOCION DEL CROMO EN EFLUENTES
INDUSTRIALES PARA SU DISPOSICIÓN FINAL”**

Docente Responsable: Dr Máximo Fidel Baca Neglia

Callao, 2019

PERÚ

INFORMACION BASICA

1. INFORME TRIMESTRAL N° 4
2. PERIODO: 1° de Octubre de 2019 al 31 de Diciembre de 2019
3. TITULO DE LA INVESTIGACIÓN: **“SISTEMA DE TRATAMIENTO FISICOQUIMICO PARA LA REMOCION DEL CROMO EN EFLUENTES INDUSTRIALES PARA SU DISPOSICIÓN FINAL”**
4. CENTRO DE INVESTIGACIÓN: Tecnologías ecológicas racionales para el tratamiento de efluentes.
5. PROFESOR RESPONSABLE: Dr. Máximo Fidel Baca Neglia - 1233
 - 5.1. CATEGORÍA: Asociado
 - 5.2. DEDICACIÓN: Tiempo Completo
 - 5.3. CONDICIÓN: Ordinario
6. PROFESORES PARTICIPANTES
 - 6.1. MARÍA TERESA VALDERRAMA ROJAS
 - 6.1.1. CATEGORIA: Principal
 - 6.1.2. DEDICACIÓN: Tiempo Completo
 - 6.1.3. CONDICIÓN: Ordinario
 - 6.2. JANET MAMANI RAMOS
 - 6.2.1. CATEGORIA: Auxiliar
 - 6.2.2. DEDICACIÓN: Tiempo Completo
 - 6.2.3. CONDICION: Ordinario
 - 6.3. JOSE PABLO RIVERA RODRIGUEZ
 - 6.3.1. CATEGORIA: Auxiliar
 - 6.3.2. DEDICACIÓN: Tiempo Parcial
 - 6.3.3. CONDICIÓN: Ordinario
 - 6.4. TEOFILO ALLENDE CCAHUANA
 - 6.4.1. CATEGORIA: Principal
 - 6.4.2. DEDICACIÓN: Tiempo Parcial

6.4.3. CONDICIÓN: Ordinario

6.5. ABNER JOSUE VIGO ROLDAN

6.5.1. CATEGORIA: Auxiliar

6.5.2. DEDICACIÓN: Tiempo Completo

6.5.3. CONDICIÓN: Ordinario

6.6. SERGIO LEYVA HARO

6.6.1. CATEGORIA: Asociado

6.6.2. DEDICACIÓN: Tiempo Completo

6.6.3. CONDICIÓN: Ordinario

7. ESTUDIANTES DE APOYO

7.1. ARCE HUAMANI FRANKLIN	-	46671044
7.2. CRUZ CHIROQUE IVÁN ANTHONY	-	47417106
7.3. GUISELA LIZETT CONDORI APAZA	-	44124178
7.4. DELGADO RUIZ HORACIO	-	41225537
7.5. JEAN PAUL SARCO INMENSO	-	10788316

INDICE

I.	INTRODUCCIÓN	05
II.	AVANCE DEL PROYECTO SEGÚN EL CRONOGRAMA	06
	2.1. Caracterización de los efluentes no domésticos a partir de muestras monitoreadas.	06
	2.2. Tratamiento fisicoquímico (PJ) de las muestras (puntuales y/o compuestas) de efluentes monitoreados, a pH de 2 unidades.	06
	2.2.1. Caracterización de las muestras de efluentes tratados en las PJ, a pH de 2 unidades.	07
	2.2.2. Determinación de la eficiencia de remoción de parámetros dentro de los VMA.	08
	2.3. Tratamiento fisicoquímico (PJ) de las muestras (puntuales y/o compuestas) de efluentes monitoreados, a pH de 11 unidades.	08
	2.3.1. Caracterización de las muestras de efluentes tratados en las PJ, a pH de 11 unidades.	09
	2.3.2. Determinación de la eficiencia de remoción de parámetros dentro de los VMA.	09
	2.4. Comentarios preliminares.	10
	2.5. Simulación con muestras puntuales en la planta.	11
	2.6. Esquema propuesto para el tratamiento de los efluentes.	13
III.	CONCLUSIONES RESPECTO AL AVANCE	15
V.	REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS	15
	ANEXOS	16
	Participación en la Semana de Ciencias 2019	17
	Paper: ESTUDIO DE LA BIOSORCIÓN DE CROMO (VI) CON QUITOSANO CUATERNARIO RETICULADO PARA SU APLICACIÓN EN BIORREMEDIACIÓN DE AGUAS CONTAMINADAS.	19
	Cronograma de Control de Avance	40

CUARTO INFORME TRIMESTRAL

I. INTRODUCCIÓN.-

El presente proyecto de investigación denominado “**SISTEMA DE TRATAMIENTO FISICOQUIMICO PARA LA REMOCION DEL CROMO EN EFLUENTES INDUSTRIALES PARA SU DISPOSICIÓN FINAL**”, en su Tercer Informe, se presentó los resultados del tratamiento fisicoquímico para la remoción del Cromo (Cr) del efluente industrial, acondicionando el pH del efluente a 2.00 unidades, con la finalidad de remover el Cr VI a Cr III, y posteriormente se elevó el pH a 11 unidades a fin de precipitar el Cr III y finalmente los efluentes una vez tratados puedan disponerse a la alcantarillado de la ciudad como punto de disposición final, para ello debe de cumplir con la normatividad vigente, como el referido al DS N° 021-2009-VIVIENDA del 20 de noviembre 2009, su Reglamento aprobado por DS N° 003-2011-VIVIENDA del 22 de mayo 2011 y la modificatoria del DS N° 021-2009-VIVIENDA, aprobada por DS N° 001-2015-VIVIENDA del 09 de enero del 2015.

Los efluentes industriales con alto contenido de metales específicamente el Cr (VI) y Cr total que se hallan contaminados por la presencia de este metal y que sin tratamiento no cumplen con los Valores Máximos Admisibles (VMA) aprobados por el DS N° 001-2015-VIVIENDA, son los provenientes de la Industrias del Cueros (curtido de pieles), Industrias Textiles (pigmento de color), Industrias de Recubrimiento Metálico (procesos electro galvánicos), Industria Químicas (fungicidas, anticorrosivos) entre otras.

Como se dijo, para nuestro caso hemos evaluado los efluentes de una industria galvánica, para ello, nos hemos puesto en contacto hasta con tres factorías industriales dos de las cuales se ubican en el Callao, tales como **JAHESA Aceros Inoxidables S.A.** e **Industrias del Zinc S. A.**, que nos han permitido la extracción de muestras puntuales y compuestas, cuyos resultados presentáramos en nuestros informes pasados.

II. AVANCE DEL PROYECTO SEGÚN CONOGRAMA.- Como resultado de los avances se dieron los siguientes resultados:

2.1. Caracterización de los efluentes no domésticos a partir de muestras monitoreadas.

Tabla 1
Característica del efluente en el colector principal

Parámetros	Resultado de Análisis de Colector General	Unidad	VMA DS N° 021-2009-VIVIENDA
DBO ₅	2500	mg/L	500
DQO	3944	mg/L	1000
Sólidos Totales en Suspensión	1085	mg/L	500
Cromo total	18.84	mg/L	10
Cromo hexavalente *	-	mg/L	0.5
Cobre total	24.34	mg/L	3
Plomo total	0.734	mg/L	0.5

Nota: * Modificatoria por DS N° 001-2015-VIVIENDA

2.2. Tratamiento fisicoquímico (PJ) de las muestras (puntuales y/o compuestas) de efluentes monitoreados, a pH de 2 unidades.

Protocolo de Prueba de Jarras:

- Equipo: Prueba de Jarras (1L de capacidad/jarra), Número de jarras por prueba 4 unidades;
- Velocidad de Mezcla rápida: 120 rpm;
- Tiempo de Mezcla rápida: 1min;
- Velocidad de Mezcla lenta: 30 rpm;
- Tiempo de Mezcla Lenta: 15 min;
- Tiempo de sedimentación: 20 min.

Reactivos utilizados:

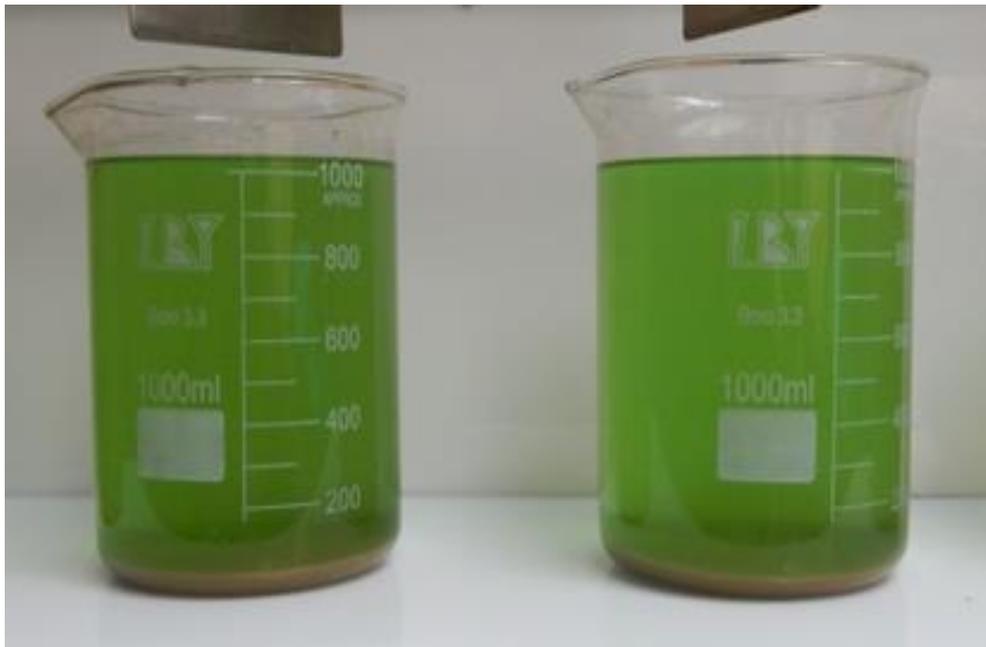
- Ácido Clorhídrico solución 1 N
- Sulfato de aluminio solución al 10%, (% en Vol.);
- Polielectrolito aniónico solución al 0.5 %, (% en peso);
- Polielectrolito Catiónico al 1%, (% en peso).

Dosis optima aplicada para análisis por laboratorio acreditado:

- Dosis de Ácido Clorhídrico: 5 ml/L
- Dosis de Sulfato de Aluminio Acido: 7 ml/L;
- Dosis de Polímero Catiónico: 20 ppm
- Dosis de Polímero Aniónico dosis: 4ppm

Resultado: Se observa en la Figura 2, y en la Tabla 2 el resultado de los análisis, mientras que en la tabla 3, se aprecia la eficiencia.

Figura 1



La figura muestra el afluente acidificado a pH 2.00 al concluir 25 minutos de sedimentación.

2.2.1. Caracterización de la muestra de efluentes tratados en las PJ, a pH de 2 unidades.

Tabla 2

Parámetro	Unidad	Inicial	Final
Turbiedad	NTU	680	7.0
pH	Unidades	4.5	2
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	40.6	7.1
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	183.6	62.3
Cromo Total	mg/L	11.57	8.6
Cobre total	mg/L	2.22	1.2
Plomo Total	mg/L	0.028	0.017

2.2.2. Determinación de la eficiencia de remoción de parámetros dentro de los VMA.

Tabla 3

Parámetro	% Remocional
Turbiedad	98.97
pH	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno	82.51
Demanda Química de Oxígeno	66.06
Cromo Total	25.66
Cobre total	45.94
Plomo Total	64.70

2.3. Tratamiento fisicoquímico (PJ) de las muestras (puntuales y/o compuestas) de efluentes monitoreados, a pH de 11 unidades.

Estas pruebas de jarras de simulación del tratamiento físico químico, se realizaron a partir del resultado de las pruebas anteriores que se trabajaron a pH 2.00, separado los sedimentos y elevar el pH a 11.00, con la dosis de soda caustica, seguida de la dosis de los polímeros catiónicos y aniónico, con el fin de reducir el Cromo VI a Cromo III.

Protocolo para las pruebas de jarras.- se continuó con el mismo protocolo utilizado para las pruebas a pH ácido (2.00), trabajándose a pH básico (11 unidades), con los siguientes reactivos y dosis:

Reactivos utilizados:

- Soda Caustica al 40% (% en Peso.);
- Polielectrolito aniónico solución al 0.5 %, (% en peso);
- Polielectrolito Catiónico al 1%, (% en peso).

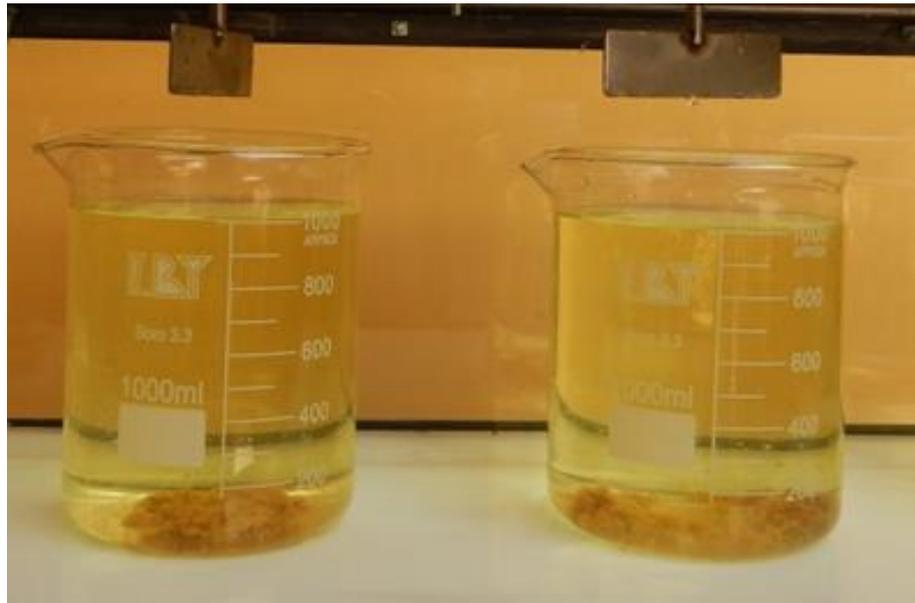
Dosis optima aplicada para análisis por laboratorio acreditado:

- Dosis de Soda Cautica: 3.5 ml/L;
- Dosis de Polímero Catiónico: 25 ppm
- Dosis de Polímero Aniónico dosis: 1ppm

Resultados:

La figura 2, corresponde al efluente a un pH de 11.00 inmediatamente después que se le dosifico la Soda Caustica y los polímeros catiónicos y aniónicos, durante el periodo de mezcla rápida.

Figura 02



Después de la sedimentación de 20 minutos, se extraen el efluente para el análisis de calidad sin arrastrar los sedimentos, que se muestra en las tablas 4 y 5.

2.3.1. Caracterización de la muestra de efluentes tratados en las PJ, a ph de 11 unidades.

Tabla 4

Parámetro	Unidad	Inicial	Acondic.	Final
Turbiedad	NTU	7.0		3.20
pH	Unidades	2.0	11.00	8.00
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	7.1		2.1
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	62.3		22.3
Cromo Total	mg/L	8.6		3.50
Cobre total	mg/L	1.2		0.8
Plomo Total	mg/L	0.017		0.010

2.3.2. Determinación de la eficiencia de remoción de parámetros dentro de los VMA.

Tabla 5

Parámetro	% Remocional
Turbiedad	54.28
pH	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno	70.42
Demanda Química de Oxígeno	64.20
Cromo Total	59.30
Cobre total	33.33
Plomo Total	41.17

2.4. Comentarios preliminares.- Las pruebas preliminares demuestran que es posible remover el Cromo total (Cr VI y Cr III), la remoción en pH 2.00 hasta 25.66%, es decir de 11.57 mg/L (Valor por encima de VMA) a 8.6 mg/L (valor que se halla menor a 10 mg/L = VMA), y a pH 11.00 se logra alcanzar una remoción de 59.30%, logrando un total de remoción de 69.74 %, para el caso del Cobre y Plomo total se encontró una reducción de 98.25 % y 64.28 % respectivamente, es decir a los valores finales de 0.8 mg/L y 0.010 mg/l respectivamente es decir a valores que se hallan menores a los VMA exigidos por el DS N° 021-2009 – VIVIENDA., resultados que se muestran en la tabla 6

Tabla 6

Características del efluente después del tratamiento fisicoquímico sometido bajo las condiciones de pH de 2 y 11 unidades

Parámetro	Unidad	Inicial	A pH 2.00	A pH 11.00
			Final	Final
Turbiedad	NTU	680	7.0	3.20
pH	Unidades	4.5	2	8.00
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	40.6	7.1	2.1
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	183.6	62.3	22.3
Cromo Total	mg/L	11.57	8.6	3.50
Cobre total	mg/L	2.22	1.2	0.8
Plomo Total	mg/L	0.028	0.017	0.010

En la tabla se muestran los parámetros que exceden los VMA, contenidos en el efluente sin tratamiento, tales como, DBO₅, DQO, SST, Cr total, Cu total y Pb total. Debido a ello, se plantea la exigencia de tratar los efluentes para cumplir con alcanzar los VMA para aquellos parámetros que exceden estos previos a su disposición final, que es la alcantarilla o colector público, por ello se debe aplicar un tratamiento, del tipo fisicoquímico, para ello se simula el tratamiento a través de las pruebas de jarras, cuyos resultados se muestran en la columna denominada **A pH 2.00** de la tabla, lográndose estos valores en la Pruebas de Jarras luego de la dosificación óptima de los reactivos tales como:

- Dosis de Ácido Clorhídrico: 5 ml/L
- Dosis de Sulfato de Aluminio Acido: 7 ml/L;
- Dosis de Polímero Catiónico: 20 ppm
- Dosis de Polímero Aniónico dosis: 4ppm

Obteniéndose como resultado que todos los parámetros analizados se hallan por debajo de los VMA exigidos por el DS N° 021-2009 – VIVIENDA., no obstante, estos resultados y por otras experiencias se hizo necesario trabajar a pH 11.00 a fin de reducir el Cr VI a Cr III, siendo la dosis optima como resultado de varias pruebas, el siguiente:

- Dosis de Soda Cautica: 3.5 ml/L;
- Dosis de Polímero Catiónico: 25 ppm
- Dosis de Polímero Aniónico dosis: 1ppm

2.5. Otras alternativas de tratamiento. Se visito a la empresa que nos ha venido facilitando sus efluentes para el presente trabajo de investigación y en situ, realizamos pruebas de tratamiento con muestras puntuales de efluentes industriales, para demostrar la capacidad del tratamiento, teniendo como resultados que se aprecian en las Figuras siguientes:

Figura 03



Figura 04



La figura 03, se refiere a muestra puntual de efluente recolectado sin tratamiento, mientras la figura 04, se refiere a las mismas muestras ya dosificadas de reactivo químico, al primer vaso dosis de Cloruro férrico y al segundo dosis de Sulfato de aluminio acido, en ambos casos se llegó

a un pH de 2.00 unidades, la vista corresponde a los 30 minutos de sedimentación

Figura 05



Figura 06



La figura 05 corresponde a los vasos que se muestran en la figura 04 a los cuales se les dosifico además polielectrolito aniónico en dosis de 2 ppm, después de agitarse manualmente con una varilla de pírex se deja reposar por espacio de 30 minutos situación que se muestra en la figura 06.

En la figura 07 y 08, se muestran las probetas con el líquido sobrenadante trasvasado de los vasos que se muestran en las figura06.

Figura 07



Figura 08



La figura 9, nos muestra la simulación con muestras del efluente, extraída en la misma planta, a la cual se dosifico Sulfato de aluminio, polielectrolito catiónico y aniónico (a pH de 2.00) el segundo vaso la muestra sobrenadante del tratamiento precedente ahora elevado el pH a 11 unidades con dosis de Soda Caustica y dosificado de Sulfato de aluminio, polielectrolito catiónico y aniónico, el tercer vaso es el sobrenadante obtenido del vaso precedente a pH de 7.5.

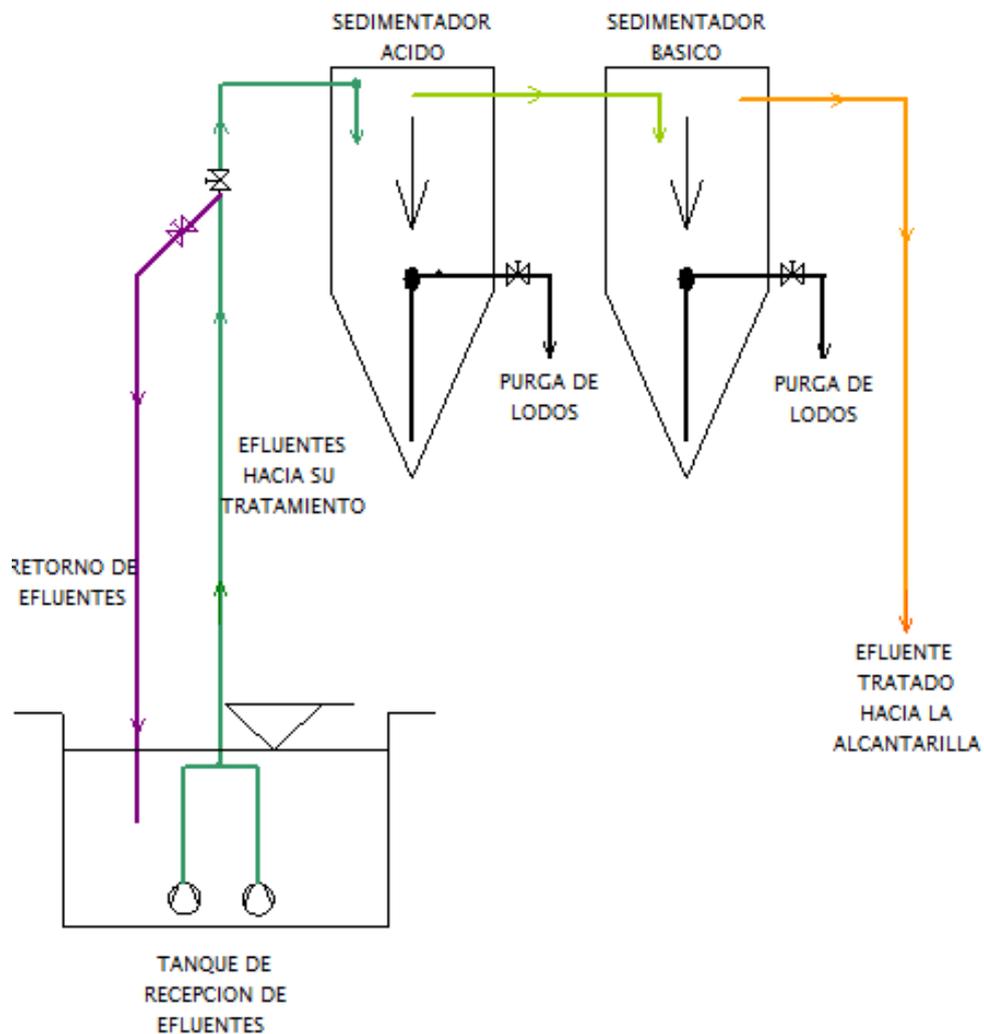
Figura 09



- 2.6.** Esquema propuesto para el tratamiento de los efluentes. - De acuerdo a las pruebas de simulación y de PJ, el tratamiento propuesto para el tratamiento físico químico estará constituido de un Tanque para la homogeneización del efluente, debido a que durante las 08 horas a 12 horas que labora esta empresa genera efluentes de diferentes calidades y caudales, por ello se deberá tratarse los efluentes a caudal constante y con casi las mismas características, para la remoción del Cromo VI a Cromo III, se hace necesario modificar el pH inicial de la muestra que estaría en el orden de 7 a 5 unidades y ya en el tratamiento se hace necesario la reducción a pH menor de 2 unidades, luego de dosificar los

coagulantes y floculantes para precipitar el los metales incluido el Cromo VI, todo esto ocurrirá en un primer sedimentador con cámara de mezcla rápida y floculador de pantallas para luego pasar a un sedimentador de placas, el sobrenadante ácido pasara por gravead a un segundo sedimentador similar al primero pero en este el pH del efluente acido se elevara hasta un pH de 11 unidades con adición de Soda Cautica, que permita precipitar el Cr III con la adición de floculantes y coagulantes y regular el pH a valores de 7.5 unidades, para ello se propone el diagrama de flujo para el diseño de la planta de tratamiento de los efluentes provenientes de una industria galvánica que se muestra en la figura 10.

Figura 10
Diagrama de Flujo para el Diseño de la planta de tratamiento de los efluentes de una industria galvánica.



Fuente: Elaboración propia.

III CONCLUSIONES RESPECTO AL AVANCE.-

Las pruebas de jarras han permitido determinar el tratamiento físico químico como alternativa para tratar los efluentes generados en la industria de galvanizados, o de aquellas industrias que tiene en su contenido el Cromo, de modo que también lo sería los efluentes de la industria de cueros entre otras. Este sistema estaría constituido por:

Tanque de Ecuilizador ó de Homogeneización;

Dos (02) Electrobombas de Trasvase;

Un (01) Sedimentador de placas, con cámara de mezcla (incluido electro agitador de velocidad) y floculador de placas de flujo vertical. Que trabajara en medio acido,

Un (01) sedimentador de placas, similar al primero, pero este trabajara en medio básico.

Juego de bombas dosificadoras,

- Una (01) para dosificar Ácido clorhídrico;
- Una (01) para dosificar Cloruro férrico ó Sulfato de aluminio.
- Una (01) para dosificar Polímero catiónico.
- Una (01) para dosificar Polímero aniónico.
- Una (01) para dosificar Soda cáustica.
- Un sistema para preparar solución de polímero aniónico (solido granulado) constituido de balanza, agitador de alta velocidad y tanque de dilución.

IV REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.-

Se revisan los siguientes materiales bibliográficos.-

Acosta et al. (2009). **Identificación del Manejo de Metales de Vertimientos de la Industria Galvánica.** Gestión Integral en Ingeniería Neogranadina.

G. Salas Carlotta, (2005); **“Reúso de cromo en el tratamiento de Efluentes de una curtiembre”**, Revista Peruana Quimica, Ingeniería Quimica, Vol. N° 2, 2005. Páginas 61 - 67.

- G. Espinosa Narváez & G. Mera Córdoba, (2015), **Alternativas ambientales para la remoción de cromo hexavalente en residuos líquidos de los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño.** Tesis de Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Manizales – Colombia.
- Orozco Barrenechea C. et. al. (2004); **Contaminación Ambiental – Una visión desde la Química;** Ed. Thomson, España.

ANEXOS.-

Presentamos las actividades desarrolladas por los docentes miembros del centro de investigación:

a. Docentes: Dr. Máximo Baca Neglia

Revisando el proyecto de tesis de los estudiantes:

BAZALAR RENZO ARROYO	-
ORTEGA MANUEL RAMOS	-

Título del Proyecto de Tesis.- “Remoción del Cadmio y del Cromo presente en los efluentes generados por la industria galvánica, mediante la electrocoagulación”

b. Docentes: Lic. Janet Mamani Ramos.

Ing. Josué Vigo Roldan

Lic. Sergio Leyva Haro

Dr. Máximo Baca Neglia

Revisando el informe final de tesis de los estudiantes:

ARCE HUAMANI FRANKLIN	-	46671044
CRUZ CHIROQUE IVÁN ANTHONY	-	47417106

Título del Proyecto de Tesis.- “Tratamiento del efluente industrial de una planta de beneficios de reses, mediante el método de electrocoagulación a flujo continuo”,

Se programa la sustentación para llevarse a cabo en la última primera quincena del mes de Setiembre.

Sustentación de la tesis aprobada mediante la RD N° 053-2019-D-FIARN, del 27 de agosto del 2019, fijando fecha de sustentación, el 9 de setiembre de 2019.

c. Docentes: MsC. Teresa Valderrama Rojas

Dr. Pablo Rivera Rodríguez

Mg. Allende Ccahuana Teófilo

Dr. Máximo Baca Neglia

Revisando el proyecto de tesis de los estudiantes:

GUISELA LIZETT CONDORI APAZA	-	44124178
DELGADO RUIZ HORACIO	-	41225537
JEAN PAUL SARCO INMENSO	-	10788316

Título del Proyecto de Tesis.- “Evaluación de la eficiencia del reactor biológico secuencial de la planta piloto FIARN utilizando microorganismos eficaces en el tratamiento de efluentes residuales domésticos para su reuso en el riego de áreas verdes”

d. Docentes: Lic. Janet Mamani Ramos.

Ing. Josué Vigo Roldan

Lic. Sergio Leyva Haro

MsC. Teresa Valderrama Rojas

Dr. Pablo Rivera Rodríguez

Mg. Allende Ccahuana Teófilo

Dr. Máximo Baca Neglia

Revisión bibliográfica para el Proyecto en ejecución, denominado: “SISTEMA DE TRATAMIENTO FISICOQUIMICO PARA LA REMOCION DEL CROMO EN EFLUENTES INDUSTRIALES PARA SU DISPOSICÓN FINAL”

Participación en la Feria de la Semana de Ciencias. - El jueves 7 noviembre pasado, cumplimos en participar en la Feria por la Semana de la Ciencia 2019, llevada a cabo en la Biblioteca Central en la Ciudad Universitaria, ver Figura 11.

Figura 11
Muestra el Banner del Centro de Investigación



Vista durante la presentación de nuestro banner que resumió el avance del Proyecto de Investigación que realizamos a través del Centro de Investigación y que exhibimos durante la nuestra participación en la Feria por la Semana de la Ciencia 2019 que se realizó el día jueves 7 de noviembre pasado.

ESTUDIO DE LA BIOSORCIÓN DE CROMO (VI) CON QUITOSANO CUATERNARIO RETICULADO PARA SU APLICACIÓN EN BIORREMEDIACIÓN DE AGUAS CONTAMINADAS

Carlos Díaz, Christian Jacinto¹, Rosa Medina², Abel Navarro³,
N. Cuizano⁴ y Bertha Llanos^{4*}

RESUMEN

Se investigó el uso de quitosano cuaternario entrecruzado, QC2, en la remoción de ion cromo (VI) a partir de soluciones acuosas a temperatura ambiente, mediante experimentos de adsorción discontinuos.

Los parámetros que se ha evaluado en la capacidad de adsorción del ion mencionado, el adsorbente, fueron efecto de: pH, masa de adsorbente, concentración del ion, cinética de adsorción y fuerza iónica, apoyados por los análisis FTIR, SEM, TGA. Los resultados se han analizado usando los modelos matemáticos de Langmuir y Freundlich; los resultados muestran que la adsorción se da mediante un mecanismo mixto. Los parámetros calculados demuestran una alta afinidad adsorbente/adsorbato para QC2 con una máxima capacidad de adsorción de 208,3 mg g⁻¹, elucidando el potencial uso de este adsorbente para la remoción de ion cromo (VI) en soluciones acuosas, mediante una cinética de pseudo segundo orden con una constante de velocidad de 0,289 g mg⁻¹ min⁻¹. La desorción es eficiente en una mezcla NaCl / NaOH (1,0 M) con 99,78 % de remoción a pH 4,5. Altas concentraciones de fuerza iónica afectan la capacidad de adsorción de cromo (VI).

Palabras clave: Quitosano cuaternario, quitosano cuaternario entrecruzado, cromo (VI), isotermas de adsorción, biosorción.

STUDY OF THE BIOSORPTION OF CHROMIUM (VI) ON CROSSLINKED-QUATERNARY CHITOSAN FOR THEIR APPLICATION ON THE BIOREMEDIATION OF WASTER WATERS

ABSTRACT

In this work, the stoichiometric amounts of the amino-quaternaries and cross-linker were studied to produce the most stable cross-linked quaternary Chitosan (QC2). Preliminary assays were carried out to test the improvement in their mechanical and chemical properties (extreme conditions, surface area and thermogravimetry). Then, the adsorption of chromium (VI) on the QC2 was studied at changing experimental conditions like: pH, adsorbent dose, initial chromium concentration and ionic strength. Moreover, the kinetics of the process was

¹ Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Ingeniería Lima, Perú.

² Escuela de Ingeniería Geológica FIGMMG Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

³ Graduate School of Arts and Science, Department of Chemistry / New York University, NY, USA.

⁴ Departamento de Ciencias Exactas, Facultad de Ciencias, Universidad Peruana Cayetano Heredia.

* bertha.llanos@upch.pe. Av. Honorio Delgado 430 – Urb. Ingeniería SMP Lima 31 - Perú

also evaluated as well as the optimization, the desorption of chromium (VI) from the adsorbent for metal recovery and adsorbent recycling. Finally, was characterized by using instrumental techniques such as FTIR, SEM. These tools allowed us to investigate the adsorption mechanism. The calculated parameters indicate a high adsorbent/adsorbato affinity for QC2 with a maximum adsorption capacity of 208 mg g^{-1} for Cr (VI), elucidating its potential use for the removal of chromium from aqueous solutions. Also showed a pseudo-second order adsorption kinetics with a velocity constant of $0.289 \text{ g mg}^{-1} \text{ min}^{-1}$. Desorption of chromium was efficiently accomplish with a mixture of 1M of NaCl and NaOH, reaching a recovery up to 99.78% of the initial metal concentration at pH 4.5. Finally, high ionic strength shows an effect on the adsorption of chromium (VI) onto the studied adsorbents.

Key words: Chitosan quaternary, quaternary crosslinked chitosan, chromium VI, adsorption isotherms, biosorption.

INTRODUCCIÓN

Los metales pesados y preciosos están involucrados directa o indirectamente en gran parte de las actividades humanas, especialmente en los sectores industriales, agrícolas, minero y urbano. Actualmente dichas actividades se están acrecentando aceleradamente, aumentando al mismo tiempo sus residuos líquidos y sólidos, multiplicando la concentración de iones metálicos en los sistemas bióticos terrestres, acuáticos y aéreos. Esto es uno de los principales problemas ambientales a nivel nacional y mundial, debido a que su acumulación y biomagnificación, a través del tiempo, afecta toda la cadena trófica en un ecosistema (superando ampliamente las concentraciones permitidas (Cd^{+2} : $0,001 \text{ mg/L}$ y Cr^{+6} : $0,05$)¹. En el hombre, los metales pesados promueven la aparición de cáncer y otras enfermedades degenerativas e inducen mutaciones genéticas, afectando así su descendencia².

El cromo está presente en los ambientes acuáticos como Cr (III) y Cr (VI). Si bien el Cr (III) es esencial para el metabolismo humano a bajas concentraciones, el Cr (VI) es tóxico y letal³. El cromo no puede degradarse, sólo transformarse y/o retirarse del medio. Por esto, las metodologías actuales de remediación de este ion metálico requieren de altos costos y un gran avance tecnológico^{1,2}. Actualmente, los procesos biotecnológicos han llamado la atención de la comunidad científica por la variedad de métodos destoxicantes empleados para la descontaminación del ambiente⁴. Estos procesos se han separado en dos grandes rubros dentro del mismo objetivo: bioacumulación y biosorción^{4,5,6}. La biosorción ya ha abordado el problema de la eliminación de cromo de fuentes acuíferas, usando una variedad de biomásas, como: algas, levadura, hongos, bacterias, quitosano, etc.^{7,8-13}, lamentablemente los resultados obtenidos no han sido tan exitosos como los hallados con plomo, cadmio y otros metales pesados que existen en forma catiónica en solución acuosa^{4,14-16}. Oro y cromo son dos de los pocos metales que existen en forma aniónica en solución acuosa formando iones complejos, y dado que la mayoría de biosorbentes presentan bases de Lewis como centros activos, la adsorción de aniones es reducida; por ese motivo en la presente investigación se usó el quitosano cuaternario (QC) como una mejor alternativa; el QC ha sido exitosamente usado como adsorbente para humedad, compuestos orgánicos e inorgánicos^{7,17,18}. Los resultados demuestran que el intercambio iónico es importante en el mecanismo de adsorción.

Acerca del adsorbente

La quitina (figura 1), es el segundo polisacárido en abundancia. El nombre sistemático de la quitina es α -(1-4)-2-acetamido-2-desoxi-D-glucosa. Es completamente insoluble en agua o en medio ácido.

La total desacetilación de la quitina produce un material soluble en medio ácido conocido

como quitano; sin embargo, cuando la desacetilación es incompleta se crea una mezcla de cadenas que tienen distintas proporciones de unidades α -(1-4)-2-acetamido-2-desoxi-D-glucosa y α -(1-4)-2-amino-2-desoxi-D-glucosa, cuya relación depende de las condiciones de reacción y genera materiales de distintas propiedades denominados quitosanos (figura 2). La presencia de grupos aminos en la cadena polimérica ha hecho del quitosano un material versátil (se puede realizar una amplia variedad de modificaciones, tales como la obtención de películas entrecruzadas¹⁶) (figura 3). Existen varios agentes entrecruzantes, pero quizá la reacción de entrecruzamiento más utilizada es la reacción con aldehídos para formar uniones químicas tipo bases de Schiff¹⁹⁻²¹.

Una alternativa para mejorar la porosidad es la formación de perlas de gel mediante disolución de quitosano en una solución de ácido acético, seguido por precipitación en una solución diluida de hidróxido de sodio²¹. Rosa *et al.*¹⁷ han reportado la eficacia de quitosano cuaternario en la adsorción de colorantes aniónicos (figura 4).

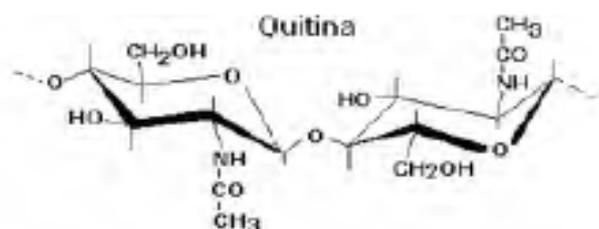


Figura 1. Unidad repetitiva de la quitina

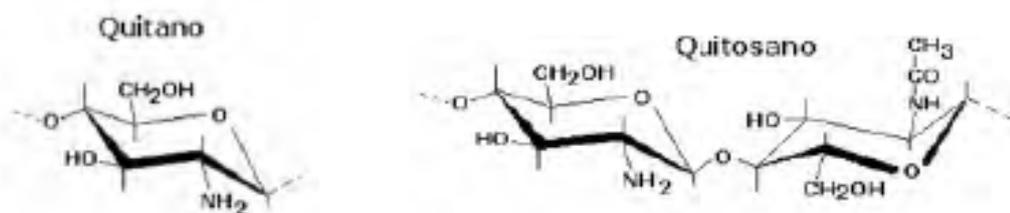


Figura. 2. Estructuras de las unidades repetitivas del quitano y quitosano

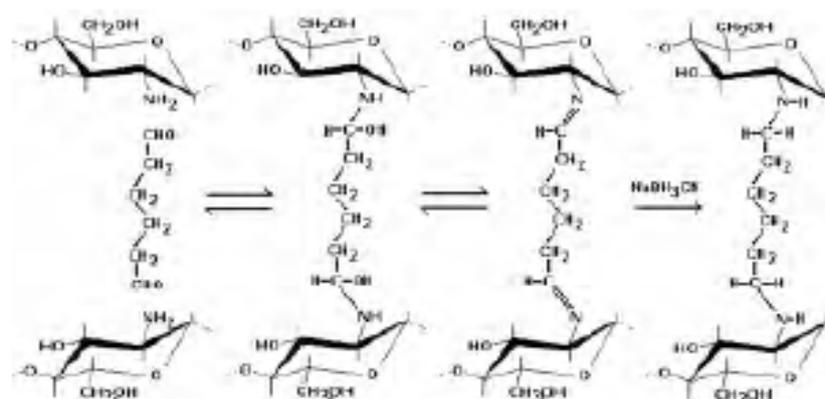


Figura 3. Reacciones de entrecruzamiento de quitosano

glicidiltrimetilamonio (*Fluka*) y se dejó en agitación por 24 horas a 50 °C. El producto de la reacción se colocó sobre un determinado volumen de acetona grado analítico (*Merck*) hasta precipitación completa después se filtró, lavó con acetona y se dejó secar a 60 °C en una estufa (*Memmert*). Luego se procedió a reducir el tamaño de las partículas mediante un molino (analítico mill Cole Parmer) y separar las partículas por tamaño mediante tamices de la serie Tyler. Para preparar QC2, se pesó 10 g de QC1 se suspendió en 200 mL de etanol y luego se añadió 10 mL (25 % w/V) de glutaraldehído; el sistema se agitó durante 24 horas a temperatura ambiente, se filtró y secó a 50 °C. Finalmente se molió y se separó las partículas por tamaños.

Preparación de las soluciones:

Las soluciones acuosas de cromo se prepararon a partir de dicromato de sodio (*Merck 99%*). Se preparó soluciones stock de 1000 mg L⁻¹ con agua desionizada y a partir de ellas las soluciones diluidas necesarias de diferentes concentraciones.

Análisis de las soluciones de cromo (VI)

La cuantificación de cromo (VI) en todas las soluciones acuosas antes y después de ser adsorbidas, se realizó mediante espectrofotometría de adsorción atómica (*Perkin Elmer AAnalyst100*).

Caracterización de los adsorbentes

Los espectros de infrarrojo fueron obtenidos por espectroscopía infrarrojo con transformada de Fourier, usando el espectrofotómetro Nicolet 510 PFT-IR. Los análisis termogravimétricos (TGA) se realizaron usando un Shimadzu model 50; el método consiste en registrar la pérdida de peso de la muestra durante el incremento de la temperatura; se escaneó a una velocidad de calentamiento de 10 °C/min bajo flujo de nitrógeno desde temperatura ambiente hasta 700 °C.

Experimentos de adsorción y desorción

Efecto del pH

En varios matraces de Erlenmeyer se pesó una masa constante de adsorbente; se añadió 50 mL de solución de cromo VI de una determinada concentración previamente ajustados a distintos valores de pH con soluciones diluidas de ácido clorhídrico e hidróxido de sodio; el tiempo de contacto fue de 18 horas mediante una agitación constante de 200 rpm a temperatura ambiente, mediante un agitador orbital *INNOVA*, modelo 2100. Luego mediante filtración se separó el adsorbente de la solución, al filtrado se le analizó la concentración ion cromo (VI).

Parámetros de equilibrio termodinámico

Se pesó varias masas de adsorbente y a cada uno ellos se le adicionó 50 mL de la solución de cromo (VI) de una determinada concentración, como 10 mg L⁻¹, ajustada al pH óptimo, luego se dejó en contacto mediante agitación a las mismas condiciones que se realizó en efecto de pH.

Para obtener las isothermas de adsorción se usó 50 mL de soluciones de cromo (VI) de distintas concentraciones y una masa constante de adsorbente, luego se dejó mediante agitación a las mismas condiciones que los procedimientos anteriores. Se repitió el procedimiento para diferentes masas de adsorbente.

Cinética de adsorción

Para determinar la velocidad de adsorción se procedió de la manera siguiente: se pesó una cantidad de adsorbente; previamente en un recipiente se colocó suficiente cantidad de solución de cromo (VI), ajustada al pH óptimo y se dejó en agitación constante evitando la

turbulencia; luego sobre él se agregó rápidamente adsorbente e inmediatamente se accionó el cronómetro para medir el tiempo por 24 horas. Cada cierto tiempo se retiró pequeñas cantidades de la mezcla; se filtró y analizó el contenido de cromo (VI).

Fuerza iónica

Se hizo corridas de adsorción semejantes a las realizadas para determinar las isothermas en cada ensayo se utilizó como solvente soluciones de nitrato de sodio de diferentes concentraciones.

Desorción

Para el estudio de la desorción se preparó suficiente cantidad de solución acuosa (mezcla de NaCl e NaOH) de diferentes concentraciones. Una determinada cantidad de adsorbente fue sometido al proceso de adsorción con solución de cromo (VI); terminado el mismo, se filtró y a los sólidos se les adicionó 100 mL de la mezcla NaCl /NaOH de una concentración específica; este sistema se mantuvo en contacto mediante agitación durante 12 horas, después se filtró y se analizó la concentración de cromo (VI) en la solución filtrada. Se repitió el mismo procedimiento para las otras concentraciones de mezcla (NaCl/NaOH).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de los adsorbentes

La cantidad de grupos aminos cuaternarios introducidos, es el grado de cuaternización del quitosano y se determinó mediante titulaciones conductimétricas. En la figura 5, se muestra una gráfica de titulación conductimétrica; se cuantifica la cantidad de iones cloruro usando una solución estándar de nitrato de plata (AgNO_3) y el punto de equivalencia es justo el cruce de las dos líneas de disminución e incremento de la conductividad.

En la tabla 1, se tiene los resultados del grado de cuaternización del quitosano de acuerdo a la relación de quitosano y amino cuaternario; a mayor grado de cuaternización las propiedades mecánicas son afectadas, haciendo que sean muy frágiles y se rompen con facilidad, según pruebas cualitativas de fracturas mecánicas por simple agitación, por lo que se decidió disminuir los niveles de cuaternización.

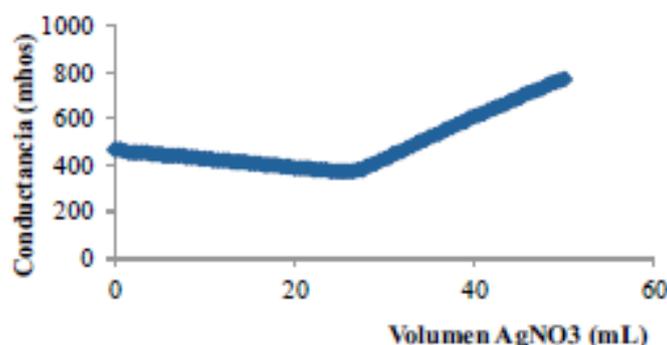


Figura 5. Titulación conductimétrica de quitosano cuaternario usando nitrato de plata 0,1 N

Tabla 1. Grado de cuaternización de quitosano con cloruro de glicidiltrimetilamonio

(Quitosano / sal de amino cuaternario)	Grado de cuaternización (mg de sal de amino cuaternario / g de quitosano)
1/2	307,7
1/1	18,1
1/ 0,5	101,2
1/ 0,25	51,5

En las figuras 6, 7 y 8 se tienen los espectros FTIR de quitosano (Q), QC1 y QC2 respectivamente; los espectros muestran las bandas características del quitosano, pero en los espectros de los quitosanos cuaternizados, alrededor de 1480 cm^{-1} , aparece una señal que corresponde a los metilos del nitrógeno de la amina cuaternaria, misma banda obtenida por Spinell⁷ y para el QC2, se obtuvo un espectro similar al del QC1 con la única diferencia que tiene una banda adicional alrededor de 600 cm^{-1} , que generalmente esta señal corresponde a la huella digital del compuesto.

En las curvas del análisis termogravimétrico (TGA) (figura 9) se aprecia que todos los adsorbentes se degradan con la temperatura en dos etapas, hay una pérdida de peso muy pequeña alrededor de $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ pero la mayor pérdida de peso ocurre a $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ para C1; en cambio, para QC2 esto ocurre a más de $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ y tiene una buena estabilidad al igual que el quitosano.

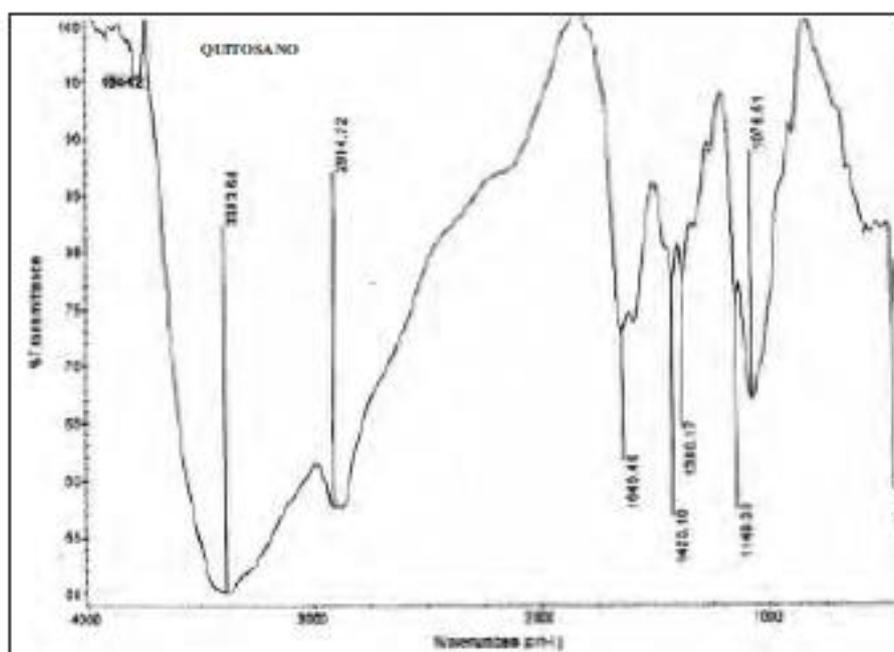


Figura 6. Espectro FTIR de quitosano en polvo

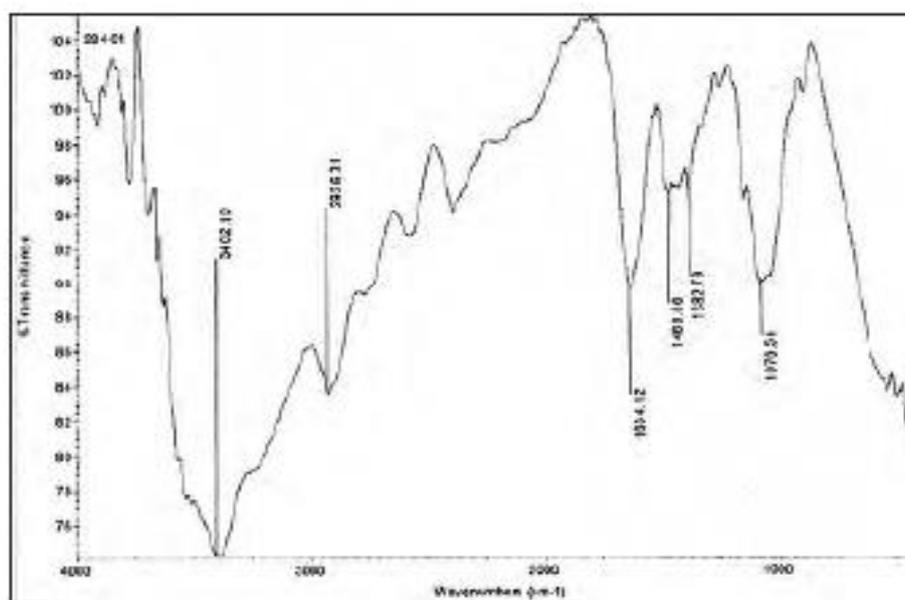


Figura 7. Espectro FTIR de quitosano cuaternario (QC1)

Los resultados de la tabla 2, indican que el QC2 tiene mayor superficie específica que QC1, alrededor del 50 % más; el mismo que se determinó por el método del azul de metileno.

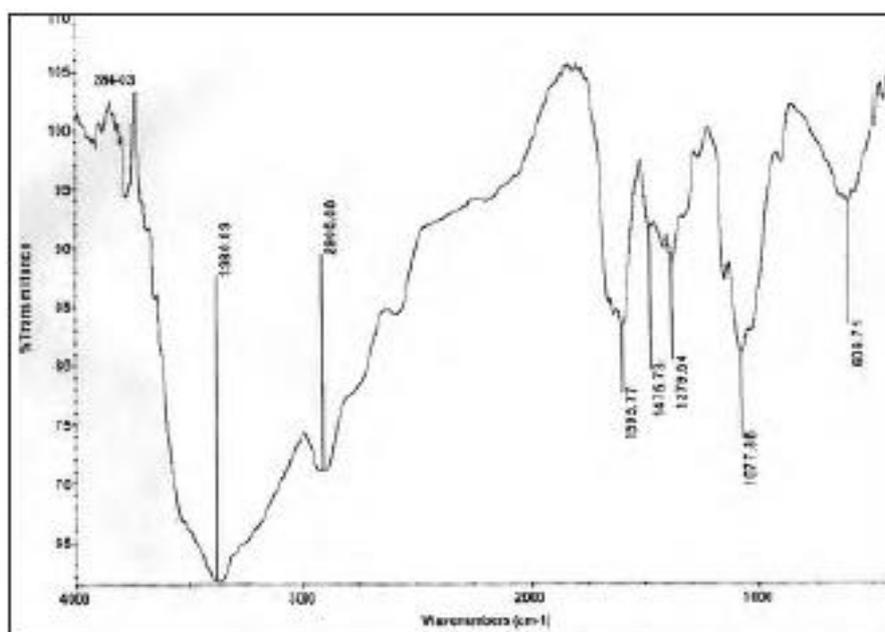


Figura 8. Espectro de FTIR de quitosano cuaternario entrecruzado (QC2)

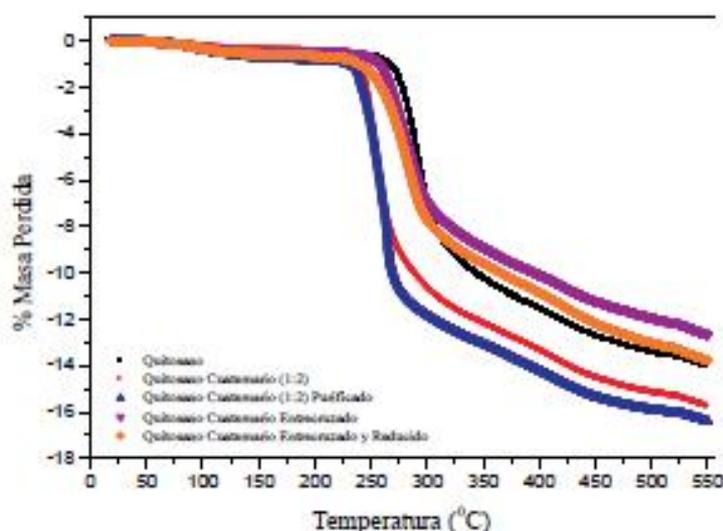


Figura 9. Análisis termogravimétrico de los adsorbentes

En las figuras 10, 11, se tienen las microscopías (SEM) y el análisis EDX de los adsorbentes; en ellos se ve el contenido de nitrógeno, confirmando estos resultados, con los anteriores, que el quitosano ha sido modificado, para obtener los quitosanos cuaternarios QC1 y QC2.

Tabla 2. Superficie específica según método del MB de los adsorbentes

Adsorbente	QC1	QC2
$S_{MB} (m^2 kg^{-1})$	694,4	1036

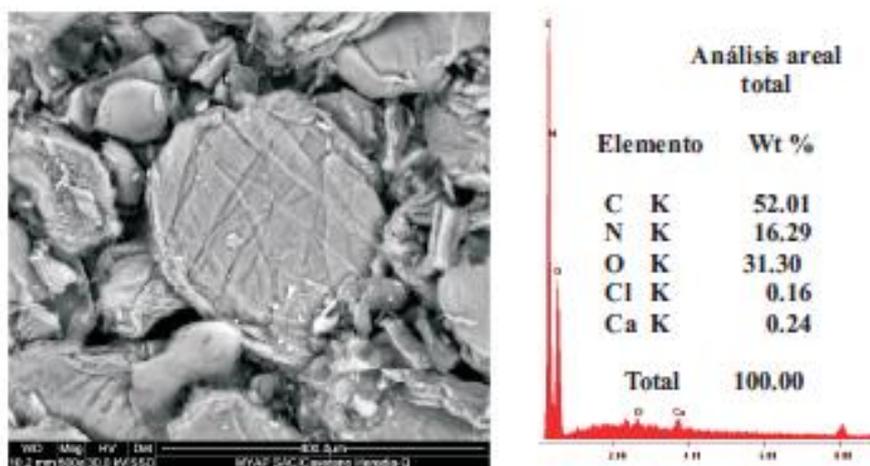


Figura 10. Micrografía MEB y análisis EDX de quitosano

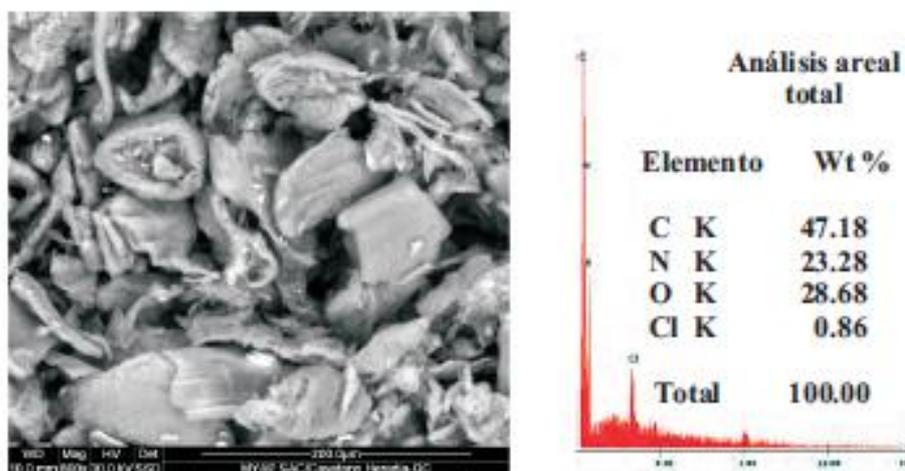


Figura 11. Micrografía MBE y análisis EDX de quitosano cuaternario (QC1)

En la figura 12, se observa que la mayor capacidad de adsorción del ion cromo VI con QC1 y QC2, está entre pH 4 y 5, por lo que se consideró como el óptimo a 4,5; a pH mayor que 6 disminuye la adsorción, haciéndose asintótica para QC1; a pH bajos la capacidad de adsorción es muy baja con ambos adsorbentes. También se observa que QC2, tiene mayor capacidad de adsorción en todos los pH medidos; excepto a pH 2.

En la figura 13, se observa el efecto de la masa de adsorbente QC1 y QC2 en la capacidad de adsorción; los resultados muestran que la mejor capacidad de adsorción para ambos adsorbentes es con menor cantidad de adsorbente y esto es precisamente lo que se esperaba, que se use la mínima cantidad de adsorbente y que tenga una alta capacidad de adsorción.

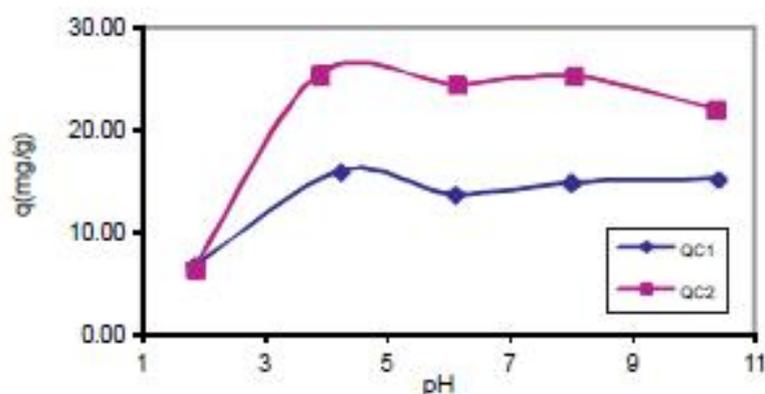


Figura 12. Efecto del pH en la adsorción de cromo (VI) con QC1, QC2 a T ambiente

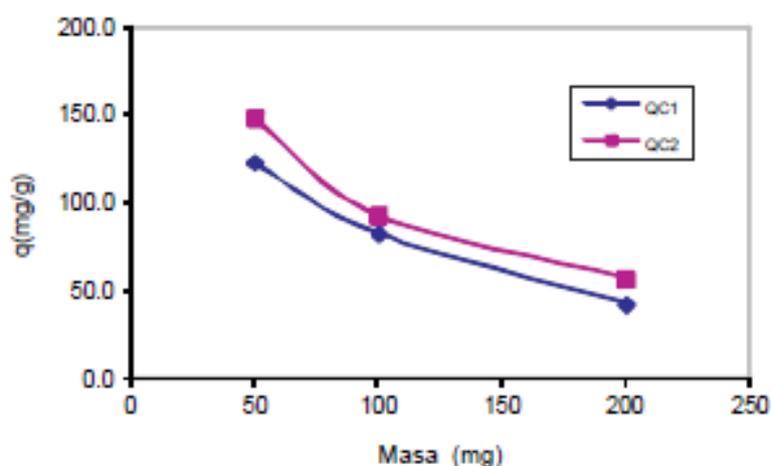


Figura 13. Efecto de la masa en la adsorción de cromo (VI) con QC1 y QC2 a T ambiente

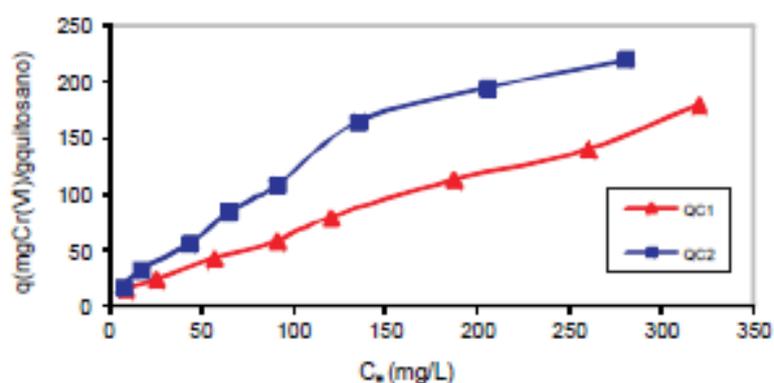


Figura 14: Adsorción de cromo (VI) con 100 mg de QC1 y QC2 a pH 4,5 y T ambiente

Tabla 3. Parámetros de adsorción de cromo (VI) con QC1 y QC2 según las isotermas de Langmuir y Freundlich

Langmuir	q máx (mg/g)	b (L/mg)	R ²	ΔG (kJmol ⁻¹)
QC1	106,4	0,0187	0,9166	9,87
QC2	208,3	0,0119	0,9876	10,99
Freundlich	K _f	n	R ²	
QC1	3,049	1,46	0,9817	
QC2	4,104	1,38	0,9920	

En la figura 14 se aprecia la tendencia de la adsorción de ambos adsorbentes sin alcanzar un máximo en las concentraciones de equilibrio, por lo que los modelos matemáticos de Langmuir y Freundlich para QC2 adsorbentes tienen un alto coeficiente de linealidad tal como se observa en la tabla 3, la máxima capacidad de adsorción según el modelo de Langmuir tiene QC2 con $208,3 \text{ mg g}^{-1}$ y según el modelo de Freundlich también tiene la constante K_f más alta; si se compara estos resultados con lo reportado por *Spinelli*⁷ quien trabajó con quitosano cuaternario ($q_{\text{máx}} = 68,3 \text{ mg g}^{-1}$) a pH 4,5, el adsorbente propuesto QC2 es mejor. Estos resultados inducen a elucidar que los centros activos del adsorbente son equivalentes, restringiéndose la adsorción en monocapa y no existen interacciones laterales entre las moléculas del adsorbato y que la superficie es energéticamente heterogénea, conformada por grupos de sitios de adsorción de energías características. Estos resultados coinciden con los obtenidos a distintos pH (figura 12), que siempre el q de QC2 fue mayor.

En la figura 15 se presenta la cinética de adsorción de cromo (VI) con QC1 y QC2, con ambos adsorbentes se alcanza muy rápido el equilibrio de adsorción con un tiempo menor a 4 horas. El modelo matemático al que se ajustan con un alto coeficiente de correlación tal como se observa en la tabla 4 es de un pseudo-segundo orden pero con constantes de velocidad bajas.

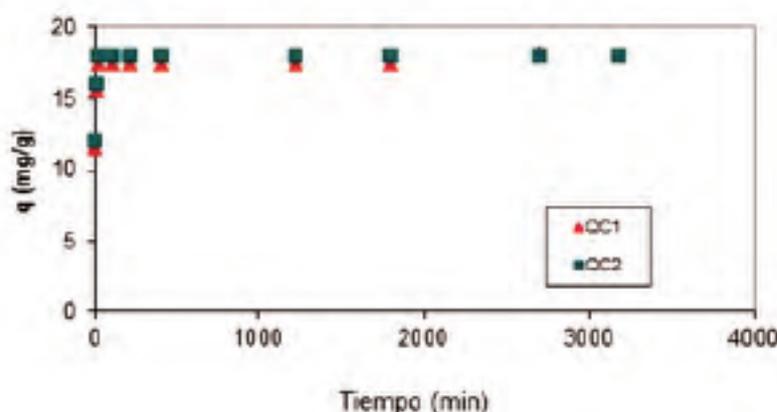


Figura 15. Cinética de adsorción de cromo (VI) de QC1 y QC2 a pH 4,5 y T ambiente

Tabla 4. Cinética de adsorción de pseudo-segundo orden para cromo (VI) de los adsorbentes

Adsorbente	QC1	QC2
q_e (mg/g)	18,05	17,99
K_2 ($\text{g mg}^{-4} \text{min}^{-1}$)	0,0031	0,289
R^2	0,9995	1,000

En la figura 16 se tienen los análisis por EDX y las micrografías obtenidas por microscopías de barrido electrónico en ella se aprecia que efectivamente el adsorbente ha adsorbido el cromo (VI). La micrografía de QC2 con cromo (VI) presentó diferentes formas: aglutinadas, laminar, en capas superpuestas, como hojuelas tipo “corn flakes”, de tamaños

más o menos homogéneos y desagregados. Se observa la fibra del quitosano original antes de ser modificada y las superficies de los agregados: lisos, rugosos, fracturados, de bordes subredondeados y tipo “ripple mark” (marcas que dejan las ondas del mar en la arena).

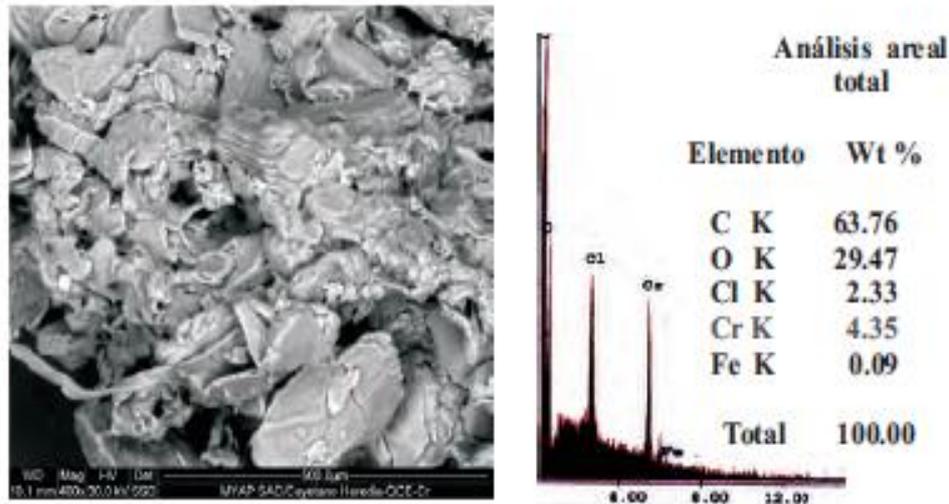


Figura 16. Micrografía MBE y análisis EDX de QC2 después de que ha adsorbido cromo (VI)

En la figura 17, se muestra el efecto de la fuerza iónica en la adsorción de ion cromo (VI); a medida que aumenta la concentración de nitrato de sodio hasta un máximo de $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ la capacidad de adsorción se incrementa. De estos resultados se deduce que puede producirse una interacción por la presencia de iones nitrato con el adsorbente del tipo electrostática y que compiten con el cromo (VI).

En la tabla 5, se muestran los resultados obtenidos del proceso de remoción de cromo (VI) realizado a temperatura ambiente y pH 4,5 para el mejor adsorbente, QC2, la remoción es muy efectiva si la concentración del eluyente (mezcla de NaCl/NaOH) es 1,0 M.

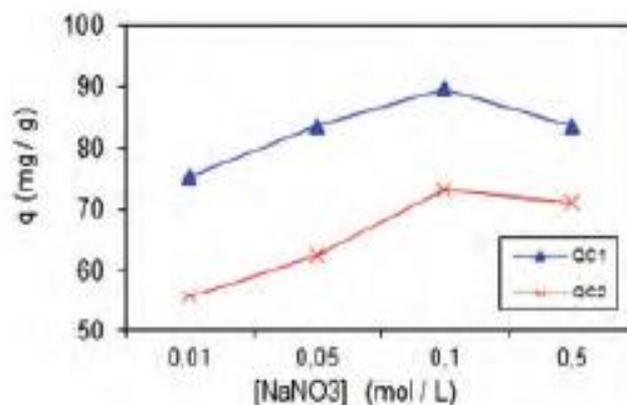


Figura 17. Fuerza iónica en la adsorción de cromo (VI) a pH 4,5 y T ambiente

Tabla 5. Porcentaje de remoción de cromo (VI) de QC2 a varias concentraciones de eluyente

pH	Eluyente	Conc. (mol/L)	Remoción (%)
4.5	NaCl/NaOH	0.01	28,48
		0.1	37,17
		1.0	99,78

CONCLUSIONES

El adsorbente seleccionado, modificado, quitosano cuaternario entrecruzado (QC2), tiene la capacidad de adsorber cromo (VI), con una alta eficiencia.

El adsorbente QC2 es mejor porque tiene una buena capacidad de adsorción y se ajusta a los modelos de Langmuir y Freundlich, y tiene una capacidad máxima de adsorción de 208,3 mg g⁻¹.

La cantidad de adsorbente influye en la capacidad de adsorción; los resultados demuestran que con menor cantidad de adsorbente la adsorción es más eficiente.

El pH de la solución muestra un fuerte efecto en la capacidad de adsorción, siendo el óptimo de 4,5. Altas concentraciones en la fuerza iónica afectan la capacidad de adsorción de cromo (VI).

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología e Innovación Tecnología (CONCYTEC) del Perú – Concurso Nacional de Subvenciones para Proyectos de Investigación PROCYT 2008 por el apoyo económico para culminar la investigación. A la Sección Química Dpto. de Ciencias Exactas Facultad de Ciencias y Humanidades “Alberto Cazorla Tallen” Universidad Peruana Cayetano Heredia. A la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Ingeniería.

REFERENCIAS

- Mejía G. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia* 2006; 1: 77-99.
- Cañizares-Villanueva R. *Rev. Latinoamer. Microbiol.* 2000; 42: 131-143.
- Barán E. *Química Bioinorgánica*. España: Ed. McGraw-Hill; 1995.
- Ramos K, Navarro A, Chang L, Maldonado H. *Rev. Soc. Quím. Perú* 2004; 70: 136-146.
- Flores J, Ly M, Maldonado H. *Rev. Latinoamer. Quím.* 2003; 31: 100-110.
- Navarro A, Ramos K, Campos K, Llanos B, Maldonado H. *Rev. Quím PUCP* 2005; XIX: 53-59.
- Spinelli V, Laranjeira M, Fávere V. *React. Funct. Polym.* 2004; 61: 347-352.
- Park D, Yun Y, Park J. *Chemosphere* 2005; 60: 1356-1364.
- Chen G, Zeng G, Tu X, Niu C, Huang G, Jiang W. *J. Hazard. Mater.* 2006; 135: 249-255.
- Chojnacka k, Chojnacki A, Gorecka H. *Chemosphere* 2005; 59: 75-84.
- Donmez G, Aksu Z. *Process Biochem.* 2002; 38: 751-762.
- Li H, Li Z, Liu T, Xiao X, Peng Z, Deng L. *Bioresour. Technol.* 2008; 99: 6271-6279.
- Pehlivan E, Altun T. *J Hazard. Mater.* 2008; 155: 378-384.
- Navarro A, Blanco D, Llanos B, Flores J, Maldonado H. *Rev. Soc. Quím. Perú* 2004; 70: 147-157.

15. Cuizano N, Llanos B, Navarro A. *Desalination* 2008; submitido.
16. Cuizano N, Navarro A. *An. Quím* 2008; 104: 120-125.
17. Rosa S, Laranjeira M, Riela H, Favere V.J. *Hazard. Mater.* 2008; 155: 253-260.
18. Sun L, Du Y, Shi X, Chen X, Yang J, Xu Y. *J Appl. Polym. Sci.* 2006; 102: 1303-1309.
19. Larez C. *Rev. Iberoamer. Polim.* 2003; 4: 91-109.
20. Guibal E, Milot C, Tobin J. *Ind. Eng. Chem. Res.* 1998; 37: 1454-1463.
21. Rojas G, Silva J, Flores J, Rodriguez A, Ly M, Maldonado H. *Sep. Purif. Technol.* 2005; 44: 31-36.
22. Tapia N. Adsorción y Biosorción, Mecanismos y Principales Modelos para describir el fenómeno de biosorción. Curso: Aplicaciones ambientales de la biotecnología en la industria; Agosto 2002. PUCP.
23. Langmuir I. *J. Am. Chem. Soc* 1918; 40: 1361.
24. Navarro A. Selección del mejor biosorbente para la biosorción de ion cadmio (II): Modelamiento del Equilibrio y cinética. [Tesis Licenciatura en Química]. Lima, Perú: UPCH; 2004.
25. Lagergreen S. *Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar* 1898; 24: 1-39.
26. Ho Y, McKay G. *Chem. Eng. J* 1998; 70: 115-124.

Dr. Máximo Fidel Baca Neglia
Docente Responsable – Código 1233

CRONOGRAMA DE CONTROL DE AVANCE

Actividades	Número de Meses																	
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18
PORCENTAJE DE AVANCE ACUMULADOS	16.66			33.32			50.00			58.33								
a. Revisión de fuentes bibliográficas	→			→			→			→								
b. Reconocimiento de la zona y definición del área de estudio, recopilación de información y facilidades existente.	→																	
c. Determinar los puntos de Monitoreo de las aguas residuales no domésticas. Monitorear los puntos de descarga.	→																	
d. Caracterizar los efluentes no domésticos a partir de muestras monitoreadas.		→			→			→			→							
e. Tratamiento fisicoquímico (PJ) de las muestras (puntuales y/o compuestas) de efluentes monitoreados.		→			→			→			→							
f. Caracterización de las muestras de efluentes tratados en las PJ.		→			→			→			→							
g. Determinación de la eficiencia de remoción de parámetros dentro de los VMA.		→			→			→			→							
h. Determinación de parámetros hidráulicos para el diseño de la planta de tratamiento.																		
g. Diseño del sistema para el tratamiento fisicoquímico.																		
g. Elaboración de informes parciales			01			02			03			04			05			06
h. Elaboración del Informe Final (IF)																		IF
i. Elaboración de paper																		

Avance a la fecha:  66.67%