

## Precipitación química convencional: remoción simultánea de cromo total y plomo de un agua residual proveniente de una industria de galvanizado, en Bogotá, Colombia

### Conventional chemical precipitation: Simultaneous removal of chrome and lead a total waste water from an industry of galvanized in Bogotá, Colombia

Juan Pablo Rodríguez Miranda\*

#### Resumen

**Objetivo:** Evaluar la capacidad precipitadora de la cal para remover cromo total y plomo en un agua residual cruda industrial proveniente de una industria de galvanizado.

**Materiales y métodos:** Para evaluar la capacidad de precipitación del cromo total y plomo en el agua residual cruda, se realizó ensayo de jarras, para establecer la dosis óptima de cal.

**Resultados:** La remoción factible de metales pesados de un agua residual industrial proveniente del sistema de galvanizado de alambres, en el que mediante la precipitación química convencional de un agente precipitante como la cal  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , se removió el 93% del cromo total y el 99.5% del plomo presente en el agua.

**Conclusiones:** Las remociones simultáneas de los metales pesados son superiores al 99.8%, con un costo relativamente bajo por la aplicación de cal como agente precipitador convencional, pero sin embargo, como tratamiento previo a la llegada del agua residual industrial cruda al sistema de tratamiento, es muy importante para disminuir la carga contaminante afluente del sistema.

**Palabras clave:** Cromo total; Plomo; Aguas residuales; Agente precipitante.

#### Abstract

**Objective:** To evaluate the precipitating ability of lime to remove total chromium and lead in an industrial raw waste water from a galvanized industry.

**Methods:** To evaluate the total precipitation of chromium and lead in raw wastewater, jar tests was performed to establish the optimal dose of lime.

**Results:** The practical removal of heavy metals from Industrial waste water from a system of galvanized wire, which by conventional chemical precipitation of a precipitating agent such as lime  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , stirred for 93% of total chromium and 99.5% of lead in water.

**Conclusions:** The simultaneous removal of heavy metals are higher than the 99.8% with a relatively low cost by the application of lime as a precipitating agent conventional, but nevertheless, as a treatment prior to the arrival of raw industrial waste water treatment system is very important to reduce the pollutant load tributary system.

**Keywords:** Total chromium; Lead; Waste water; Precipitating agent.

#### Introducción

Los metales pesados descargados en cuerpos de agua, son una amenaza significativa para el medio acuático y la salud pública, por la alta toxicidad y el carácter de contaminante conservativo en el agua (Abbas 2010), aunque también los metales pueden existir como fracciones débilmente solubles, intercambiables y adsorbidas, y tienden a moverse fácilmente y de forma disper-

sa (Soon 2002). Los iones de metales, son comunes en las aguas residuales industriales crudas de las operaciones mineras, instalaciones metalmecánicas, de generación de energía, de dispositivos electrónicos, de curtiembres y de galvanoplastia, entre otras. Para la remoción del agua residual de estos metales indeseables, se han aplicado métodos como humedales artificiales, microorganismos empleados como biosorbentes (Zumriye 1999), la sorción (adsorción e inter-

\* Profesor Asistente, Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. e-mail: jprodriguez@udistrital.edu.co

Fecha de recibido: Marzo 11, 2011

Fecha de aprobación: Septiembre 26, 2011

cambio iónico), procesos de membrana, la recuperación electrolítica, la extracción líquido-líquido y la precipitación en forma de carbonatos, sulfuros o hidróxidos, seguidos de una sedimentación o flotación y posterior filtración (Purakin 1999). Sin embargo, cada método establecido anteriormente, tiene sus ventajas y limitaciones en su aplicación, y por lo general se limitan por aspectos técnicos y económicos (Abbas 2010). Algunos autores exponen que los procesos y operaciones unitarias más frecuentes son la coagulación y floculación para la remoción de metales, por las ventajas que poseen estos procesos, de sobredosificar, en algunos casos, el coagulante en la masa de agua residual cruda, para garantizar la precipitación de las partículas y metales, lo que se conoce como coagulación de barrido (WEN 2009).

Acerca del origen del cromo y el plomo en las aguas residuales, se puede establecer que el cromo (VI) es un contaminante frecuente en aguas residuales industriales provenientes de procesos como galvanoplastia, tintura de cueros o manufactura de pinturas. Por sus propiedades carcinogénicas y mutagénicas, su concentración en agua potable se ha regulado en muchos países. El tratamiento convencional de eliminación del Cr(VI) es su reducción a Cr(III); esta especie es menos tóxica y menos móvil en el medio ambiente.

El plomo se utiliza en insecticidas, baterías, pinturas, aleaciones, tuberías de agua, acabado de metales, fertilizantes, pesticidas, pinturas y contenedores de alimentos. Está presente en aguas residuales municipales y de la minería y refinerías, de la manufactura química y de industrias misceláneas. Sus compuestos se han usado extensamente en aditivos de gasolina pero, como es sabido, esta aplicación se ha prohibido en la mayoría de los países por las peligrosas consecuencias ambientales.

Según algunos autores como Eckenfelder (2000),

la remoción del cromo se puede hacer mediante un agente químico convencional que precipite, como el sulfato ferroso, bisulfito de sodio, tiosulfato de sodio, metabisulfito de sodio o el dióxido de azufre, que se pueden diluir en forma de gas a la masa de agua con el metal. Para el cromo trivalente presente en el agua residual cruda, se recomienda la precipitación y luego la filtración con arena, que se puede presentar con pH entre 8.5 y 10; con la aplicación de cualquiera de los agentes químicos mencionados, se logran concentraciones en el efluente  $<0.3$  mg/l. Para el cromo hexavalente se recomienda, adicional a la precipitación, resina de capacidad  $2.5$  lb/ft<sup>3</sup>, para remover concentraciones hasta del  $0.2$  mg/l. Para la remoción del plomo (Eckenfelder 2000), se puede utilizar carbonato de plomo o hidróxido de plomo; adicionando soda ash a un pH entre 9 y 9.5 se logran concentraciones en el efluente de  $0.01$  a  $0.03$  mg/l, aunque también a pH de 11.5 se presentan concentraciones de  $0.02$  a  $0.2$  mg/l.

En términos de la remoción simultánea de cromo y plomo de las aguas residuales, se puede mencionar que autores como Madden (1997) y Fulton (1997) indican que la reactividad a pH4 sigue el orden  $\text{Cu(II)} > \text{Pb(II)} > \text{Ni(II)} \gg \text{Cd(II)} \gg \text{Zn(II)} > \text{Cr(III)}$ . La oxidación de complejos poco reactivos como el de Ni(II) podría mejorarse por agregado de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> o Cu(II), con soluciones que contengan EDTA por fotocatalisis heterogénea sobre TiO<sub>2</sub> y adsorción a pH alcalino según Vohra (1998) y Davis (1999). Otros autores como Matlock (2002) establecen que en procesos de precipitación química, se utilizan agentes químicos como metildietilcarbamato y tricarbonato de sodio, que demandan elevadas dosis, según lo informado. Para resolver este problema se propone la utilización de agentes específicos diseñados para generar precipitados muy estables; el agente propuesto se denomina 1,3-benzen-diamidoethanethiol, que es soluble en agua; además, esta sustancia genera precipitados insolubles.

bles para plomo y mercurio en todo el intervalo de pH. Mediante la utilización de esta sustancia es posible tratar el agua residual de la industria de baterías, que contiene hasta 300 mg/l de plomo. Mediante la utilización de este compuesto químico la concentración de plomo se puede reducir hasta en un 99.4% generando precipitados que se mantienen estables por más de 30 días (Matlock 2002).

Por consiguiente, este artículo expone la precipitación simultánea de metales como el cromo y el plomo de un agua residual industrial cruda proveniente de una industria galvánica, en donde se utilizará como agente precipitador convencional químico la cal, como agente químico precipitador económicamente factible, que permite la remoción simultánea de los metales pesados antes mencionados.

### Materiales y métodos

**Procedimiento general.** En la fase experimental se utilizó un equipo para pruebas de jarras (ensayo de tratabilidad), que cuenta con paletas de accionamiento mecánico, en donde se pueden introducir vasos precipitados de 2 litros y se colocan las muestras del agua residual industrial cruda, para luego controlar efectivamente las velocidades de mezclas en términos de una mezcla rápida, lenta, sedimentación y filtración con arena, a diferentes dosificaciones del agente químico convencional precipitante. Se prepararon dosis de cal de 50 g/l, 100 g/l y 200 g/l, dada la importancia de este agente para precipitar metales. Las condiciones de trabajo en la experimentación de la prueba de jarras fue de mezcla rápida de 2 minutos, lenta 30 minutos, sedimentación una hora y filtración por lecho de arena.

**Análisis de titulación.** La precipitación de metales representados como hidróxidos y la coprecipitación como floc sedimentable requiere de un pH alto (>11.0), para que se presente la

solubilidad de los hidróxidos metálicos; se estima que puede tener un pH entre 9 y 11, pero requiere de un control apropiado, porque existen pH óptimos de precipitación diferentes para algunos metales y porque también algunos hidróxidos son anfóteros y se puede resolubilizar a  $\text{pH} > 11$ . Cuando el agua residual cruda presenta una excesiva acidez (>1000 mg/l  $\text{CaCO}_3$ ), explica de algún modo la alta solubilidad de los metales en ella y la necesidad de dosis muy altas de un agente químico convencional tipo hidróxido ( $\text{OH}^-$ ) como la cal, que precipite estos metales y con la consecuencia de generar grandes cantidades de lodo. Para este tipo de agua residual cruda industrial, es necesario generar una curva de titulación, que indique la necesidad de dosificar dosis de cal [ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ] para lograr  $\text{pH} > 11$ .

**Análisis del agua residual.** La toma de muestras se realizó con una frecuencia diaria durante 30 días de operación del sistema (agosto de 2010). El muestreo consistió en la toma de muestras compuestas a la entrada y salida del equipo de pruebas de jarras por vaso precipitado, se utilizaron recipientes de vidrio de 50 ml, preservados antes del análisis en refrigerador a 4°C, que cumplieron los parámetros estipulados en el estándar método de APHA (Apha 1998). Los parámetros para monitorear en el seguimiento del sistema de tratamiento en el equipo de jarras son los siguientes (Tabla 1): El agua residual industrial cruda proveniente de la industria galvánica, presenta un tipo de descarga periódica irregular (Rodríguez-Miranda 2009) por la actividad galvánica. En la Tabla 2, se expone la característica del agua residual.

### Resultados

El agua residual industrial cruda, es excesivamente ácida por el proceso productivo, y con ello, las elevadas concentraciones de estos metales pesados; también es de establecer, que en algunas referencias consultadas para el desarrollo de

**Tabla 1. Parámetros para el monitoreo de aguas residuales domésticas**

Parámetros	Método de análisis
pH	Electrométrico
DQO	Reflujo cerrado
SST	Secado entre 103-105°C Gravimétrico
Cromo total	Espectrometría de absorción atómica
Plomo	Espectrometría de absorción atómica

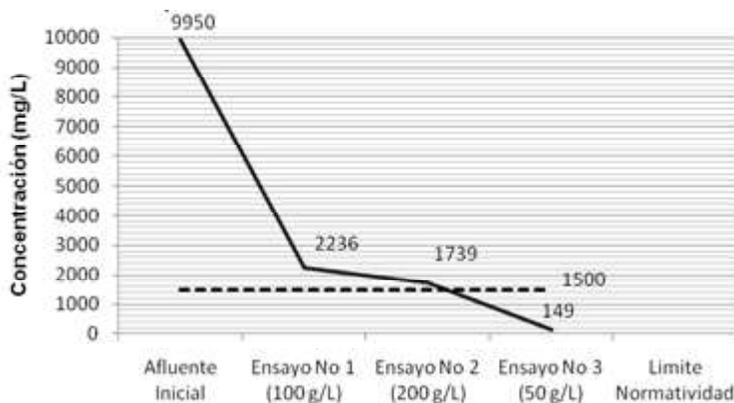
**Tabla 2. Característica del agua residual cruda o afluente**

Parámetros	Resultados del afluente
pH	1.5
DQO (mg/l)	9950
SST (mg/l)	365
Cromo total (mg/l)	13.9
Plomo (mg/l)	21.2

este estudio, no se encontró ningún trabajo para la remoción simultánea de estos dos metales pesados, que utilizara cal en el agua residual de la industria galvánica.

### Discusión

En las Figuras 1 a 5, se presentan los resultados de los ensayos de tratabilidad con el agente químico cal, en el



**Figura 1.** Comportamiento de la DQO en la dosificación de la cal

que se observa, que cuando se dosificó con 200 g/l el efluente no cumplió con los valores admisibles expuestos por la normatividad, lo que establece que se necesita un tratamiento adicional para la DQO, plomo y pH; también es de indicar que con esta dosificación se generan aproximadamente 490 m/l de lodo producto del precipitado. Cuando se dosificó a 100 g/l, se observó que el efluente también incumplía con la normatividad en materia de vertimientos en los parámetros DQO, plomo y pH, y la generación de lodos fue del orden de 360 ml/l. Lo anterior, establece que el exceso de coagulante afecta el proceso de sedimentación porque las diferentes especies químicas cargadas eléctricamente interfieren con este proceso de desestabilización coloidal (Soto 2006). Es claro establecer que durante la aplicación de estas dosis de cal, se observó una reestabilización de las partículas cuando se usaron dosis altas de agente precipitante, de aquellas en las cuales se puede lograr una mejor desestabilización y remoción de metales en el agua residual, y esto se debe a la adsorción de cargas eléctricas dentro de la mezcla rápida.

Cuando se aplicó la dosis de 50 g/l, se observó que el efluente producto de la precipitación química cumplía la normatividad (Resolución 3957 de 2009), aunque el pH está por fuera de norma, lo que necesitaría un tratamiento adicional para la descarga al sistema de alcantarillado en todos los parámetros evaluados y la generación de lodos es mucho menor que las otras dosificaciones, es decir, de 200 ml/l. Lo anterior se explica desde el punto de vista de que al exceder el producto de solubilidad de hidróxidos en la solu-

ción, se produce una precipitación rápida de estos hidróxidos, porque a medida que precipitan pueden atrapar las partículas a su paso y de ahí se explica la remoción alta a esta dosificación. Aunque también se puede explicar que las partículas dentro del agua residual pueden servir como núcleos para formar precipitados, por lo que la velocidad de precipitación aumenta, con un aumento repentino de la concentración de los metales pesados. De otro lado, también en la mezcla lenta, la tasa de agrupación se ve beneficiada en función de la concentración de floc formado después de la mezcla rápida y desde luego el tamaño de este al inicio de la floculación. Por esto, también se establece que la permanencia del agua en la mezcla lenta es el adecuado, porque genera resultados altos de remoción y por consiguiente, la compartimentalización se aproxima al tiempo ideal en la mezcla lenta.

Con base en los resultados, se puede establecer que la neutralización de cargas de las partículas cargadas negativamente, solo ocurre hasta que se exceden los límites de solubilidad del hidróxido aplicado y así se logra la formación de un precipitado cargado positivamente que altera las características de las partículas, neutralizándolas o cambiando su carga, lo que se ve altamente reflejado en las Figuras 6 a 8 con la aplicación de la dosis de 50 g/l de cal, en

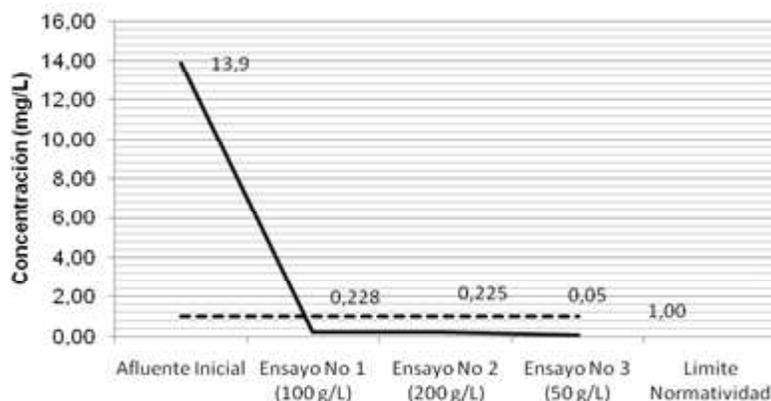


Figura 2. Comportamiento del cromo total en la dosificación de la cal

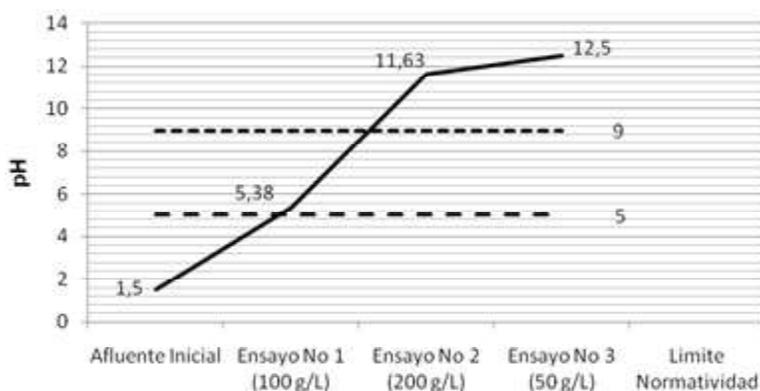


Figura 3. Comportamiento del pH en la dosificación de la cal

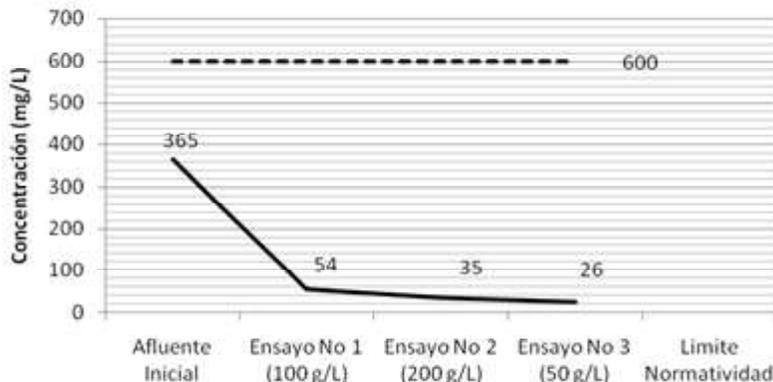


Figura 4. Comportamiento de los SST en la dosificación de la cal

donde se muestran remociones altas, del 93% para el cromo total y del 99.5% para el plomo presente en el agua residual tratada o efluente.

### Conclusiones

Como resultado del ensayo de jarras, al utilizar el producto químico cal como agente precipitador, se puede evidenciar que la

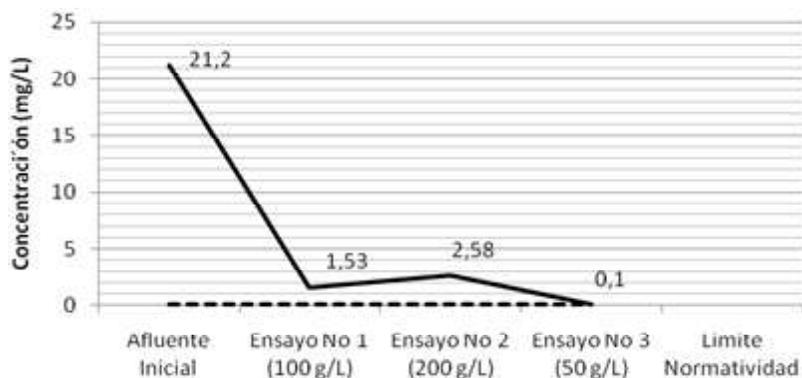


Figura 5. Comportamiento del plomo en la dosificación de la cal

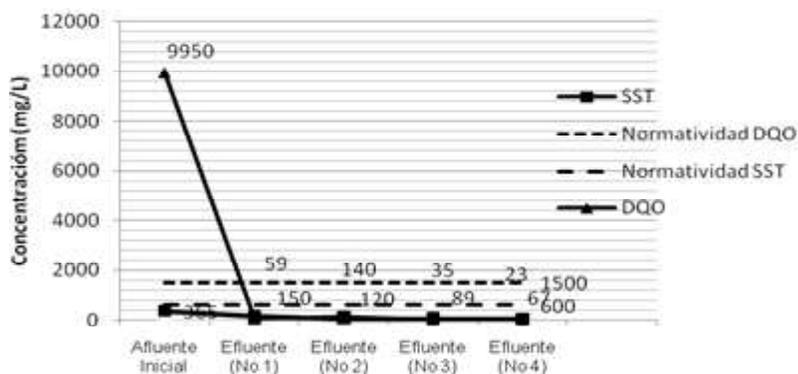


Figura 6. Efluentes de DQO y SST con la aplicación de la dosis de cal de 50 g/l

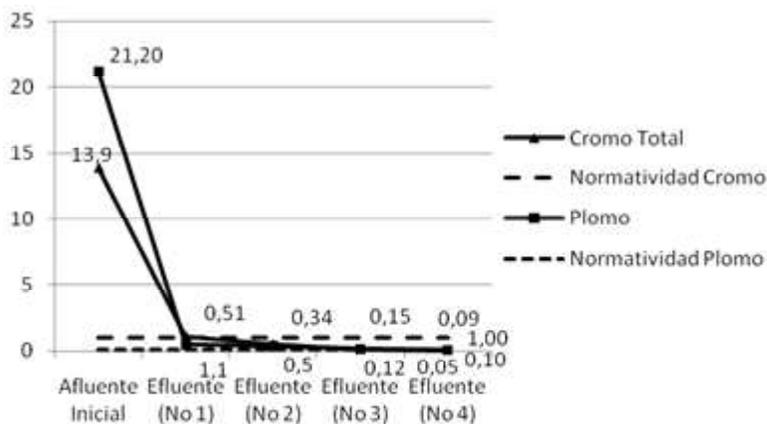


Figura 7. Efluentes de cromo y plomo con la aplicación de la dosis de cal de 50 g/l

dosis óptima fue de 50 g/l, lo que genera menos cantidad de lodos, pero de forma simultánea remueve el cromo total, plomo, DQO, SST y pH, según los límites de concentración para vertimientos de aguas residuales. El tratamiento del agua residual proveniente de la industria galvánica, establece remociones simultáneas de los metales pesados superiores al 99.8%, con un costo relativamente bajo por la aplicación de cal como agente precipitador convencional, pero

sin embargo, como tratamiento previo a la llegada del agua residual industrial cruda al sistema de tratamiento, también se puede estimar y analizar la posibilidad de reducir el grado de contaminación del agua, mediante su recirculación al interior del proceso productivo al igual que los reactivos empleados en el proceso galvánico, y manipular de manera más óptima el ácido como insumo químico, con tendencia al reuso o disposición separada del agua residual industrial, esto con el propósito de realizar un proceso industrial que tenga una baja carga de estos contaminantes.

### Literatura citada

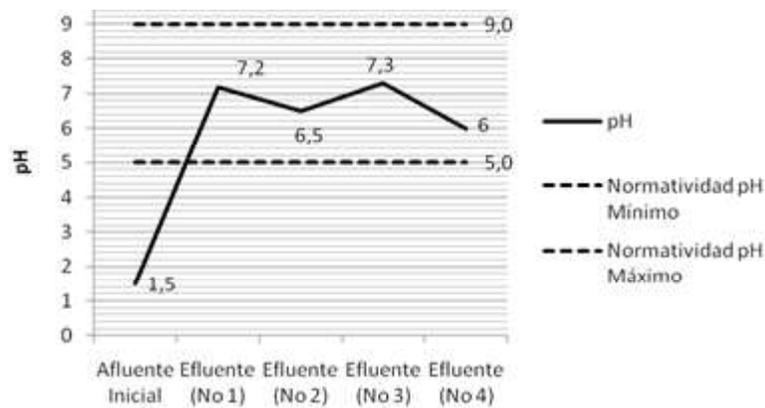
Abbas A. 2010. Simultaneous removal of heavy-metal ions in wastewater samples using nano-alumina modified with 2,4-dinitrophenylhydrazine. *J Hazardous Mat.* 181: 836-44.

APHA. 1998. *Standard methods for the examination of waste and wastewater.* Washington: American Public Health Association. p. 1320-5.

Eckenfelder W. 2000. *Industrial water pollution control.* 3rd ed. New York: The McGraw Hill companies. p. 139-56.

Matlock M. 2002. Chemical precipitation of lead from lead battery recycling plant wastewater. *Ind Eng Chem.* 41: 1579-82.

Puraki P. 1999. Biosorption of lead, cadmium and zinc by *Citobacter* Strain MCM B-



**Figura 8.** Efluentes de cromo y plomo con la aplicación de la dosis de cal de 50 g/l

- 181: Characterization Studies. *J Biotechnol Prog.* 15: 228-37.
- Rodríguez-Miranda JP. 2009. Selección técnico económica del sistema de depuración de aguas residuales, aplicando la evaluación de la descontaminación hídrica. *Rev Tecnol Agua.* 306: 22-31.
- Soon-Oh K. 2002. Pilot scale study on the ex situ electrokinetic removal of heavy metals from municipal wastewater sludges. *J Water Res.* 36: 4765-74.
- Soto E. 2006. Optimización del proceso de remoción de metales pesados de agua residual de la industria galvánica por precipitación química. *Inform Tecnol.* 17 (2): 33-42.
- Jwen-Hui K. 2009. Chemical evidences for the optimal coagulant dosage and pH adjustment of silica removal from chemical mechanical polishing (CMP) wastewater. *Colloids and Surfaces A: Physicochem Eng Aspects.* 342: 1-7.
- Zumriye A. 1999. A single-staged bioseparation process for simultaneous removal of copper (II) and chromium (VI) by using *C. vulgaris*. *Proc Biochem.* 3: 589-99.