

EFFECTO DE LA RAZON Fe/As EN LA REMOCION DE ARSÉNICO

O. Pavez, J. Palacios y A. Ardiles

Universidad de Atacama – Departamento de Metalurgia – Av. Copayapu 485, Copiapó, Chile.

Opavez@crisol.uda.cl – jpalacio@demet.uda.cl

RESUMEN

En el presente trabajo se estudia el efecto de la razón inicial Fe/As sobre la remoción de arsénico desde soluciones acuosas mediante la técnica de flotación por aire disuelto (FAD) a escala de laboratorio, aplicando el método de flotación por adsorción coloidal (“adsorbing colloid flotation”). Cloruro férrico se utilizó como coagulante, dodecil sulfato de sodio como colector y las soluciones fueron preparadas con trióxido de arsénico. Los resultados obtenidos permiten concluir que a medida que disminuye la concentración de arsénico en la solución, la razón Fe/As debe aumentarse para obtener un mayor grado de remoción. Experimentos con soluciones con contenidos de arsénico de: 13,73 mg/L; 1,71 mg/L y 0,101 mg/L, mostraron que para alcanzar una remoción de arsénico del orden del 95%, se requieren razones Fe/As en la solución de aproximadamente 6:1, 18:1 y 800:1 respectivamente.

INTRODUCCIÓN

El arsénico se encuentra en la naturaleza diseminado en pequeñas cantidades. Sin embargo, su consumo durante un período prolongado produce arsenicismo crónico, cuyos efectos conducen principalmente al cáncer de la piel.

A este elemento se le atribuye el inducir, en algunas personas, y a veces después de muchos años, extraños síntomas, tales como manchas en la piel, callosidades, tumores precancerosos, enfermedades neuronales, cáncer broncopulmonar y, en el peor de los casos, cierto tipo de gangrena.

La Zona Norte de Chile se caracteriza por presentar formaciones geológicas ricas en arsénico, el cual es lixiviado y arrastrado por diferentes ríos de la región, cuyas aguas han sido utilizadas, para el riego y bebida desde tiempos prehistóricos dejando su huella contaminante. Las aguas del subsuelo y de la superficie de la zona norte presentan concentraciones variables de

arsénico [Pastenes – 1983, Cruz – 1983, Figueroa – 1986, República de Chile – 1994].

La II Región, por ejemplo, se caracteriza por tener abundante contenido de arsénico en gran parte de su territorio y en todos sus cursos de agua superficiales y subterráneos y esto se asocia a la actividad volcánica de la cordillera de los Andes. Es por esto, que las fumarolas de los volcanes de la II Región poseen abundantes sulfuros de arsénico [Cáceres – 1999].

La flotación por adsorción coloidal se presenta como un método bastante exitoso en el tratamiento de aguas con algún contenido de arsénico [Su Sumu – 1978, De Carlo – 1981, Feng – 1984, De Carlo – 1985, Xiaoyuan – 1991].

En general, en este método se usa un floculo transportador y colectores del tipo oleato de sodio, lauril sulfato de sodio y aminas, para la remoción de arsénico desde la solución.

Estudios de difracción de rayos-X han mostrado que en la flotación por adsorción coloidal, el arsénico se encuentra bajo la forma de un compuesto estable que es transportado por los flóculos en el proceso de flotación [Xiaoyuan – 1991].

Uno de los parámetros importantes en la flotación de arsénico es la razón Fe/As en la solución, la cual es muy dependiente de la concentración de arsénico en la solución. Youcai Zhao et al. (1996) trabajando con soluciones de 15,41 mg/L de arsénico, encontraron que se requería de una razón Fe/As de 6:1 para alcanzar una alta remoción. En 1998, Tesscle et al., necesitaron una razón Fe/As de 15:1 para la remoción de arsénico desde una solución que contenía 1,005 mg/L de ese elemento. Por otra parte, en los estudios desarrollados por Su Sumu (1978) se observa que para remover el arsénico desde una solución de muy baja concentración, 0,001 mg/L, una razón Fe/As del orden de 5000:1 fue requerida.

En el presente trabajo se estudia el efecto de la razón Fe/As en la remoción de arsénico desde soluciones conteniendo diferentes concentraciones iniciales de este elemento. En este estudio se aplica el método de

flotación por adsorción coloidal y se usa un equipo de flotación por aire disuelto de escala laboratorio.

MATERIALES Y METODOS

Materiales

i) Soluciones

Las soluciones de arsénico fueron preparadas con agua desionizada utilizando trióxido de arsénico, As_2O_3 , las que fueron usadas en diferentes concentraciones en las pruebas de flotación por aire disuelto y de sedimentación.

ii) Reactivos

Los reactivos utilizados y sus características se listan a continuación:

- Dodecil Sulfato de Sodio, $C_{12}H_{25}NaO_4S$, calidad P.A. con una pureza > 98%, fabricado por Fluka.
- Cloruro Férrico, $FeCl_3 \cdot 6H_2O$, calidad P.A. con una pureza >95%, fabricado por Fluka.
- Trióxido de Arsénico, As_2O_3 , calidad P.A. con una pureza >99%, fabricado por Fluka.
- Hidróxido de Sodio, NaOH, y Acido Clorhídrico, HCl, ambos de calidad P.A., fueron usados para el control de pH de la solución.

iii) Equipo de Flotación FAD

La unidad de FAD está compuesta por una celda de acrílico de un litro de capacidad conectada a un saturador de acero, recubierto internamente por pintura epóxica, de dos litros de capacidad. El saturador y la celda de flotación están conectados entre sí por medio de una válvula. La presión de saturación es lograda por la inyección de aire a presión a través de una placa porosa dentro del líquido. La celda posee dos orificios próximos a la base, uno es utilizado como conexión con el saturador y el otro permite la remoción del agua clarificada. La agitación se realiza por medio de un agitador magnético ubicado debajo de la celda y el pH es controlado por medio de un pH-meter digital.

Métodos

i) Pruebas de Sedimentación

Las pruebas de sedimentación fueron efectuadas en vasos de precipitado de 400 mL, en los cuales se adicionó a la solución y el coagulante. El pH de la solución fue ajustado al valor requerido y luego la solución fue agitada, dejándose posteriormente en

reposo para que se produjera la sedimentación. Finalmente se tomaron muestras del líquido clarificado para análisis químico.

ii) Pruebas de Flotación por Aire Disuelto

Las pruebas de flotación por aire disuelto fueron realizadas de acuerdo al siguiente procedimiento:

- Saturación del agua con aire comprimido a una presión constante de 6 atm durante 15 minutos;
- Adición de 500 mL de solución de arsénico, previamente acondicionada con cloruro férrico, a la celda de flotación y ajuste del pH;
- Adición de colector, ajuste de pH y acondicionamiento mediante agitación magnética;
- Inyección en la celda de flotación de un volumen de 200 mL de agua saturada a la presión de saturación y
- Flotación por aire disuelto durante 2 minutos.

RESULTADOS

i) Pruebas de sedimentación

En la figura 1 se muestra el efecto del pH para una razón Fe/As = 10 en pruebas de sedimentación. Se observa que para una concentración inicial de 3,91 mg/L de arsénico es posible alcanzar una baja concentración final en el rango de pH 5 - 9. En la misma figura se aprecia que en los pH 3 y 4 la concentración final de arsénico es alta.

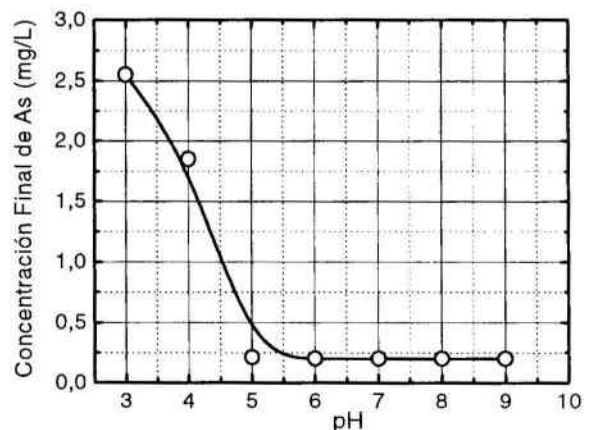


Fig 1. Influencia del pH sobre la concentración final de As en la solución para pruebas de sedimentación con soluciones de concentración inicial de As de 3,91 mg/L.

En $pH \geq 5$ la baja concentración de arsénico observada en la solución clarificada indica una alta

sedimentación de los flóculos de hidróxido de hierro conteniendo el arsénico. Sin embargo, en $\text{pH} < 5$ la sedimentación disminuye notoriamente a medida que baja el pH , lo cual se debería a que en estos valores de pH no hay suficiente $\text{Fe}(\text{OH})_3$ coloidal para captar los iones arsenito.

Por otra parte, dado que el dodecil sulfato de sodio es un colector aniónico que actúa electrostáticamente, en la flotación del arsénico coprecipitado en hidróxido de hierro se debe trabajar en pH ácido, ya que en esos pH la carga superficial que presenta el hidróxido de hierro precipitado es positiva [De Carlo - 1985].

Sin embargo, De Carlo and Zeitlin (1981) indicaron que la remoción de trazas de arsénico mediante la flotación por adsorción coloidal disminuye notoriamente en soluciones con pH menores a 4, lo cual se atribuye a la insuficiente cantidad de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ presente para la flotación con un colector aniónico.

Ya anteriormente, Chatman et al. (1977) habían sugerido que en la remoción de arsénico desde soluciones, la cantidad de coprecipitado presente era tan importante como la atracción electrostática entre el colector y el precipitado.

Es por esto, que en el presente estudio las experiencias de flotación se realizan con soluciones de pH ajustado a 5.

ii) Pruebas de flotación por aire disuelto

En la figura 2 se presenta el efecto de la razón Fe/As en la remoción de arsénico en presencia de 40 mg/L de dodecil sulfato de sodio, $\text{pH} = 5$ y empleando soluciones de arsénico de 13,73 mg/L y 1,71 mg/L.

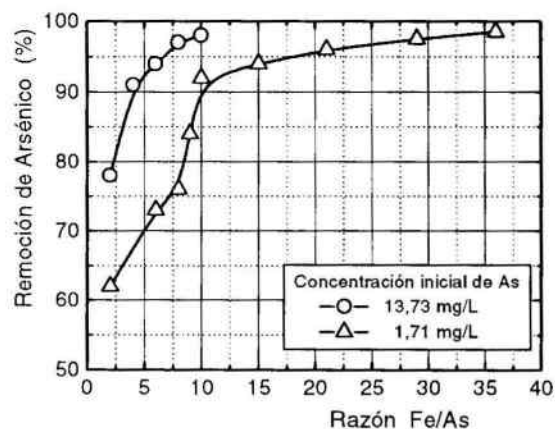


Fig 2. Influencia de la razón Fe/As sobre la remoción de As en pruebas de flotación con soluciones de concentraciones iniciales de 13,73 y 1,71 mg/L.

Se observa en ambas curvas que la remoción de arsénico aumenta al incrementarse la razón Fe/As , alcanzándose una remoción de aproximadamente 98% con razones Fe/As del de 6:1 (13,73 mg/L) y 18:1 (1,71 mg/L).

El efecto de la razón Fe/As en la remoción de arsénico desde una solución de 0,105 mg/L se muestra en la figura 3. Se aprecia que con una razón Fe/As del orden de 800:1 se alcanza una remoción de arsénico cercana al 95%.

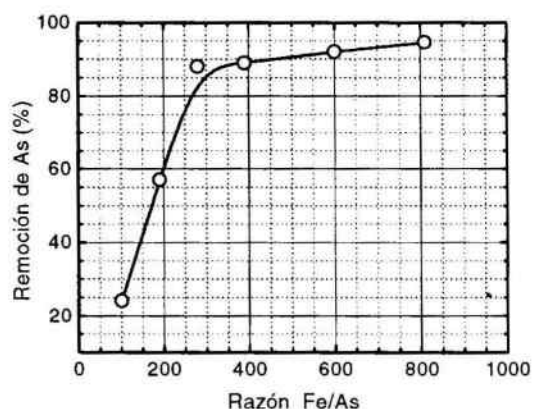


Fig 3. Influencia de la razón Fe/As sobre la remoción de As en pruebas de flotación con soluciones de concentración inicial de 0,105 mg/L.

Las figuras 2 y 3 permiten visualizar claramente que a medida que disminuye la concentración inicial de arsénico se requieren mayores razones Fe/As para alcanzar una alta remoción.

Por otra parte, en la tabla I se presentan valores reportados en la literatura de razones Fe/As necesarias para la remoción de arsénico en función de la concentración inicial de dicho elemento.

Los valores presentados en la tabla confirman lo expresado anteriormente y además muestran una buena concordancia entre los resultados alcanzados en el presente trabajo y los valores obtenidos por Youcai Zhao et al. (1996), Xiaoyuan (1991) y Tessele et al. (1998).

CONCLUSIONES

Los resultados experimentales de este trabajo muestran que, en la medida que el contenido de arsénico en las soluciones tratadas es mas bajo, se requiere incrementar la razón Fe/As en la solución para alcanzar un alto grado de remoción.

Los experimentos realizados con concentraciones de arsénico de 13,73 mg/L, 1,71 mg/L y 0,105 mg/L, mostraron la necesidad de razones Fe/As de 6:1, 18:1 y 800:1 respectivamente, para obtener remociones de arsénico del orden de 98%.

Finalmente, se puede verificar que un aumento de la razón Fe/As en la solución producirá un incremento en la remoción del arsénico.

Tabla I. Razones Fe/As utilizadas en pruebas de remoción de arsénico publicados en la literatura.

Contenidos de As (mg/L)	Razón Fe/As	Referencia
300 - 600	2,5:1	Wilson et al. (1984).
> 50	5:1	Lawrence and Higgs (1999).
20	8:1	Xiaoyuan (1991).
15,41	6:1	Youcai Zhao et al. (1996).
13,73	6:1	Este trabajo.
5	9:1	Maruyama et al. (1975).
1,71	18:1	Este trabajo.
1,005	15:1	Tessele et al. (1998).
0,105	800:1	Este trabajo.
0,005	4000:1	Feng and Ryan (1984).
0,001	5000:1	Su Sumu (1978).

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen a la Universidad de Atacama por el apoyo financiero al proyecto de investigación 08-PI-96.

REFERENCIAS

Cáceres, A. Arsénico, normativas y efectos en la salud, XIII Congreso de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Antofagasta, Octubre (1999).

Chatman, T.E. et al. *J. Sep. Sci.*, 12, 461 (1977) (quoted by De Carlo and Zeitlin).

Cruz, L. Evaluación de afectividad de las plantas de abatimiento de arsénico en la Segunda Región, In: Catastro de Problemas Ambientales de la II Región - Antofagasta (Coordinador: Arenas, V.), Antofagasta, 66, julio (1983).

De Carlo, E. H. and Zeitlin, H. Simultaneous separation of trace levels of germanium from an acid matrix by adsorbing colloid flotation, *Anal. Chem.* N° 53, 1104 (1981).

De Carlo, E. H. and Thomas, D. M. Removal arsenic from geothermal fluids by adsorptive bubble flotation with colloidal ferric hydroxide, *Environ. Sci. Technol.*, N° 19, 538 (1985).

Feng, X. and Ryan, D.E. Combination collectors in adsorption colloid flotation for multielement determination in waters by neutron activation, *Analytica Chimica Acta*, N° 162, 47 (1984).

Figueroa, L., Quebrada Camarones: Un habitat marcado por el arsénico. *Anales del 2° Encuentro científico sobre el Medio Ambiente*, Talca, Tomo 1, 130, 4 - 8 Agosto (1986).

Lawrence, R.W. and Higgs, T.W., Removing and stabilizing As in acid mine water, *JOM*, 51, N°9, 27, September (1999).

Maruyama, T. et al., Removal of heavy metals by physical and chemical treatment processes, *J. Water Poll. Control Fed.*, 47, 964 (1975).

Patenes, J. y Acevedo, E. Presencia y distribución de arsénico en el sistema suelo - agua en el norte de Chile. II Contaminación arsenical en la Quebrada Camiña (I Región), *Anales del Primer Encuentro Científico sobre el Medio Ambiente Chileno*, La Serena, Vol. II, 50, 1-5 julio (1983).

República de Chile, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Análisis de redes de vigilancia calidad aguas terrestres estadística hidroquímica Nacional etapa I, Preparado por AC. Ingenieros Consultores, Febrero (1994).

Su Sumu, N., Flotation of sub-microgram amount of arsenic coprecipitated with iron (III) hydroxide from nature waters and determination of As by AAS, *Analyst*, 103, 1032 (1978).

Tessele, F. et al., Removal of Hg, As and Se ions from gold cyanide leach solutions by dissolved air flotation, *Minerals Engineering*, 11, N°6, 535 (1998).

Wilson, R. et al., Arsenic sludge dewatering, paper presented at the 39th Annual Purdue Industrial Waste Conference, West Lafayette, IN, May (1984).

Xiaoyuan, X. et al., Removal of arsenic from waste water by adsorbing colloid flotation, XVII th International Mineral Processing Congress, Dresden, Preprints, 419, 23-28 September (1991).

Youcai Zhao, et al., Removal of molybdate and arsenate from aqueous solutions by flotation, *Separation Science Technology*, 31, N°6, 769 (1996).