

REMOCION DE ARSENICO MEDIANTE FLOTACION POR AIRE DISUELTO

O. PAVEZ, B. ZAZZALI y E. CASTRO

Departamento de Metalurgia - Universidad de Atacama - Av. Copayapu 485 - Casilla 240 - Copiapó - Chile.

RESUMEN

Se estudió la flotación por aire disuelto (FAD) de arsénico desde soluciones preparadas artificialmente a través del método de flotación por adsorción coloidal. En este trabajo se utilizó cloruro férrico y sulfato de aluminio como floculante, dodecil sulfato de sodio como colector y trióxido de arsénico en la preparación de las soluciones. En las pruebas de flotación se aplicó una presión de saturación de 6 kgf/cm² y se varió la razón Fe/As, Al/As y la concentración del colector. Los resultados obtenidos mostraron que, con la utilización de un sistema de FAD era posible disminuir notoriamente el contenido de arsénico desde las soluciones estudiadas, alcanzándose extracciones del orden del 99,9%, lo cual significó bajar los niveles iniciales de arsénico, que estaban en torno de 3-4 mg/l, para valores del orden de 0,003 mg/l.

ABSTRACT

The removal of arsenic from synthetic As₂O₃ solutions was studied by using Dissolved Air Flotation (DAF). The arsenic was recovered by mean of colloid adsorption flotation. Ferric chloride and aluminum sulphate were used as flocculant, and sodium dodecyl sulphate as collector. The laboratory experiments were conducted at constant air saturation pressure of 6 kgf/cm², and Fe/As and Al/As ratios and the collector concentration were varied. The maximum arsenic extraction efficiency obtained was 99.9%, and the initial arsenic concentration, in the range 3-4 mg/l, was decreased to 0.003 mg/l in the solution.

Palabras Claves: Flotación, Arsénico, Efluentes, Medio Ambiente.

INTRODUCCION

El arsénico se encuentra en la naturaleza en pequeñas cantidades. La contaminación del agua con arsénico y su consumo durante un periodo prolongado produce arsenicismo crónico, cuyos efectos conducen principalmente al cáncer de la piel.

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 regadío y bebida desde tiempos prehistóricos dejando su huella contaminante en momias encontradas en los últimos años.

Las aguas del subsuelo y de la superficie de la zona norte presentan concentraciones variables de arsénico. Esto ha sido confirmado en diferentes estudios, en la I Región [1,2,3]; en la II Región [3,4,5] y en la III Región [2].

La flotación por adsorción coloidal ("adsorption colloid flotation") se presenta como un método bastante exitoso en el tratamiento de aguas conteniendo arsénico [6,7,8,9,10]. En general, en este método se usan como flóculo transportador $\text{Fe}(\text{OH})_3$ o $\text{Al}(\text{OH})_3$ 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 de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ en el proceso de flotación [10].

En el presente trabajo, se estudia la flotación por aire disuelto de arsénico a partir de soluciones artificiales utilizando el método de flotación por adsorción coloidal, con el uso de dodecil sulfato de sodio como colector y, cloruro de hierro y sulfato de aluminio en la formación de floculos transportadores.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Materiales

- Soluciones

Se prepararon soluciones de arsénico de diferentes concentraciones utilizando óxido

de arsénico (As_2O_3). Estas soluciones fueron usadas en las pruebas de flotación por aire disuelto y de sedimentación.

- Reactivos

Se utilizaron los siguientes reactivos:

- Dodecil Sulfato de Sodio, $C_{12}H_{25}NaO_4S$, p. a., pureza > 98%, fabricado por Fluka
- Sulfato de Aluminio, $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$, p. a., pureza > 99,5 fabricado por Fluka
- Cloruro Férrico, $Fe Cl_3 \cdot 6 H_2O$, pureza > 95%, fabricado por Fluka p. a.,
- Trióxido de Arsénico, $As_2 O_3$, pureza > 99%, fabricado por Fluka
- Hidróxido de Sodio, $Na OH$, p. a., para el control de pH
- Agua Desionizada fue utilizada en la preparación de las soluciones.

- Equipo de FAD

La unidad de FAD de laboratorio utilizada estaba compuesta por una celda de acrílico de 1 litro y un saturador de acero con 2 litros de capacidad, recubierto internamente por una capa de epoxi. El saturador y la celda de flotación son conectados entre sí a través de una válvula que dispone de un aparato reductor de presión. La presión de saturación es mejorada por la inyección de aire bajo presión por medio de una placa porosa dentro del líquido. La celda posee dos orificios próximos a la base, uno de los cuales es utilizado como conexión con el saturador y el otro permite la remoción del agua clarificada. La agitación del sistema se efectúa por medio de un agitador magnético colocado abajo de la celda de flotación y el pH es controlado por medio de un medidor de pH digital.

Métodos

- Pruebas de Sedimentación.

Las pruebas de sedimentación fueron efectuadas en vasos precipitados de 400 ml, en los cuales se adicionó a la solución el floculante correspondiente. La solución fue ajustada de pH y agitada durante un cierto tiempo dejándose posteriormente en reposo para que se produjera la sedimentación. Finalmente se tomaron muestras del líquido clarificado para análisis químico.

- Pruebas de Flotación por Aire Disuelto.

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

procedimiento:

- a. saturación del aire en el agua del saturador, bajo presión constante de 6 kgf/cm^2 durante 15 minutos;
- b. adición de 500 ml de solución de arsénico a la celda de flotación y ajuste del pH (previamente acondicionada con cloruro férrico o sulfato de aluminio);
- c. adición de colector, ajuste de pH y acondicionamiento mediante agitación magnética;
- d. inyección en la celda de flotación de un volumen de 200 ml de agua saturada a la presión de saturación;
- e. flotación por aire disuelto durante 2 min;
- f. toma de muestra del agua clarificada desde la celda de flotación para análisis químico.

RESULTADOS

Inicialmente fueron realizadas pruebas de sedimentación para definir el pH donde se forman mejor los flóculos.

Los resultados del presente trabajo se presentan en figuras en las cuales se ha graficado la concentración final de arsénico y el porcentaje de extracción. En las figuras 1 y 4 se muestran los resultados de las pruebas de sedimentación y en las figuras 2, 3, 5 y 6 los resultados de flotación por aire disuelto.

En la figura 1 se muestra el efecto del pH para una razón $\text{Fe/As} = 10$ en pruebas de sedimentación. Se observa que para una concentración inicial de $3,91 \text{ mg/l}$ de arsénico es posible alcanzar una concentración final del orden de $0,21 \text{ mg/l}$ 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 ($2,54$ y $1,86 \text{ mg/l}$ respectivamente).

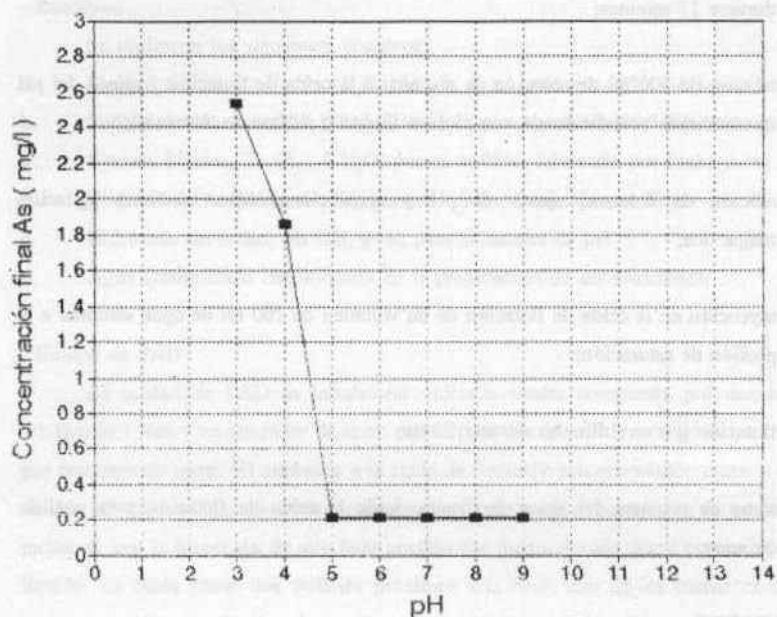


Figura 1. Concentración final de arsénico en función del pH.
 Concentración inicial de arsénico = 3.91 (mg/l);
 Razón Fe/As = 10. (Prueba de sedimentación).

El efecto de la razón Fe/As en la presencia de 40 mg/l de dodecil sulfato de sodio en pH = 5,5 es presentado en la figura 2. Los resultados muestran que es posible alcanzar un 99,8% de extracción de arsénico con concentraciones finales de ese elemento que están en el rango de 0,0060 - 0,0025 mg/l.

En la figura 3 se presenta el efecto de la concentración de dodecil sulfato de sodio para una razón Fe/As = 10 y pH = 5,5. Se observa que con concentraciones de colector de 2 mg/l es posible alcanzar una concentración final de arsénico de 0,026 mg/l. Estos resultados mejoran al aumentar la concentración del colector obteniéndose con 20 mg/l de colector, una concentración final de arsénico de 0,006 mg/l. En todos los casos el % extracción es superior a 99%.

El efecto del pH utilizado una razón Al/As = 10 en pruebas de sedimentación se muestra en la figura 4. Se observa que, en general, la concentración final de arsénico presenta valores en el rango de 0,13 - 0,40 mg/l, con excepción de pH = 8 (0,08 mg/l de arsénico) y pH = 11 (0,79 mg/l de arsénico).

En la figura 5 se presenta el efecto de la razón Al/As en la presencia de 40 mg/l de dodecil sulfato de sodio en pH = 8. Se aprecia en dicha figura que es posible alcanzar concentraciones finales de arsénico en el rango de 0,08 - 0,03 mg/l usando una concentración inicial de arsénico de 2,96 mg/l. Los mejores resultados se obtienen para una razón Al/As = 10 o 12.

El efecto de la concentración de colector para una razón Al/As = 10 en pH = 8 se muestra en la figura 6. Se observa que usando concentraciones de dodecil sulfato de sodio entre 5- 60 mg/l se alcanzan concentraciones finales de arsénico del orden de 0,095 - 0,021 con % de extracción de 98,5 - 99,7%. Al disminuir la concentración de colector para 2 mg/l los resultados son menos satisfactorios obteniéndose una concentración final de arsénico de 0,28 mg/l con un % extracción de 95,5%.

En este estudio se han alcanzado concentraciones finales de arsénico que se encuentran dentro de los niveles permitidos por la Norma Oficial Chilena para calidad de aguas. Las concentraciones máximas permisibles de arsénico son las siguientes (11, 12): 0,1 mg/l para agua de riego; 0,05 mg/l para agua potable.

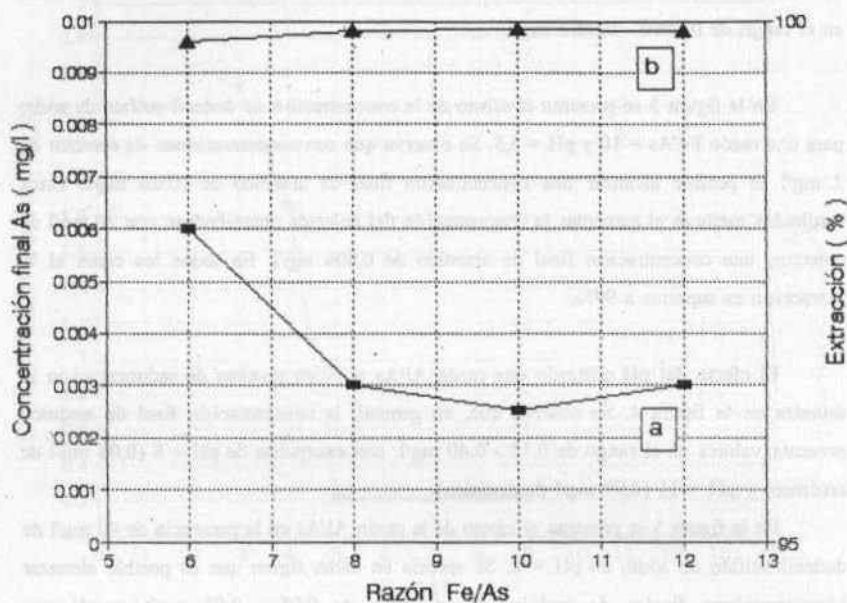


Figura 2. Concentración final de arsénico (a) y porcentaje de extracción (b) en función de la razón Fe/As .

Concentración inicial de arsénico = 2.93 (mg/l) ;
 pH = 5.5 ; Presión de saturación = 6 (kgf/cm²) ;
 Concentración dodecil sulfato de sodio = 40 (mg/l).

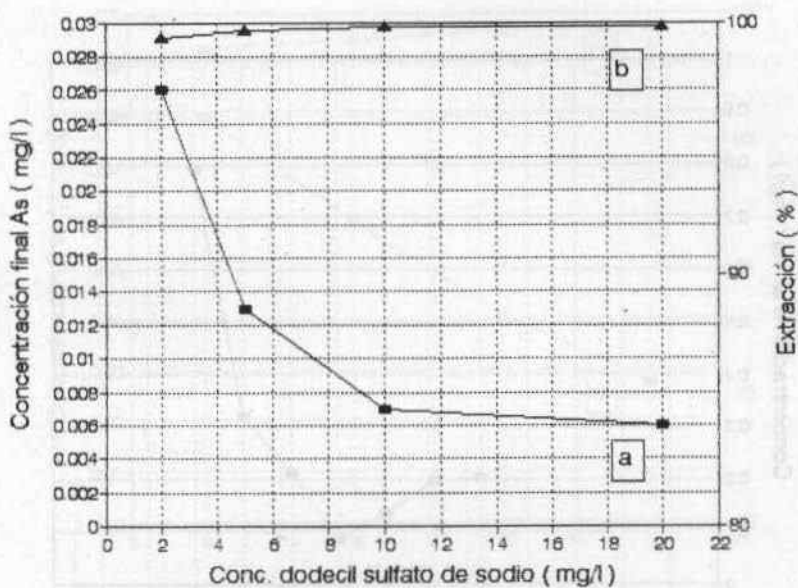


Figura 3. Concentración final de arsénico (a) y porcentaje de extracción (b) en función de la concentración de dodecil sulfato de sodio. Concentración inicial de arsénico = 4.18 (mg/l) ; pH = 6 ; Razón Fe/As = 10 ; Presión de saturación = 6 (kgf/cm²).

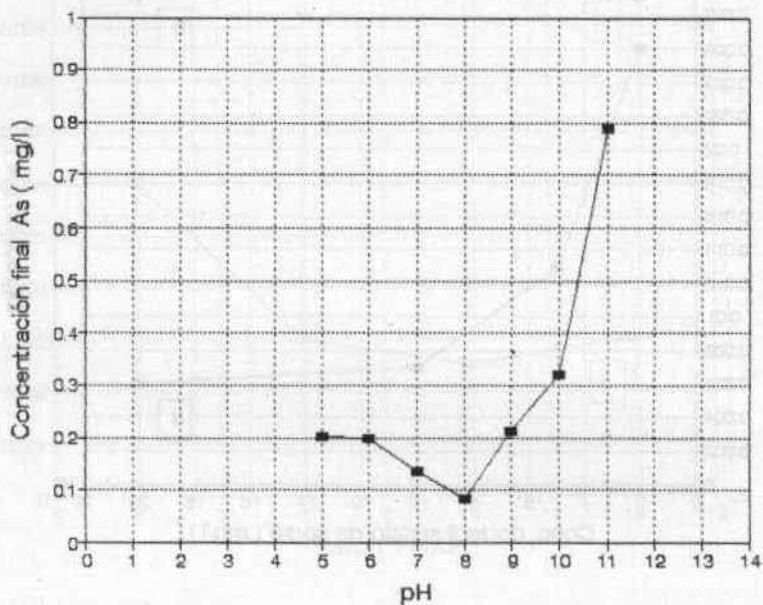


Figura 4. Concentración final de arsénico en función del pH.

Concentración inicial de arsénico = 2.96 (mg/l) ;

Razón Al/As= 10. (Prueba de sedimentación).

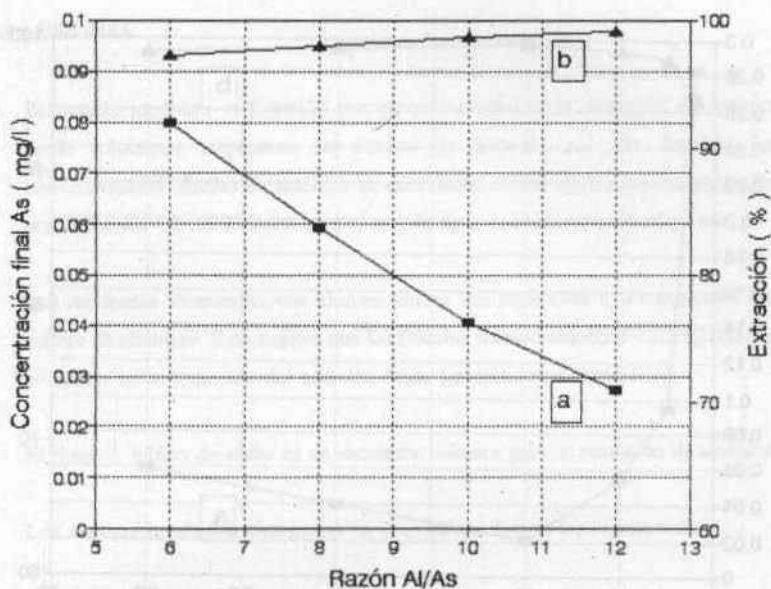


Figura 5. Concentración final de arsénico (a) y porcentaje de extracción (b) en función de la razón Al/As. concentración inicial de arsénico = 2.96 (mg/l) ; pH = 8 ; Concentración de dodecil sulfato de sodio = 40 (mg/l) ; Presión de saturación = 6 (kgf/cm²).

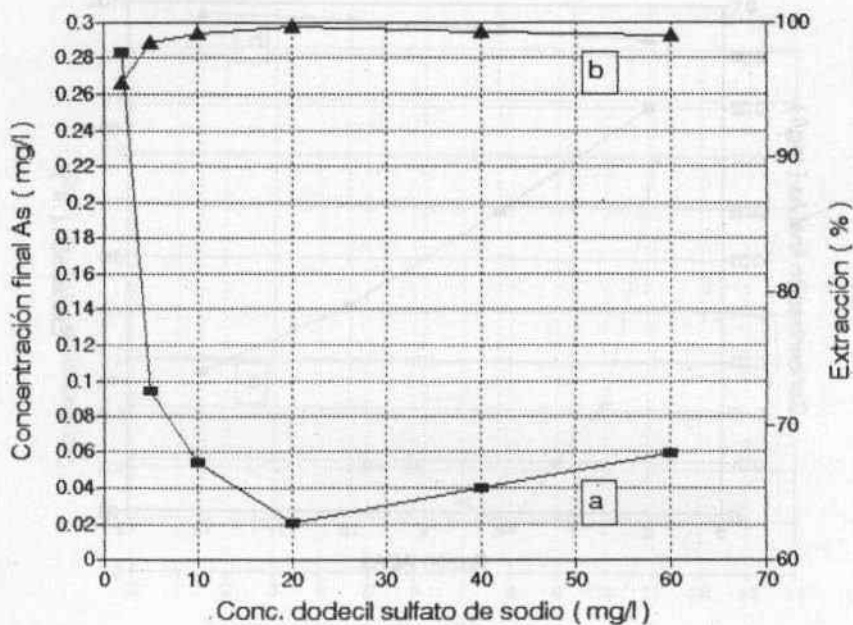


Figura 6. Concentración final de arsénico (a) y porcentaje de extracción (b) en función de la concentración de dodecil sulfato de sodio. Concentración inicial de arsénico = 6.26 (mg/l) ; pH = 8 ; Razón Al/As = 10 ; Presión de saturación = 6 (kgf/cm²).

Finalmente, debe indicarse que las concentraciones finales de fierro y aluminio en las aguas tratadas también se encuentran dentro de los valores permitidos por las Normas Oficiales de calidad de aguas.

CONCLUSIONES

1. Es posible mediante la flotación por adsorción coloidal la remoción de arsénico desde soluciones empleando un sistema de flotación por aire disuelto. Las concentraciones finales de arsénico se encuentran dentro de los niveles aceptados por la Norma Oficial Chilena para el uso de agua con diferentes finalidades.
2. Los resultados alcanzados con cloruro férrico son superiores a los obtenidos con sulfato de aluminio. Esto sugiere que los flóculos transportadores $\text{Fe}(\text{OH})_3$ son más eficientes en la remoción del arsénico desde las soluciones arsenicales.
3. El dodecil sulfato de sodio es un excelente colector para la remoción de arsénico.
4. Los mejores resultados alcanzados en este trabajo fueron los siguientes:
 - a) En presencia de cloruro férrico
 - Concentración final de arsénico = 0,0025 mg/l
 - % extracción = 99,9%.En las siguientes condiciones experimentales: razón Fe/As = 10; pH = 5,5; concentración de dodecil sulfato de sodio = 40 mg/l; presión de saturación = 6 kgf/cm².
 - b) En presencia de sulfato de aluminio
 - Concentración final de arsénico = 0,021 mg/l
 - % extracción = 99,7%En las siguientes condiciones experimentales: razón Al/As = 10; pH = 8; concentración de dodecil sulfato de sodio = 20 mg/l; presión de saturación = 6 kgf/cm².

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Pastenes, J. y Acevedo, E. Presencia y Distribución de Arsénico en el Sistema Suelo - Agua en el Norte de Chile. II Contaminación Arsénica en la Quebrada Camiña (I Región). Anales del Primer Encuentro Científico sobre el Medio Ambiente Chileno, 1 - 5 de Agosto de 1983, La Serena, Vol II, p. 50 - 54.
2. Figueroa, L. Quebrada Camarones: Un Habitat Marcado por el Arsénico. Anales del 2º Encuentro Científico sobre el Medio Ambiente, 4 - 8 de agosto de 1986, Talca, Tomo I, p. 130 - 131.
3. República de Chile, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas. Análisis Redes de Vigilancia Calidad Aguas Terrestres Estadística Hidroquímica Nacional Etapa I. Informe Final Borrador, Preparado por AC. Ingenieros Consultores, Febrero 1994, I Región p. 1-15; II Región p. 1-12; III Región p. 1-30.
4. Cruz, L. Evaluación de efectividad 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, Julio 1983, p. 66-67.
5. Pedrero, R. Chuquicamata: Desafío Ambiental. Minerales, vol 48, N° 201, p. 47-53.
6. 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, vol 103, 1978, p. 1032-1036.
7. 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, 1981, p. 1104-1107.
8. 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, 1984, p. 47-55.

9. 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, 1985, p. 538-544.
10. Xiaoyuan, X., Jin, C. and Changhuai, G. Removal of Arsenic from Waste Water by Adsorbing Colloid Flotation. In: XVII th International. Mineral Processing Congress, Dresden, 23 - 28 Sep. 1991, Preprints, p. 419-427.
11. Norma Chilena Oficial, NCH 1333. Requisitos de calidad del agua para diferentes usos. Instituto Nacional de Normalización. Primera edición, 1978.
12. Norma Chilena Oficial, NCH 409/1. Agua potable - Parte 1: Requisitos. Instituto Nacional de Normalización. Primera edición, 1978.