

USO DE BENTONITA EN AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRES PARA LA REMOCIÓN DE Cr(III)

Adriana Echavarría Isáza, Mónica Moreno Casafús, Claudia Ramírez Ochoa,
Claudia Tamayo Martínez y Carlos Saldarriaga Molina*

Recibido: Marzo 24/98 - Aceptado: Julio 10/98

Keywords: tannery waste waters, chromium removal, bentonite.

RESUMEN

Se reporta un procedimiento eficiente para la remoción de Cr(III) de las aguas residuales de curtiembres utilizando bentonita natural y químicamente tratada. El mejor resultado se obtiene utilizando 7.5 gramos de bentonita natural para un volumen de efluente residual de 20 ml. Este sólido removió la totalidad del cromo(III) presente en la muestra.

ABSTRACT

An efficient procedure is reported for Cr(III) removal from tannery waste waters by means of natural and chemically treated bentonites. The best result was obtained using 20 mL of effluent with 7.5 grams of bentonite. With this quantity it was removed the total amount of chromium III present in the sample.

INTRODUCCIÓN

Las curtiembres descargan, a las fuentes naturales de agua, grandes cantidades de residuos líquidos altamente contaminados. Los efluentes generados en dichos procesos se caracterizan por su color oscuro, olor desagradable y elevada

concentración de materiales sólidos, solubles e insolubles, orgánicos e inorgánicos. Siendo el cromo el principal agente contaminante en estas aguas, con una concentración cercana a los 2000 ppm, se hace necesario implementar tecnologías que permitan su remoción.

Los métodos convencionales para el tratamiento del cromo se basan en su precipitación como hidróxido, pero éstos producen lodos residuales que generan problemas ecológicos en su disposición final. En este trabajo se presenta un método alternativo de remoción, donde se utiliza bentonita colombiana natural y modificada, cumpliendo un papel de adsorbente e intercambiador de iones, cuando se pone en contacto con el líquido tomado en el punto de descarga de una empresa de curtición.

La bentonita es una arcilla natural de aspecto terroso, fino y granular, constituido por un grupo de minerales cristalinos y cantidades menores de partículas no cristalinas. Fundamentalmente, es un aluminosilicato hidratado de estructura laminar formado por dos capas de silicio tetraédrico y una de aluminio octaédrico, en medio de las dos anteriores, con cantidades variables de Fe^{+3} , K^+ , Na^+ , Ca^{+2} , etc., los cuales actúan como cationes de compensación y son fácilmente intercambiables (1,2). La bentonita utilizada, así como los datos de composición, reportados en la tabla 1, fueron obtenidos de la empresa Minerales Industriales S.A. de la Unión en Antioquia.

Las arcillas, en su forma natural, presentan buenas propiedades de adsorción,

*Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Antioquia. A.A. 1226. Medellín, Colombia.

pero algunas veces éstas pueden ser mejoradas si se tratan adecuadamente con un ácido (3). Durante el proceso, se extraen principalmente iones octaédricos y algunos tetraédricos, esta remoción depende de la relación ácido-arcilla, concentración del ácido, temperatura y el tiempo que dure el tratamiento. El ácido ataca tanto el mineral como las impurezas asociadas con la arcilla en su estado original, provocando cambios físicos y químicos en su estructura.

Con la disolución de la capa octaédrica aparecen dos nuevas superficies muy reactivas que contienen un gran número de grupos silanol como puede verse en la figura 1(a), dichos grupos son susceptibles de condensarse debido a la acidez y temperatura del medio, formando grupos siloxano, como se ilustra en la figura 1(b).

PARTE EXPERIMENTAL

Se realizaron experimentos, según diseño de Box-Wilson (4), utilizando los siguientes materiales:

- Bentonita en su estado natural
- Bentonita con tratamiento ácido

El agua residual utilizada se obtuvo del desecho de los tambores de cromado de la industria Curtimbres Itagüí S.A. Este efluente mostró una concentración de 1850 ppm de Cr(III), medida por colorimetría en un Spectronic 20, Bausch & Lomb. El método colorimétrico utilizado solo mide cromo (VI), por lo que se hace necesario oxidar todo el cromo(III) presente con permanganato de potasio; esto siguiendo el procedimiento presentado en Standard Methods (5).

Los experimentos se llevaron a cabo en forma discontinua, manteniendo la temperatura y el volumen del agua residual constantes, a 40°C y 20 cm³, respectivamente. La masa del material de remoción, el pH y el tiempo de contacto fueron las variables del proceso, así: la masa varió entre 2 y 9 gramos, el pH de 4 a 8 unidades y el tiempo entre 45 a 150 minutos. Los experimentos realizados se presentan en la tabla 2.

Tabla 1: Composición típica de la bentonita colombiana.

| COMPUESTO | % PESO |
|--------------------------------|--------|
| SiO ₂ | 51.3 |
| Al ₂ O ₃ | 24.7 |
| Fe ₂ O ₃ | 7.7 |
| CaO | 1.0 |
| Na ₂ O | 0.5 |
| MgO | 4.8 |
| K ₂ O | 0.5 |
| H ₂ O | 9.5 |

Tabla 2: Diseño de experimentos según Box-Wilson.

| Experimento | pH | Masa (g) | Tiempo (min) |
|-------------|-----|----------|--------------|
| 1 | 4.0 | 5.5 | 98 |
| 2 | 8.0 | 5.5 | 98 |
| 3 | 6.0 | 2.0 | 98 |
| 4 | 6.0 | 9.0 | 98 |
| 5 | 6.0 | 5.5 | 45 |
| 6 | 6.0 | 5.5 | 150 |
| 7 | 4.5 | 3.5 | 68 |
| 8 | 4.5 | 3.5 | 128 |
| 9 | 4.5 | 7.5 | 128 |
| 10 | 4.5 | 7.5 | 68 |
| 11 | 7.5 | 3.5 | 68 |
| 12 | 7.5 | 3.5 | 128 |
| 13 | 7.5 | 7.5 | 128 |
| 14 | 7.5 | 7.5 | 68 |
| 15 | 6.0 | 5.5 | 98 |

Preparación de los materiales de remoción.

Tratamiento ácido.

Se llevó a cabo utilizando ácido sulfúrico 3N como agente activante, con una relación arcilla/ácido de 1:5 peso/volumen. El ácido se adicionó lentamente a la bentonita manteniendo agitación constante durante 1 hora. Posteriormente el sólido fue recuperado por filtración y secado a temperatura ambiente.

Determinación de la capacidad de remoción.

Inicialmente a 7.5 gramos de bentonita se le adicionaron 20 cm³ de agua residual de la industria de curtimbres, a la cual se le modificó el pH agregando gota a gota NaOH 1M hasta alcanzar un valor de 7.5. El sistema se dejó en agitación a 40 °C durante 3 horas y posteriormente se separó el sólido por filtración. Al líquido filtrado se le realizó análisis colorí-

métrico para obtener la concentración final de cromo. Aparte el sólido recuperado se seca, se pesa y se pone en contacto con una solución fresca de licor residual y se repite el procedimiento anterior. Esto se hace varias veces utilizando la bentonita recuperada y solución residual nueva, hasta lograr la saturación del sólido; hecho evidenciado cuando la concentración del líquido recuperado por filtración registre la misma concentración que la solución original.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 2(a) muestra el patrón de difracción de rayos X para la bentonita natural. Éste se obtuvo en un difractómetro marca Rigaku, modelo Miniflex, utilizando radiación de cobre (CuK α) a 40 kV y 30 mA y un barrido de 2°/minuto. La distancia interbasal, d_{001} =15.24 Å, está determinada por la reflexión ubicada en $2\theta = 5.8$. Las líneas ubicadas en posiciones de 2θ iguales a 20.9 y 28.2 eviden-

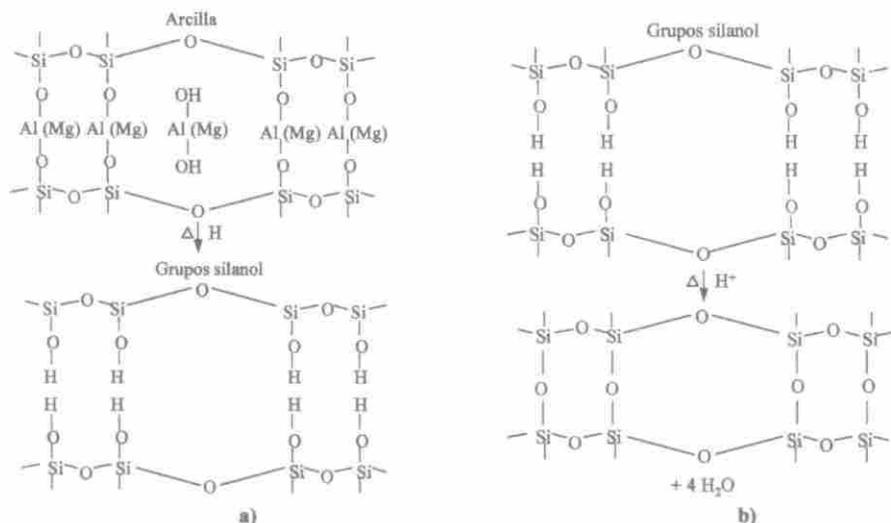


Figura 1. Representación esquemática de las reacciones que se llevan a cabo durante el tratamiento con ácido de la bentonita. a) Disolución de la capa octaédrica y formación de los grupos silanol. b) Condensación de los grupos silanol y formación de grupos siloxano.

cian la presencia de cuarzo en la muestra.

El difractograma para la bentonita con tratamiento ácido se presenta en la figura 2(b). Puede observarse una disminución en la intensidad interbasal y un desplazamiento de un grado Bragg hacia la derecha, sugiriendo un menor espaciamento entre las capas, debido a cambios parcia-

les en su estructura, y una disminución en la cristalinidad de la muestra.

El uso de los materiales descritos en la remoción de Cr(III), condujo a los resultados que se muestran en la tabla 3.

El mejor resultado se obtuvo en el experimento 13, cuyas condiciones fueron: pH inicial 7.5, masa 7.5 gramos y

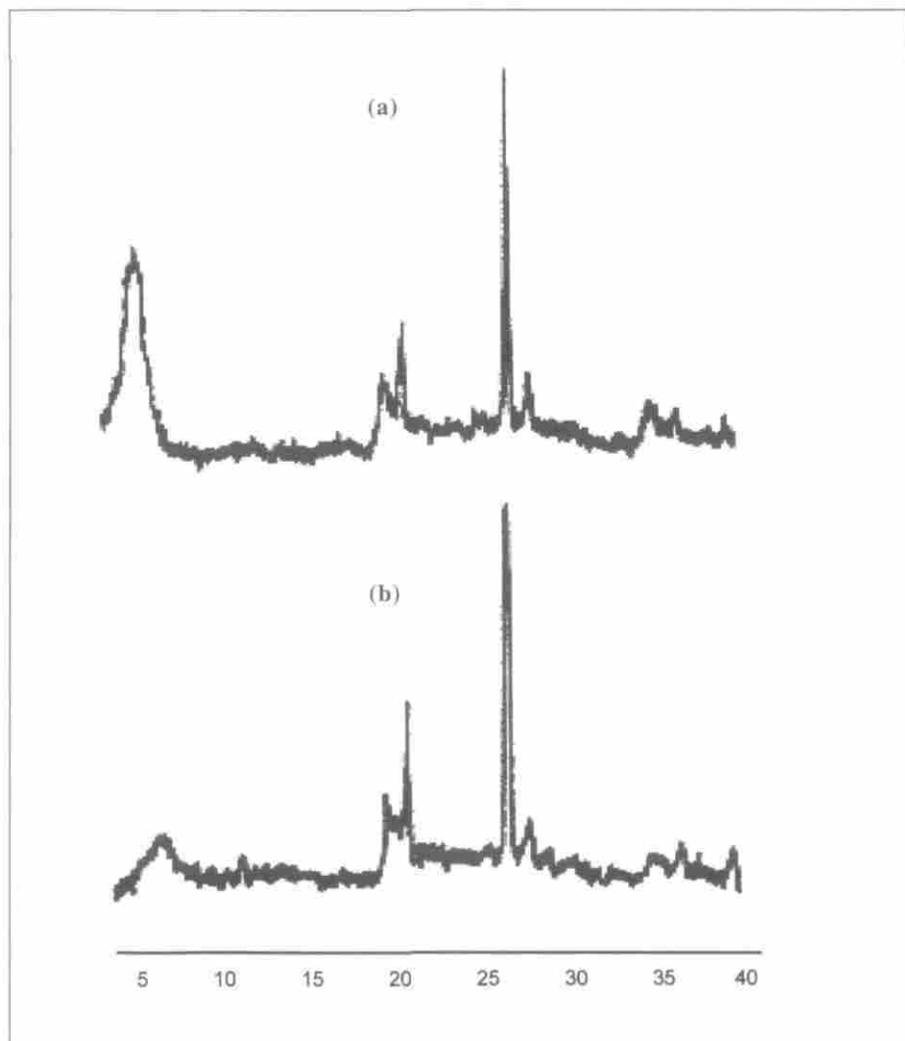


Figura 2. Difractograma de rayos X. (a) Bentonita natural; (b) Bentonita tratada con ácido

tiempo de contacto de 128 minutos; bajo estas condiciones se redujo la concentración de Cr(III) de 1850 ppm a 25 ppm. Este resultado se optimizó aumentando el tiempo de contacto de 128 a 210 minutos, lográndose así remover todo el cromo presente en la solución residual original. El pH final de la solución tratada fue de 5, valor que se encuentra dentro de los límites permisibles de descarga de aguas residuales.

La bentonita con tratamiento ácido no dio buenos resultados en ninguno de los experimentos. Esto podría atribuirse a los cambios estructurales que sufre el material durante el tratamiento con ácido ya que, como se muestra en la figura 1, el sólido pierde gran parte del aluminio presente, el cual le confiere su carácter aniónico, y por tanto exhibe menos cationes de compensación disponibles para el intercambio. La poca remoción de Cr(III),

en este caso, podría deberse a una simple adsorción.

Finalmente, se calcula la capacidad de remoción de la bentonita. Desde los experimentos descritos en la sección correspondiente, se encontró que la concentración final de cromo en la bentonita fue de 11057 ppm. Este número corresponde al cromo total, removido por el sólido, luego de sucesivos contactos con líquido residual fresco.

Ahora la capacidad total de la bentonita para remover cromo (III) puede calcularse de la siguiente manera (6):

$$\eta = 11057 * (V/M) * (3/52)$$

η : Concentración final de cromo en la bentonita en meq/g.

V: Volumen de solución residual de cromo, en litros.

Tabla 3. Concentraciones de Cr(III) en mg/L y pH finales para los experimentos realizados.

| Experimentos Realizados | Bentonita natural | | Bentonita con tratamiento ácido | |
|-------------------------|---------------------|---------|---------------------------------|---------|
| | pH _{final} | Cr(III) | pH _{final} | Cr(III) |
| 1 | 4.4 | 1400 | 2.2 | 1200 |
| 2 | 6.8 | 900 | 2.6 | 1050 |
| 3 | 6.1 | 1695 | 3.1 | 1295 |
| 4 | 6.2 | 50 | 3.5 | 1700 |
| 5 | 6.0 | 1245 | 2.6 | 1760 |
| 6 | 6.0 | 1000 | 2.4 | 1825 |
| 7 | 4.9 | 1300 | 2.5 | 1700 |
| 8 | 4.8 | 1650 | 2.5 | 1100 |
| 9 | 5.3 | 1055 | 2.1 | 1850 |
| 10 | 5.6 | 1352 | 2.1 | 1070 |
| 11 | 6.4 | 300 | 2.7 | 1825 |
| 12 | 6.4 | 46 | 2.6 | 1000 |
| 13 | 5.0 | 25 | 2.1 | 1425 |
| 14 | 6.7 | 41 | 2.1 | 1690 |
| 15 | 6.0 | 1155 | 2.1 | 181 |

M: Masa de bentonita utilizada para la remoción, en gramos.

Reemplazando términos en la ecuación anterior, tenemos que:

$$\text{capacidad} = 11057 \text{ ppm} \times \frac{1 \text{ mg/L}}{1 \text{ ppm}} \times 0.02 \text{ L} \times \\ \times \frac{1 \text{ meq}}{52 \text{ mg/3}} \times (7.5 \text{ g})^{-1}$$

$$\text{capacidad} = 170 \text{ meq/100g.}$$

CONCLUSIONES

En este trabajo se encontró una forma eficiente y económica para remover el Cr^{+3} presente en las aguas residuales de curtiembres. La bentonita, en su estado natural, la cual se encuentra disponible en el mercado a muy bajo costo, remueve eficientemente dicho ion debido a su gran capacidad de intercambio iónico y adsorción. La máxima remoción se presenta a valores de pH de 7.5 y con una relación masa/volumen entre 0.35-0.4 g/cm³, obteniéndose resultados óptimos con tiempos de contacto entre 3-4 horas. Esto ocurre a 40 °C, temperatura a la cual se descargan los efluentes en las curtiembres.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo hace parte de un proyecto de investigación financiado por COLCIENCIAS y la Universidad de Antioquia, encaminado a la utilización de materiales eficientes para la descontaminación de efluentes líquidos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Grim, R. E. *Clay mineralogy*. 2^{da} ed. Mc Graw Hill: New York, 1968.
2. Duchek, P.; et al. *Integrated utilization of bentonites*. Idea: Czechoslovakia, 1987.
3. Mokaya, R.; Jones, W. Pillared clays and pillared acid activated clays. *Journal of catalysis*. 1995, 53, 76-85.
4. Perry, J.H. *Chemical engineers' handbook*. Fourth edition. McGraw-Hill: New York. 1963.
5. APHA, AWWA, WPCF. "Standard Methods, for the examination of water an wastewater". 1989.
6. Gil, E. *Remoción de cromo de la industria de curtiembres utilizando mallas moleculares*. Tesis de Magister. Universidad Nacional de Colombia. 1997.