

Competencia de iones mayores en la migración química de cadmio y plomo en sedimentos del lago de Chapala, México

Patricio Maya
Anne M. Hansen

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Para determinar el efecto de los iones mayores en la liberación de cadmio y plomo adsorbidos en sedimentos del lago de Chapala, se utilizaron isótopos radiactivos y la técnica de dilución isotópica. La desadsorción de cadmio en sedimentos del lago de Chapala es mayor en presencia de los cationes calcio y magnesio, mientras que el sodio y el potasio tienen muy poca influencia aún en concentraciones elevadas, al igual que los aniones sulfato y carbonato. El cadmio adsorbido presentó competencia con los cationes en el siguiente orden: calcio > magnesio > potasio > sodio, mientras que para los aniones fue de la siguiente manera: cloruros > nitratos > sulfatos > carbonatos. En el caso del plomo, este se mantiene adsorbido al sedimento, aún bajo concentraciones de sólidos disueltos semejantes a los encontrados en aguas estuarinas.

Palabras clave: adsorción, desadsorción, sedimento, sólidos disueltos totales, dureza del agua, cadmio, plomo.

Introducción

Para establecer el riesgo asociado a la contaminación en los sistemas acuáticos, es necesario conocer el comportamiento dinámico de sustancias tóxicas como los metales pesados descargados al ambiente por vía antropogénica. Los efectos ecológicos de los metales pesados en los cuerpos de agua, se relacionan con las propiedades químicas de los mismos metales, la calidad del agua y las características físicas y químicas del sedimento. Todos estos factores intervienen en la migración química de los contaminantes en los sistemas hidrológicos (Leckie, 1986; Benjamin y Leckie, 1981; Hansen *et al.*, 1992).

Algunos metales pesados en los sedimentos del lago de Chapala se encuentran en concentraciones mayores que las reportadas para otros cuerpos de agua (Hansen, 1992). Sin embargo, la retención de los metales pesados en sedimentos puede ser reversible, de manera que estos contaminantes sean liberados nuevamente al agua bajo ciertas condiciones como el aumento de sólidos disueltos, de sólidos suspendidos, o como la disminución de potencial Hidrógeno.

Objetivo

Estudios anteriores de la migración química de metales pesados en sedimentos de la cuenca Lerma-Chapala, mostraron que los sedimentos juegan un papel muy importante en el transporte y la distribución de las sustancias tóxicas (Hansen, 1992; Hansen *et al.*, 1992).

El objetivo general de este trabajo fue cuantificar la distribución de metales pesados entre el agua y el sedimento, en función de diferentes parámetros de la calidad del agua. Para cumplir con lo anterior, se realizaron experimentos de adsorción/desadsorción de plomo y cadmio en sedimentos suspendidos en electrolitos de diferente composición y concentración.

Antecedentes

Estudios hidrogeoquímicos

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA, a través del proyecto *Estudio y control de la contaminación en el sistema Lerma-Chapala* ha realizado trabajos de caracterización física y química de los sedimen-

tos del río Lerma y del lago de Chapala (Hansen, 1992; Ortega y Hansen, 1992):

- Mineralogía
- Área superficial
- Constantes de acidez superficial
- Análisis de la contaminación por metales pesados
- Plaguicidas
- Hidrocarburos

Los resultados obtenidos han servido de base para los estudios de migración química de metales pesados, en los que se ha demostrado la influencia de la cantidad de sólidos suspendidos y disueltos, el *pH*, así como las propiedades fisicoquímicas que modifican o rigen la retención y la liberación de estos tóxicos en el lago de Chapala (Hansen *et al.*, 1992; Gelover y Hansen, 1992).

Formas y destinos del cadmio en el ambiente acuático

El cadmio es el elemento número 64 en orden de abundancia con un promedio de 0.2 mg/kg, ocurriendo comúnmente como sulfuro de cadmio, *CdS*, asociado con el mineral esfarelita (sulfuro de zinc).

En agua dulce, el cadmio existe principalmente como ión libre *Cd* (II), cloruro de cadmio y carbonato de cadmio, y presenta diferentes componentes orgánicos e inorgánicos. Los segundos como los carbonatos, sulfuros e hidróxidos de cadmio tienen baja solubilidad en agua. La solubilidad del cadmio decrece conforme incrementa el *pH* por arriba de 9.0, debido a la formación de hidróxido de cadmio.

La forma y destino del cadmio en agua es complicada y depende de su especiación química, la cual está determinada por el *pH* y la dureza del agua, presencia de ligandos y coexistencia de cationes metálicos. La mayoría de la información química ambiental del cadmio se basa en cálculos teóricos y estudios de laboratorio (CWQG, 1987).

La adsorción es probablemente el proceso más importante para la remoción de cadmio de una columna de agua. El intercambio de cadmio por iones de calcio en la estructura cristalina de minerales de carbonato, puede remover el cadmio de la solución. En aguas con alto contenido de carbono orgánico, la adsorción de cadmio a sustancias húmicas y otros agentes orgánicos complejos es significativa. El cadmio es acumulado en diversos organismos acuáticos y su asimilación por organismos vivos está influenciada por la dureza del agua, de manera que la bioacumulación disminuye al aumentar el contenido de calcio y de magnesio.

En agua dulce el cadmio natural se encuentra generalmente en concentraciones menores que 1 µg/l y dentro del intervalo de 0.1-10 µg/l. Concentraciones arriba de estos valores pueden atribuirse a fuentes antropogénicas, (CWQG, 1987), principalmente:

- Hidrocarburos
- Industrias mineras
- Fundidoras de metales (zinc, plomo, cobre)
- Manufactura de aleaciones, pinturas, baterías y plásticos
- Uso de fertilizantes y pesticidas
- Quemado de combustibles fósiles
- Deterioro de materiales galvanizados

Formas y destinos del plomo en el ambiente acuático

El plomo se encuentra en el lugar 36 en orden de abundancia en la corteza terrestre, estimado en 12.5 a 16 mg/kg. Existe en diferentes estados de oxidación, 0,+1,+2 y +4, todos son de importancia ambiental, con la excepción de *Pb* (I). La especie iónica divalente de *Pb* (II) es la más estable del ambiente natural.

En cuerpos de agua contaminados, la introducción de plomo por causa antropogénica puede ser más importante que todas las fuentes naturales. El plomo antropogénico llega al ambiente acuático a través de la precipitación pluvial que arrastra al plomo emitido en la combustión de gasolinas y descargas de aguas residuales de las industrias.

En el ambiente acuático, el plomo puede formar complejos con ligandos orgánicos, componentes coloidales y partículas sólidas. La naturaleza de estos ligandos no es bien conocida, pero se sabe que una fracción importante de plomo se encuentra adsorbida por ácidos húmicos y la fase mineralógica de los sedimentos (CWQG, 1987).

Gran parte de la información sobre especiación química de plomo proviene de simulaciones con modelos numéricos. La especiación química de plomo en agua es compleja y depende de diferentes factores ambientales:

- Acidez (*pH*)
- Oxígeno disuelto (OD)
- Presencia de componentes orgánicos e inorgánicos.

Los sulfuros, sulfatos, carbonatos, óxidos e hidróxidos de plomo se consideran insolubles, ya que su solubilidad es un mecanismo de control primario del plomo disuelto y aunque diversas estimaciones muestren índices muy bajos de solubilidad: < 1 µg/l a *pH* 8.5 - 11 (CWQG, 1987).

Química del agua en el lago de Chapala

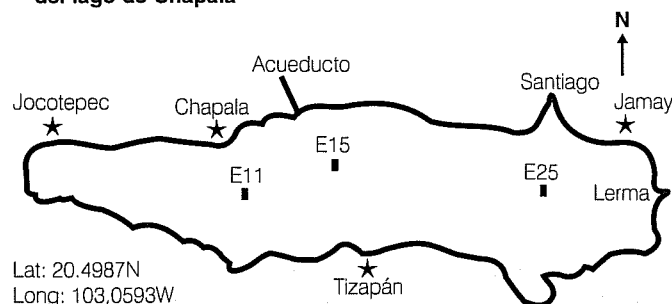
Por su importancia económica y social, el lago de Chapala ha sido objeto de numerosas investigaciones en las que se cuentan estudios de la calidad del agua. El Instituto de Ingeniería de la UNAM (1972-1974) fundó las bases de un amplio estudio limnológico del lago de Chapala y en 1975 se creó el Centro de Estudios Limnológicos, CEL, para dar continuidad a los estudios de este importante cuerpo de agua.

El lago de Chapala cuenta en la actualidad con una red de 25 estaciones de muestreo que de 1974 a 1993 generaron información de 16 parámetros de calidad del agua que cubren aspectos físicos, químicos, bacteriológicos y biológicos, obtenidos en muestreos periódicos de cada tres meses en promedio. Los datos se recopilaron, ordenaron y almacenaron en bases de datos y se transfirieron (León, 1992) al sistema *Análisis regional por sistemas inteligentes en microcomputadoras* (RAISON/MICRO, por sus siglas en inglés), (Lam y Swayne, 1991).

Se analizó la tendencia en el comportamiento de los parámetros de calidad del agua en el lago de Chapala. Para este análisis se escogieron tres estaciones de muestreo, una ubicada cerca de la desembocadura del río Lerma, E25, y otras dos en las zonas más profundas del lago, E11 y E15, ilustración 1. Únicamente se cuenta con datos para la estación E25 hasta 1989, debido a que en los últimos cuatro años hay poco acceso a esa zona por la presencia de maleza acuática.

Utilizando el RAISON/MICRO se graficaron los datos de *pH*; sólidos disueltos totales, *SDT*; sólidos suspendidos totales, *SST*; dureza total como CaCO_3 , *DT*; nitratos, fosfatos, alcalinidad como CaCO_3 y cloruros. Esta información ayudó a fijar la composición de la fase acuosa en los experimentos de adsorción/desadsorción de cadmio y plomo en sedimentos del lago de Chapala. En el cuadro 1 se dan los intervalos de los parámetros de calidad del agua en las tres estaciones consideradas (E11, E15 y E25).

1. Situación geográfica de las estaciones E11, E15 y E25 del lago de Chapala



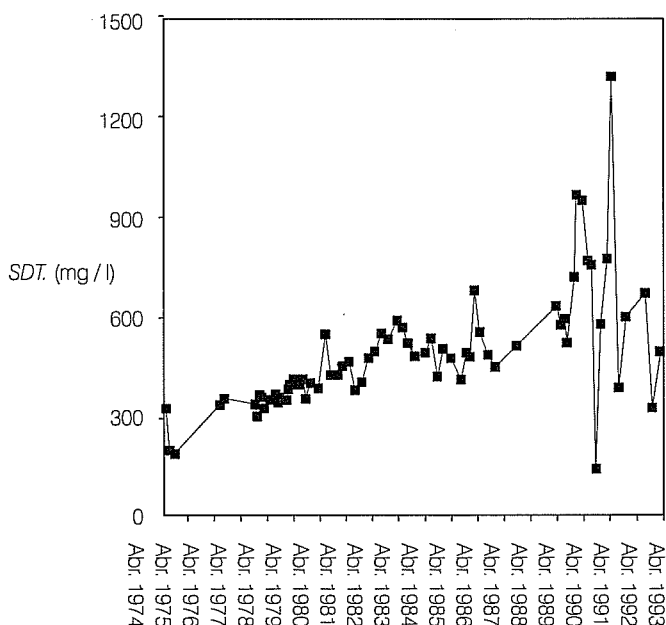
1. Intervalos de parámetros de calidad del agua (en mg/l con excepción de *pH*) en tres estaciones del lago de Chapala, en el periodo 1974 - 1993

Estación	E11	E15	E25
<i>SST</i>	5 - 83	5 - 111	2 - 816
<i>SDT</i>	250 - 885	189 - 1326	188 - 936
NO_3^-	0.05 - 3.0	0.15 - 2.81	0.97 - 4.90
Alcalinidad	128 - 420	146 - 396	45 - 363
Cloruros	11 - 68	13 - 52	16.7 - 44.9
Dureza Total	89 - 323	86 - 372	78 - 368
<i>pH</i>	6.99 - 9.14	6.30 - 9.20	7.0 - 8.88

En la ilustración 2 se muestra la gráfica de *SDT* en la estación E15. Se observa que los valores de este parámetro han variado dependiendo de la época del año, y estos mismos han mostrado una tendencia ascendente conforme han transcurrido los años desde 1974 a 1990. A mediados de 1990, disminuyó hasta alcanzar el valor más bajo de todo el periodo y, a pesar de haber aumentado nuevamente a principios de 1991, volvió a disminuir después de la fuerte época de lluvias de ese año. Después, aunque con altibajos, los valores se han mantenido más bajos que los observados en algunos periodos anteriores a 1990.

En general las variaciones temporales de *SST*, cloruros, alcalinidad y dureza total, mostraron una tendencia similar al comportamiento de los *SDT* en la estación E15, por lo que sus ilustraciones no se muestran en este estudio. En el caso de la estación E25 la mayoría

2. Variación de *SDT* en el lago de Chapala (E15) durante el periodo 1974-1993



de los parámetros mostraron una alta variabilidad de los valores durante el periodo muestreado, tal como se puede observar, para la dureza total en la estación E25, en la ilustración 3. Esto se debe a que la zona analizada es la más afectada por la carga de agua durante la temporada de lluvias, dado que se encuentra muy cerca a la desembocadura del río Lerma, ilustración 1.

En el caso del *pH* en las estaciones E11 y E15 se observó la tendencia en el aumento de sus valores, los cuales también disminuyeron después de 1991. Este parámetro se caracterizó por la ocurrencia de los valores más bajos principalmente en temporada de lluvias, distinguiéndose la estación E25 por la mayor cantidad de valores mínimos durante el periodo muestreado.

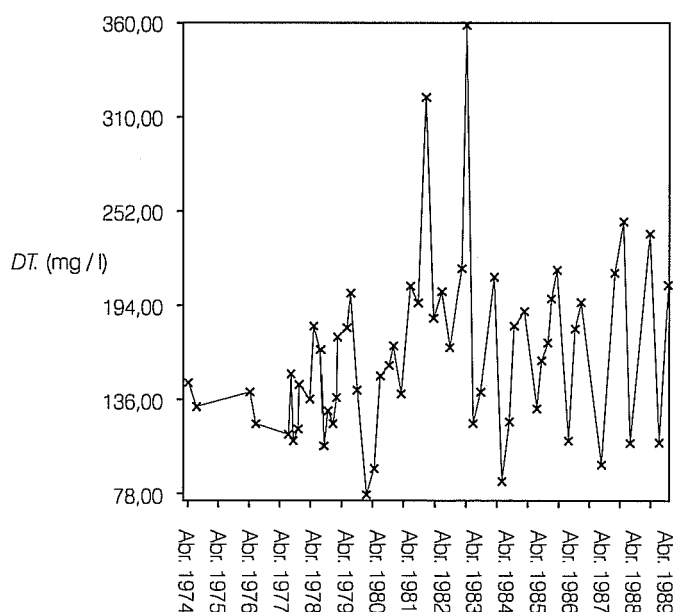
Metodología experimental

Muestreo y preparación de las muestras

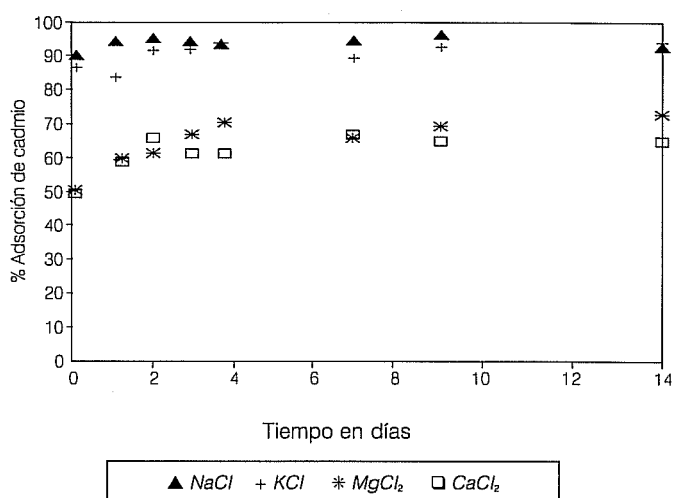
Los sedimentos de las tres estaciones del lago de Chapala fueron colectados, almacenados en frascos de polietileno y refrigerados en la oscuridad. El sedimento húmedo fue secado a temperatura no mayor de 60 °C para no dañar la estructura de las arcillas contenidas en la muestra. La muestra seca fue disgregada con una espátula de plástico y almacenada en un recipiente de polietileno.

Basándose en la información de caracterización de los sedimentos del lago de Chapala (Hansen *et al.*, 1992) se eligió la muestra de sedimentos de la esta-

3. Variación de la dureza total como CaCO_3 (DT) en el lago de Chapala (E25) durante el periodo 1974-1989



4. Adsorción de cadmio en presencia de cationes con una fuerza iónica de 0.05, en sedimentos del lago de Chapala



ción E15 por presentar la mayor área superficial en el lago, y así conocer los fenómenos de desadsorción en condiciones de máxima adsorción para esa zona, ilustración 1. Se pesaron cantidades exactas de sedimento, equivalentes al área superficial calculada para los sedimentos del lago (390 m²/l) y posteriormente se suspendieron en volúmenes exactos de diferentes electrolitos, representando a los iones mayores naturales del agua del lago. Los sedimentos suspendidos se dejaron en reposo durante tres días mínimo, para asegurar la completa hidratación del sedimento antes de iniciar el experimento.

Estudios de adsorción

Para determinar la distribución de cadmio y plomo entre sedimento y agua, se marcó el metal estable con trazadores radiactivos, *Cd-109* y *Pb-210*, que son emisores *gamma* y *beta*, respectivamente. Se agregó el metal estable con trazas de isótopo radiactivo a la suspensión de sedimento en equilibrio con la fase acuosa. Se agitaron en baño de plataforma con rotación de 100 rpm a una temperatura constante de 25 °C. Se realizaron experimentos de adsorción de cadmio y plomo en sedimentos suspendidos en electrolitos de fuerza iónica de 0.05.

Después de ciertos intervalos de tiempo de agitación, se midió el *pH* y se centrifugó a 4,000 rpm durante 15 minutos para separar agua y sedimento. Posteriormente se transfirió una alícuota del sobrenadante al vial de conteo para determinar la actividad del trazador en la fase líquida. A la muestra restante (agua y sedimento) se agregó *HCl* concentrado para desadsorber el metal del sedimento. Con todo el metal en forma

disuelta se puede lograr una geometría de la muestra que permite comparar con la actividad en la fase líquida. Las alícuotas de 1 ml de muestras de conteo de radiación *beta* (*Pb-210*), fueron mezcladas por agitación cuidadosa con 10 ml de cóctel de centelleo antes de su análisis. Las fases fueron analizadas en un contador *gamma* (Packard-A5530) para el *Cd-109* y en un contador *beta* (Packard-3255) en el caso de *Pb-210*.

Para estudiar la desadsorción de los metales en función del tiempo, se aumentó la fuerza iónica en las suspensiones equilibradas. En el caso del cadmio también se determinó la desadsorción en sedimentos del lago de Chapala en función de la cantidad de sólidos disueltos. Para esto se aumentó gradualmente la fuerza iónica en cada electrolito.

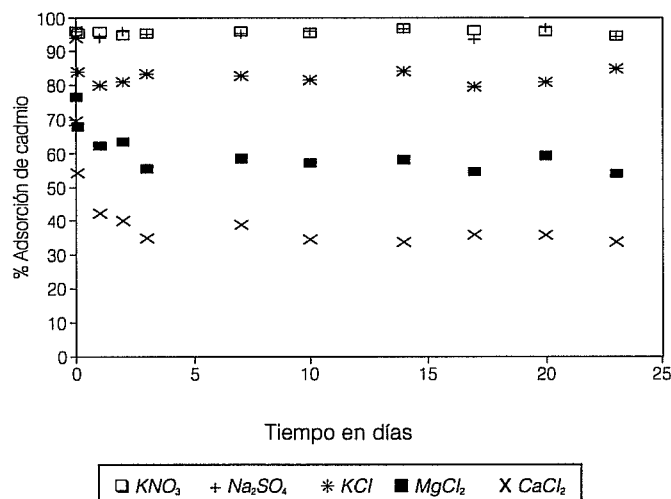
Resultados

Distribución de cadmio

Velocidad de adsorción de cadmio

Experimentos de la cinética de adsorción de cadmio en diferentes electrolitos con fuerza iónica de 0.05, ilustración 4, mostraron que los cationes Ca^{2+} y Mg^{2+} compitieron con el cadmio en el proceso de adsorción. En la misma ilustración se observa, que el cadmio describe una curva de adsorción de dos fases: una rápida que ocurre en minutos u horas y otra lenta cuyo lapso de equilibrio se extiende hasta tres días aproximadamente. Posteriormente la adsorción se mantiene alrededor del 60% ($CaCl_2$), 70% ($MgCl_2$) y 90-95% ($NaCl$ y KCl).

5. Desadsorción de cadmio en presencia de diferentes electrolitos con una fuerza iónica de 0.15, en sedimentos del lago de Chapala



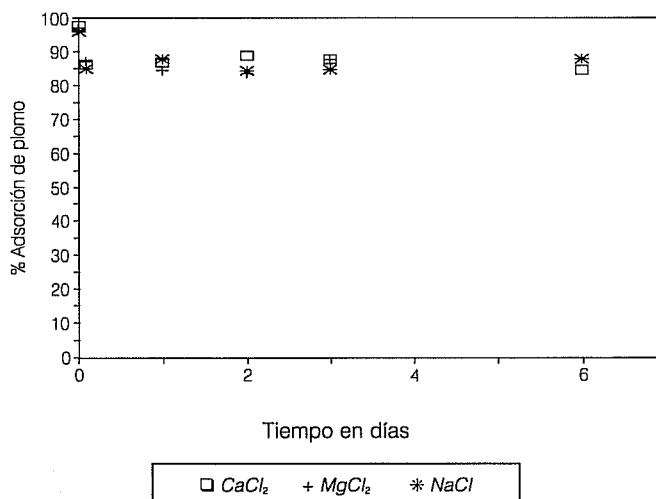
Velocidad de desadsorción de cadmio

Para simular las variaciones en salinidad observadas en el lago de Chapala, se aumentó la concentración de sólidos disueltos, favoreciendo en diferente grado la desadsorción de cadmio según el tipo de iones del electrolito. Al aumentar la concentración de los electrolitos, el calcio y el magnesio tienen mayor efecto en la desadsorción del cadmio, ilustración 5.

En presencia de Ca^{2+} , el porcentaje de cadmio adsorbido disminuyó durante los primeros cuatro días de 70 hasta 34%, manteniéndose constante hasta finalizar el experimento. En presencia de Mg^{2+} la desadsorción fue de 78 hasta 55% de cadmio adsorbido en el mismo periodo. En la ilustración 5 también se observa que los iones potasio, sodio, nitrato, sulfato y carbonato no provocan ninguna desadsorción del cadmio. Sin embargo, la diferencia entre las curvas para KNO_3 , Na_2SO_4 , $NaCl$ y KCl sugiere que el cloruro tiene mayor importancia que los iones K^+ , Na^+ , NO_3^- y SO_4^{2-} en estos experimentos.

Para describir los resultados de desadsorción, se realizó una modelación geoquímica, como la que se ilustra en la portada del presente número de **ingeniería hidráulica en México**. Para simular el efecto de los iones mayores en la desadsorción de *Cd*, se aplicó el modelo de coordinación superficial de tres capas (Papelis *et al.* 1988). Se encontró que el *Cd* se encuentra adsorbido en los sedimentos del lago de Chapala, preferentemente como complejo monohidroxilado en la capa "β", como complejo de esfera exterior (Maya y Hansen, 1995).

6. Desadsorción de plomo en presencia de diferentes electrolitos con una fuerza iónica de 0.15, en sedimentos del lago de Chapala



Distribución de plomo

Velocidad de adsorción de plomo

En el experimento de velocidad de adsorción de plomo en sedimentos del lago de Chapala, suspendidos en diferentes electrolitos (fuerza iónica 0.05), todos los iones utilizados (sodio, magnesio, calcio, potasio, cloruros y nitratos) permitieron la casi completa adsorción del plomo durante los nueve días del experimento (los resultados no se muestran en este trabajo).

Velocidad de desadsorción del plomo

Al aumentar la fuerza iónica de 0.05 a 0.15 en las soluciones que contenían al plomo adsorbido, todos los iones permitieron al plomo desadsorberse aproximadamente en un 10% (de 97 a 87%), ilustración 6.

Desadsorción de cadmio como función de la cantidad de sólidos disueltos

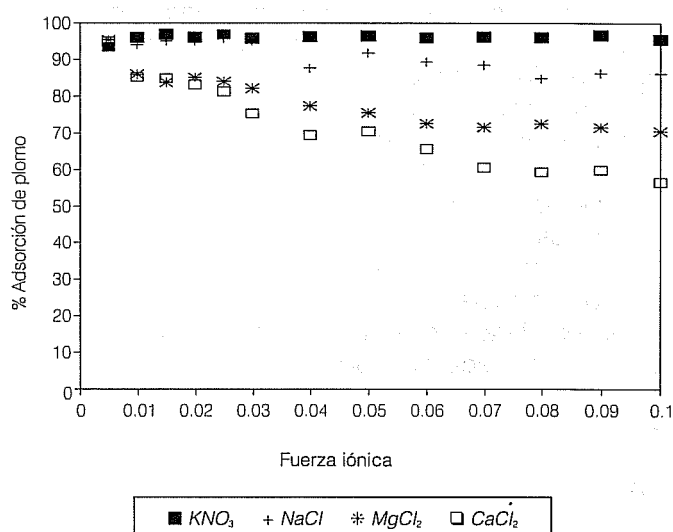
En la ilustración 7 se muestran los resultados de desadsorción en función de la cantidad de sólidos disueltos (expresados como fuerza iónica). En este experimento se observa nuevamente la tendencia del cadmio a desadsorberse al aumentar la cantidad de cationes en los electrolitos utilizados, siendo más marcada en presencia del ión calcio y del ión magnesio. Si la fuerza iónica en ambos casos aumenta hasta 0.01, el cadmio se desadsorbe del sedimento hasta un 10%. Sin embargo, al aumentar la cantidad de estos iones mayores (a una fuerza iónica de 0.03 a 0.1), se observa una desadsorción de cadmio de 13 hasta 35% en presencia del ión Ca^{2+} y alrededor de un 10 a 20% para el ión Mg^{2+} , ilustración 7.

Discusión

Los experimentos de adsorción en sedimentos del lago de Chapala, mostraron que la tendencia de desadsorción del cadmio y plomo, en función de la cantidad de sólidos disueltos, varía según las características físicas y químicas del metal y de los compuestos que forman parte de los sólidos disueltos.

Para el cadmio se observó una mayor desadsorción en presencia de los iones divalentes competitivos Ca^{2+} y Mg^{2+} . Estos iones desplazan al cadmio de los sitios de adsorción en el sedimento, bajo condiciones de concentración de sólidos disueltos semejantes a las que presentan las aguas estuarinas (Hansen *et al.*, 1991). Contrario a lo anterior, ocurrió con los iones monovalentes K^+ y Na^+ , que presentaron muy poca in-

7. Desadsorción de cadmio en presencia de diferentes electrolitos, contra variación de la fuerza iónica (de 0.005 a 0.1) en sedimentos del lago de Chapala



fluencia en la desadsorción del mismo metal, ilustración 5.

En presencia de los iones negativos cloruro, carbonato, sulfato y nitrato, se observó que el cadmio continúa adsorbido al sedimento, ilustración 5. Esto podría ser una adsorción aparente, ya que bajo condiciones de fuerza iónica de 0.1, existe menos adsorción de los metales pesados hacia el sedimento, debido a la formación de complejos (cloruros, carbonatos e hidroxilos), que tienen muy bajas solubilidades (WQGC, 1987), por lo que podrían encontrarse precipitados mas no adsorbidos en el sedimento.

Los cationes presentaron competencia con cadmio adsorbido en el siguiente orden: calcio > magnesio > potasio > sodio. Mientras que la influencia de los aniones en la desadsorción del cadmio fue de la siguiente manera: cloruros > nitratos > sulfatos > carbonatos.

En el lago de Chapala se encontraron altas concentraciones de sólidos disueltos en el periodo 1989-1991, interrumpido por una baja en la época de lluvias de 1990. Las condiciones de salinidad en este lapso, se pueden comparar con el agua estuarina al dar conjuntamente una fuerza iónica de 0.1, con lo que el cadmio adsorbido se liberaría del sedimento hacia el agua. Sin embargo, dado el pH alcalino registrado en esa época, cuadro 1, el cadmio se habría desadsorbido muy poco del sedimento, ya que también el pH es determinante para este fenómeno (Hansen, 1992; Leckie, 1986).

En el caso del plomo, este se mantiene adsorbido al sedimento aún con aumentos en concentraciones de sólidos disueltos semejantes a las aguas estuarinas.

Conclusiones

La migración química de los metales pesados de la fase acuosa hacia la sedimentaria y viceversa, está relacionada con las características físicas y químicas del sedimento y de los mismos metales, así como con las características de la calidad del agua. Entre mayor es la cantidad de sólidos disueltos presentes en el agua del lago de Chapala, mayor es la tendencia de desadsorción de los metales pesados. Esta relación varía dependiendo de las características físicas y químicas del metal y de los iones que forman parte de los sólidos disueltos. La desadsorción del cadmio es mayor en presencia de los cationes divalentes calcio y magnesio, mientras que los iones monovalentes potasio y sodio, así como los aniones sulfato, carbonato, nitrato y cloruro tienen muy poca influencia en la desadsorción.

Se han observado aumentos en el contenido de sólidos disueltos en el lago de Chapala, alcanzando valores semejantes al agua estuarina. Aumentos significativos en alcalinidad y dureza total, principalmente, ocasionan la desadsorción del cadmio. Sin embargo el *pH* del agua juega un papel muy importante en la adsorción-desadsorción de los metales, por lo que aún en condiciones de fuerza iónica semejante a la estuarina, el cadmio se desadsorbería muy poco del sedimento a *pH* mayor de 8 (CWQG, 1987).

Por lo tanto, dadas las características generales de calidad del agua (principalmente dureza, sólidos disueltos y *pH*), reportadas para el lago de Chapala desde 1974 a 1993, tanto el cadmio como el plomo se habrían mantenido adsorbidos al sedimento. Sin embargo, durante el tiempo en que aumentaron los sólidos disueltos, dureza y alcalinidad del agua, así como la disminución de *pH* a valores menores de 8, el cadmio se habría desadsorbido muy poco del sedimento. De acuerdo a esto, en la mayor parte del tiempo, la biodisponibilidad del cadmio y del plomo para los organismos nectónicos y planctónicos es poca, pero riesgosa para los organismos bentónicos.

Recibido: marzo, 1994

Aprobado: agosto, 1994

Agradecimientos

Los autores agradecen al IMTA y a la Comisión Nacional del Agua por el apoyo en la realización de este trabajo; al M. en I. Luis F. León Vizcaino por su paciente ayuda en el uso del paquete RAISON/MICRO; al Ing. Jesús Amezcua por su constante apoyo al proyecto, y a la M. en C. Silvia Gelover por su instrucción de las técnicas de laboratorio utilizadas en este estudio.

Referencias

- Benjamin, M. M., J. O. Leckie. *Multiple Site Adsorption of Cd, Cu, Zn, and Pb on Amorphous Iron Oxyhydroxide*. J. Colloid Interf. Sci., 79:209-221, 1981.
- CWQG (Canadian Water Quality Guidelines). Canadian Council of Resource and Environmental Ministers, 1987.
- Gelover, S., A. M. Hansen. *Adsorción de plomo en sedimentos suspendidos en el lago de Chapala*. Mem. VIII Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cocoyoc, Mor. Sept., Secc. VI, 1992.
- Hansen, A. M., J. O. Leckie, E. F. Mandelli, R. S. Altmann *Study of Copper (II) Association with Dissolved Organic Matter in Surface Waters of Three Mexican Coastal Lagoons*. Environ. Sci. Technol., 24, 5, (pp. 683-688), 1991.
- Hansen, A. M., *Metales pesados en el sistema Lerma-Chapala: distribución y migración*. Ingeniería Hidráulica en México. Vol. VII. Núms. 2/3 II Época, (pp. 92-98), 1992.
- Hansen, A.M., S. Gelover, L. V. Ortega, *Migración de contaminantes en el Sistema Lerma-Chapala*. Memorias del VIII Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cocoyoc, Mor., Sept., Secc.VII, 1992.
- Instituto de Ingeniería, UNAM, *Estudio limnológico del lago de Chapala (1a-3a etapas)*, Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación, Subsecretaría de Planeación, Secretaría de Recursos Hidráulicos, México, Vol. 5, 1972-74.
- Lam, D., D.A. Swaine, *Integrating Database, Spreadsheet, Graphics, GIS, Statistics, Simulation Models and Expert Systems on Microcomputers*. NATO ASI Series, Vol. G26, Decision Support Systems, Springer-Verlag, (pp. 429-459), Berlin, 1991.
- Leckie, J.O., *Adsorption and Transformation of Trace Metals Element Species at Sediment/Water Interfaces*. The Importance of Chemical "Speciation" in Environmental Processes, eds. M. Bernhard, F.E. Brinckman, and P.J. Sadler, (pp. 237-254), Dahlem Konferenzen, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 1986.
- León, V., *Análisis de la calidad del agua en el lago de Chapala*. Informe técnico del proyecto CH-9206/02. IMTA, CNA. (51 p), 1992.
- Maya, P. y A.M. Hansen (1995). *Simulación numérica de la adsorción de cadmio en diferentes electrilitos*. ACTAS INAGEQ, Vol. 1, Núm. 1, aceptado para publicación.
- Ortega, L.V., A. M. Hansen, *Geoquímica de estroncio radiactivo y su interacción con los sedimentos*. Memorias del VIII Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cocoyoc, Mor. Sept., Secc.VI, 1992.
- Papelis, C.; K.F. Hayes, y J.O. Leckie, *HYDRAQL. A Program for the Computation of Chemical Equilibrium Composition of Aqueous Batch Systems Including Surface Complexation Modeling of Ion Adsorption at the Oxide/Water Interface*. Tech. Rep. 306, Dept. of Civil Eng. Stanford University, Stanford, CA., 1988.

Abstract

Maya, P.; A. M., Hansen "Competition of Principal Ions in the Chemical Migration of Cadmium and Lead in the Lake Chapala Sediments" *Hydraulic Engineering in Mexico (in Spanish)*. Vol X. Num. 1, pages 35-42, January-April, 1995.

Experimental investigations were undertaken to study the effect of mayor ions in the ad-sorption-desorption behavior of cadmium and lead in sediments from Lake Chapala, Mexico. Equilibrium adsorption experiments were performed with cadmium, lead, and sediment suspended in different electrolytes. The cadmium desorption was most pronounced in the presence of the cations calcium and magnesium. The importance of sodium, potassium and the anions sulphate and carbonate was insignificant. The cations and anions showed the following order of competition with Cd^{2+} : $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$ and $\text{Cl}^- > \text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{CO}_3^{2-}$, respectively. The lead continued sorbed at the sediment surface even when salinity approximated estuarine conditions.

Key words: adsorption, desorption, sediment, total dissolved solids, water hardness, cadmium, lead.