

Proyecto CEAS-Jalisco-IMTA TH-0621:

**“Evaluación de los estudios ambientales y de saneamiento en el proyecto El Arcediano, asesoría y seguimiento para la creación del distrito de control ambiental”**

3. Informe Parcial

Definición de escenarios para estimación de riesgos

Elaborado por

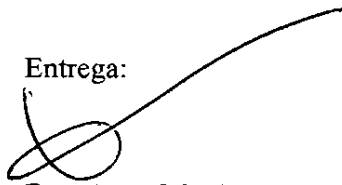
Dr. Anne M. Hansen

M. I. Luis Carlos González Márquez

M. I. Franklin Torres Bejarano

31 de agosto de 2006

Entrega:

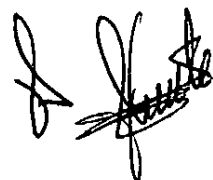


Dra. Anne M. Hansen

Recibe



M. I. Oscar Prieto



## Contenido

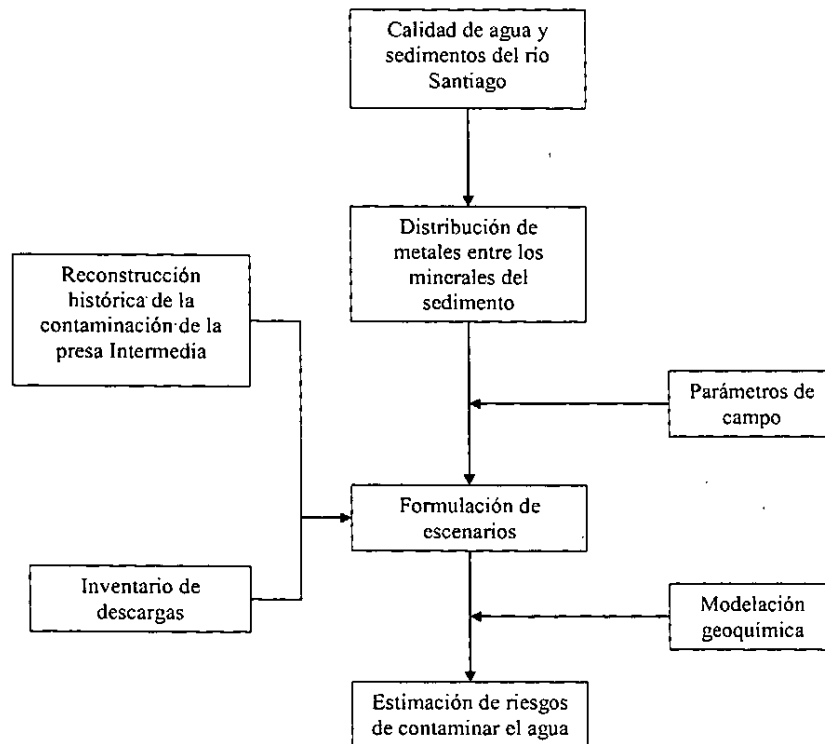
1.	Introducción.....	1
2.	Factores de enriquecimiento (FE).....	2
3.	Estimación del aporte histórico de la carga de contaminantes.....	3
3.1	<i>Método Cs-137</i> .....	4
3.2	<i>Método Pb-210</i> .....	4
3.3	<i>Interpretación de los resultados de Pb-210</i> .....	5
4.	Modelación del equilibrio químico.....	6
4.1	<i>Modelo</i> .....	7
5.	Escenarios de simulación.....	8
	Referencias	9
	Anexo A. Factor de enriquecimiento de metales en sedimentos.....	10

## Lista de Figuras

Figura 1	Componentes del proyecto y su interrelación .....	1
Figura 2	Factores de enriquecimiento de zinc.....	2
Figura 3	Factores de enriquecimiento de arsénico.....	3
Figura 4	Origen de Pb-210 en sedimentos (Fuente: MyCore Scientific, 2003).....	4
Figura 5	Actividad total de Pb en sedimento de La Intermedia .....	5
Figura 6	Descargas industriales (■), municipales (♦) y porcinas (▲) en los ríos Verde y Santiago.....	6
Figura 7	Ciclo de metales en agua y sedimentos de la presa El Arcediano.....	7
Figura 8	Pantalla principal de PHREEQC.....	8
Figura 9	Factores de enriquecimiento de aluminio.....	10
Figura 10	Factores de enriquecimiento de cadmio .....	10
Figura 11	Factores de enriquecimiento de cobalto .....	11
Figura 12	Factores de enriquecimiento de cobre .....	11
Figura 13	Factores de enriquecimiento de cromo .....	12
Figura 14	Factores de enriquecimiento de hierro .....	12
Figura 15	Factores de enriquecimiento de manganeso.....	13
Figura 16	Factores de enriquecimiento de mercurio .....	13
Figura 17	Factores de enriquecimiento de níquel .....	14
Figura 18	Factores de enriquecimiento de selenio .....	14
Figura 19	Factores de enriquecimiento de plomo .....	15

## 1. Introducción

En informes anteriores se evaluaron los resultados de los muestreos de agua y sedimentos del río Santiago, realizados por la UdeG y el IMTA. En este informe se describe cómo se aplicará la información obtenida para establecer los escenarios ambientales que serán simulados para estimar el riesgo de contaminar el agua de la presa El Arcediano (Figura 1).



**Figura 1 Componentes del proyecto y su interrelación**

En este informe se describen los resultados de fechado de sedimentos de la presa Intermedia. Esta información será utilizada en el siguiente informe para reconstruir el historial de contaminación del río con la finalidad de conocer si existe un aumento en aporte de contaminantes en el periodo desde 1966 a la fecha, que es el periodo de instalación del corredor industrial localizado río arriba de El Salto. Esto a su vez permitirá sugerir si existe necesidad de plantear una reducción adicional en la carga de contaminantes, que se acumulan en los sedimentos.

Mediante estimación y evaluación de los “factores de enriquecimiento” de metales en sedimentos, se establece si éstos se asocian con arcillas o con minerales de Fe y Mn.

Esta información junto con los parámetros de campo (ver 2do informe) y la estimación de cargas de contaminantes al río Santiago (siguiente informe), así como la consideración del desvío de descargas al sanearse el río Santiago, nos permitirá formular escenarios que serán evaluados mediante simulación numérica (siguiente informe). Por último se formularán las recomendaciones tendientes a proteger la calidad del agua como fuente de abastecimiento (último informe bimestral).

## 2. Factores de enriquecimiento (FE)

El enriquecimiento de metales en los sedimentos puede ser valorado utilizando técnicas de normalización geoquímica, que son procedimientos para analizar el contenido de metales en sedimentos mediante cálculo de “factores de enriquecimiento” (FE), respecto a elementos normalizadores y el contenido promedio de los metales en la corteza terrestre. El aluminio se considera el principal elemento normalizador en suelos y sedimento debido a su carácter conservativo, ya que su baja solubilidad hace que es poco afectado por los cambios que ocurren en el agua superficial. Además, es uno de los elementos más abundantes en la corteza terrestre y es el principal constituyente de las arcillas (aluminosilicatos). No obstante, el FE puede ser normalizado utilizando otros elementos, como por ejemplo hierro y manganeso. Para conocer la distribución de los metales entre arcillas y minerales de hierro y manganeso, se calcularon los FE con los tres minerales como normalizadores de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$FE = \frac{\left( \frac{[Me]}{[Mnor]} \right)_{\text{Sedimento}}}{\left( \frac{[Me]}{[Mnor]} \right)_{\text{Corteza terrestre}}}$$

Donde [Me] = concentración del metal

[Mnor] = concentración del metal normalizador (Al, Fe, Mn)

A continuación se presentan los resultados de los FE.

En las Figura 2 y 3 se muestran los FE de zinc y arsénico respecto a los tres elementos normalizadores. Se observa que con excepción de la muestra de sedimento depositado en El Salto, ambos metales se encuentran enriquecidos en minerales de hierro.

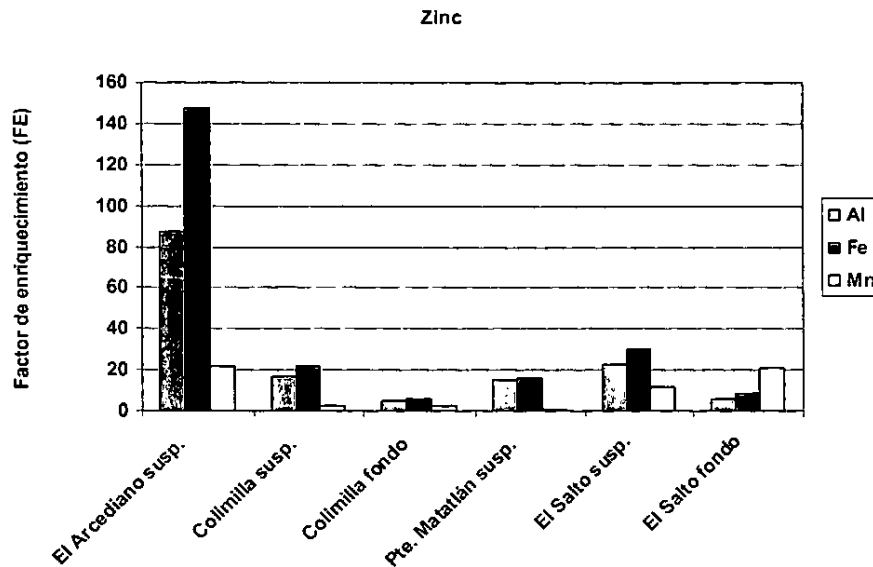


Figura 2 Factores de enriquecimiento de zinc

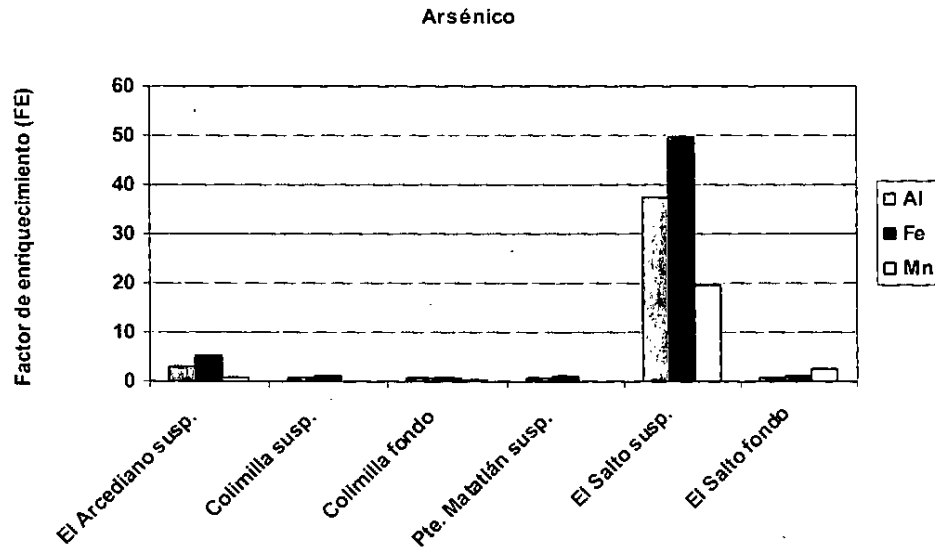


Figura 3 Factores de enriquecimiento de arsénico

Los FE de los demás metales (aluminio, cadmio, cobalto, cromo, cobre, hierro, manganeso, mercurio, níquel, plomo y selenio) presentan el mismo comportamiento que zinc y arsénico con mayor enriquecimiento en hierro seguido por aluminio y manganeso.

$$FE\ Fe > FE\ Al > FE\ Mn.$$

En El Salto (sedimento de fondo) los FE de los metales estudiados, respecto a Mn como elemento normalizador, presentan el siguiente orden  $FE\ Mn > FE\ Fe > FE\ Al$ . Esto puede ser resultado de la relativamente baja concentración de manganeso en los sedimentos de este sitio y puede deberse a que en El Salto (sedimento de fondo) se presentaron los menores niveles de oxígeno disuelto y potencial redox en el agua, que favorecen la disolución reductiva de dicho metal.

### 3. Estimación del aporte histórico de la carga de contaminantes

Se utilizará información sobre la edad de los sedimentos de la presa La Intermedia para documentar la contaminación histórica en el río Santiago. Para ello se seccionaron cuatro perfiles de sedimentos obtenidos el 4 de abril (el muestreo fue documentado en el primer informe parcial) en 36 intervalos que representan 10 cm de profundidad cada una. Se midieron los isótopos de Cs-137 y Pb-210 en 10-20 secciones del núcleo de sedimentos para determinar la velocidad de sedimentación. Se infirió la edad de los sedimentos de acuerdo con su profundidad mediante modelación para obtener el mejor ajuste de los resultados de Pb-210.

Los métodos de Cs-137 y Pb-210 son los más comúnmente usados para medir la velocidad de sedimentación durante los últimos 100 - 150 años. Ambos radioisótopos son buenos candidatos para "fechado", porque se conoce sus propiedades físicas y químicas, sus vidas medias son apropiadas para estimar este intervalo de tiempos, la actividad inicial es conocida o puede estimarse con exactitud y ambos son relativamente fáciles de medir.

### 3.1 Método Cs-137

Cs-137, con una vida media de 30.3 años, es un producto secundario de la generación de energía termonuclear. Su presencia en el ambiente se relaciona directamente con la actividad termonuclear atmosférica. Su producción inició alrededor de 1952 y llegó a un máximo entre 1963 y 1964. Bajo condiciones ideales, el perfil de Cs-137 en sedimentos imitaría esta producción. Sin embargo, debido a la dificultad de muestreo en capas suficientemente delgadas y la mezcla de sedimentos por organismos del bentos, frecuentemente existen desvíos del perfil ideal.

### 3.2 Método Pb-210

Pb-210, con una vida media de 22.3 años, es miembro de la serie de U-238; el Pb-210 es formado por el decaimiento de su "padre" Rn-222, que es un elemento gaseoso. Rn-222, a su vez, formado por el decaimiento del radio, es liberado a la atmósfera por difusión, y decae rápidamente para formar Pb-210 que tiene un tiempo de residencia en la atmósfera de aproximadamente 10 d antes de que se deposita. El plomo es altamente reactivo por lo que rápidamente se adsorbe y se incorpora en los sedimentos, que se depositan en el fondo de los embalses. Mediante este mecanismo se produce una concentración de plomo "en exceso" (plomo cuya concentración en el sedimento es superior a la de su "abuelo", Ra-226). En la siguiente Figura se presenta el ciclo de estos isótopos.

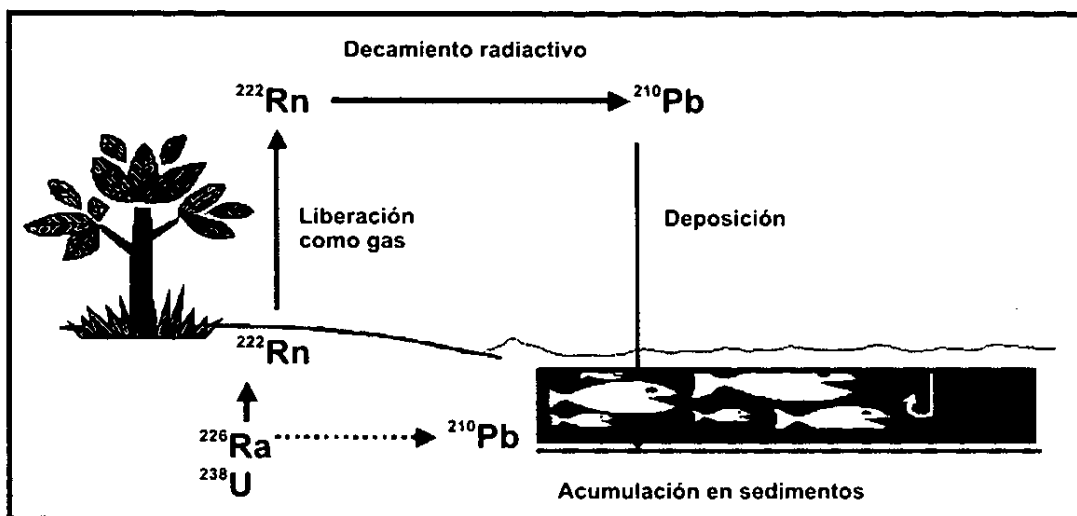


Figura 4 Origen de Pb-210 en sedimentos (Fuente: MyCore Scientific. 2003)

Se calculan las edades de sedimentos mediante la disminución en actividad de Pb-210 en cada capa del sedimento. Conociendo la concentración inicial de Pb-210, se puede calcular la "edad" de una capa de sedimentos mediante aplicación de la siguiente ecuación:

$$T_{\text{edad}} = \ln(A_{210\text{ Pb0}}/A_{210\text{ Pbh}}) * 1/\lambda$$

Sustituyendo las constantes:

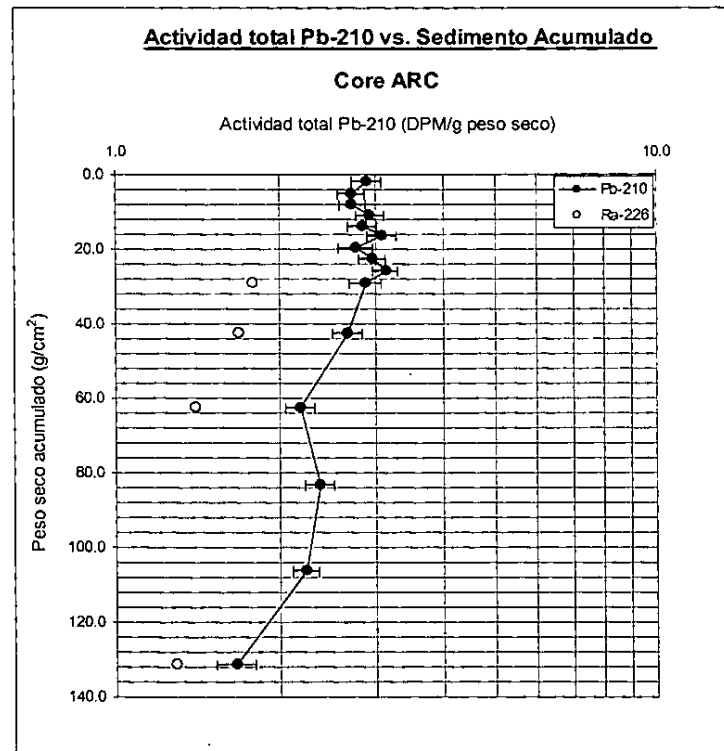
$$T_{\text{edad}} = \ln(A_{210\text{ Pb0}}/A_{210\text{ Pbh}}) * 1/0.03114$$

donde:

- $A_{210 Pb0}$  es la actividad de Pb-210 "en exceso" a tiempo cero (fecha actual),
- $A_{210 Pbh}$  es la actividad a la profundidad h, y
- 0.03114 es la constante de decaimiento de Pb-210

### 3.3 Interpretación de los resultados de Pb-210

Se observaron actividades de Pb-210 relativamente bajas y casi constantes (3.13 - 2.66 desintegraciones por minuto (DPM)/g) desde la superficie hasta 140 cm de profundidad en el perfil de sedimentos de presa La Intermedia. Entre 190 y 310 cm de profundidad, la actividad fue ligeramente inferior (2.17 - 2.37 DPM/g) mientras que la sección más profunda (340 - 350 cm) tuvo una actividad de 1.66 DPM/g. La tendencia general es hacia menor actividad como función de la profundidad. La actividad de Ra-226 también disminuye con la profundidad, desde 1.78 DPM/g a 90 - 100 cm hasta 1.29 DPM/g a 340 - 350 cm (Figura 5).



**Figura 5 Actividad total de Pb en sedimento de La Intermedia**

La actividad de Cs-137 es relativamente constante (entre 0.12 y 0.47 DPM/g) en todo el núcleo desde la superficie hasta 350 cm de profundidad. No existe evidencia de difusión de Cs-137 por efecto de la gravedad.

La irregularidad en la disminución de la actividad de Pb-210 sugiere que la velocidad de sedimentación ha cambiado a través del tiempo por lo que no debe aplicarse el modelo de regresión lineal.

Se puede concluir que los datos obtenidos para Pb-210 y Cs-137 son comparables y los resultados sugieren que la velocidad de sedimentación es de aproximadamente  $350 \text{ cm}/(2006 - 1966) = 8.75 \text{ cm/yr}$ .

#### 4. Modelación del equilibrio químico

Para estimar el riesgo asociado a la contaminación de los sedimentos del río Santiago, se formulan los escenarios basados en los resultados del muestreo y evaluación de agua y sedimentos, los parámetros de campo, el inventario de descargas (Figura 6) y el historial de contaminación de sedimentos del río.

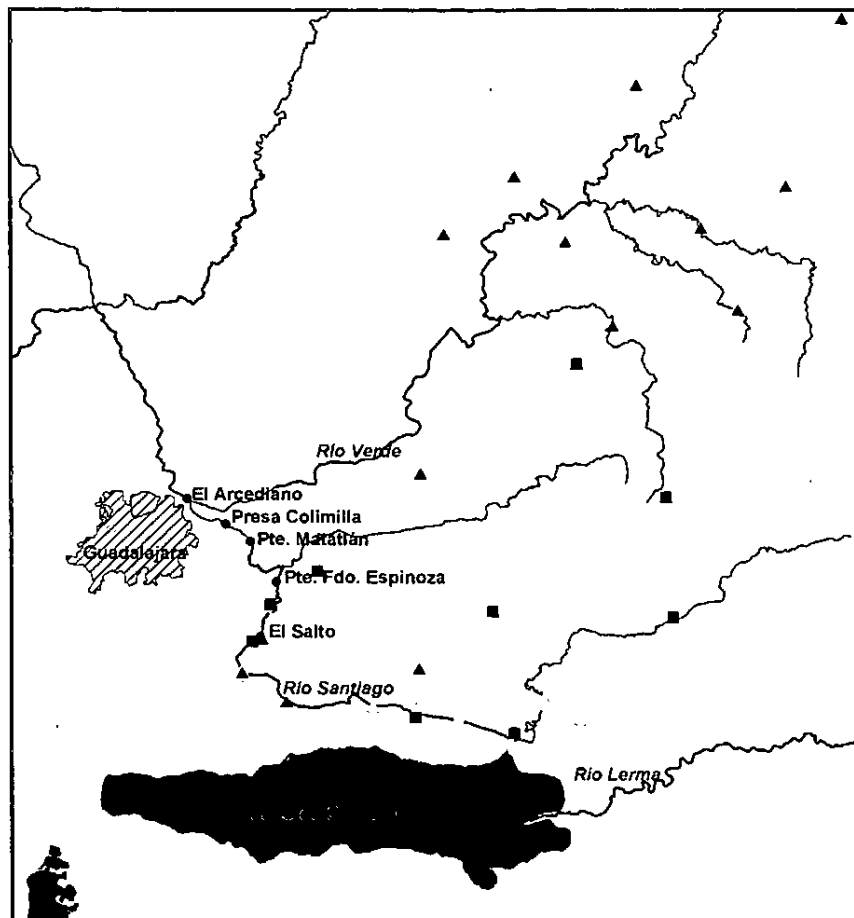


Figura 6 Descargas industriales (■), municipales (.) y porcinas (▲) en los ríos Verde y Santiago

La Figura 7 ilustra la representación esquemática del ciclo de metales que será simulada para la presa El Arcediano.

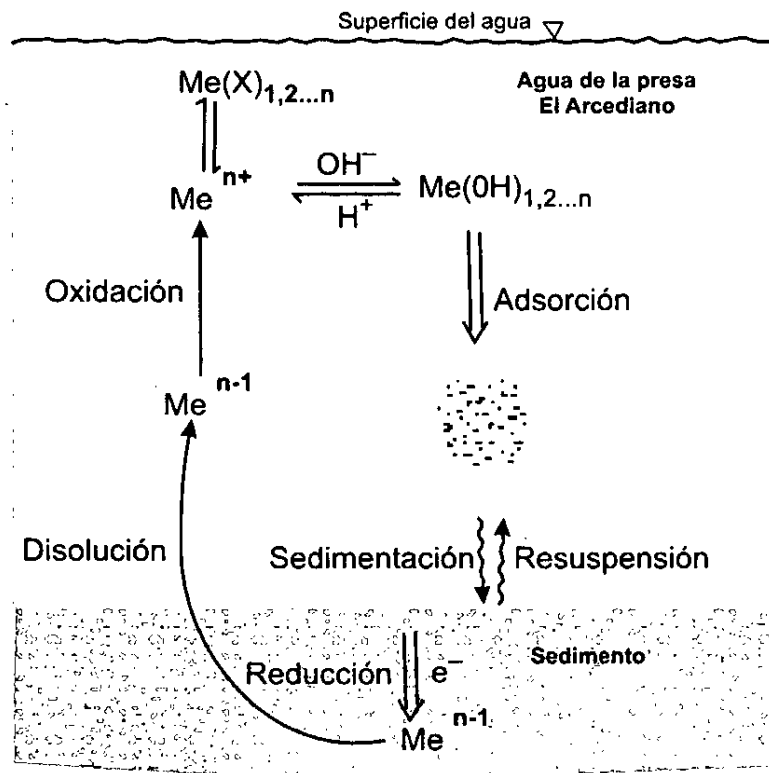


Figura 7 Ciclo de metales en agua y sedimentos de la presa El Arcediano

#### 4.1 Modelo

Se analizaron diferentes modelos y se encontró que el modelo PHREEQC, desarrollado por la US Geological Survey (USGS, 2005), es adecuado para esta aplicación. PHREEQC es un modelo con el que se pueden desarrollar una amplia variedad de cálculos geoquímicos. Está basado en un modelo de química en disolución y tiene capacidad para calcular fenómenos de disolución reductiva, precipitación y adsorción, involucrando reacciones reversibles y modelación inversa. En la Figura 8 se presenta la pantalla principal del modelo, donde se observan los parámetros de campo, que se requieren para la simulación.

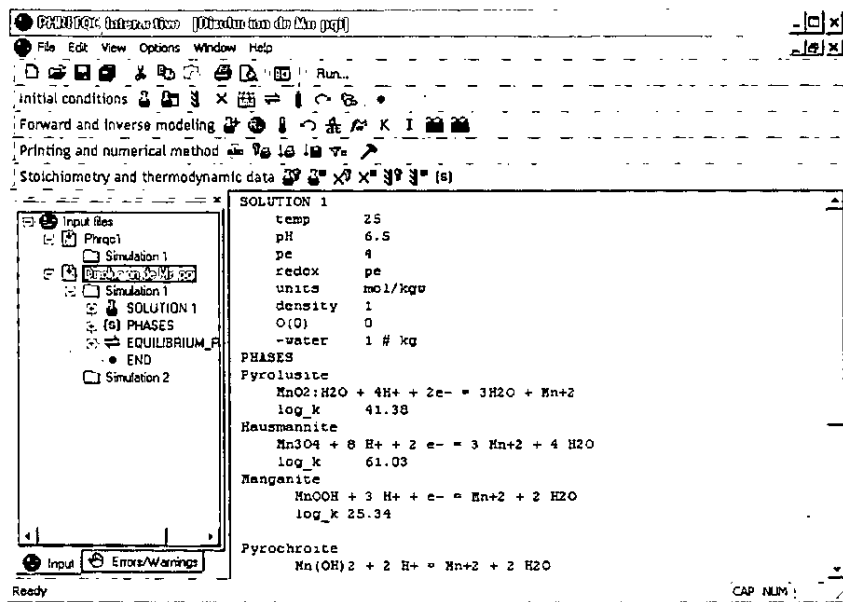


Figura 8 Pantalla principal de PHREEQC

## 5. Escenarios de simulación

Los escenarios a considerar en la simulación de la distribución de metales en agua y sedimento, incluyen:

### a) Disolución reductiva de minerales

Permitirá conocer el grado de disolución de los minerales de hierro y manganeso, para diferentes grados de óxido-reducción

### b) Distribución de metales

Permitirá conocer la concentración de metales en agua y sedimentos bajo los diferentes escenarios y estimar el riesgo asociado a la contaminación del agua como fuente de abastecimiento

## Referencias

MyCore Scientific. 2003. 226Ra-210Pb Separation. <http://www.mycore.ca/226Ra-210Pb%20Separation.htm>

USGS (US Geological Survey). 2005. PHREEQC (Version 2)--A Computer Program for Speciation, Batch-Reaction, One-Dimensional Transport, and Inverse Geochemical Calculations. Disponible en World Wide Web:  
[http://wwwbrr.cr.usgs.gov/projects/GWC\\_coupled/phreeqc/](http://wwwbrr.cr.usgs.gov/projects/GWC_coupled/phreeqc/)

Anexo A. Factor de enriquecimiento de metales en sedimentos

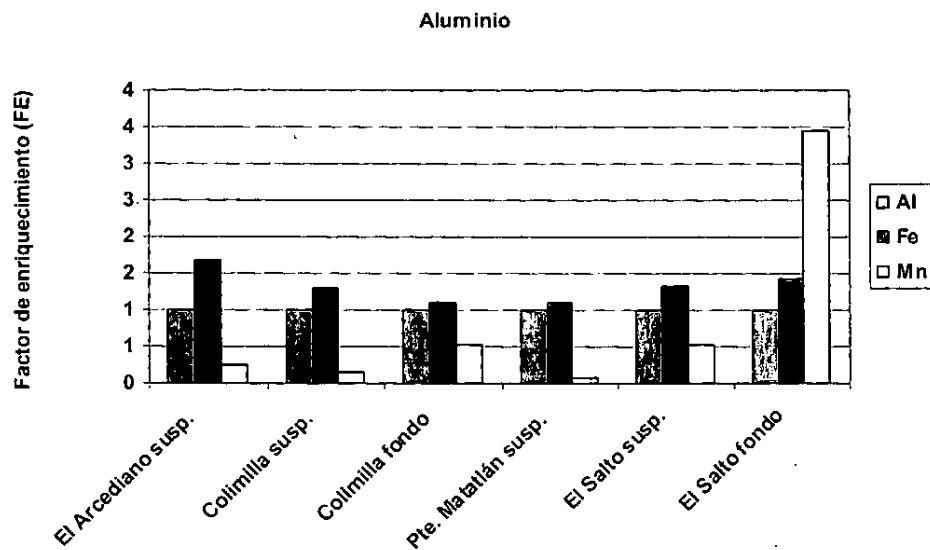


Figura 9 Factores de enriquecimiento de aluminio

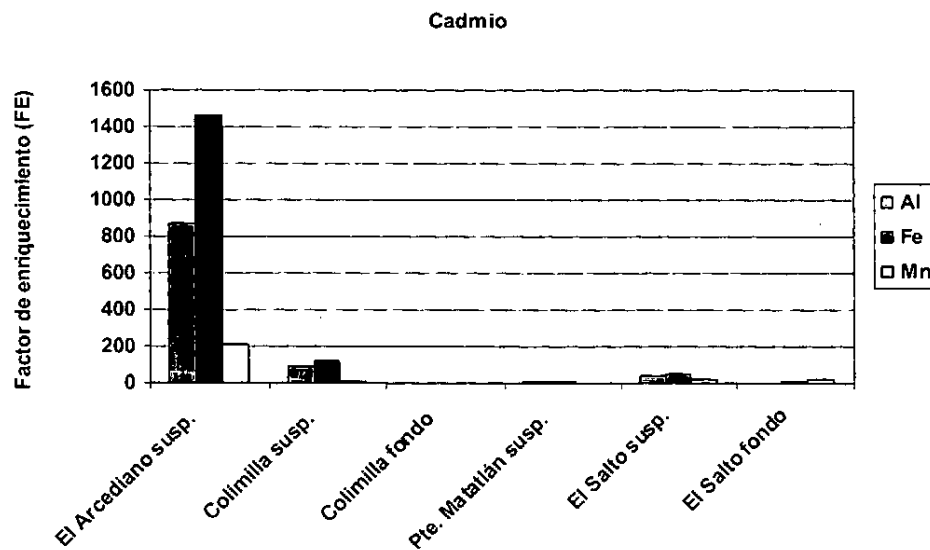


Figura 10 Factores de enriquecimiento de cadmio

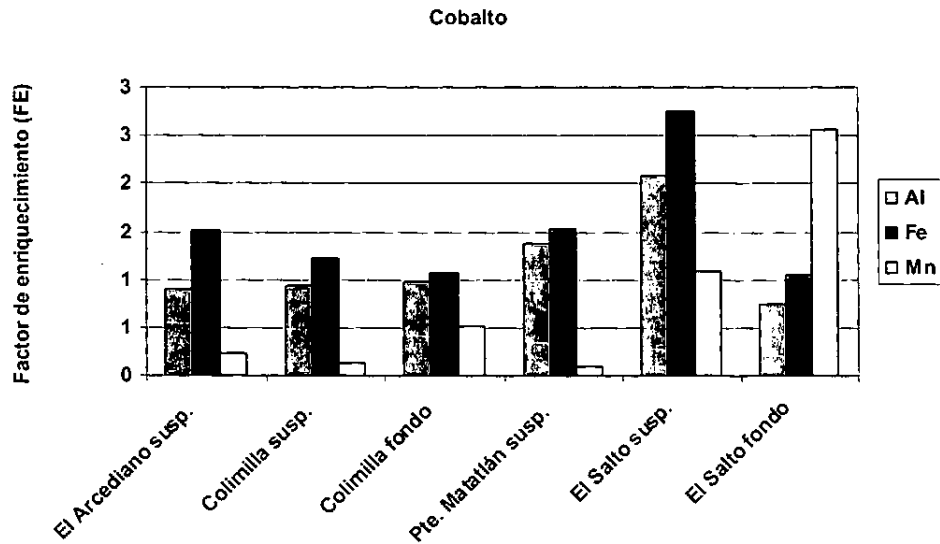


Figura 11 Factores de enriquecimiento de cobalto

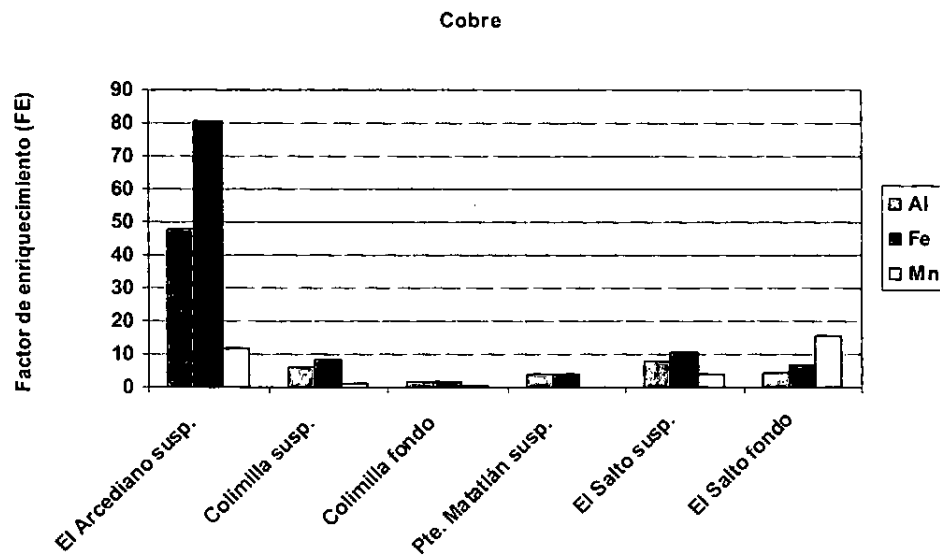


Figura 12 Factores de enriquecimiento de cobre

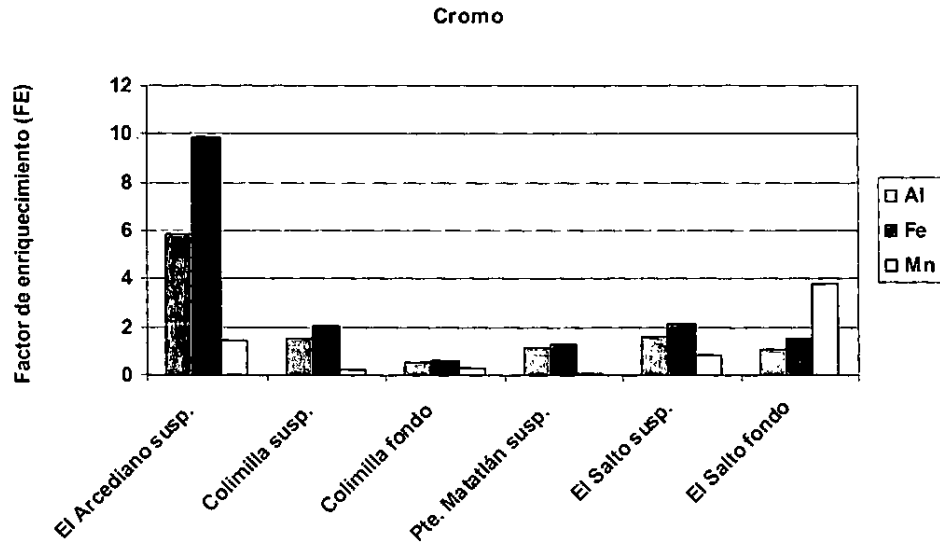


Figura 13 Factores de enriquecimiento de cromo

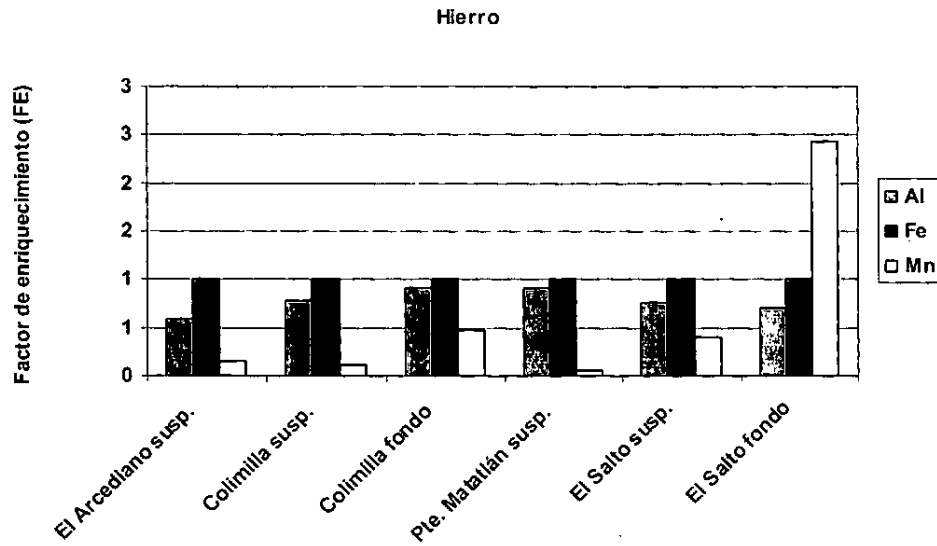


Figura 14 Factores de enriquecimiento de hierro

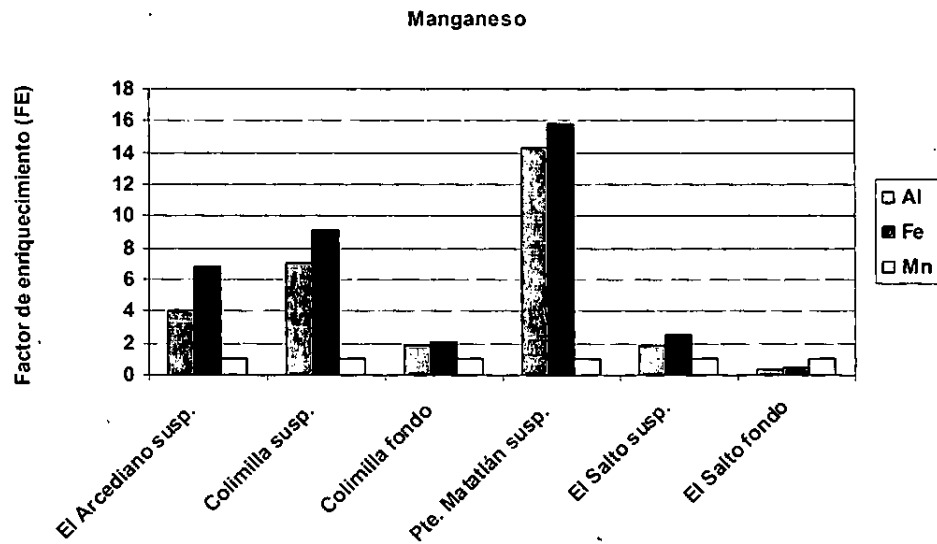


Figura 15 Factores de enriquecimiento de manganeso

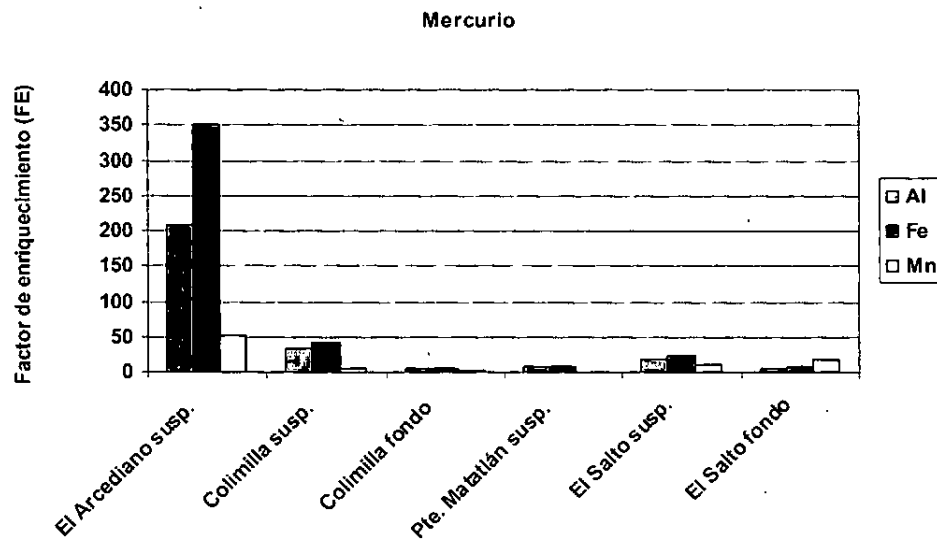


Figura 16 Factores de enriquecimiento de mercurio

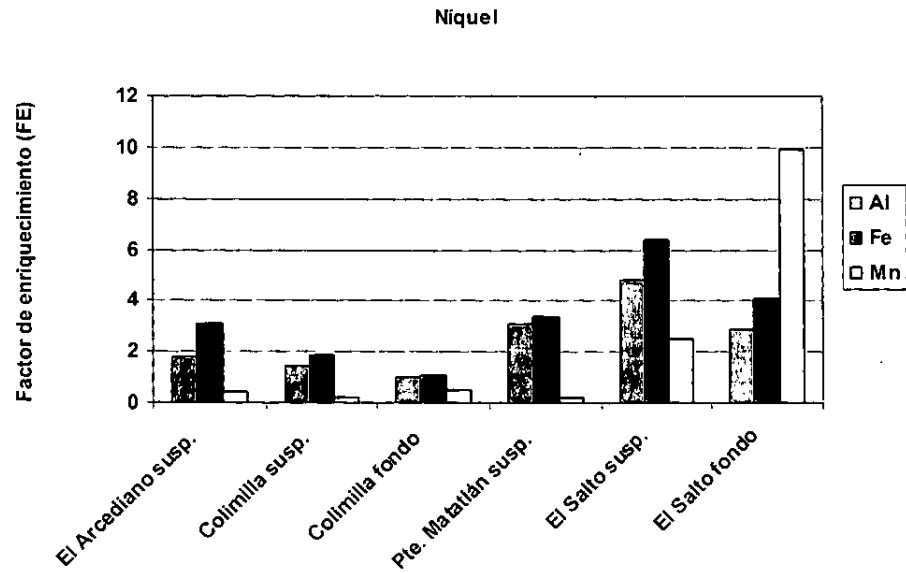


Figura 17 Factores de enriquecimiento de níquel

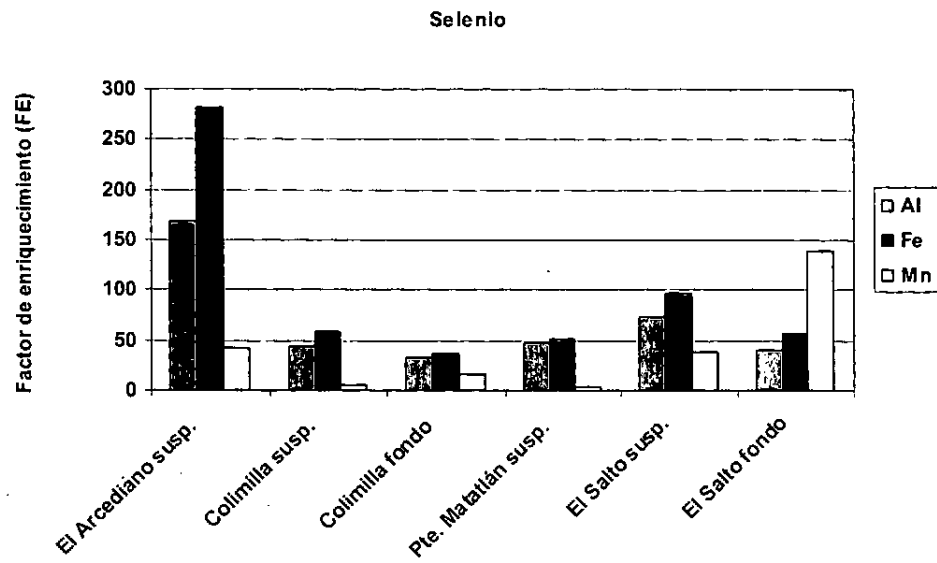
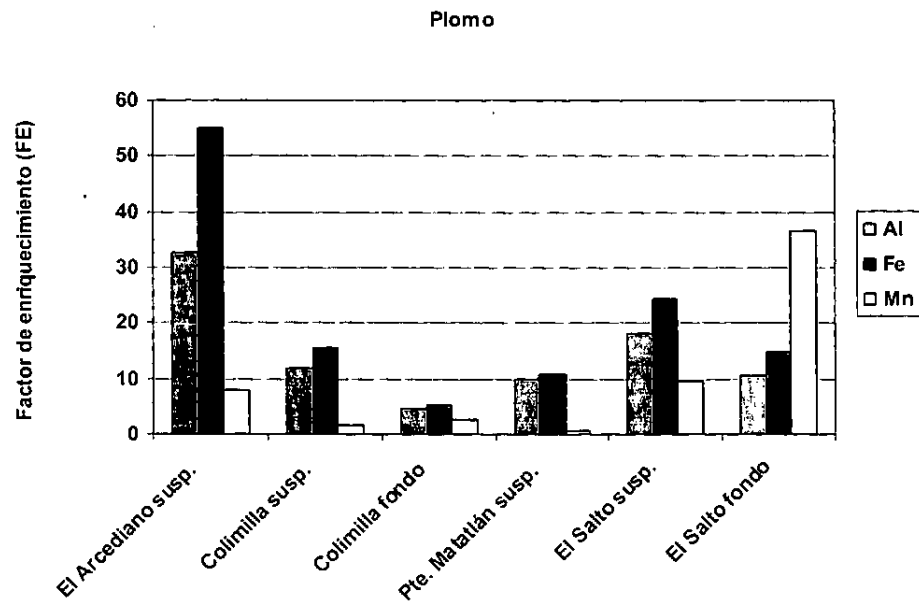


Figura 18 Factores de enriquecimiento de selenio



**Figura 19 Factores de enriquecimiento de plomo**