



Dirección de Política y Cooperación Internacional

FORMATO DE INFORME TÉCNICO PROYECTOS DE COOPERACIÓN BILATERAL

Este formato puede ser llenado directamente en Word (le puede agregar los renglones necesarios) y enviarlo por correo electrónico (con firma), fax o correo postal.

1.- DATOS GENERALES

País contraparte: Alemania
Programa: DLR
Nombre del proyecto: Investigación hidrogeoquímica del arsénico en el sistema acuífero de la Comarca Lagunera
Referencia del oficio de asignación de recursos: J000.411/2009
Responsable técnico mexicano/institución: Dr. Francisco Javier Aparicio Mijares / Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA)
Responsable técnico extranjero/institución: Prof. Dr. Ing. Max Billib / Institute of Water Resources Management (IWH)
Periodo del informe (1er. periodo, 2° periodo, 3er periodo, 4° periodo): 1er. Periodo
Fecha de inicio y fecha de término de las actividades del periodo reportado: 7 agosto 2009 al 10 agosto 2010.

ACTIVIDADES REALIZADAS:

Avances del proyecto: detallar actividades realizadas, logros alcanzados y metas cumplidas respecto al programa de trabajo. (puede utilizar hojas anexas)

La concentración de arsénico en el agua subterránea de la Comarca Lagunera, la cual es utilizada como agua potable, alcanza los 750 µg/l en el noreste de la región. Con el fin de cumplir con el objetivo de las Naciones Unidas (UN Millenium Development) para agua potable, es necesario reducir el contenido de arsénico por debajo de los 10 µg/l. El objetivo principal de este proyecto es analizar la geoquímica y el origen del arsénico en el agua subterránea de la Comarca Lagunera, con el fin de dilucidar las condiciones y factores preponderantes para implementar posteriormente una remediación in situ, sustentable. Los objetivos específicos de la investigación son:

- Determinar la edad y el contenido de arsénico en noreste del acuífero de la Comarca Lagunera.
- Aplicar modelos geoquímicos para determinar el origen del arsénico.
- Desarrollar una estrategia para aplicar posteriormente la remediación tecnológica in situ y seleccionar las posibles áreas de instalación

Para cumplir con los objetivos planteados se consideraron las siguientes actividades (WP1 a WP5):

WP1: Trabajo de campo.

Se tomaron 20 muestras de agua subterránea en campo del 26 de mayo al 3 de junio del 2010, repartidas alrededor de las ciudades de Torreón, Gómez Palacio, Lerdo, Francisco I Madero, Matamoros y Viesca. En campo se midieron los parámetros: pH, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y potencial redox. Las muestras fueron filtradas (0.45 μm), preservadas (ácido sulfúrico, ácido nítrico, refrigeradas) y posteriormente enviadas al laboratorio GBA Gesellschaft fuer Bioanalytik MBH de Alemania para análisis físico-químicos así como para análisis de carbono-14 en el IMTA. No fue posible obtener muestras para determinar las especies de arsénico debido a que no fue posible realizar la segunda visita de los investigadores alemanes a México (T. Krüger/IWH y J. Stummeyer/BGR) y a la imposibilidad de encontrar en México el material requerido (intercambiador de aniones).

WP2: Análisis químicos.

En laboratorio se midieron las concentraciones de calcio, potasio, sodio, magnesio, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, silicatos, silicio, manganeso, bario, litio, aluminio, cadmio, arsénico, estroncio, fierro total, amonio, nitratos, residuo seco, alcalinidad y dureza total. Los valores reportados por el laboratorio se compararon con los límites máximos permisibles para el consumo humano de agua potable, de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM127-SSA-1994.

El error analítico promedio de las muestras fue del 0.38 %, el cual queda dentro del rango de 0%-5% lo cual indica una buena confiabilidad de los datos químicos para la adecuada interpretación hidrogeoquímica. El contenido promedio de arsénico en el agua subterránea es de 0.235 mg/l (rango de 0.014 a 1.00 mg/l), el cual excede el límite máximo permisible en México que es de 0.025 mg/l. Los altos contenidos de arsénico se ubican cerca de las zonas volcánicas de la región y aumentan con la profundidad del nivel estático.

Las muestras para carbono-14 se encuentran en proceso de análisis. Mediante la aplicación de las técnicas isotópicas de carbono 14 se determina el tiempo de circulación del agua subterránea en el acuífero y la correlación con el contenido de arsénico en el agua subterránea.

WP3: Geoestadística.

Se realiza la determinación de las curvas de isovalores de arsénico y otros elementos de las muestras de agua subterránea de los años 1991, 2006 y 2010 del acuífero principal de la Comarca Lagunera mediante el programa SURFER. Con ello se podrá determinar la evolución del arsénico y otros elementos en tiempo y espacio, así como el posible incremento con la profundidad.

WP4: Simulación geoquímica.

Se inicia la modelación geoquímica de los resultados analíticos con los modelos Aquachem 4.0 y PHREEQC-2. Se obtiene la matriz de correlación entre los parámetros medidos y calculados, la interpretación de la interacción agua roca y el cálculo de los índices de saturación de minerales seleccionados.

Estancias de mexicanos en el extranjero: detallar nombres, fechas de las estancias y describir actividades realizadas.

Nombres

M.C. Carlos Gutiérrez Ojeda
Fis. Ismael Mata Arellano

Fechas

Del 2 al 9 de agosto de 2010 Hannover, Alemania.

Actividades realizadas

Lunes 2 de agosto. Traslado de México-Frankfurt- Hannover, Alemania.

Martes 3 de agosto. Traslado de México-Frankfurt-Hannover, Alemania.

Miércoles 4 de agosto. Reunión de trabajo en la Universidad de Hannover con el Dr. Peter Boochs.

- Elaboración de las tablas de resultados químicos de campo y laboratorio y su aplicación al programa AquaChem 4.0
- Clasificación de las familias de agua subterránea, correspondientes al muestreo Comarca Lagunera 2010, mediante los diagramas de Piper, Stiff y Durov.
- Determinación de la matriz de correlación, entre los parámetros medidos en campo, laboratorio y calculados con el programa PHREEQC-2.

Jueves 5 de agosto. Reunión de trabajo en la Universidad de Hannover.

- Interpretación de la interacción agua-roca mediante el programa AquaChem.
- Elaboración del reporte-resumen de los datos fisicoquímicos y químicos del muestreo Comarca Lagunera 2010.
- Visita al laboratorio de hidrogeoquímica con el Dr. J. Stummeyer del Geocentro de Hannover (GBR). Se revisó la metodología empleada para la especiación del arsénico.

Viernes 6 de agosto. Reunión de trabajo en la Universidad de Hannover.

- Cálculo de los índices de saturación de minerales seleccionados con el programa PHREEQC-2.
- Discusión de los resultados químicos obtenidos del muestreo con el Dr. Peter Boochs.
- Visita a la compañía W&S Wassertechnik GmbH, Wedemark, Niedersachsen. Alemania.
- Presentación del Dr. Wilhelm Depping, Manager de W&S Wassertechnik, sobre la producción y aplicación de Hidróxido Férrico Granular en la remoción del arsénico en aguas industriales.
- Presentación del Dr. Peter Boochs de la Universidad de Hannover sobre la fijación del arsénico en la matriz de la roca a través del método desarrollado por la Universidad de Hannover y su factible aplicación en la Comarca Lagunera.

Sábado 7 de agosto. Reunión de trabajo en la Universidad de Hannover.

- Revisión del contenido de arsénico en las muestras de la Comarca Lagunera 2010 en relación con la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SAAI-1994.
- Estimación del tiempo de residencia del agua subterránea de la Mina La Platosa a diferentes niveles de profundidad en función del contenido de arsénico actual.
- Planificación de las actividades de la misión alemana y mexicana en las instalaciones del IMTA en la ciudad de Cuernavaca, Morelos y CNA en la ciudad de Torreón, Coahuila, del 30 de agosto al 3 de septiembre de 2010.

Domingo 8 de agosto. Recorrido de campo por el sitio contaminado de arsénico.

- Visita al campo militar ubicado en el norte de la ciudad de Hannover, donde se encuentra la planta experimental de tratamiento in situ del arsénico de la Universidad de Hannover.
- Descripción del funcionamiento de la planta por el Dr. Timo Krueger, sobre la aplicación del Cloruro Férrico en el proceso de fijación del arsénico en la matriz de la roca.
- Lunes 9 de agosto. Traslado Hannover-Frankfurt-México.

Estancias de extranjeros en México: detallar nombres, fechas de las estancias y describir actividades realizadas.

Nombres

Dr. Peter Boochs
Dr. Max Billib

Fechas

Del 21 al 25 de septiembre de 2009 en las ciudades de México, Cuernavaca y Torreón. México.

Actividades realizadas

Lunes 21 de septiembre. Traslado de la ciudad de México a la ciudad de Cuernavaca, Morelos.

Martes 22 de septiembre. Presentación de los Drs. Boochs y Billib sobre el desarrollo de las actividades realizadas hasta la fecha sobre el proyecto. Con la participación del Subcoordinador de Hidrología Subterránea M.C. Carlos Gutiérrez Ojeda se discutieron los avances logrados y se precisaron las actividades a realizar por los investigadores alemanes y mexicanos.

En las instalaciones de la Coordinación de Hidrología del Imta se reunió a especialistas de la Subcoordinación de Potabilización, Calidad del Agua y especialistas de la Subcoordinación de Hidrología Subterránea, con el fin de dar a conocer los trabajos realizados por los especialistas de la Universidad de Hannover.

Los temas presentados fueron:

- Área contaminada
- Concentraciones de arsénico
- Experimentos de inmovilización en laboratorio
- Inmovilización in situ
- Planta piloto
- Primeros resultados y perspectivas

Se presentaron los resultados obtenidos sobre las muestras colectadas en pozos de una zona militar altamente contaminada con concentraciones de arsénico total de 8 800 ug/l, arsenatos As_{3+} de 2 200 ug/l, arsenitos As_{5+} de 380 ug/l y As orgánico de 5 900 ug/l, siendo el límite máximo permisible de 10 ug/l.

El método presentado para la inmovilización del arsénico consiste en añadir al acuífero Fe^{2+} más O^2 , para producir la reacción de hidróxido de hierro ($Fe(OH)_3$) y promover la coprecipitación y absorción de arsénico, resultando la inmovilización del arsénico en un complejo cristalino de Fe-As.

Se han realizado experimentos de laboratorio (Batch Experiments) tomando muestras de 200ml con una concentración inicial de 8.8 mg/l, con dosis de 50 mg Fe (250 mg Fe/l), utilizando diferentes componentes de hierro como precipitantes y produciendo una aeración usando oxígeno del aire. Posteriormente se midió la concentración de arsénico, encontrándose una considerable reducción

del contenido de arsénico inicial. Siendo el cloruro ferroso (FeCl_2) el que presentó mejores resultados con una inmovilización del 79.5 % en un tiempo de aereación de 4.5 horas.

Se han realizado experimentos de laboratorio en muestras de diferentes pozos con diferentes composiciones de arsénico, tomándose dosis de 180 mg de $\text{FeCl}_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$ en muestras de 200 ml (50 mg de Fe), encontrándose valores de reducción de arsénico inorgánico de 99.0, 99.1, 93.3 y 98.4 % con tiempos de aereación de 4 a 8 horas y valores de reducción de arsénico orgánico de 65.1, 50.4, 76.3 y 65.2 % para los mismos tiempos de aereación.

Se han realizado experimentos de columna de suelo con dosis de 2 g, 100 mg y 10 mg de $\text{FeCl}_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$ por ciclo, siendo la dosis de 100 mg la que después de 16 ciclos presentó una mejor reducción de arsénico de 9.5 mg/l a 1.2 mg/l.

Se ha diseñado un método para la inmovilización de arsénico dentro del acuífero, el cual consiste en la utilización de un pozo de extracción, una línea de aereación y otro pozo de infiltración para la coprecipitación y absorción de arsénico en hidróxido de hierro, formándose complejos cristalinos de Fe-As, quedando así inmovilizado el arsénico.

Con el método anterior se ha instalado una planta piloto en el área militar contaminada con los siguientes resultados:

- Bombeo de 21 m^3 , con una reinfiltración de 17.5 m^3 y una descarga de 3.5 m^3 por ciclo; un ciclo dura 9 horas.
- Reducción de 1.6 mg/l a 0.4 mg/l, que es igual a una reducción de 1.2 mg As/l por ciclo.
- Inmovilización de 1.2 mg/l \times 17 500 l, que corresponde a una inmovilización de 21.0 g de As por ciclo
- Es decir se depositan aproximadamente 7.5 kg de As por año.

Perspectivas:

- Continuar con los experimentos de laboratorio para optimizar el experimento de campo
- Mejorar el montaje del experimento de columna de suelo

Énfasis:

- Identificar la cantidad de hierro necesaria para la remediación
- Identificar la infiltración de hierro en el acuífero sin atascar los pozos

Continuar los experimentos de campo:

- Por el momento no hay infiltración de FeCl_2
- Mejorar la infiltración de NaCl para definir el área de reacción y avanzar en el control de la planta

Los participantes a la conferencia se interesaron en la aplicación del método en México, insistiendo en los costos de operación comparados con los métodos de remoción realizados por el IMTA.

Miércoles 23 septiembre se realizó en la ciudad de Torreón Coahuila una conferencia sobre los logros obtenidos en el proyecto, con personal de la Dirección Técnica del Organismo de Cuenca Cuencas Centrales del Norte, el cual se mostró muy interesado en la realización de los experimentos Batch en diferentes sitios de la Comarca Lagunera y brindó su apoyo a través del Laboratorio de Química.

Jueves 24 de septiembre se realizó un recorrido de campo por las instalaciones de la Compañía Minera Excellon de México S.A. de C.V. y se presentaron también los avances del proyecto al Ing. Pablo Gurrola, quien se mostró muy interesado en el proyecto y brindó su apoyo para la realización de los experimentos Batch en la instalaciones de la mina y en la toma de muestras para los análisis químicos e isotópicos.

Viernes 25 de septiembre se realizó una reunión con el personal del Sistema Municipal de Aguas y Saneamiento de Torreón (SIMAS), el cual se mostró muy interesado en el desarrollo del proyecto en la Comarca Lagunera. El Gerente de Saneamiento Ing. Dagoberto de la O Serna brindará la información química de los pozos de operación de SIMAS, así como el apoyo en la realización de los experimentos Batch en sus instalaciones.

No se realizó la segunda visita de los expertos alemanes (T. Krüger/IWH y J. Stummeyer/BGR) a México para la recolección de muestras de agua subterránea incluyendo la estabilización en el campo de las diferentes componentes arsenicales.

Formación de recursos humanos: indicar las actividades realizadas y la importancia de su participación.

No aplica

Publicaciones: revistas indizadas, revistas con arbitraje internacional, capítulos de libros internacionales, etc.

Contemplados al final del proyecto

Participación en simposios, talleres, presentaciones en congresos, etc.

No aplica

Participación de empresas (en los casos que aplique)

No aplica

Otras actividades:

No aplica

COMPROMISOS PARA EL PERIODO SIGUIENTE:
(En caso de aplicar))

Programa de trabajo a desarrollar

WP3: Geoestadística: se continuará con la modelación geoestadística 3-dimensional con el fin de determinar los estratos más ricos en arsénico y la distribución tridimensional del arsénico.

WP4: Simulación geoquímica. Los modelos geoquímicos (PHREEQ, WATEQF Y NETPAHT) serán aplicados para estudiar los procesos geoquímicos con el fin de encontrar el origen de la contaminación por arsénico y las condiciones adecuadas para el tratamiento in situ.

WP5: Desarrollo y planeación de tecnología de remediación. Con base en los resultados de WP4 serán seleccionados los sitios donde sea posible aplicar el tratamiento in situ.

Distribución de actividades

IMTA:

- Análisis del contenido de ^{14}C en las muestras de campo (WP2)
- Realizar en la Comarca Lagunera experimentos Batch en muestras de 200 ml con una concentración inicial alta de As, empleando una dosis de 50 mg de Fe (250 mg/l) (WP2).
- Determinación de los estratos ricos en arsénico en el acuífero (WP3).
- Aplicar la simulación geoquímica de los modelos relacionados a los resultados isotópicos (WATEQF, NETPATH) (WP4).

IWH:

- Aplicar el modelo de simulación geoquímica (PHREEQ) relacionado al ambiente geoquímico (WAWI) (WP4).
- Discutir los criterios del medio ambiente para el origen del arsénico y tecnologías de remediación (WP5).

Estancias de investigadores mexicanos en Alemania:

Junio 2011: Carlos Gutiérrez Ojeda, Manuel Martínez Morales/IMTA: Discusión de la modelación geoquímica y el posible tratamiento in situ.

Estancias de investigadores alemanes en México:

Septiembre 2010: M.Billib, P.-W. Boochs/IWH: Discusión de la modelación geoquímica y muestreo en el área de estudio.

Agosto 2011: M.Billib, P.-W. Boochs/IWH: Discusión de resultados, reporte final y actividades futuras.

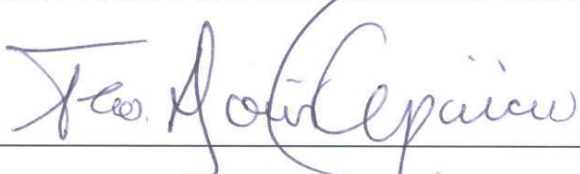
OBSERVACIONES Y/O COMENTARIOS

Mencionar aquellos elementos de su programa de trabajo con características especiales o relevantes.

El tratamiento a profundidad del agua subterránea (tratamiento in situ) desarrollado por el Instituto de Manejo de los Recursos Hídricos de la Universidad de Hannover (IWH) ha sido exitosamente aplicado en la remoción de arsénico en Alemania. El procedimiento está basado en el bombeo del agua subterránea de un pozo a otro después de cambiarle sus condiciones redox. El pozo de recarga puede ser posteriormente utilizado como fuente de abastecimiento de agua. Para aplicar la estrategia de remediación in situ en el norte de la Comarca Lagunera se requiere conocer la extensión y el origen de la contaminación de arsénico, determinar la geoquímica del agua subterránea – arsénico en dicha zona así como la hidrogeología del sistema acuífero, lo que constituye el objetivo principal del proyecto.

NOMBRE Y FIRMA DEL INVESTIGADOR RESPONSABLE

FECHA



10 de agosto de 2010

DR. FRANCISCO JAVIER APARICIO MIJARES