



Remediación por Contaminación con **Hidrocarburos** en un Acuífero Colgado, Caso del Pozo AB-1089

INGENIO MAGNO / Tunja - Colombia / N° 3 / mayo 2012 / p.p.

**MSc. Viviana Ramos
Sánchez**

Instituto Costarricense de
Acueductos y Alcantarillados,
San José-Costa Rica,
vramos@aya.go.cr

Ing. Ricardo Morales V

Ministerio Salud,
San José-Costa Rica,
rmorales@netsalud.sa.cr

**Lic. Alonso Alfaro
Martínez.**

Empresa Servicios Públicos de
Heredia
alonsoalfarom@gmail.com

Para citar este artículo / To
reference this article / Para citar
este artículo
Ramos, S.V, Morales, V.R.,
Alfaro, M. A. (2012). Remediación
por Contaminación con
Hidrocarburos en un Acuífero
Colgado, Caso del Pozo AB-
1089. Ingenio Magno. Vol.3, pp.
58-65. Universidad Santo Tomás
Tunja - CILAM.

Recepción: 2011-08-08 | Aceptación: 2011-10-13

Resumen:

En septiembre de 2004, se detecta un derrame de combustible en el pozo profundo (AB-1089, nivel de agua a 80 metros), ubicado en el Acuífero Colima Superior, fuente de importancia para el Gran Área Metropolitana, principalmente para las provincias de Heredia y San José (Costa Rica). El pozo comunica este acuífero con otro más profundo, el Colima Inferior. Se realizaron muestreos de aguas, suelos y roca iniciales en el 2004-2005 que permitieron conocer los estratos subyacentes y niveles de contaminación e identificando un acuífero colgado a 20 metros, donde se ubica la contaminación con el hidrocarburo. Datos periciales de autoridades judiciales basados en balances de inventario indican una fuga de casi 30 mil litros de hidrocarburos (diesel y gasolina), derramados durante el periodo 2003- 2004. Se cuenta con informe de geofísica del año 2006 que permitió delinear la fase libre (hidrocarburo supernatante) contenida en el acuífero colgado e iniciar las labores de extracción de la fase libre. Informe de hidrogeólogos de EPA de 2007, en misión auspiciada por el OIEA, y solicitada por el gobierno local (Municipalidad de Belén, vecina al cantón afectado), indica la necesidad de clausurar el pozo AB-1089 definitivamente. La contaminación en el Acuífero Colima se ha detectado de manera clara solamente en el AB-1089, y no hay evidencia de avance de una pluma en los Acuíferos Colima, por lo que el cierre del pozo no se consideró nacionalmente como prioridad. El Gobierno costarricense solicitó la cooperación técnica de la OPS en el 2008, con el objetivo de analizar los datos hidrogeológicos y reportes existentes, para obtener recomendaciones sobre cursos de acción técnica y económicamente viables ante la incertidumbre sobre el grado de comunicación entre el acuífero colgado (20 metros) y el Acuífero Colima Superior/ Inferior (por debajo de 80 metros), y el riesgo a la salud que dicha contaminación presenta. Las

recomendaciones principales de la consultoría del Instituto de Pesquisas Tecnológicas de Sao Paulo, Brasil, costeadas por la empresa dueña del pozo (ESPH,) fueron la profundización del detalle del modelo conceptual del sitio mediante pruebas de bombeo y estudios geofísicos, la filtración del agua contaminada con carbón activado y la reinyección en el acuífero, proceso que resultó altamente eficiente en la remoción de BTEX y PAHs, así como de los demás hidrocarburos presentes y menos tóxicos. Se avaló por la Comisión y se realizó por el ICE el sellado de fracturas ("cortina corta-flujo") alrededor del pozo AB-1089. Estas operaciones generaron un recrudescimiento de los niveles de inflamabilidad en el acuífero colgado bajo la gasolinera que obligaron a un monitoreo más cercano por las instituciones. Finalmente se logró recuperar del acuífero colgado el equivalente a aproximadamente 13 mil litros de hidrocarburos y a marzo de 2010 se filtraron más de 1300 metros cúbicos de agua contaminada, que una vez tratados, fueron reinyectados al acuífero colgado. Desde abril del 2009 a marzo del 2010 se implementó la aireación del acuífero colgado a través de 9 de los 14 piezómetros en el sitio. Las concentraciones de hidrocarburos en los piezómetros de extracción en la gasolinera fueron inferiores a 150 ppb, si bien estos recrudescieron en contenido de benceno posteriormente. Ante esto se experimentó en el 2010 con una torre de desorción por burbujeo de aire, como coadyuvante al uso de los filtros; igualmente se agregaron nutrientes durante la aireación del acuífero para potenciar la degradación bacteriana del hidrocarburo. No se detectaron hidrocarburos tóxicos por encima de las concentraciones normadas nacionales e internacionalmente en los pozos de agua potable de consumo humano ubicados al exterior de la gasolinera en los Acuíferos Colima. Se confirmó mediante muestreo y análisis químico el éxito del sellado mediante la cortina cortafujo, no detectándose hidrocarburos en el AB-1089.

1. INTRODUCCIÓN

En septiembre de 2004, la Empresa de Servicios Públicos de Heredia S.A.; (ESPH) informó a la población mediante los medios de comunicación escrita del hallazgo, durante una prueba de rutina, de la presencia de hidrocarburos en el pozo de abastecimiento público de agua potable denominado AB- 1089 (PRI-II), ubicado en el Barreal, provincia de Heredia, cercano a la Zona Franca Metropolitana, uno de los polos de desarrollo industrial importante en la región. Paralelamente se comunicó dicha emergencia al Ministerio de Salud. Esta gasolinera se encuentra colindante con el predio del pozo; ubicándose en la zona de protección del pozo establecida en la legislación costarricense. Los niveles detectados inicialmente en el AB-1089 rondaban los 50 mg/L de hidrocarburos totales. Durante ese año el pozo no se había utilizado, pues se ponía en operación

solamente en la época seca. Este pozo fue sacado de operación de inmediato y los operadores de los acueductos en la zona (ESPH y Acueductos y Alcantarillados, AyA) presentaron denuncia formal ante la Fiscalía Ambiental. Igualmente el SENARA presentó denuncia ante la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA). En consecuencia, el pozo nunca fue utilizado para distribución de agua a la población mediante la red de la ESPH. Los sitios potencialmente en riesgo por la contaminación del pozo AB-1089, eran pozos en su mayoría de uso industrial y privado, así como algunos pozos de abastecimiento público, ubicados en el Acuífero Colima Superior y en el Colima Inferior, en dirección sur-suroeste del AB-1089 (**Fig. 1**), en Barreal y Belén, y que posteriormente se conformó en la red de monitoreo externa a la gasolinera.

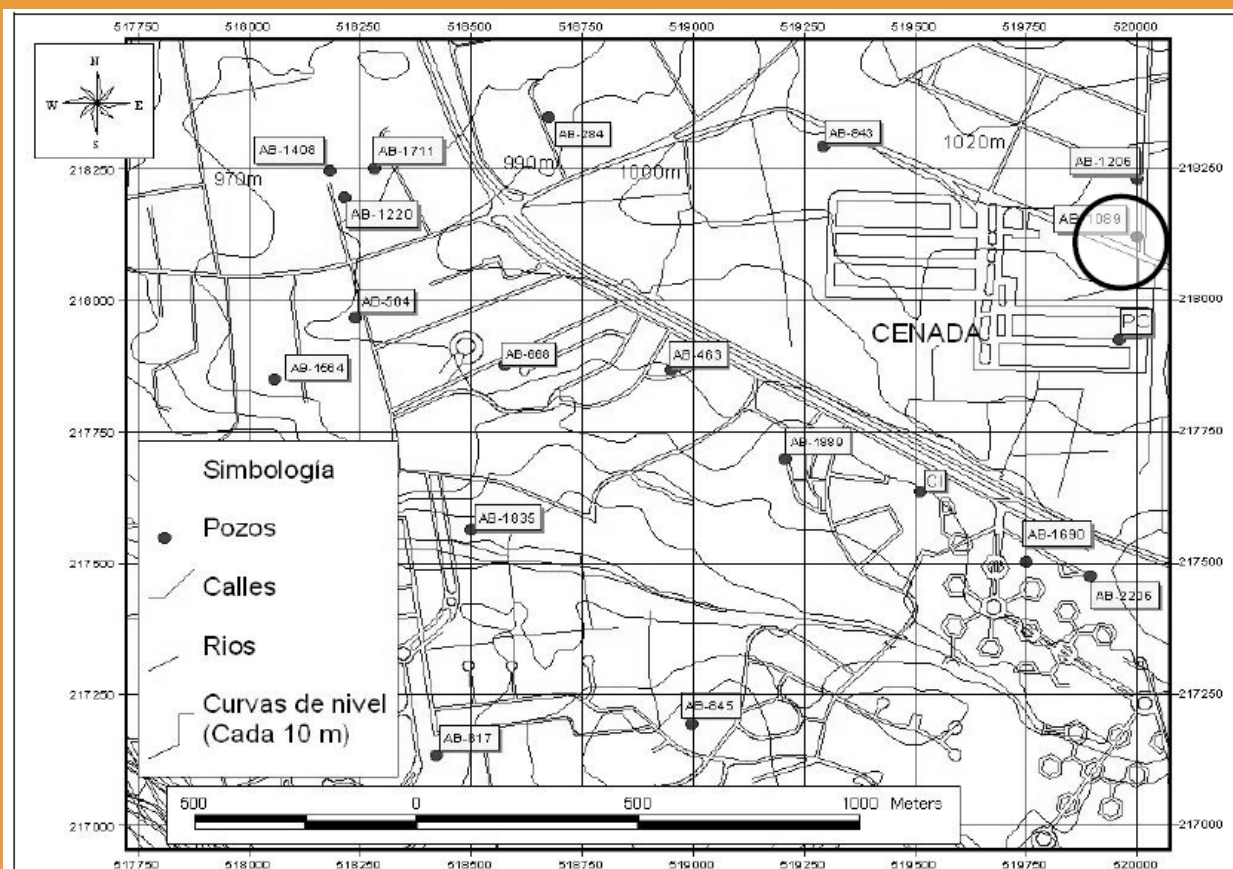


Figura 1. Pozos de la red de monitoreo externa

A partir de septiembre del 2004 se conformó una Comisión Interinstitucional, coordinada inicialmente por la ESPH y actualmente por el Ministerio de Salud, integrada además por la Municipalidad de Belén, el Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA), Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), la Refinería Costarricense de Petróleo (RECOPE), la Escuela de Geología de la Universidad de Costa Rica (UCR) y el Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET). A dicha Comisión asistió ocasionalmente como invitada una representante vecinal que integra a la vez la Comisión Ambiental de la Municipalidad de Belén, zona ubicada en la dirección del flujo de agua subterráneo con relación al sitio del accidente. La finalidad de dicha comisión ha sido reunir criterios y esfuerzos a efecto de discernir la amplitud de la contaminación, que se consideró podría extenderse y afectar fuentes importantes como la de Puente de Mulas, que el AyA utiliza para suplir a una amplia zona del Gran Área Metropolitana. Por lo tanto, la Comisión también se abocó a acciones de remediación ambiental de mediano plazo que se

describen en el presente informe, ante la falta de agilidad legal y técnica de encomendar éstas a los causantes de la contaminación, responsabilidades que no se han esclarecido en su totalidad a la fecha de este informe. Asimismo durante el año 2005 el Organismo de Investigación Judicial, a solicitud de la Fiscalía Ambiental, realizó pericias en el sitio (muestreos de agua y suelos), apoyado por la Comisión Interinstitucional. Se realizaron excavaciones y perforaciones exploratorias hasta los 10 metros de profundidad en los suelos de la gasolinera (Fig. 2), detectándose contaminación por gasolina, diesel y aceite, evidenciándose también cambios recientes en una tubería debajo de la cual se observaron suelos impregnados con hidrocarburos. Ninguna de las concentraciones en suelos alcanzó valores por encima de 100 ppm en hidrocarburos totales, valor que representa el estándar de la EPA (EEUU) para recomendar remoción y/o remediación de suelos. En el año 2006 las investigaciones mediante control de inventarios del OIJ confirmaron el faltante de casi 30.000 (treinta mil) litros de combustibles, entre diesel, gasolina regular y gasolina súper.

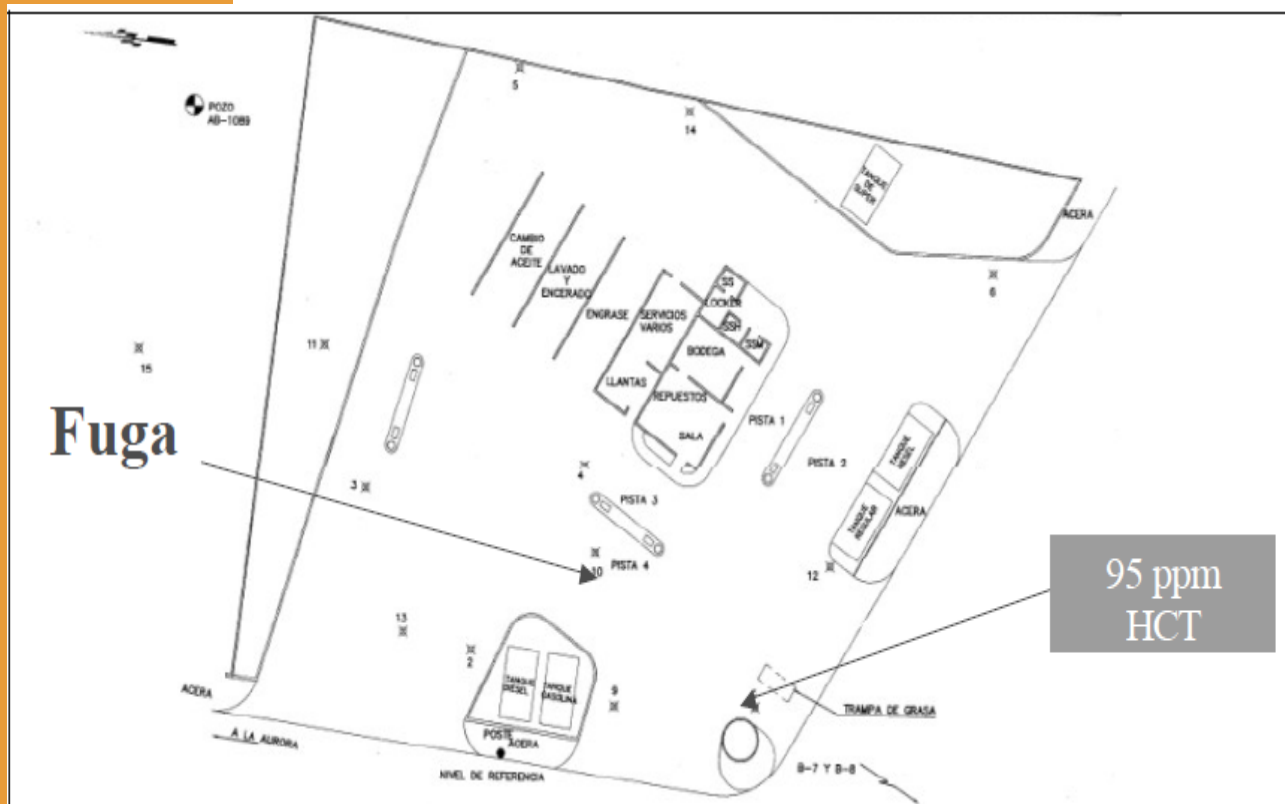


Figura 2. Exploraciones iniciales en la OPS-Guillén Gasolinera y zonas aledañas-
(figura en planta)

INVESTIGACIÓN Y REMEDIACIÓN

Como parte de estas exploraciones se encontró posteriormente un acuífero colgado, a veinte metros de profundidad, donde se localiza la principal contaminación. **(Fig. 3)** Esta contaminación se encuentra separada del Acuífero Colima por varias capas geológicas y a aproximadamente cincuenta metros por encima del nivel de agua del Acuífero Colima Superior, retenida por una capa de roca de baja permeabilidad, lo que representó el primer esbozo de un modelo conceptual del sitio. Se conocía que el pozo AB-1089 tocaba también el Colima Inferior.

Desde el año 2004 hasta el 2009 se han realizado campañas de monitoreo en los pozos de agua potable de Barreal y Belén (**ver Fig. 1**), ubicados al sur-suroeste del pozo AB-1089, y que se abastecen del Acuífero Colima Superior e Inferior, y no se ha detectado contaminación de importancia para la salud pública. Las aguas cumplen con la normativa internacionalmente aceptada (EPA y OMS) y por ende no presentan un riesgo para la salud de las personas que pudiesen consumirlas, aspecto que fue comunicado oportunamente a la población y usuarios de pozos en la zona. Existieron hallazgos complementarios que indicaban la posibilidad de contaminación en los pozos del Laboratorio de Soluciones Parenterales de la CCSS (fabricante estatal de sueros de uso médico), ubicado a un kilómetro del sitio del derrame en dirección oeste. Si bien estos datos fueron un poco contradictorios, tomaron todas las medidas necesarias para garantizar la seguridad del agua que se utiliza en la fabricación de sueros para uso médico. Desde el 2005, hasta setiembre de 2007 el Laboratorio de Soluciones Parenterales se suplió de pozos de la ESPH ubicados “aguas arriba” del sitio impactado. En el 2007 la CCSS volvió a reutilizar sus propios pozos ante la ausencia de hidrocarburos (nivel de detección 5 ppb) durante casi dos años en toda la red de monitoreo. Debido a la conexión, mediante el AB-1089, entre el acuífero colgado y el Acuífero Colima Superior/Inferior, así como el potencial riesgo a otros operadores de acueductos aguas abajo, como son la Municipalidad de Belén y el AyA, y con el fin de agilizar las contrataciones necesarias, la Junta Directiva del AyA, solicitó a la Comisión Nacional de Emergencia, la declaratoria de emergencia nacional. Dicha solicitud se realizó con el fin de contar y poder movilizar los recursos

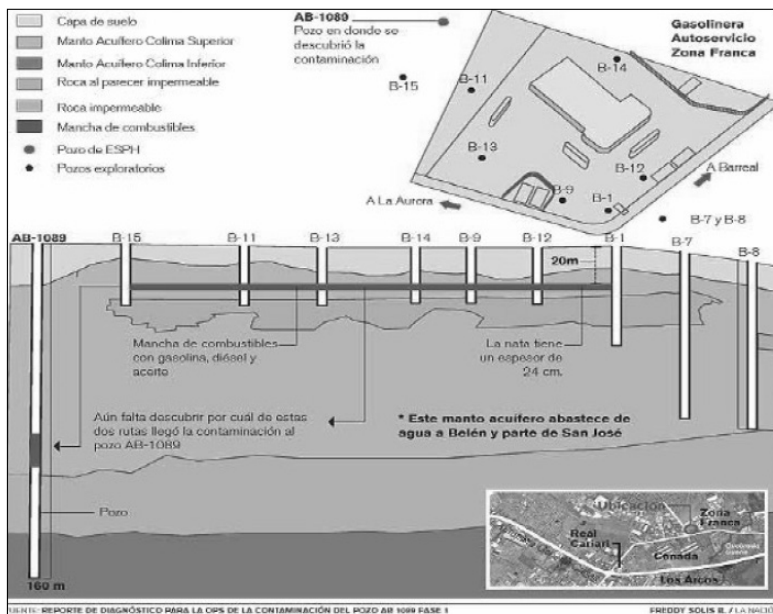


Figura 3. *Modelo conceptual inicial del sitio*

necesarios para completar la investigación de campo y financiar las primeras y urgentes acciones de remediación ambiental. Estas operaciones implicaron un mayor nivel de riesgo al encontrarse en el nivel colgado importantes concentraciones de gasolina, además de los hidrocarburos menos volátiles. Mediante DECRETO 32797-MP-SALUD, de fecha 8 de diciembre 2005 y vigente a la fecha del presente informe, se realizó dicha declaratoria de emergencia para las acciones en las zonas afectadas por el pozo contaminado y el acuífero Colima Superior. A la vez la Junta Directiva de la CNE designó al Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados como Unidad Ejecutora, lo que facilitaría la transferencia de fondos de las instituciones del Estado y la ágil contratación de empresas especializadas en el diagnóstico y remediación ambiental. No obstante el Estado decidió no utilizar la vía de las contrataciones, y realizar las labores por medio de las instituciones del Estado. Para esto, la Unidad Ejecutora-AyA, ha contado con el apoyo específico de la ESPH y la Municipalidad de Belén, así como de la asesoría de los otros miembros de la Comisión Interinstitucional. La Comisión Interinstitucional contó durante seis meses del 2005 con el apoyo de un consultor costarricense, con experiencia internacional en remediación de sitios contaminados, consultoría que fue financiada por la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y que permitió obtener un diagnóstico y modelo inicial del sitio, (**Figs. 2 y 3**) pero

La contaminación se encuentra separada del Acuífero Colima por varias capas geológicas y a aproximadamente cincuenta metros por encima del nivel de agua del Acuífero Colima Superior, retenida por una capa de roca de baja permeabilidad, lo que representó el primer esbozo de un modelo conceptual del sitio.

que en ese momento presentaba cierto grado de incertidumbre, ante los vacíos en la exploración inicial por la Comisión Interinstitucional, y necesidad de mejores datos de campo. En el año 2006 se realizaron los sondeos geofísicos, (**Fig. 4**) realizados por un profesional costarricense con el fin de utilizar este método indirecto para delimitar la pluma de contaminación en el acuífero colgado, dando resultados que fueron conocidos por la Comisión Interinstitucional, y que aportaron al conocimiento de la extensión de la *fase libre*, en una zona bajo la gasolinera con una prolongación norte y suroeste. Durante el mes de marzo del 2007 una misión de la Agencia de Protección Ambiental de los EEUU (EPA), auspiciada por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), y que había sido solicitada por la Municipalidad de Belén, presentó sus recomendaciones, algunas de las cuales no fueron bien recibidas por la Comisión Interinstitucional, ya que se basaban en información incompleta de campo (disponible pero que no fue revisada por los expertos), y siendo breve su intervención y comunicación con la Comisión. El informe de EPA anota que el método geofísico utilizado en el 2006 permite solamente detectar la *fase libre*, y no la extensión de la pluma disuelta en el acuífero colgado.



Entre las recomendaciones inmediatas de la EPA estaban el sellar definitivamente el AB-1089, un productor de 80 L/s de interés para la ESPH y para el sector industrial/residencial al que servía. También se recomendaba remover los tanques y tuberías, cuando datos de campo, no conocidos por los expertos, indicaban contaminación remanente mínima en suelos, según criterios del consultor de OPS, y en su mayoría muy inferiores a 100 ppm según constató la Comisión, además de haberse removido el hidrocarburo de los tanques, a los que se realizaron pruebas de hermeticidad. Otra recomendación importante de EPA era ampliar el monitoreo de hidrocarburos totales en pozos para agua potable y detallar sustancias específicas: benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos (BTEX) MTBE e hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs), lo que fue retomado por la Comisión. Para los niveles de detección requeridos el país no contaba con laboratorios acreditados, y no fue sino hasta el segundo semestre de 2007 que se contó con un laboratorio acreditado para todos los ensayos en agua potable. Si bien existían normas nacionales e internacionales para sustancias específicas, el programa de control del agua potable implementado inicialmente por la Comisión Interinstitucional para evaluar el contenido de hidrocarburos en el agua, consideró solamente los **hidrocarburos totales**.

No se analizaron rutinariamente sustancias específicas, debido a las muy bajas concentraciones, la sensibilidad de los análisis, y la disponibilidad de laboratorios. Se consideró que solamente si la concentración total de hidrocarburos era mayor a diez partes por billón (10 ppb) se podría inferir que otras sustancias específicas de interés a la salud pública normadas a nivel nacional e internacional (benceno, etilbenceno, tolueno, xilenos, hidrocarburos aromáticos policíclicos), también podrían estar presentes en concentraciones significativas para la salud. El informe final y definitivo del equipo de hidrogeólogos de EPA se recibió en junio de 2007, tiempo en el que la Comisión decidió buscar otras opciones distintas al cierre o sellado total del pozo, entre las que se contempló la construcción de una “cortina corta-flujo” con el fin de sellar las *fracturas* entre el acuífero colgado y el espacio anular del pozo AB-1089, conexión con el Acuífero Colima. Se incluyeron a raíz del informe de EPA de manera rutinaria en los muestreos los

BTEX, MTBE y PAHs, según disponibilidad de presupuestos, si bien afortunadamente a la fecha de finalización de las obras, estas sustancias no han sido detectadas en los pozos profundos de agua potable de la red de monitoreo externa a la gasolinera. Estos mismos parámetros se utilizaron para medir el avance de la descontaminación en el acuífero colgado, que se venía realizado principalmente mediante la extracción de la fase libre y supernatante, así como su almacenamiento, traslado y tratamiento por parte del AyA hacia el plantel de RECOPE-Moín. En Junio del 2008, a través de la cooperación de la OPS/OMS, y costado por la ESPH, se logró contar con el apoyo técnico de expertos hidrogeólogos del Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) de Sao Paulo (Brasil), quienes recomendaron la filtración

con carbón activado y reinyección de aguas en el acuífero, y avalaron el sellado de fracturas (“cortina cortaflujo”) como técnica a explorar para evitar el contacto entre la zona contaminada del acuífero colgado y el espacio anular del pozo que lo comunica con el acuífero Colima Superior. Asimismo, la colaboración del IPT permitió afinar el modelo hidrogeológico conceptual del sitio, (**Fig. 5**) al realizarse pruebas de bombeo del acuífero colgado y pruebas químicas de las aguas subterráneas del acuífero colgado. Con el apoyo de RECOPE se logró demostrar a nivel de laboratorio la aplicabilidad de la técnica de filtración en carbón activado, disminuyendo significativamente el contenido de hidrocarburos; por lo que se construyeron posteriormente los primeros prototipos de filtros por la Comisión.

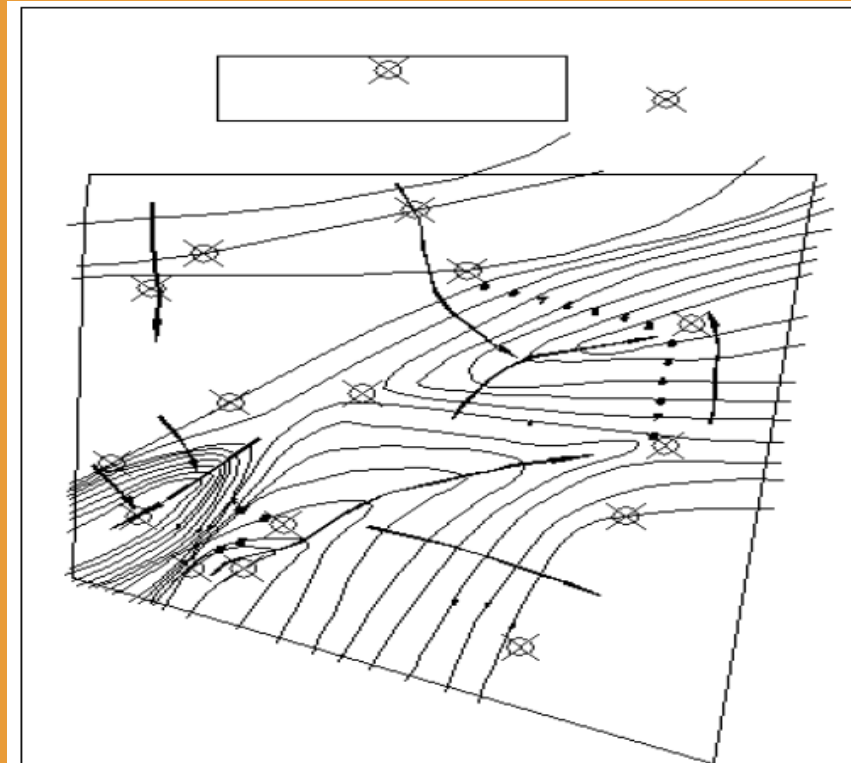


Figura 5.
*Modelo
potenciométrico
del sitio*

Seguidamente el ICE inició las labores de sellado de fracturas en el segundo semestre del 2008 por medio de su Área de Perforación y Servicios Conexos. Esta labor fue finalizada de manera exitosa por el ICE en marzo del 2009, y se logró una disminución significativa de la permeabilidad del acuífero colgado en la zona contaminada, lo que fue comprobado con la disminución de los niveles en el acuífero colgado, razón por la que se inyectó agua artificialmente para mantener los hidrocarburos en suspensión, y poder facilitar su extracción mediante bombeo y filtración. Luego de la consultoría del Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) de Sao Paulo (Brasil), y al alcanzarse espesores milimétricos de la capa supernatante de hidrocarburos, se implementó la filtración de la fase disuelta (hidrocarburo disuelto en el agua) en carbón activado (**Fig.6**), método altamente efectivo y que permitió reinyectar el agua tratada nuevamente al acuífero colgado, para lo cual

se controló periódicamente la calidad del agua reinyectada. Esta técnica de filtración de la fase disuelta, (a la fecha más de 1300 metros cúbicos), permite eliminar **totalmente** el benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos, PAHs y demás hidrocarburos del agua reinyectada al acuífero. En marzo del 2009, al observarse la disminución de los espesores del hidrocarburo supernatante en el acuífero colgado, así como la disminución de las concentraciones de hidrocarburos en fase disuelta, se inició la inyección de aire como técnica de remediación (oxidación y volatilización de hidrocarburos) así como mediciones de oxígeno disuelto como técnica de verificación con el apoyo de una universidad estatal. En los pozos del sector este se inyectó sulfato de calcio para potenciar las reacciones anaeróbicas y ayudar a la degradación del hidrocarburo. Posteriormente entre junio y setiembre de 2009, y como producto del descenso del hidrocarburo proveniente de la zona no saturada, y las oscilaciones estacionales del nivel de agua subterránea en el acuífero colgado, se observó un aumento en los espesores de hidrocarburos en diversos pozos, principalmente aquellos cercanos al centro y costado oeste de la gasolinera. Debido a esta situación se continuó con el bombeo del agua, realizándose la separación del agua y el hidrocarburo en superficie, continuándose con la filtración del agua con Hidrocarburo disuelto. Como resultado de estos trabajos los valores de contaminantes (BTEX y PAHs) en el acuífero disminuyeron considerablemente ya que con base en los análisis realizados en diciembre del 2009 sólo la presencia de xilenos en concentraciones inferiores a 3 ppb. Estos pozos mostraron ausencia de tolueno, xileno y etilbenceno, MTBE y PAHs, pero valores altos de **benceno**, según reportes analíticos febrero 2010. En febrero del 2010

se concretó el uso combinado de la aireación del acuífero con un compresor y una torre de desorción por burbujeo de aire (**Fig. 7**). además de los filtros de carbón activado y de la torre, en la zonas que no se aireaban se inyectó nuevamente sulfato de calcio para potenciar las reacciones anaerobias de degradación del benceno. En distintas zonas del acuífero también se agregó fosfato de amonio como fuente de nitrógeno y fósforo para coadyuvar a la degradación bacteriana endógena. La Comisión implementó en el año 2010 la inyección de bacterias especializadas y evaluó el uso de surfactantes en el acuífero, como métodos de tratamiento subsiguiente. Resultados analíticos del pozo AB-1089, correspondientes a muestreos realizados en diciembre del 2009 y junio del 2010 indican que las concentraciones de Hidrocarburos Totales, PAHs, MTBE y BTEX están por debajo de los límites de detección del laboratorio, y son inferiores a las concentraciones máximas admisibles según la normativa EPA, OMS y la normativa nacional sobre calidad del agua potable. Estos resultados indican que se ha limitado la conexión entre el acuífero colgado y el espacio anular del pozo mediante las operaciones de sellado de fracturas, como lo evidenciaron las pruebas hidráulicas y de permeabilidad realizadas por el ICE, por lo que se recomienda a la ESPH evaluar la conexión del mismo a la red de distribución, condicionado a establecer un plan para el monitoreo de la calidad de aguas. A la fecha del presente informe, y a un costo aproximado de 400 millones de colones (datos proporcionados por el área de Conservación Cordillera Central), se han extraído según informe de la Unidad Ejecutora (AyA) aproximadamente 13 mil litros de hidrocarburo (fase libre) y más de 1 millón de litros de agua contaminada con hidrocarburo.

CONCLUSIONES

Se logró en un plazo de cinco años y medio, aproximadamente, detectar, evaluar, y remediar significativamente el impacto ambiental generado por el derrame de 30.000 litros de hidrocarburos de petróleo.

No obstante, al final del proceso de remediación Solamente fue detectada la presencia de isómeros de xileno, de entre las sustancias reguladas por EPA, OMS y la legislación nacional. En la fase última, al desaparecer el xileno, se detectó benceno a altas concentraciones.

A excepción del benceno, los últimos muestreos en el acuífero colgado certifican la ausencia de compuestos aromáticos en el agua subterránea a concentraciones que pudieran generar un riesgo a la salud humana. Persisten espesores de hidrocarburos en el acuífero colgado, los que deben tratarse por métodos adecuados, ya sea la continua aireación del acuífero, o la limpieza de éstos (impregnados en la matriz de suelo y roca sobre el acuífero) con materiales surfactantes.

El pozo AB-1089 presenta un sellado de fracturas adecuado, que limita en gran

medida el riesgo que pudiera presentar el acuífero colgado, que anteriormente se comunicaba con el espacio anular del pozo.

Los resultados analíticos del AB-1089, correspondientes a muestreos realizados en diciembre 2009, muestran la ausencia de hidrocarburos de petróleo en el Acuífero Colima. Sin embargo este pozo debe monitorearse de manera trimestral.

Debe tomarse en consideración que al haberse sellado las fracturas alrededor del pozo AB-1089, y disminuir la concentración de sustancias tóxicas en el acuífero colgado, las acciones de remediación se consideran adecuadas, optimizadas, pues la continuación de las operaciones en el sitio presentan ahora ganancias ambientales marginales. Al no existir comunicación entre el acuífero colgado y el pozo, ni haberse detectado ninguna comunicación directa de este acuífero colgado con aguas superficiales o subterráneas de actual aprovechamiento humano, el riesgo a la salud humana se considera ahora mínimo.

Igualmente los piezómetros ubicados en CENADA y otras empresas privadas en los alrededores del sitio afectado no mostraron espesores de hidrocarburo ni concentraciones de gases inflamables, salvo la presencia ocasional en años anteriores de gases inflamables en los piezómetros ubicados en HANES y el parqueo de la Zona Franca. Afortunadamente, durante el último año estos piezómetros externos no han presentado ningún riesgo.

El continuo monitoreo de pozos profundos en la zona de Barreal y Belén muestra que no existe contaminación por hidrocarburos en el Acuífero Colima Superior de donde se suplen dichos pozos, aspecto que ha sido sostenido en el tiempo que duraron los trabajos de investigación y remediación, por lo que se concluye, considerando también los resultados del sellado de fracturas y análisis químico, que el impacto en el Colima Superior se limitó a la zona cercana al AB-1089, y que la comunicación se dio de manera preferencial por el espacio anular del pozo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barrantes, LF. (2008), "Informe Final de Perforación y Sellado de Fracturas en el Pozo AB-1089". UEN Exploración Subterránea (Instituto Costarricense de Electricidad).

Batista, C. and Gouveia, S. (2008). "Apoio ao governo de Costa Rica, América central, no caso da contaminação por hidrocarbonetos das águas subterrâneas do Poço AB 1089". Relatório No. 107569 para OPS/OMS COR. (Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo – Brasil).

Guilén, A. (2005). "Reporte de Diagnóstico" – Contaminación del Pozo AB-1089 –

Contrato de Servicios OPS/OMS CR/ CNT/0500071.001.

Jack, J. and Thomas, L. (2007). "Groundwater Pollution by Hydrocarbons in the Central Valley Aquifer, para el AIEA, reporte TCR-03481".

Sánchez, F. (2006). "Estudio geofísico mediante resistividad eléctrica en el área del pozo AB-1089, ubicado en Barreal de Heredia, Provincia de Heredia".