

Vargas Fallas, Luis Carlos

Avances en la remediación del derrame de hidrocarburos en Barreal-Belén.

Propuesta de medidas para la protección de acuíferos.

Tecnología en Marcha, Vol. 24, N.º 1, Enero-Marzo 2011, P. 50-63

Avances en la remediación del derrame de hidrocarburos en Barreal-Belén. Propuesta de medidas para la protección de acuíferos

Fecha de recepción: 27/05/2010

Fecha de aceptación: 14/06/2010

Luis Carlos Vargas Fallas¹

Palabras clave

Contaminación de acuíferos, remediación de derrames de hidrocarburos, protección de acuíferos.

Resumen

En la revista *Tecnología en Marcha* Vol. 22, N.º 4 se presentaron estimaciones de duración de la operación, de acuerdo con dos posibles escenarios de remediación. En esta publicación se muestran los avances logrados al 2009 y se indican los costos alcanzados en el proceso.

En el Valle Central del país se ubican cerca de 160 estaciones gasolineras sobre importantes acuíferos, en las que se destacó el riesgo de contaminación, a la luz del caso del derrame de hidrocarburos ocurrido en Barreal-Belén en el 2004, descubierto por casualidad durante la inspección a un pozo cercano.

1. Estudiante del Programa de Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo (Docinade). Director de Investigación y Desarrollo del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, Costa Rica. Teléfono: 8925-1478. Correo electrónico: cavargas@aya.go.cr / cavargas1949@gmail.com

Se analizan los instrumentos de estudio de la vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos y se presenta una propuesta de medidas que se deberían adoptar para asegurar el control sobre el riesgo de otros derrames y para una gestión adecuada de las aguas.

Key words

Aquifer contamination, hydrocarbon spill remediation, aquifer protection.

Abstract

In the *Tecnología en Marcha* Vol. 22, N.º 4 are shown the costs of operations in agreement with two possible remediation scenarios. This article shows the advances made up to 2009 and indicates the costs reached in the process.

In the costarrican Central Valley, nearly 160 gas stations are located over important

El caso de los hidrocarburos es uno de los que ha tomado relevancia en los últimos años, por causa de la ubicación de instalaciones de almacenamiento, expendios de derivados y trasiego de estos en el territorio nacional.

aquifers; the article emphasizes the risk of contamination, under the light of the hydrocarbon spill that occurred in Barreal-Belén in 2004, which was discovered by chance during an inspection of a nearby well.

The instruments for the study of water contamination vulnerability are studied and a proposal is presented for measures that ought to be adopted to assure the control over the risk of other spills and for the adequate water management.

Introducción

Las modificaciones en el territorio de su estado natural hacia sistemas urbanos, o sea, artificiales, tienen consecuencias en la calidad del agua y en su disponibilidad. El caso de los hidrocarburos es uno de los que ha tomado relevancia en los últimos años, por causa de la ubicación de instalaciones de almacenamiento, expendios de derivados y trasiego de estos en el territorio nacional. Este aspecto pasaría desapercibido de no ser por las descargas provocadas por derrames accidentales, por derrames ocultos, descubiertos en años recientes, y por constantes denuncias por derrames operativos.

La atención de la remediación de estos derrames es un tema en el que diversas instancias han desarrollado experiencia en la recolección de derrames de superficie; no obstante, el tema de atención de derrames subterráneos carece de experiencia en el ámbito nacional. No se trata únicamente de resolver el problema una vez ocurrido el desastre, sino que es necesario entender la complejidad y riesgos de esta situación para adoptar medidas de acción anticipada y buscar la aplicación de medidas de control y planeamiento, a fin de prepararse

para situaciones futuras y reducir los impactos en la medida de lo posible.

El uso de métodos cualitativos de valoración de vulnerabilidad (GOD, Drastic y otros) como criterio decisor único debe ser analizado cuidadosamente, dado que los resultados difieren fuertemente según el método aplicado, pues cada uno considera un número de variables y una ponderación diferentes. Se aborda el aspecto de costos en el caso de remediación particular analizado, tema que no es trivial.

Resultados y costos en el caso Barreal-Belén

Antecedentes

En setiembre del 2004 se descubrió un derrame en Barreal-Belén, en el Valle Central, durante la rutina de muestreo de aguas: un pozo contaminado con hidrocarburo en forma casual durante la rutina de muestreo de aguas en las instalaciones. Los estudios preliminares apuntaron al riesgo inminente de que el derrame (calculado en 30.000 lt) se desplazara hacia los manantiales de Puente de Mulas (ver figura 1), aspecto que determinó la organización de las instituciones para atender la situación.²

Al avanzar los estudios y la preparación de los procesos licitatorios para contratar a una empresa extranjera con experiencia (contrato que finalmente se descartó), se obtuvo un mejor conocimiento de los métodos utilizados en estos procesos. La Dirección de Gestión Ambiental del AyA lideró el proceso de remediación en el marco de las acciones de la Comisión. El proceso consistió en una *acción mecánica de succión* de los combustibles derramados mediante

2. La labor se enmarca dentro de la cooperación y trabajo integrado que facilita la Comisión Interinstitucional para la Remediación del Derrame que integra al Ministerio de Salud, Universidad de Costa Rica, AyA, Senara, Minae, Municipalidad de Belén, ESPH y a la representación comunal. Se contó con el apoyo del ICE en la fase de perforación de pozos y se trabajó coordinadamente con la CNE.

Isofreáticas para la zona de Barreal-Cariari-San Antonio
Influencia de la contaminación por hidrocarburos del pozo de ESPH en los
manantiales de Puente Mulas

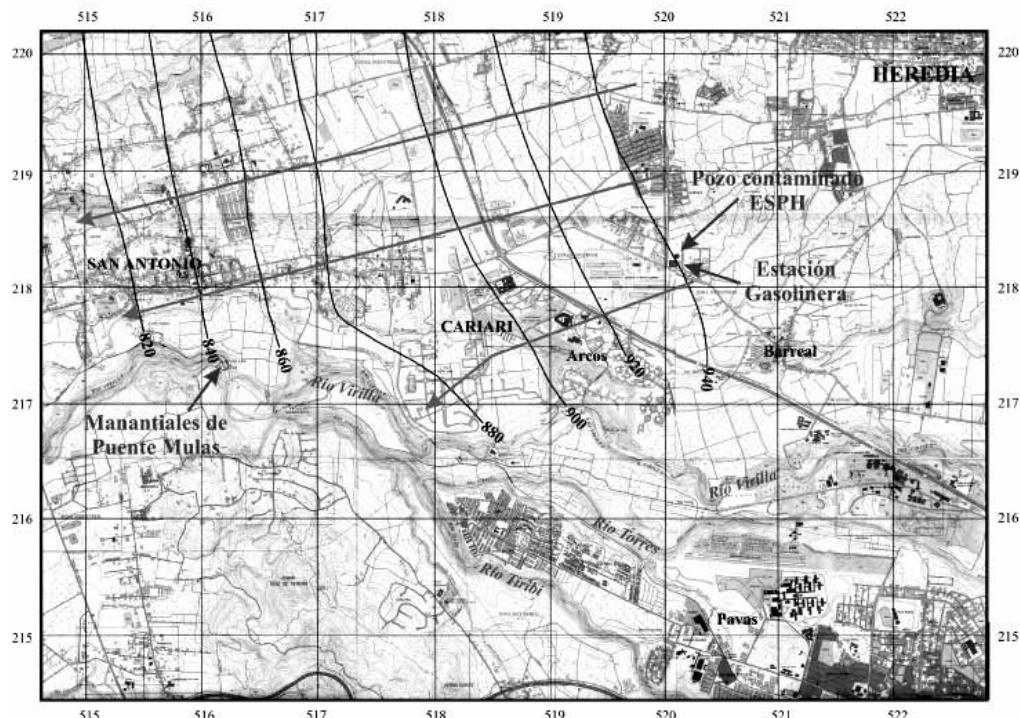


Figura 1. Ubicación de las instalaciones con respecto a manantiales.

Fuente: Archivos de Comisión Interinstitucional.

bombas de pequeño diámetro (menor 100m) en más de diez pozos perforados en el subsuelo, y el traslado a un plantel contiguo, acondicionado para separar por densidades el hidrocarburo puro del agua extraída. El diseño se muestra en detalle en el artículo publicado el Vol. 22, N.^o 4. Los aspectos relacionados con las sustancias de riesgo en salud para el consumo humano se analizaron (denominados Betex y MTB) y se realizó una amplia campaña de muestreo y análisis con el Centro de Electroquímica de la Universidad de Costa Rica.

Mediante la investigación geofísica se logró explicar la existencia de materiales consistentes en tobas calcinadas subyacentes cerca de 21m bajo la superficie, que actuaban como superficie impermeable contenedora del derrame, de manera que el riesgo de que la mancha se trasladara hacia las fuentes de Puente de

Mulas o hacia acuíferos subyacentes fue descartado.

Resultados en un proceso de largo plazo

Para setiembre del 2008 se reportó un total de extracción de 805.910 litros de agua con hidrocarburo, lo que significa la extracción de 7.242 litros de hidrocarburo puro³; esa cantidad es equivalente a un 24% del volumen reportado como derrame, en un año de proceso de extracción, con rendimiento de cerca de 25 lt/día y concentraciones reportadas de 780 mg/lt hasta 9.811 mg/lt. En el 2008 se tomó la decisión de procesar las sustancias fuera del sitio, por lo que fueron extraídas y cargadas a tanques cisternas para ser transportados a los planteles de Recope, en la provincia de Limón.

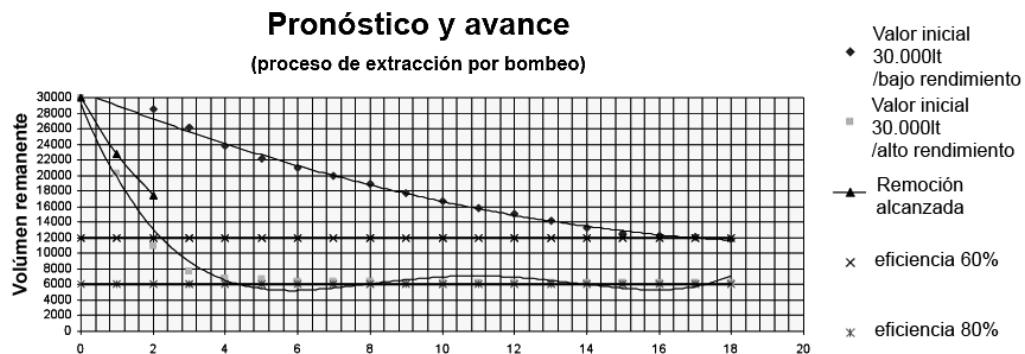


Figura 2. Resultados del proceso de extracción de hidrocarburos reportados de julio 2007 a junio 2009, comparados con pronósticos de remediación. Fuente: elaboración propia con datos de AyA.

Con esta decisión, las restricciones operativas de procesamiento del hidrocarburo en el mismo sitio y la descarga a la Quebrada Guaría se obviaron, por lo que se depende únicamente de la eficiencia y continuidad de la extracción de las sustancias del acuífero, mediante los pozos perforados y el uso de las bombas adquiridas. La velocidad de extracción mecánica por bombeo se mantuvo dentro de los valores esperados.

Para el 2009 se reportó un total de 12.594 lt extraídos⁴, lo que significa una extracción del 41% de un total de 30.000 lt de hidrocarburo puro estimado en el derrame.

En la figura 2 se muestran los avances en proceso de remediación para los valores de extracción en litros de hidrocarburo puro. La curva de resultados se ubica dentro de las curvas proyectadas inicialmente para las dos posibles eficiencias de remoción (remociones finales del 60% o del 80%).

En el cuadro 1 se presentan datos de casos similares que sirvieron para estimar la duración del proceso para el derrame en Belén y para establecer expectativas de remociones, con las cuales se construyó la figura 2.

En este caso, se confirma que los procesos de extracción pueden tener resultados en meses o prolongarse por años, dada la dificultad para extraer la sustancia derramada, hasta alcanzar valores aceptables en la remediación. Esto dependerá del volumen del derrame, la naturaleza hidrogeológica del material que contiene al derrame, las técnicas utilizadas y los recursos tecnológicos y humanos.

En estos casos se debe actuar en forma rápida, dadas las características de las sustancias presentes en la zona del derrame, porque son de importancia para la salud pública y por los riesgos de conflagración en el sitio de derrame y en el sitio de procesamiento.

Costos alcanzados al 2009

El informe de costos al 2009⁵ indica una ejecución del 92,7% del monto previsto en los presupuestos de la Unidad Ejecutora del proceso de remediación (Dirección de Gestión Ambiental del AyA); los montos consolidados alcanzaron a US\$370.600 (del 2006). Estos costos deberán actualizarse cuando se concluya la remediación; sin embargo, dado que algunas actividades no

4. AyA. 2010. XI Informe de extracción. Oficio SUB-G-AID-UEN GA-2010-452. San José Costa Rica. S.p.
5. AyA. 2009. Costos en derrame de hidrocarburos. Expedientes de la UEN. Investigación y desarrollo San José, Costa Rica. S.p.

Cuadro 1. Duración de procesos y resultados en experiencias similares.

- a) Caso presentado por la empresa mexicana Lesser y Asoc. Entre julio y setiembre del 2002 se reporta la extracción de 7.882 litros de turbosina (3 meses). El derrame se estimó en 18.000 lt, entrampados en los materiales arcillosos del subsuelo. Se redujeron espesores de 2000mm a 500mm en el área con mayor cantidad de la sustancia. Para concluir la remediación, se indicó la necesidad de tomar medidas para extracción durante 12 a 18 meses y realizar la determinación de sustancias remanentes (benceno) en agua como criterio para continuar o detener el proceso. La sustancia se extrajo desde una profundidad de 5 m, en forma mecánica y manual, con reinyección de agua; se reporta un rendimiento de 20 a 30-35 litros/día para pozos con rendimiento alto; ocurre una tasa decreciente desde una media de 15 litros/día a una media de entre 2-3 litros/día por pozo, rendimiento total al inicio de 150 lt/semana; se incrementa a 700 y se mantiene en 400 litros /semana cuando se detiene el proceso (Lesser y asociados, 2006).
- b) Caso remediación en la faja volcánica transmexicana. Derrame de 95.000 lt, ubicado a 95 m de profundidad, recuperado en un 84% en siete meses. Al concluir, se mantiene un 16% de contaminación remanente en las tobas, andesitas y basaltos fracturados del material acuífero (ese valor incluye efecto bacteriano y evaporación). Se propone el uso de bombas de bajo caudal, uso de cámaras de televisión submarina, bioremediación y uso de análisis de Betex como criterio para detener procesos de remediación (SCT. 2002).
- c) Reporte de 30.000 galones derramados en Kansas en un periodo de diez años de operación (Burns & McDonnell, 2001), donde con sistemas patentados se logró remover 30 galones por semana en el primer año de proceso, en un subsuelos con formación de roca fracturada.
- d) Informe de la US-EPA (2007). Indica que el sitio con la mayor recuperación de producto libre documentado tuvo una remoción de solamente el 60% del derrame, en un periodo de 13 años. La recuperación promedio del producto libre flotando en un acuífero es del 26% del volumen original derramado. A pesar del gran esfuerzo por limpiar el derrame, la sustancia permanece en el sistema hidráulico de recuperación a causa de las limitaciones físicas de la recuperación y por ineficiencias.

se cuantificaron por ser recursos aportados por otras instituciones, no fue posible obtener un dato más exacto. No obstante, el monto indicado es un dato corroborado que incluye la contratación de servicios, compra de equipos y materiales, gastos del personal; no incluye costos de transporte de sustancias a Moín.

Desde la fase inicial se estimó que la remediación realizada con personal del AyA y de las instituciones tendría un costo final cercano al 60% del que se hubiera pagado en un contrato con empresas internacionales. Eso en el primer periodo de ejecución de la remediación en aguas, programado para ejecutarse entre 8 y 12 meses. En el caso analizado, los costos corresponden a un valor intermedio entre los rangos presentados en el cuadro 2,

considerando que en este caso no se hizo remediación en suelos, dada la existencia de infraestructura en el sitio que se habría destruido y por la ubicación profunda del derrame.

A continuación, se observan las etapas y tiempos del proyecto:

- a) Reporte del derrame en setiembre del 2004.
- b) Desarrollo de estudios y toma de decisiones por la comisión de estudio a partir del 2005.
- c) Inicio del proceso de extracción mecánica del derrame en julio del 2007.
- d) Último reporte avance del proceso a junio del 2009.

Cuadro 2. Rango de costos comparables

Con respecto a los costos, el informe de la EPA arroja datos: en Estados Unidos, los costos de remediación de sitios con suelos contaminados están típicamente entre US\$10.000 a US\$125.000. Para el caso de contaminación de aguas subterráneas, el costo está típicamente entre US\$100.000 y US\$1 millón, adicionales a los costos de la remediación en suelos⁽¹⁾. (Nota: en ese documento no se indica plazo de ejecución en ninguno de los casos).

La tendencia conocida en procesos similares permite estimar un proceso prolongado con reducciones en los rendimientos de la extracción del hidrocarburo disuelto en agua y del hidrocarburo en forma pura, con costos altos de inversión inicial y costos de operación y mantenimiento de equipos continuados por años, hasta que el proceso sea detenido por alcanzar valores aceptables.

En general, las razones para detener el proceso pueden ser:

- a) Que las sustancias remanentes lleguen a un valor umbral de bajo riesgo para la salud pública, mediante análisis de laboratorio de las aguas, en etapas inicial y siguientes.
- b) La reducción de los espesores del derrame, medidos inicialmente y en el avance.
- c) La imposibilidad física de extracción de sustancias remanentes.
- d) Bajo riesgo de que la contaminación se traslade por transporte, debido a un reducido flujo del agua (casos en zonas desérticas).

Entre los motivos para detener los procesos, no se debe descartar la posibilidad de falta de recursos o la falta de interés de las entidades, o decisiones de tipo político de las organizaciones responsables.

Con el tiempo, el derrame se reducirá por efecto bacteriano, por volatilización de sustancias o transporte, al fluir el agua.

Distribución de instalaciones gasolineras

En el Valle Central de Costa Rica es donde se ubica la mayor cantidad de población del país, aspecto que sin duda determina la necesidad de abastecer de combustibles a las actividades económicas y a las demandas de desplazamiento de esa población. Simultáneamente, estos territorios poseen áreas de drenaje superficial y acuíferos, que son la fuente de abastecimiento del agua para consumo poblacional y para las diversas actividades de esa misma población.

Las características de vulnerabilidad e importancia estratégica de esta zona se han destacado en diversos estudios.

Los datos de la figura 3 son de setiembre del 2007 y muestran una clara concentración de instalaciones en el Valle Central.

De estas 337 gasolineras, el 47,4% (160 instalaciones) se encuentra concentrado en el Valle Central. De esas 160 instalaciones, 114 (el 71%) están ubicadas en el Área de Estudio Hidrogeológico del Valle Central, por el AyA, que demarca la zona de acuíferos.

Por su importancia, dicha área está en estudio para asegurar un mejor conocimiento de los mecanismos de recarga y descarga de los acuíferos. Los estudios en esta zona se orientan a establecer medidas que aseguren un adecuado abastecimiento de las aguas, especialmente para el consumo poblacional.

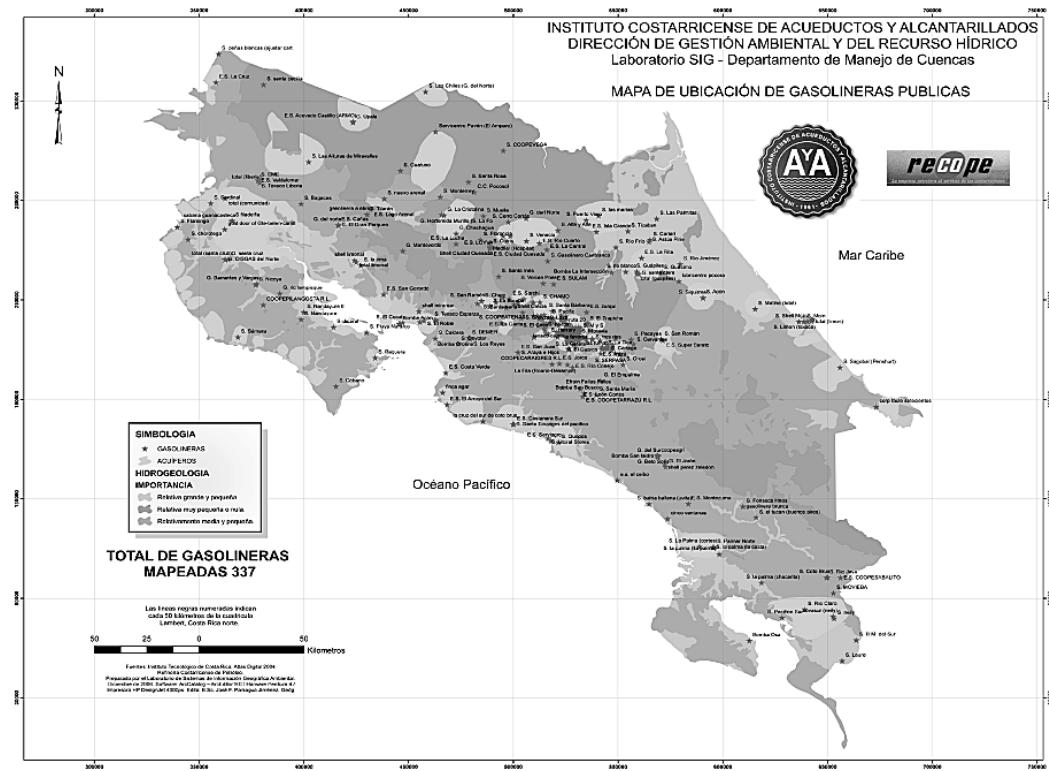


Figura 3. Un total de 337 gasolineras comerciales, distribuidas en el territorio nacional, sin incluir otras instalaciones del Estado donde se almacenan hidrocarburos. La mancha de color rojo corresponde a 160 gasolineras comerciales en la zona de acuíferos.

Fuente: Archivos de Comisión Interinstitucional.

Criterios de vulnerabilidad y su uso adecuado

Métodos para la determinación de vulnerabilidad en acuíferos

Auge M. (2004) expresa la vulnerabilidad como un *concepto cualitativo que en la generalidad se refiere al grado de protección natural de un acuífero frente a la contaminación*. Existen métodos utilizados para la determinación de índices y cartografiado de la vulnerabilidad, cuyo uso depende de la cantidad de información requerida, el origen de los métodos y de las preferencias de los países.

Auge M. (2004) menciona los métodos God, Drastic, Sintacs, Avi, Epik Y ΔhT ; los cuatro primeros se utilizan, preferentemente, en acuíferos libres; el

Sintacs, desarrollado para Italia, es similar al Drastic; el Epik para sistemas kársticos y el último se está desarrollando para acuíferos semiconfinados.

Los índices de vulnerabilidad no representan una propiedad absoluta, más bien son relativos y adimensionales. En general, se puede clasificar la vulnerabilidad en cinco grandes grupos (Hernández G. et ál. 2004) según sea:

- *Extrema* a la mayoría de los contaminantes con impacto rápido en muchos escenarios de contaminación.
- *Alta* a muchos contaminantes (excepto a los que son fuertemente absorbidos o fácilmente transformados) en muchos escenarios de contaminación.

- *Media* a algunos contaminantes solo cuando son continuamente descargados o lixiviados.
- *Baja* a contaminantes conservativos cuando son descargados o lixiviados en forma amplia y continua durante largos períodos.
- *Muy baja* si presenta capas confinantes en las que el flujo vertical (precolación) es insignificante.

El resultado final de la valoración de la vulnerabilidad dependerá de la metodología utilizada para generar el índice.

A diferencia del método Drastic, que requiere contar con siete parámetros (ver figura 4) no siempre disponibles, el método GOD (Groundwater occurrence, overall aquifer class and depth) utiliza los datos de *tipo de acuífero*, según sea confinado o no confinado; *profundidad del*

agua subterránea y sustrato geológico, considerando el grado de consolidación y la capacidad de atenuación del material. Es de amplio uso en Costa Rica por su relativa simplicidad. El método AVI utiliza dos parámetros: profundidad de agua y conectividad hidráulica.

Con respecto a estos métodos, Auge M. (2004) indica que son métodos para determinar la vulnerabilidad en forma cualitativa:

- a) Permiten la comparación entre zonas de una región o entre regiones, y son herramientas de la planeación y desarrollo del ordenamiento territorial y ecológico.
- b) Son formas de estimación preliminar de la vulnerabilidad del acuífero a la

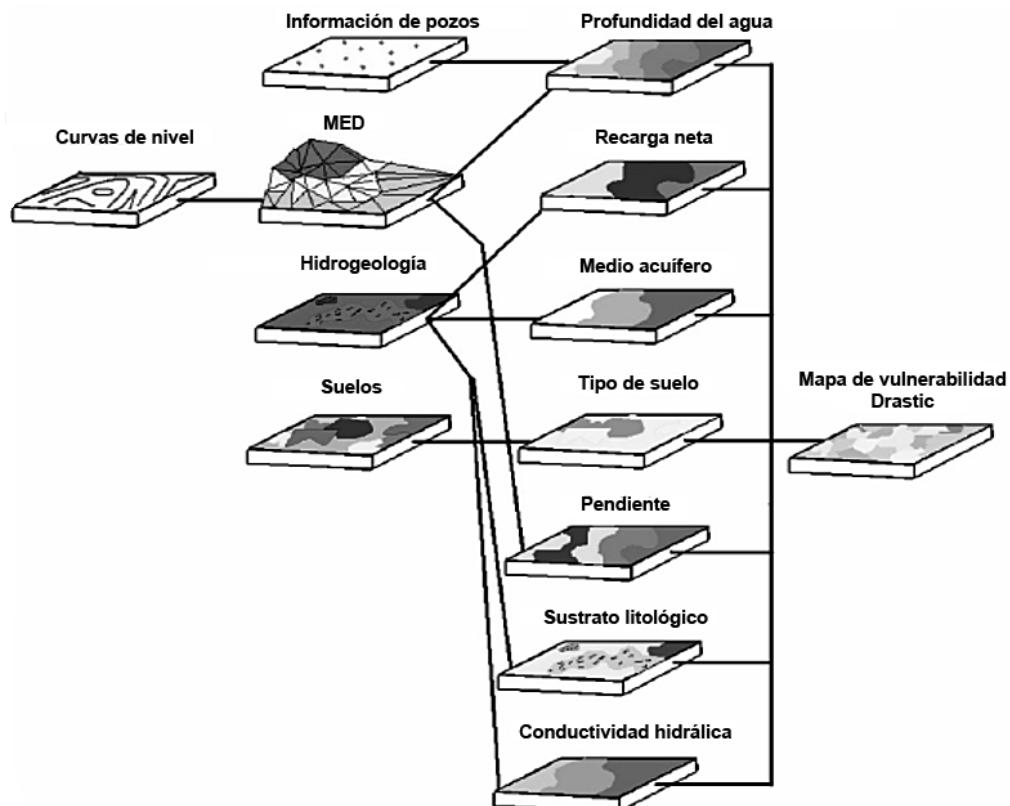


Figura 4. Esquema del método Drastic. Fuente: Agüero J. y Pujol R. (2000).

contaminación, pero deben realizarse estudios detallados para establecer claramente el riesgo de contaminación.

Hernández, G.; Haro J. & Mahlknecht. J. (2004), del Centro de Estudios del Agua del Instituto Tecnológico de Monterrey, México, realizaron la aplicación de métodos de vulnerabilidad en la cuenca del río Conchos. Al comparar resultados (ver figura 5) concluyeron:

- Las metodologías que involucran solo los parámetros intrínsecos del acuífero, como el GOD o AVI, dan resultados más parecidos. Sin embargo, para aplicar AVI correctamente se requiere contar con los cortes litológicos.
- Aunque el Sintac es una derivación del Drastic, genera resultados muy distintos. Esto se explica porque aunque se utilizan casi los mismos parámetros, su ponderación es la que cambia; por lo tanto, los resultados son diferentes.
- El Sintac es el que reporta mayores valores de vulnerabilidad del acuífero, pero también es el más parecido a la

realidad. Esto porque presenta mayor congruencia con los resultados de los análisis químicos realizados en el área; además, es más acorde con la situación actual del acuífero estudiado.

Agüero J. y Pujol R. (2000), del Programa ProDUS de la Universidad de Costa Rica, presentaron el análisis de vulnerabilidad a la contaminación de una sección de los acuíferos del Valle Central de Costa Rica, utilizando dos métodos (GOD y Drastic) para comparar resultados. Los autores indican que se debe tomar en cuenta que los métodos utilizados consideran la vulnerabilidad para cargas contaminantes colocadas en la superficie. Con base en los estudios concluyen que:

- Para mejorar los resultados de la aplicación se requiere, entre otros aspectos: obtener datos de suelos a una escala más pequeña, establecer con claridad los límites del acuífero La Libertad y contar con una investigación hidrogeológica detallada.

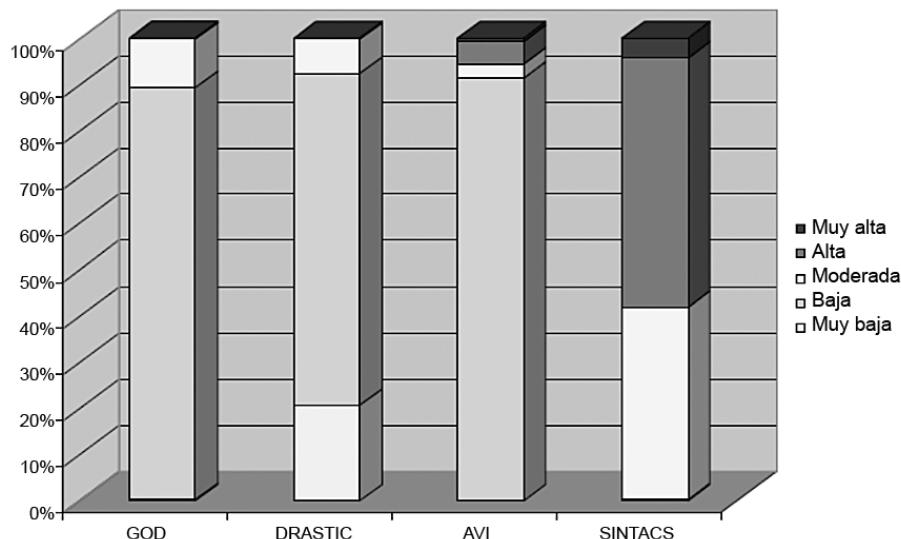


Figura 5. Comparación porcentual de las áreas resultantes por categoría al aplicar cuatro métodos de evaluación de la vulnerabilidad en sistemas acuíferos en una misma cuenca.

Fuente: Hernández, G; Haro J., & Mahlknecht. J. (2004).

- Una alta vulnerabilidad de los acuíferos ocurriría a lo largo de los cauces de los ríos Virilla y Tibás, por lo que se requiere establecer cuanto antes el tipo de interacción entre los ríos (sobre todo del Virilla) y el acuífero, y adoptar medidas a partir de estudios pormenorizados.
- Con respecto a los riesgos para el acuífero, se debe recolectar información relacionada con el tipo de industrias, consumo de agua, existencia de plantas de tratamiento y productos de desecho, gasolineras, entre otras. Las autoridades deben llevar a cabo un estricto control de todas estas posibles fuentes de contaminación, para evitar episodios de contaminación en acuíferos a futuro.
- Por otra parte, es posible que se esté dando un uso inadecuado a los métodos de valoración de la vulnerabilidad fuera de su contexto de creación y recurriendo a simplificaciones inadecuadas de los sistemas acuíferos. Actualmente se recurre a los métodos más simples (pocos parámetros) con el argumento de la falta de información para aplicar los que requieren más información.

Han ocurrido eventos de contaminación por la pérdida de estanqueidad y la contaminación a partir de estructuras de captación que habían sido consideradas

seguras, por causa de la introducción de aguas superficiales desde los cauces. Tal es el caso de la contaminación bacteriológica de julio del 2001 en el acueducto metropolitano de San José, con gran impacto en las poblaciones (Comisión Nacional de Aguas, 2002) y en sistemas municipales que abastecen a pequeños e importantes poblados en el Valle Central (Vargas F. C., Mata J. A., 2001).

Hirata (2002) presentó el método POSH (Foster e Hirata, 1988⁷; Foster S. et ál., 2001⁸) para clasificar la fuentes de contaminación y la determinación de peligros de contaminación a partir de inventarios. Indica que estos métodos no sustituyen los estudios de detalle, necesarios para la determinación del peligro real que la contaminación representa para la población y para el ambiente.

Este mismo autor presenta resultados de estudios en los Países Bajos (ver cuadro 2⁹), donde 231 de los 500 derrames ocurridos antes de 1985 en suelos y aguas subterráneas se originaron en: gasolineras (138 casos), garajes (77 casos) y depósitos de aceites (16 casos), para un total del 49% de todos los casos conocidos. Los restantes provenían de industrias diversas, basureros y disposición de lodos.

Análisis de un caso real

La empresa X, interesada en construir una nueva gasolinera en el Valle Central (cercano a Heredia), en el 2008 presentó los

7. Foster, S. & Hirata, R. (1988). *Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data*. WHO-PAHO/HPE-Cepis Technical manual, Lima, Perú. 81pp. Citado por Hirata R. 2002. *Cargas contaminantes y peligro a las aguas subterráneas*. II Seminario-Taller. Protección de acuíferos frente a la contaminación: caracterización y evaluación. Instituto de Geociencias. Universidad de São Paulo (Brasil) Ciudad de La Habana, Cuba. S.p.
8. Foster, S.; Hirata, R.; Gomes, D.; D'Elia, M.; Paris, M. (2001). *Groundwater quality protection: a guide for water service companies, municipal authorities and environment agencies*. World Bank, GW-MATE. Washington, 101p. Citado por Hirata R. 2002. *Cargas contaminantes y peligro a las aguas subterráneas*. II Seminario-Taller. Protección de acuíferos frente a la contaminación: caracterización y evaluación. Instituto de Geociencias. Universidad de São Paulo (Brasil) Ciudad de La Habana, Cuba. S.p.
9. Hirata R. (2002). *Cargas contaminantes y peligro a las aguas subterráneas*. II Seminario-Taller. Protección de acuíferos frente a la contaminación: caracterización y evaluación. Instituto de Geociencias. Universidad de São Paulo (Brasil) Ciudad de La Habana, Cuba. S.p. Hidrored.

Cuadro 3. Propuesta de medidas en sistema operando.

Revisar y solicitar información sobre:

- a) El estado de los sistemas y las medidas de seguridad en sitio.
- b) Las características geológicas e hidrogeológicas de los acuíferos y materiales subyacentes a las instalaciones, como criterio para definir medidas adicionales (investigaciones geofísicas, estudios para la construcción eventual de pozos en la línea de flujo para detectar derrames potenciales, rastreo de derrames ocultos, otras) que deban ser adoptadas para continuar la actividad comercial.
- c) Las medidas correctivas que deben ser adoptadas para asegurar el acatamiento del Reglamento 30131 Minae-S.
- d) Los criterios de seguridad de la población ante conflagraciones.

Con respecto al inciso c), nuestro criterio es que no se debe dejar el aspecto como un asunto de tipo discrecional, como establece ese reglamento, sino que debe ser obligado.

estudios hidrogeológicos que demostraban un índice de vulnerabilidad moderado-bajo, usando el método GOD (Foster, 1987). Dado ese resultado, de inmediato solicitó la aprobación, además de alegar la existencia de otras empresas similares (gasolineras) que estaban operando en las cercanías del terreno propuesto.

Para efecto de mayor criterio, la Dirección de Gestión Ambiental del AyA le solicitó una ampliación al estudio, donde calculara el recorrido y tiempo de viaje de un derrame hipotético de combustible en el suelo, bajo las instalaciones. El resultado fue que ese derrame, transportado por el agua en los materiales subyacentes, alcanzaría la capa freática ubicada cerca de 80 m bajo las instalaciones, en un periodo de 70 años.

Con base en esa información, la empresa recibió una nota de aprobación, sujeta al cumplimiento de medidas que aseguraran controles de fuga en tiempo real, instalaciones diseñadas con las normas de Reglamento 30131 Minae-S y el requisito de construcción de cuatro pozos-control de intercepción de fugas potenciales en el

suelo, bajo responsabilidad de inspección mensual del regente ambiental.

De haberse tomado una decisión con base únicamente en el dato obtenido aplicando GOD, se habría incurrido en un riesgo inadecuado.

Medidas propuestas

Ante la situación de alerta que genera la experiencia de derrames ocurridos, los costos que se generan en procesos prolongados, y dada la densidad de instalaciones de gasolineras en el Valle Central (sin incluir otras instalaciones privadas y estatales), a continuación se proponen criterios y medidas para actuar en el caso de la renovación de permisos de operación o aprobación de nuevas instalaciones de este tipo.

Renovación de estaciones

La legislación nacional establece procedimientos para la renovación de estas instalaciones en forma periódica, que debería ser revisada para solicitar y obtener información sobre las instalaciones¹⁰.

10 Vargas F. C. (2007). *Medidas propuestas para el manejo de solicitudes de nuevas estaciones gasolineras o renovación de permisos*. DGAm 2007-096 Dirección de Gestión Ambiental de AyA.

Nuevas instalaciones

El cuadro 4 muestra una serie de propuestas de medidas que resultaron del análisis de varios casos reales y de la revisión de planos a causa de solicitudes de empresas en proceso de permisos para construcción; asimismo, como resultado de una reunión con empresarios de gasolineras y empresas promotoras de medidas de seguridad. Otra

referencia obligada es la revisión del Reglamento 30131 Minae-S que regula este tipo de instalaciones.¹¹

Conclusiones

- a) A la fecha se contabilizan cinco años desde el primer reporte del evento, lo cual demuestra que la atención de estos

Cuadro 4. Propuesta de medidas para nuevas instalaciones

- a) Para el estudio de tránsito de hidrocarburos se deberán realizar estudios específicos, individuales y particulares a cada caso, con los parámetros característicos del subsuelo presente en la zona de estudio (medidos expresamente para el estudio), utilizando el criterio de transporte por flujo de agua subterránea.
- b) Se admitirán análisis de riesgo por metodologías hidrogeológicas de carácter general o regional (GOD, Drastic u otros) como argumento de calificación de la vulnerabilidad, pero no como criterio para decidir la aprobación del permiso o nueva instalación ni para definir medidas de mitigación.
- c) Con la información que se levante para cada caso, el ente competente define un nivel de riesgo y un nivel de exigencia ambiental, y establece un requisito según el nivel de exigencia.
- d) Establecer como condiciones mínimas las que se indican en el Reglamento 30131 Minae-S, pero estas *no tendrán, en ese caso, la categoría de discrecionales, sino que serán de acatamiento obligatorio*.

Se propone:

- Verificar planos y procesos constructivos de estanqueidad de las estructuras y sistemas de almacenamiento.
- Construcción de pozos de control en las propiedades donde se encuentran los establecimientos y seguimiento permanente por regentes ambientales, con reporte mensual de control de líquidos de fondo. Estos pozos se ubicarán junto a los tanques de almacenamiento y se fijará su profundidad necesaria para asegurar la intercepción de cualquier derrame subterráneo.
- Se aplicarán medidas y sistemas constructivos que aseguren que en la operación se cuente con dispositivos para detección de fuga en tiempo real.
- Se colocarán válvulas de cierre inmediato y dispositivos de control de pérdida de combustibles, las cuales se activarán en tiempo real.
- Se asegurará el cumplimiento de la normativa de seguridad en instalaciones eléctricas, de manera que se minimice el riesgo de incendio y de conflagración.
- Se deben colocar dispositivos separadores de hidrocarburos, producto del derrame por tareas operativas.
- Las aguas residuales y de lluvia deberán disponerse en forma separada de las aguas oleaginosas.

11. Vargas F. C. (2007). *Medidas propuestas para el manejo de solicitudes de nuevas estaciones gasolineras o renovación de permisos*. DGAm 2007-096 Dirección de Gestión Ambiental de AyA.

- derrames no es un proceso simple. Además, su atención es costosa.
- b) Con los resultados obtenidos a dos años de extracción aproximadamente, se observa una tendencia a moverse dentro de los valores pronosticados en los estudios realizados en julio del 2007-2008 y que fueron publicados en el 2009, el Vol. 22. N.^o 4.
 - c) Los valores de extracción alcanzados están determinados por las limitaciones de equipo de extracción, proceso y característica del acuífero, dado que finalmente no se utilizó el sistema de separación por densidad y coalescencia al trasladarse el proceso a planteles de Recope, además de iniciarse procesos de reinyección del agua en menor volumen.
 - d) Se puede esperar la disminución del rendimiento en la remoción del producto libre alcanzada al avanzar el proceso, así como la reducción del hidrocarburo remanente por volatilización y por efecto bacteriano.
 - e) Los costos alcanzaron los montos presupuestados originalmente en el 2006, aunque existen costos que no se incluyeron en ese monto, originados en aportes operativos de otras instituciones. Se denotan los posibles impactos financieros que tendría la remediación de derrames similares en el Valle Central.
 - f) Los costos de remediación pueden alcanzar cerca de US\$40.000 (unos ¢21 millones) por cada metro cúbico de hidrocarburo puro extraído, para esas condiciones particulares de derrame.
 - g) Se tomaron precauciones adecuadas con respecto a determinar la presencia de sustancias de importancia en salud pública, en forma continua y mediante una red con amplitud adecuada a los usos de las aguas y al carácter regional y multicapa de los acuíferos.
 - h) Por las particularidades del material subyacente (toba calcinada) que actuó como capa contenedora del derrame y las pruebas realizadas por la unidad ejecutora, se verificó que no se trasladó hacia sistemas acuíferos vitales para consumo humano.
 - i) Es necesario que las organizaciones y los profesionales nacionales tengan claras las particularidades de los métodos e instrumentos de análisis de vulnerabilidad de acuíferos, diferenciando claramente aquellos de carácter planificador y los necesarios, y a escalas acordes con la toma de decisiones tan cruciales.
 - j) El uso de los métodos de evaluación cualitativa y el cartografiado de la vulnerabilidad son oportunos como un primer paso; con esos resultados se puede avanzar con más criterio y en forma selectiva en estudios detallados en el Valle Central y otras zonas.
 - k) Existen riesgos en salud pública por la contaminación causada por derrames accidentales u operativos. Este aspecto debería llamar a las instituciones a tomar las medidas que sean necesarias.
 - l) Para estos temas es urgente fortalecer una alianza entre universidades, centros de investigación e instituciones operadoras y rectoras de las aguas.

Bibliografía

- Agüero V. J. & Pujol M. R. (2000). *Análisis de vulnerabilidad a la contaminación de una sección de los acuíferos del Valle Central de Costa Rica*. Ponencia VII Conferencia Anual Latinoamericana de Usuarios ESRI /Erdas y VI Conferencia Internacional de Topografía. 20-22 setiembre, 2000. Geotecnologías y Colegio de Ingenieros Topógrafos. San José, Costa Rica.
- Auge M. (2004). *Vulnerabilidad de acuíferos*. Universidad de Buenos Aires. Conicet. Buenos Aires, Argentina.
- AyA. (2008). *Derrame de Hidrocarburos. Expedientes de la Dirección de Gestión Ambiental del Recurso Hídrico*. San José Costa Rica. S.p.

- AyA. (2009). *Costos en derrame de hidrocarburos. Expedientes de la UEN*. Investigación y desarrollo. San José Costa Rica. S.p.
- AyA. (2010). *XI Informe de extracción*. Oficio SUB-G-AID-UEN GA-2010-452. San José Costa Rica. S.p.
- Burns & McDonnell. (2001). *US Army Corps of Engineers Free Product Remediation – limestone bedrock fracture system*. Custer Hill, Fort Riley, Kansas.
- Comisión Nacional del Aguas. (2002). *Episodio de contaminación del acueducto metropolitano de agua potable de julio 2001*. Resumen Ejecutivo. Estudio realizado durante el periodo agosto-diciembre del 2001. 14 pag.
- Hernández, G.; Haro, J.; Mahlknecht, J. (2004). *Generación de índices de vulnerabilidad para acuíferos: Comparación de métodos*. Centro de Estudios del Agua – Instituto Tecnológico de Monterrey. México.
- Hirata R. (2002). *Cargas contaminantes y peligro a las aguas subterráneas*. II Seminario-Taller. Protección de acuíferos frente a la contaminación: caracterización y evaluación. Instituto de Geociencias. Universidad de São Paulo (Brasil) Ciudad de La Habana, Cuba. S.p. Hidrored.
- Lesser y asociados. (2006). *Informes sobre proceso de remediación para Pemex México*. Documentos de expediente en la CNE. Costa Rica P.irr.
- SCT. (2002). *Metodología para saneamiento de acuíferos profundos por derrame de hidrocarburos*. Secretaría de Comunicaciones y Transporte. Instituto Mexicano de Transporte. Publicación Técnica No 196. México.Qro.36 pag
- US EPA (2007). *Goundwater pollution by hidrocarbons in the Central Valley Aquifer, Costa Rica* por Jacqueline Jack y Lee. Thomas. Informe IAEA-TCR-03481. pag. 5.
- Vargas F.C. y Mata J.A. (2001). *Análisis de las condiciones que determinan la calidad de las aguas abastecidas en las comunidades de Desamparados de Alajuela*. Informe de avance del estudio para la Comisión de Planificación Urbana de Desamparados de Alajuela. 29 pag.
- Vargas F. C. (2007). *Medidas propuestas para el manejo de solicitudes de nuevas estaciones gasolineras o renovación de permisos*. DGAm 2007-096 Dirección de Gestión Ambiental de AyA.
- Vargas F. C. (2008). *Expediente del caso de remediación Tomos 1 a 7 (2007-2008)*. Dirección de Gestión Ambiental – Dirección de Investigación y desarrollo AyA. p.irr.