

Modelo Conceptual de la Contaminación del Suelo y Agua Subterránea por Hidrocarburos

Conceptual Model of Soil Pollution and Groundwater for Oil

Omar Azcuntar R.¹, Jaime Izquierdo B.² y Paola A. Sánchez F.³

Resumen

Se presenta un caso tipo de contaminación por hidrocarburos representado mediante un modelo conceptual. Para lograr el objetivo planteado se seleccionó como zona piloto Cavasa municipio de Candelaria, Valle del Cauca, y se desarrolló una metodología basada en el "Manual Técnico para la Ejecución de Análisis de Riesgos para Sitios de Distribución de Derivados de Hidrocarburos" expedido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007. La metodología se compone de dos fases: Antecedentes de la zona de estudio e Información característica. En la primera fase se recopiló la información histórica y actual del área de estudio, enfatizando en el uso del suelo; y en la segunda fase se describe la geología, tipo de suelo, nivel piezométrico, características hidrogeológicas, topografía y dirección del flujo del área de estudio; así mismo, se identificaron los receptores sensibles a la contaminación. Mediante la construcción del modelo conceptual se identificó la información adicional que se debe recolectar para hacer una evaluación completa de la contaminación por hidrocarburos en el suelo y agua subterránea; a su vez, sirvió de herramienta para la entidad ambiental en proponer un plan de seguimiento, una evaluación y planteamiento de posteriores acciones correctivas para detener, eliminar o atenuar procesos de contaminación, teniendo como obligación proteger la calidad del recurso subterráneo que abastece en su totalidad a la población del corregimiento El Carmelo y en general al municipio de Candelaria.

Palabras clave: contaminación; hidrocarburos; modelo conceptual.

Abstrac

This article presents a case of oil pollution type represented by a conceptual model. To achieve the stated objective was selected as a pilot area municipality of Candelaria Caves, Valle del Cauca, and developed a methodology based on the "Technical Manual for the Implementation of Risk Analysis to Distribution Sites Hydrocarbon Derivatives" issued by the Ministry Environment, Housing and Territorial Development, 2007. The methodology consists of two phases: Background and Information study area feature. In the first phase was collected current and historical information of the study area, with emphasis on land use and in the second phase describes the geology, soil type, groundwater level, hydrogeological characteristics, topography and direction of flow of the area study, likewise, were identified sensitive receptors to contamination. By constructing the conceptual model identified additional information to be collected to make a full assessment of hydrocarbon contamination in soil and groundwater, in turn, is a tool that allows the environmental agency to propose a monitoring plan an assessment and propose corrective actions to stop post, remove or mitigate contamination processes, with the obligation to protect the quality of underground resource that caters entirely to the township's population at large Caramel and the town of Candelaria.

Keywords: pollution; hydrocarbons; conceptual model.

¹ Especialista en Hidrogeología. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. omar.azcuntar@cvc.gov.co

² Magister en Ingeniería Civil. Docente Universidad Surcolombiana. Av. Pastrana Borrero carrera 1ª Neiva. jaizba@gmail.com

³ Estudiante Ingeniería Agrícola. Universidad Surcolombiana. Av. Pastrana Borrero carrera 1ª Neiva. paolasanchez.usco@gmail.com

1. Introducción

En el valle geográfico del río Cauca, las aguas subterráneas son calificadas regionalmente como de muy buena calidad (CVC. 2001) y se pueden utilizar sin mayores restricciones; el subsuelo está formado por sedimentos de relleno aluvial proveniente de material erosionado de las cordilleras central y occidental que ha sido transportado y depositado por el río Cauca y sus tributarios; a su vez el subsuelo cuenta con un importante potencial hídrico subterráneo para el desarrollo del departamento.

Según Azcuntar et al. 2010, en el departamento del Valle del Cauca se estima un total de agua almacenada de 10.000 millones de m³ y una recarga natural anual de 3.500 millones de m³. El recurso subterráneo es aprovechado por los diferentes sectores de la producción como agrícola (90.000 hectáreas), industrial (261 industrias) y abastecimiento público (cerca de 700.000 habitantes). Las extracciones anuales en el departamento están entre 400 y 700 millones de m³.

La Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC, como ente ambiental del departamento, ha detectado mediante su red de monitoreo (aprox. 292 pozos de monitoreo) en los municipios de Cali, Palmira, Candelaria y Buga, pozos contaminados en estaciones de servicio por derrame de hidrocarburos en el suelo y subsuelo, debido a la mala calidad de los tanques de almacenamiento o por cumplimiento de su vida útil y de las tuberías de conducción hacia las islas. Los acuíferos en estos sitios presentan niveles freáticos someros (de 2 a 4 m), los cuales deben ser monitoreados y evaluados para establecer la situación real y definir las estrategias y acciones requeridas para detener o eliminar estos procesos de contaminación de manera pronta y efectiva, dada la alta toxicidad de estos compuestos.

Los productos provenientes de hidrocarburos que se almacenan y distribuyen en el departamento son la gasolina, destilados medios (diesel) y aceites lubricantes; estas sustancias varían en su composición química y propiedades físicas, siendo altamente volátiles y móviles. Según API. 2004, de acuerdo a las condiciones hidrogeológicas del sitio y forma como se libere algún hidrocarburo, influye en el movimiento y distribución del contaminante en el suelo (poros) y subsuelo (agua).

Los hidrocarburos al estar en contacto con el suelo impiden el intercambio gaseoso con la atmósfera, iniciando una serie de procesos físico-químicos simultáneos como evaporación y penetración (hacia el acuífero), que dependiendo del tipo de hidrocarburo, temperatura, humedad, textura del suelo y cantidad vertida puede ser más o menos lento su movimiento, ocasionando una mayor toxicidad, además de tener una moderada, alta o extrema salinidad, dificultando su tratamiento (Benavides et al. 2006). Esta problemática genera una amenaza real a la salud pública, así como la extinción de gran cantidad de especies vegetales y animales, siendo la mejor opción impedir que estos contaminantes lleguen a los sistemas acuíferos mediante la prevención.

En el Valle del Cauca existen municipios que dependen casi en su totalidad del agua subterránea para el consumo doméstico de la población, situación que obliga a la entidad ambiental en proteger la calidad del agua subterránea, ya que la recuperación de un acuífero contaminado es tecnológicamente muy compleja, demanda mucho tiempo y los costos son elevados.

API. 2004, menciona que cuando la gasolina se derrama accidentalmente en la superficie o por una tubería subterránea o tanque de almacenamiento, ésta migra verticalmente hacia abajo por la fuerza de la gravedad y cuando encuentra el nivel freático, migra a través de la zona no saturada; el hidrocarburo menos denso (con respecto a la densidad del agua) flota a lo largo de la capa freática, y los compuestos de mayor densidad se mueven lateralmente con el agua siguiendo la dirección del flujo.

Debido a la presencia de agua en el suelo, las saturaciones de hidrocarburo nunca son 100% varían del 5% al 70%. Inicialmente el hidrocarburo derramado desplaza el agua de los poros del suelo y posteriormente, es desplazado cuando sube el nivel freático (API. 2004). En un suelo de textura arenosa la movilidad es rápida por el alto grado de porosidad; con el tiempo la movilidad del hidrocarburo se vuelve asintótica a un valor máximo.

1. Introducción

En el valle geográfico del río Cauca, las aguas subterráneas son calificadas regionalmente como de muy buena calidad (CVC. 2001) y se pueden utilizar sin mayores restricciones; el subsuelo está formado por sedimentos de relleno aluvial proveniente de material erosionado de las cordilleras central y occidental que ha sido transportado y depositado por el río Cauca y sus tributarios; a su vez el subsuelo cuenta con un importante potencial hídrico subterráneo para el desarrollo del departamento.

Según Azcuntar et al. 2010, en el departamento del Valle del Cauca se estima un total de agua almacenada de 10.000 millones de m³ y una recarga natural anual de 3.500 millones de m³. El recurso subterráneo es aprovechado por los diferentes sectores de la producción como agrícola (90.000 hectáreas), industrial (261 industrias) y abastecimiento público (cerca de 700.000 habitantes). Las extracciones anuales en el departamento están entre 400 y 700 millones de m³.

La Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC, como ente ambiental del departamento, ha detectado mediante su red de monitoreo (aprox. 292 pozos de monitoreo) en los municipios de Cali, Palmira, Candelaria y Buga, pozos contaminados en estaciones de servicio por derrame de hidrocarburos en el suelo y subsuelo, debido a la mala calidad de los tanques de almacenamiento o por cumplimiento de su vida útil y de las tuberías de conducción hacia las islas. Los acuíferos en estos sitios presentan niveles freáticos someros (de 2 a 4 m), los cuales deben ser monitoreados y evaluados para establecer la situación real y definir las estrategias y acciones requeridas para detener o eliminar estos procesos de contaminación de manera pronta y efectiva, dada la alta toxicidad de estos compuestos.

Los productos provenientes de hidrocarburos que se almacenan y distribuyen en el departamento son la gasolina, destilados medios (diesel) y aceites lubricantes; estas sustancias varían en su composición química y propiedades físicas, siendo altamente volátiles y móviles. Según API. 2004, de acuerdo a las condiciones hidrogeológicas del sitio y forma como se libere algún hidrocarburo, influye en el movimiento y distribución del contaminante en el suelo (poros) y subsuelo (agua).

Los hidrocarburos al estar en contacto con el suelo impiden el intercambio gaseoso con la atmósfera, iniciando una serie de procesos físico-químicos simultáneos como evaporación y penetración (hacia el acuífero), que dependiendo del tipo de hidrocarburo, temperatura, humedad, textura del suelo y cantidad vertida puede ser más o menos lento su movimiento, ocasionando una mayor toxicidad, además de tener una moderada, alta o extrema salinidad, dificultando su tratamiento (Benavides et al. 2006). Esta problemática genera una amenaza real a la salud pública, así como la extinción de gran cantidad de especies vegetales y animales, siendo la mejor opción impedir que estos contaminantes lleguen a los sistemas acuíferos mediante la prevención.

En el Valle del Cauca existen municipios que dependen casi en su totalidad del agua subterránea para el consumo doméstico de la población, situación que obliga a la entidad ambiental en proteger la calidad del agua subterránea, ya que la recuperación de un acuífero contaminado es tecnológicamente muy compleja, demanda mucho tiempo y los costos son elevados.

API. 2004, menciona que cuando la gasolina se derrama accidentalmente en la superficie o por una tubería subterránea o tanque de almacenamiento, ésta migra verticalmente hacia abajo por la fuerza de la gravedad y cuando encuentra el nivel freático, migra a través de la zona no saturada; el hidrocarburo menos denso (con respecto a la densidad del agua) flota a lo largo de la capa freática, y los compuestos de mayor densidad se mueven lateralmente con el agua siguiendo la dirección del flujo.

Debido a la presencia de agua en el suelo, las saturaciones de hidrocarburo nunca son 100% varían del 5% al 70%. Inicialmente el hidrocarburo derramado desplaza el agua de los poros del suelo y posteriormente, es desplazado cuando sube el nivel freático (API. 2004). En un suelo de textura arenosa la movilidad es rápida por el alto grado de porosidad; con el tiempo la movilidad del hidrocarburo se vuelve asintótica a un valor máximo.

En perfiles de suelo afectados por hidrocarburo, la API. 2004 observó una disminución en la saturación del contaminante con respecto a la profundidad, argumentando que la fase de hidrocarburo que se desplaza con el agua presiona sobre los espacios porosos de las capas superiores del perfil de suelo, y con la profundidad el hidrocarburo que empuja los poros es cada vez menos, hasta no haber agua desplazada.

En Colombia existe una metodología estandarizada para evaluar los sitios impactados con hidrocarburos "Manual técnico para la ejecución de análisis de riesgos para sitios de distribución de derivados de hidrocarburos", elaborada en diciembre de 2007 por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, y soportado por la metodología RBCA (Risk Based Corrective Actions o Acciones correctivas basadas en el riesgo) establecida por la Agencia de Protección Ambiental en los Estados Unidos (EPA), aplicada en más de 40 países del mundo.

Basados en el manual de análisis de riesgos del MAVDT (2007), se quiere establecer el modelo conceptual de la contaminación del suelo y subsuelo por derrame de hidrocarburos tomando como zona piloto Cavasa localizada en el municipio de Candelaria, Valle del Cauca; sitio que fue escogido por encontrarse contaminado un pozo profundo de uso industrial y doméstico de la empresa Carvajal S.A., quienes a partir del año 2007 alertaron a la entidad ambiental CVC sobre el fuerte olor a hidrocarburos percibido al ser bombeado y demandaron a la estación de servicio Esso Cavasa ubicada a 28 m de distancia del pozo afectado, siendo la actividad más cercana que maneja este tipo de sustancias. Este pozo identificado con nomenclatura CVC Ven-461 es la fuente principal de abastecimiento de la empresa y al estar contaminado imposibilita su uso, poniendo en riesgo la salud de sus empleados.

Es aún más preocupante verse expuesto a contaminación por hidrocarburos, el acuífero que provee de agua a toda la población del corregimiento El Carmelo y en general al municipio de Candelaria (90% del agua de consumo es de pozo). Si el acuífero que provee de agua a esta comunidad se llegara a contaminar causaría un problema no sólo ambiental, sino de salud pública y social para la región.

2. Metodología

2.1. Localización

El proyecto se llevó a cabo en el sector de Cavasa corregimiento El Carmelo, municipio de Candelaria situado al sureste del departamento del Valle del Cauca a 20 km de su capital Cali. Geográficamente se ubica a 3° 24'43" de latitud norte y 76° 2'01" de latitud oeste, municipio de topografía totalmente plana, hace parte de la llanura aluvial del río Cauca y se encuentra en un piso térmico cálido con temperaturas que oscilan de 24 a 29°C.

2.2. Esquema metodológica

En Colombia existe una metodología estandarizada para los sitios impactados con hidrocarburos, guía denominada: "*Manual Técnico para la Ejecución de Análisis de Riesgos para Sitios de Distribución de Derivados de Hidrocarburos*", emanada en la metodología RBCA (Risk Based Corrective Actions o Acciones correctivas basadas en el riesgo) establecida por la Agencia de Protección Ambiental en los Estados Unidos (EPA) y aplicada en más de 40 países del mundo.

El esquema metodológico planteado para este artículo (figura 1) está basado en esta guía, la cual fue elaborada en diciembre de 2007 por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, y conto con la participación del Ministerio de Minas y Energía, Ecopetrol, la Asociación Colombiana del Petróleo, las autoridades ambientales regionales y locales, las entidades gremiales de minoristas Fedispetrol y Fendipetrol, y la consultora ambiental ERM Colombia Ltda.

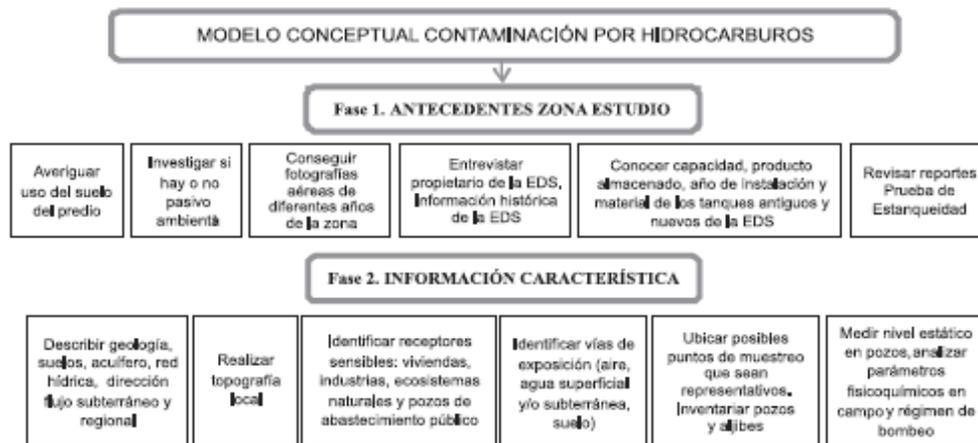


Figura 1. Esquema metodología modelo conceptual de la contaminación por hidrocarburos

3. Resultados

La Situación

La empresa Carvajal en el año 2007 reportó a la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, olor a hidrocarburo al ser bombeado el pozo de su propiedad identificado con nomenclatura vcn-461. Aunque no se tiene certeza de la procedencia del hidrocarburo encontrado en el pozo, cerca aprox. a 28 m de distancia, se encuentra ubicada la estación de servicio Esso Cavasa, actividad que maneja este tipo de sustancias.

Antecedentes

Para el año 1964 (fotografía aérea vuelo C1146) en el área de estudio (sector Cavasa) funcionaba el Aeropuerto "Calipuerto", en donde se tenían bodegas para almacenamiento de combustible ubicadas a 442 m de distancia del pozo afectado (Vcn-461) aguas abajo en el sentido del flujo subterráneo. No fue posible saber la cantidad y tipo de producto almacenado en dichas bodegas. Esta pista aérea se utilizó hasta el año 1976, donde fue reemplazada por la construcción del Aeropuerto Internacional de Palmaseca en Palmira Valle del Cauca. Al analizar la fotografía se observó que el uso de suelo para este año era en su totalidad agrícola.

En el año 1980 (fotografía aérea vuelo C1960), aparecen las instalaciones de la Central de Abastos del Valle del Cauca "CAVASA". En la fotografía se observó que el uso de suelo para este año era agrícola e industrial. Al entrevistar al actual propietario de la Estación de servicio Esso Cavasa, el señor José Ignacio Solano y al empleado más antiguo del montallantas (32 años de experiencia), se comentó sobre la existencia de la Estación de servicio "Roraima" ubicada cerca a las instalaciones de la fábrica Café Águila Roja y a 300 m de distancia del pozo afectado (Vcn-461) aguas abajo en sentido del flujo subterráneo. De la Estación de servicio "Roraima" no fue posible saber la cantidad de combustible almacenado.

En el año 1998 (fotografía aérea vuelo FAL407), aparece la empresa Carvajal S.A. así como el pozo profundo de su propiedad Vcn-461 (perforado en el año 1997). De igual forma, en la fotografía ya aparecen las instalaciones de la estación de servicio Esso Cavasa y demás industrias que en la actualidad funcionan.

El Sitio

El sitio de estudio está ubicado sobre una formación geológica de albardón natural (Q4), compuesto por sedimentos de arena y limos; el suelo es de textura arenosa fina, siendo muy permeable y susceptible a que cualquier líquido se infiltre con facilidad. El valor de la conductividad hidráulica de la zona es de 15.5 m/d (alta permeabilidad).

El flujo subterráneo de la zona de estudio sigue la dirección del flujo regional del Valle del Cauca, desde el piedemonte (Este) hacia el río Cauca (Oeste); sin embargo, tiende haber una desviación del flujo subterráneo en sentido Este-Sur, justo cerca a la Estación de servicio Esso Cavasa, influenciado posiblemente por la pendiente del terreno (aprox. 0.12%) y por los radios de captura que se generan en los pozos profundos localizados en esta zona.

La figura 2 presenta un plano de la Estación de servicio Esso Cavasa (el sitio) ubicada en el corregimiento El Carmelo, municipio de Candelaria - Valle del Cauca. El sitio cuenta con 5 tanques enterrados que contienen los siguientes productos: Tres tanques (1, 2, 3) de gasolina corriente con capacidad de 10.000 galones; Un tanque (4) de diesel con capacidad de 10.000 galones; y Un tanque (5) de extra con capacidad de 3.000 galones.

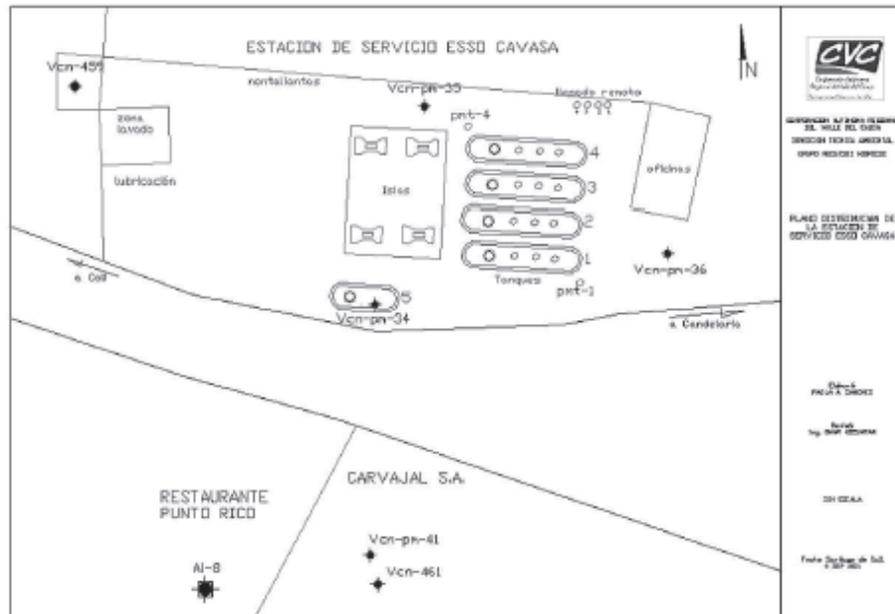


Figura 2. Plano distribución Estación de servicio Esso Cavasa

El tanque que contiene Extra fue instalado hace 7 años (2004) y los otros cuatro tanques enterrados se instalaron hace 15 años (1996). Se realizó una prueba de estanqueidad desde hace 3 años (2008), los resultados de la prueba indicaron que no hay fallas en ningún tanque; la exigencia de este tipo de prueba está contemplada en el Decreto 1521 de 1998 del Ministerio de Minas y Energía de la República de Colombia.

El sitio cuenta con tres pozos de monitoreo: los pozos Vcn-pm-34 y Vcn-pm-35 tienen una profundidad de 10 m; y el pozo Vcn-pm-36, tiene 4 m de profundidad. El nivel freático de la zona se encuentra en un rango de 1.8 a 3.5 m. Para la inspección de la zona de tanques, la estación de servicio cuenta con dos pozos secos identificados como pmt-4 y pmt-1.

La Estación de servicio Esso Cavasa está ubicada en una zona de uso mezclado donde existen industrias, predios agrícolas, restaurantes y viviendas, en un radio menor de 500 m.

Receptores

Los receptores más sensibles identificados en un radio de 500 m con respecto a la estación de servicio Esso Cavasa, en total son 15 captaciones de agua subterránea entre pozos profundos y aljibes, a continuación se mencionan algunos: el aljibe 8 de uso doméstico de propiedad del Restaurante Punto Rico localizado a 36 m del sitio, el pozo Vcn-461 de uso industrial y doméstico de propiedad de la Industria Carvajal S.A. localizado a 38 m

del sitio, el pozo Vcn-459 de uso industrial (lavado de carros) de propiedad de la Estación de servicio localizado a 54 m de la zona de tanques, el pozo Vcn-43 actualmente inactivo de propiedad de la Industria Carvajal S.A. localizado a 76 m del sitio, el pozo Vcn-155 de uso industrial (lavado frutas y verduras) de propiedad de la central de abastos "Cavasa" localizado a 187 m del sitio, y el aljibe 9 de uso industrial (silos concentrado avícola) de propiedad de Pollos El Bucanero localizado a 225 m del sitio. No hay aguas superficiales ni ecosistemas naturales en este radio de receptor sensible. La fuente superficial más cercana es el río Fraile, el cual se localiza a 1500 m al noreste de la estación de servicio.

Modelo conceptual

En la figura 3 se muestra en planta un balance de las entradas y salidas del recurso hídrico de la zona de estudio, con el fin de visualizar el movimiento continuo que tiene el agua superficial y subterránea. Existe una recarga del acuífero de la zona influenciado por la precipitación, río Fraile y piedemonte (recarga regional), y una salida de agua por evaporación y bombeo de pozos de abastecimiento.

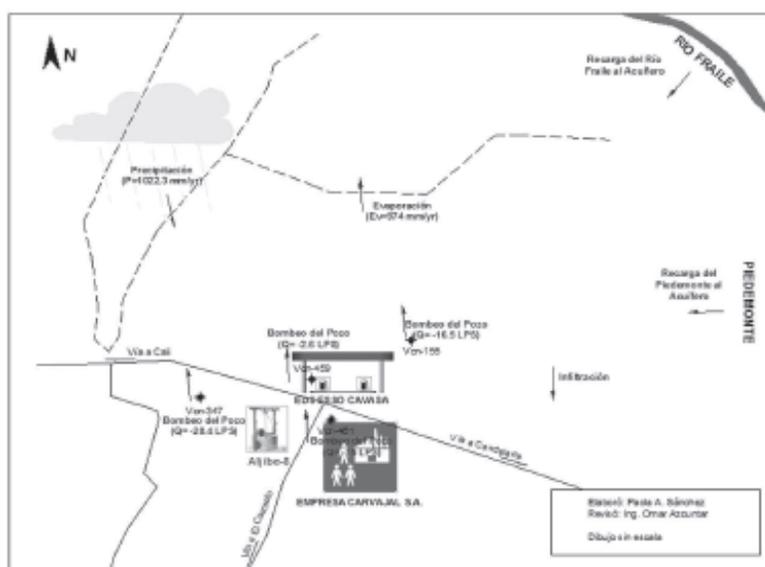


Figura 3. Balance de entradas y salidas del recurso hídrico en el sitio de estudio

Así mismo, en las figuras 4 y 5 se muestran dos cortes (Este - Oeste y Sur - Norte) del modelo conceptual de la contaminación ocasionada por hidrocarburos, posiblemente por un derrame en la estación de servicio Esso Cavasa. Se tomó una distancia de 200 m teniendo como referencia la estación de servicio implicada.

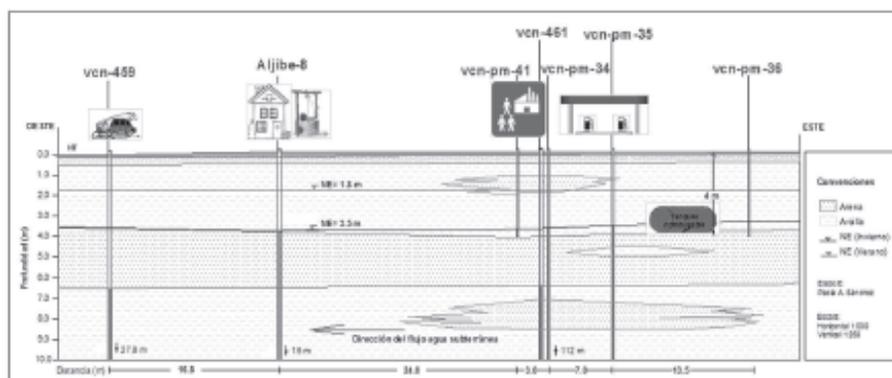


Figura 4. Corte Este - Oeste del sitio de estudio

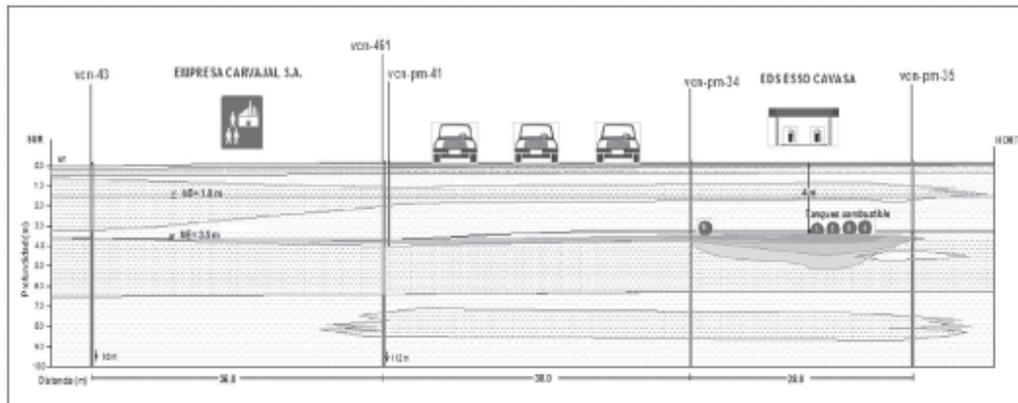


Figura 5. Corte Sur - Norte del sitio de estudio

Al realizar el modelo conceptual se aprecian las condiciones del sitio de estudio, utilizando los datos disponibles como: posible fuente contaminante (tanques de combustible enterrados en la estación de servicio Esso Cavasa), medio de transporte por donde se movería el contaminante hasta llegar al pozo afectado (primer acuífero entre los 3 y 6 m de profundidad) y los receptores (pozos, aljibes, empresas, viviendas) que se verían afectados por este tipo de contaminación por hidrocarburos en el suelo y agua.

Para hacer la correlación hidrogeológica del modelo conceptual, se contó con información detallada suministrada por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC, de perfiles litológicos de pozos de monitoreo (Vcn-pm) y pozos profundos (Vcn), lo cual da mucha precisión de los estratos acuíferos encontrados hasta 10 m de profundidad. Los estratos de color azul (figura 4) son permeables o capas acuíferas compuestas por arenas y gravas, y están intercaladas con estratos de arcilla y limos, que forman en su conjunto el acuífero aluvial del Valle del Cauca.

En las figuras del modelo conceptual, se observa claramente un lente de arena de 50 cm de espesor a menos de 1 m de profundidad, así como el primer acuífero de 3 m de espesor encontrado entre los 3 y 6 m de profundidad. El nivel freático de la zona se encuentra en un rango de 1.8 m (verano) a 3.5 m (invierno), siendo superior a la ubicación de los tanques de combustible, enterrados a 4 m de profundidad. Estableciéndose un alto riesgo de contaminación al tener un contacto directo tanques con hidrocarburo - agua subterránea; en caso de que se presente una fuga o derrame y la excavación no esté impermeabilizada.

Como reglamentación de la entidad ambiental CVC, los pozos de abastecimiento deben contar con un sello sanitario que los proteja de la contaminación externa y de acuíferos superficiales contaminados, así evitar que estos contaminantes entren en forma directa al pozo. Sin embargo, en el Valle del Cauca existen pozos que no tienen sello sanitario, especialmente los aljibes de uso doméstico y pozos profundos para riego. Acorde a lo anterior, se plantean ciertas hipótesis que podrían explicar la contaminación por hidrocarburos encontrada en el pozo Vcn-461, las cuales se mencionan a continuación: 1. El sello sanitario de dicho pozo no existe, 2. El sello sanitario existe y tenga fisuras o este mal construido, 3. El contaminante viajó por el primer estrato acuífero influenciado por el bombeo y entro por el pozo abandonado Vcn-43 (sin sello sanitario) hasta llegar al pozo Vcn-461, ubicado a menos de 30 m de distancia.

4. Conclusiones

El presente modelo conceptual sirvió para tener claridad de los aspectos relevantes de un sitio implicado en un proceso de contaminación por hidrocarburos, como lo son la posición del nivel freático de la zona y la localización del primer acuífero susceptible a la contaminación, la posible fuente que genera la contaminación y los receptores cercanos afectados como pozos o fuentes de agua, personas y empresas.

Mediante la construcción del modelo conceptual se identificó la información adicional que se debe recolectar para hacer una evaluación completa de la contaminación por hidrocarburos en el suelo y agua subterránea, como visitas de campo, muestreos, análisis de suelo y agua, diagnóstico de la magnitud en área impactada y la implementación de métodos de remediación.

En síntesis, el modelo conceptual es una fotografía global de un sitio contaminado, que al construirlo permite a la entidad ambiental proponer un plan de seguimiento, una evaluación y unas medidas o acciones correctivas para detener, eliminar o atenuar procesos de contaminación, en este caso por derrame de hidrocarburos, teniendo como obligación proteger la calidad del recurso subterráneo que abastece en su totalidad a la población del Corregimiento El Carmelo y en general al municipio de Candelaria.

5. Referencias Bibliográficas

1. API. Instituto Americano del Petróleo, 2004. API Interactive LNAPL Guide: Version 2.0. The American Petroleum Institute, Environmental System & Technologies, Park City, Utah. EE. UU
2. Azcuntar R. O., Páez O. G. I., Rengifo R. R. E., 2010. Cartilla "Las Aguas Subterráneas y su Protección en el Valle del Cauca". Publicación Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, Dirección Técnica. Santiago de Cali.
3. Benavides L. de M. J., Quintero G., Guevara V. A. L., Jaimes C. D., Gutiérrez R. S. M., Miranda G. J., 2006. "Bioremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo". Revista Nova vol. 4 No. 5. Universidad de La Salle, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca. Bogotá D.C.
4. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC, 2001. Plan de Manejo para la Protección de las Aguas Subterráneas en el Departamento del Valle del Cauca. Santiago de Cali.
5. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007. Guía "Manual técnico para la ejecución de análisis de riesgos para sitios de distribución de derivados de hidrocarburos". Bogotá D.C.
6. Ministerio de Minas y Energía, República de Colombia. Decreto 1521/1998, "Por el cual se reglamenta el almacenamiento, manejo, transporte y distribución de combustibles líquidos derivados del petróleo para estaciones de servicio." Bogotá D.C.