

“EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL SUELO ZONA NO
SATURADA Y AGUAS SUBTERRÁNEAS POR HIDROCARBUROS
IMPLEMENTANDO ANÁLISIS DE RIESGOS. ZONA PILOTO CAVASA
MUNICIPIO DE CANDELARIA, VALLE DEL CAUCA”

MODALIDAD PASANTIA

PAOLA ANDREA SANCHEZ FARFAN



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA. PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA – CVC
DIRECCIÓN TÉCNICA AMBIENTAL. GRUPO RECURSOS HÍDRICOS
SANTIAGO DE CALI, DIC 2011

“EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL SUELO ZONA NO SATURADA Y AGUAS SUBTERRÁNEAS POR HIDROCARBUROS IMPLEMENTANDO ANÁLISIS DE RIESGOS. ZONA PILOTO CAVASA MUNICIPIO DE CANDELARIA, VALLE DEL CAUCA”

MODALIDAD PASANTIA

PAOLA ANDREA SANCHEZ FARFAN

Trabajo de grado presentado como requisito
para optar el título de Ingeniero Agrícola

Director interno:
Ing. M.Sc. JAIME IZQUIERDO BAUTISTA

Director externo:
Ing. Esp. OMAR AZCUNTAR ROSALES

Codirector externo:
Geo. Esp. GLORIA ISABEL PAEZ



**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA. PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA – CVC
DIRECCIÓN TÉCNICA AMBIENTAL. GRUPO RECURSOS HÍDRICOS
SANTIAGO DE CALI, DIC 2011**

Nota de aceptación

Firma del jurado
Profesor **MAURICIO DUARTE TORO**
M.Sc. en Ingeniería Civil

Firma del jurado
Profesor **ROBERTO VARGAS CUERVO**
Geólogo

Neiva (Huila), Diciembre de 2011

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a...

La familia Sánchez Farfán, motor de mi vida y regalo grandioso que Dios me ha concedido, seres que amo inmensamente...

La hermosa Samarita y el precioso Esteban, mis sobrinos que nos llenan de alegría a toda la familia...

Mis amigos incondicionales Dieguis, Conchis, Cami, El Gordo, y mi primo Juanca...

Mis amigos y compañeros de la Universidad Surcolombiana...

AGRADECIMIENTOS

Al señor todopoderoso por la vida que me ha regalado, por acompañarme en todo momento, protegerme de toda situación, guiarme en cada paso que doy y sobre todo por permitirme llegar a este logro de mi vida, el convertirme en una profesional...

De igual manera, este gran triunfo no hubiese sido posible sin el apoyo incondicional de mi familia, le agradezco inmensamente a mi mamá Nohora Farfán, a mi papá Nery Sánchez, a mis hermanas, a mi tía Graciela y primos, por haberme aconsejado y haber creído en mis capacidades...

A mi Universidad Surcolombiana por convertirse en mi segundo hogar durante toda mi carrera...

A los profesores del Programa de Ingeniería Agrícola por sus conocimientos aportados, en especial al profe Valencia, profe Izquierdo, profe Cifuentes y profe Pachón...

A la secretaria que tiene funciones de Jefe de Programa doña Gladys por su paciencia, don de gente y colaboración para todos sus estudiantes...

Al señor Rector, el profesor Eduardo Pastrana por sus consejos y su colaboración en los trámites que me permitieron trasladarme a la ciudad de Cali...

A la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, por darme la oportunidad y el apoyo para la realización de este proyecto...

A los especialistas del Grupo de Recursos Hídricos y técnicos de campo de la Dirección Técnica Ambiental...

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	11
ABSTRACT	12
INTRODUCCIÓN	13
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
2. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DE ARTE.....	17
2.1. Importancia de las Aguas Subterráneas	17
2.2. Contaminación de las Aguas Subterráneas.....	18
2.2.1. Evaluación del Peligro de Contaminación de las Aguas Subterráneas.....	18
2.2.2. Actividades Comunes de Contaminación por Hidrocarburos.....	19
2.3. Mecanismos de Transporte de Solutos	20
2.3.1. Ecuación de Transporte de Masa.....	21
2.3.2. Transporte Advectivo.....	22
2.3.3. Dispersión Hidrodinámica	22
2.4. Movimiento del Hidrocarburo en el Subsuelo	23
2.4.1. Caso de estudio: Efectos de la migración según tipo de hidrocarburo	26
2.5. Componentes del Petróleo Crudo	26
2.5.1. Gasolina.....	28
2.5.2. Combustibles Destilados.....	28
2.6. Estado de arte: Contaminación por Hidrocarburos.....	28
2.6.1. Ámbito Internacional	28
2.6.2. Ámbito Nacional	31
3. METODOLOGÍA.....	32
3.1. Localización del Proyecto	32
3.2. Esquema Metodología implementada en el proyecto	33
3.3. Fases de la Metodología	34
3.3.1. Fase 1. Revisión información tópico	34
3.3.2. Fase 2. Antecedentes zona de estudio	34
3.3.3. Fase 3. Información característica	35
3.3.4. Fase 4. Muestreo de Suelo y Agua Subterránea	46

3.3.5. Fase 5. Evaluación Contaminación	49
4. RESULTADOS	53
4.1. Antecedentes Zona de Estudio	53
4.1.1. Operaciones Históricas y Actuales de la EDS Esso Cavasa	56
4.1.2. Receptores sensibles	57
4.2. Información Característica	58
4.2.1. Geología	58
4.2.2. Suelos	60
4.2.3. Topografía	60
4.2.4. Hidrogeología	62
4.2.5. Niveles Freáticos	64
4.2.6. Dirección de Flujo Subterráneo	65
4.3. Esquema Modelo Conceptual de la situación	67
4.3.1. Hipótesis de la Contaminación	70
4.4. Análisis Resultados de Laboratorio	70
4.4.1. Aguas subterráneas	70
4.4.1.1. Laboratorio Ambiental CVC	70
4.4.1.2. Laboratorios especializados U.S.	77
4.4.2. Suelo	81
4.5. Evaluación de la Contaminación	82
4.5.1. Acciones Provisionales y Correctivas	84
4.5.2. Remediación con Bioremediación	86
5. PRESUPUESTO	88
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	91
BIBLIOGRAFÍA	94
ANEXOS	98

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Actividades generadoras de una carga contaminante	19
Tabla 2. Composición elemental del petróleo	27
Tabla 3. Clasificación de los principales tipos de contaminación	27
Tabla 4. Valores porosidades totales y eficaces de diversos materiales naturales..	38
Tabla 5. Valores del coeficiente de almacenamiento	39
Tabla 6 . Relación de los pozos y aljibes muestreados	47
Tabla 7. Especificaciones de cada muestra de suelo.....	48
Tabla 8. Relación de reportes de laboratorio de muestras de agua subterránea	49
Tabla 9. Valores de referencia correspondientes a sustancias químicas	50
Tabla 10. Valores fisicoquímicos aceptables para agua potable	50
Tabla 11. Límites de referencia de agua subterránea/superficial para la comparación de sitios impactados por hidrocarburos	51
Tabla 12. Límites de referencia de suelo industrial/comercial y residencial/ agrícola para la comparación de sitios impactados por hidrocarburos	51
Tabla 13. Predios adyacentes a la Estación de servicio Esso Cavasa.....	58
Tabla 14. Análisis fisicoquímicos de aguas. Pozo de monitoreo Vcn-pm-34.....	71
Tabla 15. Análisis fisicoquímicos de aguas. Pozo de monitoreo Vcn-pm-35.....	71
Tabla 16. Análisis fisicoquímicos de aguas. Pozo Vcn-459.....	72
Tabla 17. Análisis fisicoquímicos de aguas. Pozos propiedad Carvajal S.A.....	73
Tabla 18. Análisis fisicoquímicos de aguas. Aljibes seleccionados para el muestreo	74
Tabla 19. Análisis fisicoquímicos de aguas. Pozo Vcn-155.....	74
Tabla 20. Resumen resultados de laboratorio comparados con los límites del MAVDT	77
Tabla 21. Resumen resultados de laboratorio comparados con los límites del MAVDT	78
Tabla 22. Concentración de Compuestos Orgánicos Volátiles (Ago/2008)	81
Tabla 23. Resultados de laboratorio para las muestras de suelo (Ago/2008).....	82

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Vulnerabilidad asociada a la contaminación de acuífero (Foster et al. 2002)	19
Figura 2. Factores de dispersión longitudinal (Bedient et al. 1994)	21
Figura 3. Representación estados del hidrocarburo en el subsuelo (Acoplada de API. 2004).....	24
Figura 4. Movilidad de hidrocarburos en un suelo arenoso (API. 2004)	25
Figura 5. Distribución vertical del hidrocarburo en el suelo (API. 2004)	25
Figura 6. Ubicación geográfica zona de estudio	32
Figura 7. Recorrido instalaciones estación de servicio Esso Cavasa	35
Figura 8. Ubicación de las estaciones climatológicas	41
Figura 9. Perfil de pozo profundo con ubicación de filtros	42
Figura 10. Distribución conductividad hidráulica según geología de la zona	43
Figura 11. Valores de almacenamiento y porosidad presumidos para la zona.....	43
Figura 12. Procedimiento inventario de aljibes.....	45
Figura 13. Procedimiento medición nivel freático	46
Figura 14. Procedimiento para el muestreo de agua subterránea.....	47
Figura 15. Procedimiento resumido del muestreo de suelo. (Fuente: Informe técnico presentado por Hidrogeoambiental. 2008).....	49
Figura 16. Fotografía aérea vuelo C1146 del año 1964. (Fuente: Grupo Sistemas de Información Ambiental. CVC)	53
Figura 17. Fotografía aérea vuelo C1960 del año 1980. (Fuente: Grupo Sistemas de Información Ambiental. CVC)	54
Figura 18. Fotografía aérea vuelo FAL407 del año 1998. (Fuente: Grupo Sistemas de Información Ambiental. CVC)	55
Figura 19. Plano distribución Estación de servicio Esso Cavasa	57
Figura 20. Plano Geología zona de estudio Cavasa Candelaria, Valle del Cauca... 59	
Figura 21. Plano Suelos zona de estudio Cavasa Candelaria, Valle del Cauca	60
Figura 22. Plano curvas de nivel del río Cauca al río Fraile por la vía a Candelaria 61	
Figura 23. Modelo de terreno del río Cauca al río Fraile por la vía a Candelaria.....	62
Figura 24. Correlación hidrogeológica corte Este-Oeste.....	63
Figura 25. Plano niveles freáticos en invierno de la zona de estudio	64
Figura 26. Plano niveles freáticos en verano de la zona de estudio	64

Figura 27. Dirección de flujo subterráneo y líneas equipotenciales	65
Figura 28. Zonas de captura de las líneas de flujo subterráneo en los pozos profundos	66
Figura 29. Modelo conceptual corte Este – Oeste.....	67
Figura 30. Modelo conceptual corte Sur – Norte	67
Figura 31. Esquema escenarios de exposición conceptuales para el sitio (Estación de servicio Esso Cavasa).....	69
Figura 32. Comparación concentraciones de hidrocarburos aromáticos	72
Figura 33. Plano isoconcentración de Hidrocarburos Aromáticos (sep/2011)	76
Figura 34. Comparación por parámetros analizados en Ago/2008 y Sep/2011	79
Figura 35. Plano representación de concentraciones (Sep.2011) con Diagramas de Stiff	80
Figura 36. Extracción vapores del suelo (Tomado de API. 2004).....	85
Figura 37. Procedimiento aplicación de bacterias en pozos de monitoreo	86

RESUMEN

La principal fuente de abastecimiento de agua para uso doméstico, industrial y riego, en el corregimiento El Carmelo y en general del municipio de Candelaria, son las aguas subterráneas (el 90% del agua de consumo es de pozo), siendo prioritario proteger la calidad de este recurso hídrico. 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. El propósito del proyecto fue elaborar y aplicar una metodología práctica y fácil de entender, basada en el “*Manual Técnico para la Ejecución de Análisis de Riesgos para Sitios de Distribución de Derivados de Hidrocarburos*” del MAVDT.2007, con el fin de evaluar la contaminación por hidrocarburos en el suelo y subsuelo, generado por derrame de hidrocarburos en la estación de servicio Esso Cavasa, localizada en el corregimiento El Carmelo, municipio de Candelaria departamento del Valle del Cauca.

La metodología se definió en cinco fases: 1. Revisión información tópic, 2. Antecedentes de la zona de estudio, 3. Información característica, 4. Muestreo de suelo y agua, y 5. Evaluación de la contaminación. En la primera fase se hizo un estado de arte del tópic del proyecto; en la segunda, se realizó una recopilación de información histórica y actual de la zona de estudio; en la tercera, se elaboraron planos de localización del sitio de estudio, geología, suelos, correlación hidrogeológica y piezometría. Se construyó el modelo de flujo subterráneo local utilizando el programa Visual Modflow 2010.1, se realizó el inventario de aljibes y pozos en un radio de 500 m de la estación de servicio Esso Cavasa y se elaboró el modelo conceptual de la situación de manera esquemática.

Con base en la información de los pozos seleccionados se monitoreo la calidad del agua subterránea analizando los siguientes parámetros: Hidrocarburos aromáticos, Metales, BTEX, TPH-GRO y TPH-DRO. Se encontró que las concentraciones de BTEX, TPH-GRO y TPH-DRO en el pozo de monitoreo Vcn-pm-34 de la estación de servicio Esso Cavasa están por encima de los valores máximos permitidos por el MAVDT. Así mismo, el pozo de monitoreo Vcn-pm-36 de la estación de servicio registró concentraciones de TPH-GRO y TPH-DRO por encima de lo permitido por la norma. Las concentraciones de Hidrocarburos aromáticos en los pozos y aljibes monitoreados están por debajo del valor máximo permisible por el MAVDT; sin embargo, en los pozos de monitoreo de la estación Vcn-pm-34 y Vcn-pm-35 se registró las mayores concentraciones 7.41 µg/L y 5.42 µg/L, respectivamente.

Para evaluar la contaminación se trazó el plano de isoconcentración de Hidrocarburos aromáticos, donde se puede visualizar la pluma de contaminación y deducir que el foco del derrame se localiza en la estación de servicio Esso Cavasa. Seguidamente se realizó un diagnóstico de la situación y se plantearon métodos de remediación para la zona más impactada. Como acciones de remediación el propietario de la estación de servicio realizó extracción del producto libre por tres meses e inició la bioremediación con la aplicación de bacterias *Septitrim* en los pozos de monitoreo de la estación de servicio.

Palabras clave: metodología; contaminación; hidrocarburos.

ABSTRACT

The main source of water supply for domestic, industrial and irrigation in the district in Caramel and the municipality of Candelaria general are groundwater (90% of drinking water is well), with priority to protect the quality of this water resource. If the aquifer that provides water to this community becomes contaminated not only cause environmental problems but social and public health for the region. The project's purpose was to develop a practical and easy to understand, based on the "Technical Manual for Implementing Risk Analysis for Distribution Sites Hydrocarbon Derivatives" of MAVDT.2007, in order to assess oil pollution in the soil and subsoil, generated by the oil spill in the Esso service station Cellars, located in the township of El Carmelo, municipality of Candelaria department of Valle del Cauca.

The methodology was defined in five stages: 1. Review topical information, 2. Background of the study area, 3. Characteristic information, 4. Sampling of soil and water, and 5. Evaluation of pollution. In the first phase was a state of art of the topic of the project, the second, there was a collection of current and historical information of the study area, the third, location maps were made of the study site, geology, soils, hydrogeological and piezometric correlation. He built the local groundwater flow model using the program Visual Modflow 2010.1 is the inventory of tanks and wells within 500 m of the Esso service station Cavas and developed the conceptual model of the situation schematically.

Based on information from selected wells monitoring groundwater quality by analyzing the following parameters: aromatic hydrocarbons, metals, BTEX, TPH-GRO and TPH-DRO. It was found that the concentrations of BTEX, TPH-GRO and TPH-DRO in the monitoring well vcn-pm-34 from the Esso service station Cavas are above the maximum permitted by the Ministry of Environment. Also, the monitoring well vcn-pm-36 service station recorded TPH-GRO concentrations of TPH-DRO and above what is allowed by the standard. Aromatic hydrocarbon concentrations in the wells and wells are monitored below the maximum allowable by the Ministry of Environment, however, in the monitoring wells VCN station-34-pm-pm and VCN-35 recorded the highest concentrations were 7.41 mg / L and 5.42 mg / L, respectively.

To evaluate the contamination was traced isoconcentración plane aromatic hydrocarbons, which can display the pollution plume and infer that the focus of the spill is located at the Esso service station cellars. Was then made a diagnosis of the situation and remediation methods posed the most impacted. As remedial actions the owner of the station made removal of free product for three months and began with the application of bioremediation Septitrim bacteria in wells monitoring station.

Keywords: methodology; pollution; hydrocarbons.

INTRODUCCIÓN

El subsuelo del Valle geográfico del río Cauca en su zona plana está formado por sedimentos de relleno aluvial cuaternario, provenientes de material erosionado de las cordilleras Central y Occidental que ha sido transportado y depositado por el río Cauca y sus tributarios; cuenta con un importante potencial hídrico subterráneo para el desarrollo económico del departamento, es calificado regionalmente como de muy buena calidad y se utiliza sin mayores restricciones (CVC.2001), por lo tanto es aprovechado por los diferentes sectores de la producción como agrícola, industrial y servicios públicos. Los niveles freáticos en la zona plana del departamento son someros (de 2 a 4 m), lo que hace al acuífero vulnerable a cualquier fuente potencial de contaminación.

La Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC, como ente ambiental del departamento, cuenta con una red de pozos de monitoreo actualmente constituida por 292 pozos, los cuales son evaluados periódicamente por la CVC y los usuarios, con el fin de llevar un control de la calidad del agua subterránea en sitios donde se presenta alguna actividad potencialmente contaminante. La CVC ha detectado en los municipios de Cali, Palmira, Candelaria y Buga, pozos contaminados en estaciones de servicio por derrame de hidrocarburos en el suelo y subsuelo; estos sitios deben ser monitoreados y evaluados para establecer la situación real y definir las estrategias y acciones requeridas para detener, eliminar o atenuar procesos de contaminación de manera pronta y efectiva, dada la alta toxicidad de estos compuestos. Cabe mencionar que no todas las estaciones de servicio del Valle del Cauca cuentan con pozos de monitoreo que permitan identificar si existe o no fuga de algún hidrocarburo.

Los hidrocarburos que se almacenan y distribuyen en el departamento son la gasolina, diesel y aceites lubricantes; estas sustancias varían en su composición química y física, siendo altamente volátiles, móviles y solubles en el suelo y agua en relación a las condiciones hidrogeológicas del lugar. De acuerdo a la exposición (tacto, inhalación e ingestión) que se tenga con ellas resultan ser tóxicas a la salud humana, 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.

Candelaria es un municipio del Valle del Cauca donde el 90% del agua de consumo es de pozo, es una población que tiene gran dependencia de las aguas subterráneas que es aprovechada por 262 pozos para abastecimiento público, industrial y riego. Las fuentes superficiales que rodean a este municipio (ríos Fraile, Párraga, Desbaratado y Bolo) no son utilizadas para consumo humano por presentar un alto grado de contaminación biológica y química, causada por vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales. 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 el municipio.

La zona de estudio del proyecto es el sector de Cavasa localizado en el corregimiento El Carmelo municipio de Candelaria, sitio escogido por encontrarse contaminado un pozo profundo de uso industrial y doméstico de cerca de 200 trabajadores 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; razón por la cual la CVC hizo un muestreo del agua de éste pozo y encontró concentraciones altas de Hidrocarburos aromáticos y totales. Debido a que este pozo es la fuente principal de abastecimiento de la empresa y al estar contaminado imposibilita su uso y pone en riesgo la salud de sus empleados, la empresa Carvajal S.A. decide demandar a la estación de servicio Esso Cavasa ubicada a 38 m de distancia del pozo afectado (Vcn-461), siendo el predio y la actividad más cercana que maneja este tipo de sustancias.

Con el fin de evaluar la contaminación en el suelo y subsuelo, generado muy probablemente por un derrame de hidrocarburos producido en la estación de servicio Esso Cavasa, se propone elaborar y aplicar una metodología práctica y fácil de entender, basada en el "*Manual Técnico para la Ejecución de Análisis de Riesgos para Sitios de Distribución de Derivados de Hidrocarburos*" aprobado por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial MAVDT. 2007.

Con el ánimo de cumplir con el objetivo central del proyecto, el documento se compone de cinco capítulos centrales, siendo ellos: 1. El Planteamiento del problema, en donde se presenta la situación que dio origen a la investigación por contaminación de hidrocarburos en el sector de Cavasa; 2. El Marco teórico y estado del arte, se muestran conceptos de importancia para entender el movimiento de un soluto como el hidrocarburo en un medio natural como el suelo y el agua, así como estudios a nivel internacional de este tipo de contaminación; 3. La Metodología está dividida en cinco fases: Fase 1. Revisión información tópic. Fase 2. Antecedentes zona de estudio, Fase 3. Información característica, Fase 4. Muestreo de suelo y agua, y Fase 5. Evaluación contaminación; 4. Los Resultados se presentan en planos, esquemas, tablas y diagramas de barras; y 5. Las Conclusiones de la situación y las acciones correctivas propuestas para el área más afectada.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La empresa Carvajal S.A. 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. El pozo de 112 m de profundidad es de uso industrial y doméstico para cerca de 200 trabajadores de la planta. La entidad ambiental CVC realizó muestreos de agua subterránea (mar/2007) que al llevar al laboratorio registraron concentraciones altas de hidrocarburos aromáticos (5.2 µg/l), el límite permisible es 10 µg/l para agua potable, según la Resolución 2115/07 aprobada por el Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Aunque no se tenía certeza de la procedencia del hidrocarburo encontrado en el pozo Vcn-461, cerca (aprox. 38 m) se ubica la estación de servicio Esso Cavasa, sitio que presenta un pasivo ambiental por derrame de hidrocarburos, razón por la cual la estación de servicio se remodeló. Por tanto, la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC requirió a la estación de servicio la construcción de dos pozos de monitoreo de 10 m de profundidad, identificados actualmente con nomenclatura Vcn-pm-34 y Vcn-pm-35, con el fin de llevar un seguimiento del estado de la calidad de las aguas subterráneas. Al realizar la perforación (nov/2007), en las muestras de suelo se percibió olor a gasolina a partir de los 0.5 m de profundidad y en el muestreo de los pozos se detecto producto libre (gasolina) en el nivel freático.

Así mismo, se analiza la gravedad que representa ésta situación de contaminación de los acuíferos de la zona por hidrocarburos, que son ampliamente utilizados por aljibes y pozos profundos; éstos aljibes son de uso doméstico de viviendas y restaurantes ubicados a menos de 100 m de distancia del pozo afectado; la central de abastos "CAVASA" que surte a toda la población del Valle del Cauca de alimentos, utiliza aprox. 16.5 l/s de agua subterránea para el lavado, selección y clasificación de las frutas y verduras; la planta de pollos El Bucanero, donde se utiliza agua de pozo para el procesamiento de concentrados avícolas y empleados de la planta; el pozo de abastecimiento del pueblo El Carmelo que está a 700 m del pozo afectado y del que se benefician cerca de 16.608 habitantes.

Ante esta situación de contaminación por hidrocarburos en suelo y agua subterránea, la CVC solicitó al propietario de la estación de servicio Esso Cavasa realizar un estudio de evaluación del grado de contaminación del acuífero afectado por descargas de hidrocarburos en el suelo y subsuelo de la zona; para lo cual se contrató con la empresa Hidrogeoambiental S.A. en el año 2008.

Los resultados presentados en el informe de dicho estudio, mostraron la existencia de un proceso de contaminación por hidrocarburos tanto en aguas subterráneas como en el suelo, registrándose las concentraciones más altas de hidrocarburos en las instalaciones de la estación de servicio Esso Cavasa. Con base en lo anterior, la CVC solicitó al propietario de la estación de servicio presentar una propuesta de remediación para aprobación e implementación con su correspondiente cronograma, indicando las actividades a realizar en el sitio impactado. El propietario de la estación de servicio comenzó la extracción de producto libre durante tres meses (Feb – Abr /2011) en los pozos de monitoreo Vcn-pm-34, Vcn-pm-35 y Vcn-pm-36, llevando un control diario extraído en planilla, el producto libre total extraído fue 290 ml y 5.90 ml en los pozos Vcn-pm-34 y Vcn-pm-35, respectivamente.

En Mayo de 2011, la estación de servicio Esso Cavasa contrató a la empresa Geosub Ltda., para realizar el trabajo de bioremediación, el informe de alcance y metas fue enviado por el propietario de la estación de servicio a la CVC en Abr/2011. En Octubre de 2011, se inicio la bioremediación con la aplicación de las bacterias *Septitrim* en los pozos de monitoreo Vcn-pm-34, Vcn-pm-35 y Vcn-pm-36 de propiedad de la estación de servicio, por presentar éstos las mayores concentraciones del producto derramado.

2. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DE ARTE

2.1. Importancia de las Aguas Subterráneas

El agua subterránea es un recurso natural vital para el suministro económico y seguro de agua potable en el medio urbano y rural, y juega un papel fundamental, pero frecuentemente poco apreciado en el bienestar del ser humano y de muchos ecosistemas acuáticos. (Foster et al. 2002)

En Colombia, el Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero-Ambiental y Nuclear (INGEOMINAS. 1992), organismo responsable de los estudios de aguas subterráneas en el país, elaboró el mapa hidrogeológico de Colombia en escala 1:2500.000. Dividió el país en provincias hidrogeológicas a nivel regional y halló las áreas potencialmente acuíferas y la calidad química del agua subterránea.

En el Uraba Antioqueño existen acuíferos formados de areniscas y conglomerados con sedimentos, con rendimientos que oscilan entre 25 - 50 l/s. (Gutiérrez & Márquez. 2003).

Mediante un estudio preliminar realizado por la Universidad Nacional de Colombia. 1996, se terminó el potencial acuífero de los municipios del oriente de Medellín; El Retiro, La Ceja, Rionegro, Guarne, El Carmen de Viboral y Marinilla, y se estimó una reserva potencial de cerca de 540×10^6 m³ de agua.

La Sabana de Bogotá constituida por rocas sedimentarias, tiene también un alto potencial de agua subterránea. Actualmente se tienen registros de unos 2800 pozos con caudales que oscilan entre 1 y 40 l/s. (Huggett. 1998).

La isla de San Andrés, depende para abastecimiento de agua dulce, casi que exclusivamente de las aguas subterráneas. En esta región se ha producido una intensa explotación de sus acuíferos, constituidos por rocas calizas y sedimentos originados de estas. Se ha calculado que el nivel seguro de explotación del acuífero son 40 l/s, y actualmente se tienen niveles de explotación muy cerca a ésta cifra. (Ángel. 1993).

El Valle del río Cauca se considera como el principal acuífero de Colombia, debido a su alta producción y espesor. Está formado por sedimentos de material grueso con permeabilidad alta a moderada, productos de un relleno aluvial cuaternario de aproximadamente 200 m de espesor, desarrollándose allí acuíferos regional de tipo semiconfinado y confinado. Los rendimientos fluctúan entre 30 y 130 l/s. (CVC. 2001).

A escala mundial, los acuíferos están experimentando una creciente amenaza de contaminación causada por la urbanización, el desarrollo industrial, las actividades agrícolas y emprendimientos mineros. Por ello existe una gran necesidad de llevar a cabo campañas proactivas y acciones prácticas destinadas a proteger la calidad natural del agua subterránea que por lo general es excelente, las cuales se pueden justificar sobre la base tanto de criterios amplios de sustentabilidad ambiental como de criterios más estrechos de beneficio económico. (Foster et al. 2002)

2.2. Contaminación de las Aguas Subterráneas

2.2.1. Evaluación del Peligro de Contaminación de las Aguas Subterráneas

La contaminación de los acuíferos ocurre cuando la carga de contaminantes sobre el subsuelo, generados por descargas o lixiviados de actividades urbanas, industriales, agrícolas o mineras no es controlada adecuadamente, y en ciertos componentes excede la capacidad natural de atenuación del subsuelo. El grado de atenuación varía ampliamente según las características litológicas del suelo, el tipo de contaminante y el proceso de contaminación en un ambiente determinado.

La preocupación sobre la contaminación del agua subterránea se refiere principalmente a los acuíferos no confinados o freáticos, especialmente donde su zona no saturada es delgada y el nivel freático es poco profundo, pero un peligro de contaminación significativo puede estar presente también en los acuíferos semiconfinados, si las capas acuitardas confinantes son relativamente delgadas y permeables. (Foster et al. 2002)

El enfoque más lógico sobre el peligro de contaminación del agua subterránea es la interacción entre: **vulnerabilidad natural del acuífero** y **carga contaminante**; de ésta forma se tiene en cuenta la facilidad con que ingresa un contaminante al acuífero (figura 1), dependiendo de las características litológicas del suelo, zona no saturada, profundidad del nivel freático, tipo de acuífero y contaminante que se aplica, será o podría ser aplicado como resultado de la actividad humana.

El término peligro de contaminación del recurso hídrico subterráneo se refiere a la probabilidad de que el agua subterránea de un acuífero se contamine, en concentraciones que superen los valores guía de la Organización Mundial de la Salud OMS para la calidad del agua potable. (Foster et al. 2002)

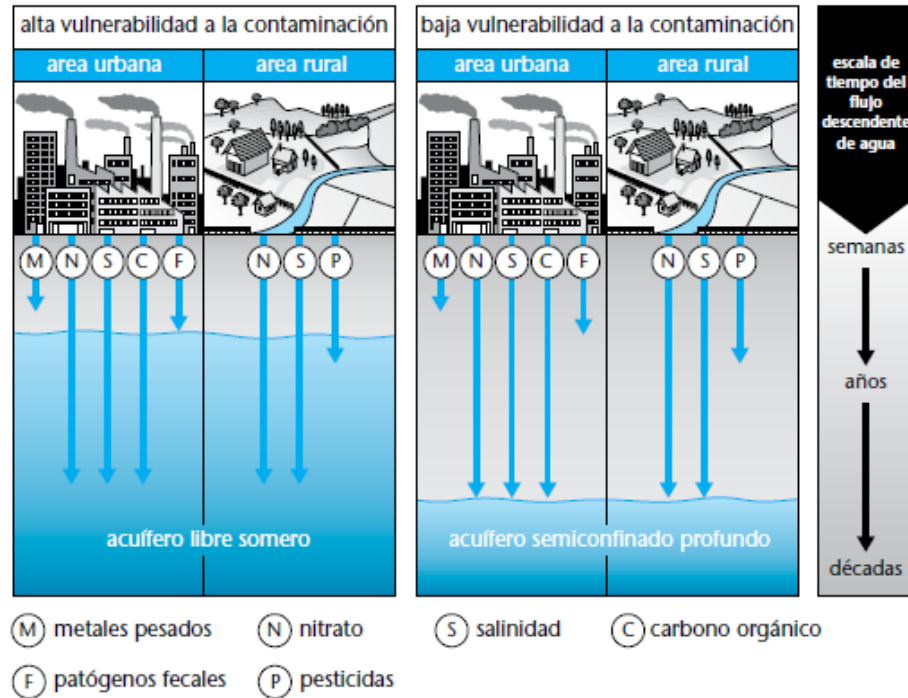


Figura 1. Vulnerabilidad asociada a la contaminación de acuífero (Foster et al. 2002)

2.2.2. Actividades Comunes de Contaminación por Hidrocarburos

En la tabla 1 se presentan las actividades que potencialmente generan una carga contaminante por hidrocarburos al suelo y zona saturada. Los tanques de combustible enterrados según el CEPIS. 1987, que presentan fugas generan una contaminación de tipo puntual que con el tiempo se convierte en difusa; los principales tipos de contaminantes liberados son compuestos orgánicos sintéticos y metales pesados.

Tabla 1. Actividades generadoras de una carga contaminante

ACTIVIDAD	CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA CONTAMINANTE			
	Categoría de distribución	Princ. Tipos de contaminante	Sobrecarga Hid. Relativa	Descarga bajo nivel del suelo
Tanques de combustible	u/r P-D	o		*
Fugas de tanques y tuberías	u P-D	o m		*
Derramamiento de productos químicos	u P-D	o m	+	

Fuente: CEPIS. 1987

u/r	urbano/rural
P/L/D	puntual/línea/difusa
o	compuestos microorganicos sintéticos y/o carga orgánica
m	metales pesados

Los tanques y tuberías enterradas están sometidos a la corrosión y a fallas estructurales que crean escapes que introducen una variedad de contaminantes en el agua subterránea. Así mismo, Núñez. 2002, plantea que los derrames y las descargas en tierra de productos químicos, generan un peligro de contaminación dado que los compuestos descargados son arrastrados por la precipitación y transportados al interior del suelo donde alcanzan la zona saturada.

La Agencia de Protección del Medio Ambiente de la Comunidad Europea (EU), plantea que un litro de gasolina es suficiente para producir un millón de litros de agua subterránea inutilizable basándose en estándares de agua potable.

2.3. Mecanismos de Transporte de Solutos

Los procesos de transporte de principal preocupación en las aguas subterráneas se definen a continuación, según Bedient et al. 1994:

- Advección: es el movimiento de los contaminantes a lo largo de la velocidad de agua subterránea en la filtración en medios porosos;
- Difusión: es un proceso de masa molecular de transporte de solutos en la que se mueven desde el área de mayor concentración a áreas de menor concentración;
- Dispersión: es un proceso de mezcla por las heterogeneidades en el medio que crean variaciones en las velocidades de flujo y trayectorias del flujo, debido a la fricción entre los poros y/o longitudes de trayectoria (figura 2);
- Adsorción: es la compartimentación de los contaminantes orgánicos de la fase soluble en la matriz del suelo, los resultados son los frentes con retraso;
- Biodegradación: representa la transformación de determinados compuestos orgánicos en CO₂ y agua simple por presencia de microorganismo en el subsuelo.

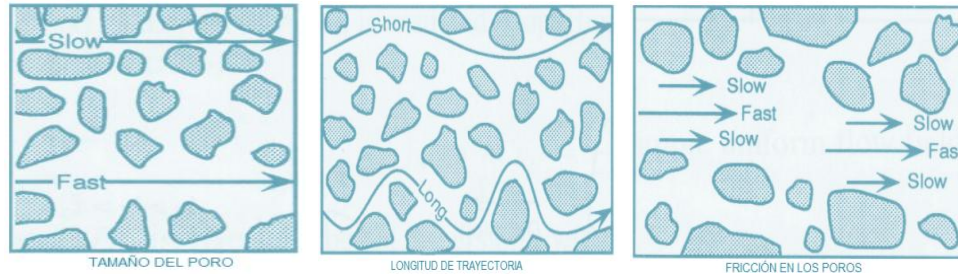


Figura 2. Factores de dispersión longitudinal (Bedient et al. 1994)

A su vez, el movimiento de solutos a través del suelo está dado por dos tipos de procesos conceptualmente diferentes; Wierenga. 1994, los describe en tres componentes: Transporte de masas o transporte convectivo, difusión y dispersión conocido también como el modelo advección – dispersión y/o convección – dispersión, adicional a ello hay un proceso el cual está dado por las reacciones suelo – soluto denominado factor de retardo R. Los mecanismos de transporte de solutos, se rigen bajo las ecuaciones de continuidad y conservación de masa o transporte de masa.

2.3.1. Ecuación de Transporte de Masa

Cuando se trata de describir matemáticamente el transporte de solutos, se parte del desarrollo de las ecuaciones diferenciales las cuales consideran la cantidad de masa que entra en un elemento volumétrico del dominio de flujo y el que sale del mismo: Flujo masivo. (IHOBE S.A. 1998)

La masa (contaminante) presente en el agua no solo es transformada, sino que además reacciona con el agua y con el medio. IHOBE S.A. 1998, menciona que cuando una carga contaminante se introduce en el flujo acuoso, su evolución en el mismo estará determinada por:

- El movimiento del contaminante en el agua a velocidad constante: *transporte advectivo*.
- El movimiento del contaminante en el agua diferente del correspondiente a la velocidad media: *transporte dispersivo*.
- El incremento o disminución de la masa del contaminante debido a la reacción del mismo, por sus características propias o por interacción en su entorno: *reacción*.
- Posibles entradas o salidas de caudal y masa (fuente y sumideros) desde el exterior, por aportes (fuente, “source”) o pérdidas (sumidero, “sink”). Si se produce una incorporación de aportes de agua sin contaminante en una línea de flujo, tendrá lugar una disminución de la concentración del soluto en el agua: *dilución*.

Para cuantificar cada uno de los términos que constituyen el balance se tiene la expresión (1):

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial(Vx C)}{\partial X} + \frac{\partial}{\partial X} \left(D \frac{\partial C}{\partial X} \right) - R(C) + \frac{\Sigma F+S}{V} \quad (1)$$

Donde;

$\frac{\partial C}{\partial t}$: *variación de la concentración con el tiempo.*

Vx : *velocidad de flujo en los poros.*

C : *concentración.*

D : *coeficiente de dispersión.*

$R(C)$: *termino de reacción.*

F y S : *efectos fuente y sumidero, en la relación con el volumen de referencia V .*

2.3.2. Transporte Advectivo

Fetter. 1997, menciona que el movimiento advectivo del contaminante es descrito matemáticamente por la dirección y la magnitud de la velocidad del agua (ley de Darcy), dado que a pesar de la ocurrencia de dispersión, el centro de masa del elemento químico que es transportado por advección, se mueve a la velocidad promedio del fluido, siempre y cuando no se produzca adsorción y retardo. La advección es el principal mecanismo de transporte de solutos en el medio poroso.

Así mismo, Fetter. 1997 estipula que la velocidad de transporte es mayor que la velocidad de Darcy, porque el contaminante tiene un área neta de flujo menor. La expresión (2) del flujo de contaminante (Fx) en una dirección está dada por la velocidad de transporte (v_x), porosidad efectiva (n_e) y la concentración del soluto disuelto (C), así:

$$Fx = v_x * n_e * C \quad (2)$$

Luego, la expresión (3) de transporte advectivo en una dimensión está dada por:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -v_x \left(\frac{\partial C}{\partial X} \right) \quad (3)$$

2.3.3. Dispersión Hidrodinámica

La Dispersión hidrodinámica está compuesta por la difusión molecular y dispersión mecánica, según Fetter. 1997, se modela mediante la Ley de Fick,

usando el coeficiente de dispersión hidrodinámico paralelo (4) o perpendicular (5) a la dirección de flujo.

$$D_L = \alpha_L v_i + D^* \quad (4)$$

$$D_T = \alpha_T v_i + D^* \quad (5)$$

D_L: coeficiente hidrodinámico paralelo a la dirección del flujo

D_T: coeficiente de dispersión hidrodinámico perpendicular a la dirección de flujo

α_L: dispersividad dinámica longitudinal

α_T: dispersividad dinámica transversal

*D**: coeficiente de difusión efectivo

La dispersividad permite conocer la distribución de los solutos en el subsuelo; los diferentes tipos, tamaños y orientación de los poros dan lugar a velocidades que difieren de unos puntos a otros. Además, también hay variaciones de velocidad en un mismo poro, en donde la velocidad es más pequeña cerca de la pared del poro, este mecanismo es llamado **dispersión mecánica**. (Fetter. 1997)

Por otro lado, la ley universal de la conservación de la energía, explica el hecho que un soluto se mueva de un lugar de mayor concentración a otro de menor concentración; esto es conocido como el proceso de **difusión molecular**, y ocurre según Fetter. 1997, siempre que exista un gradiente de concentración, aunque no exista movimiento del fluido.

2.4. Movimiento del Hidrocarburo en el Subsuelo

Los productos provenientes de hidrocarburos que se producen, almacenan y distribuyen típicos son la gasolina, destilados medios (diesel, queroseno), el fuel-oil pesado y aceites lubricantes; estos productos varían en su composición química y propiedades físicas. Las características de este tipo de productos, en relación con las condiciones hidrogeológicas del lugar y forma en que se libera el producto, son los factores principales que influyen en el movimiento y la distribución del hidrocarburo en el subsuelo. (API.2004). El movimiento del hidrocarburo en el subsuelo se da a diferentes escalas: la escala de los poros y la escala pluma.

Según API. 2004, cuando el aceite se suelta accidentalmente en la superficie o de una tubería subterránea o tanque de almacenamiento, el petróleo migra verticalmente hacia abajo por la fuerza de la gravedad. Cuando el volumen de la liberación es suficiente, el hidrocarburo migra a través de la zona no saturada de la franja capilar y la capa freática (figura 3). El contenido de agua aumenta en la franja capilar y los efectos de la flotabilidad impiden el movimiento vertical del hidrocarburo cerca del nivel freático. Como resultado,

el aceite menos denso que comienzan a migrar lateralmente a lo largo de la capa freática. En general, la migración del hidrocarburo lateral tiende preferencialmente a fluir con el gradiente de la capa freática.

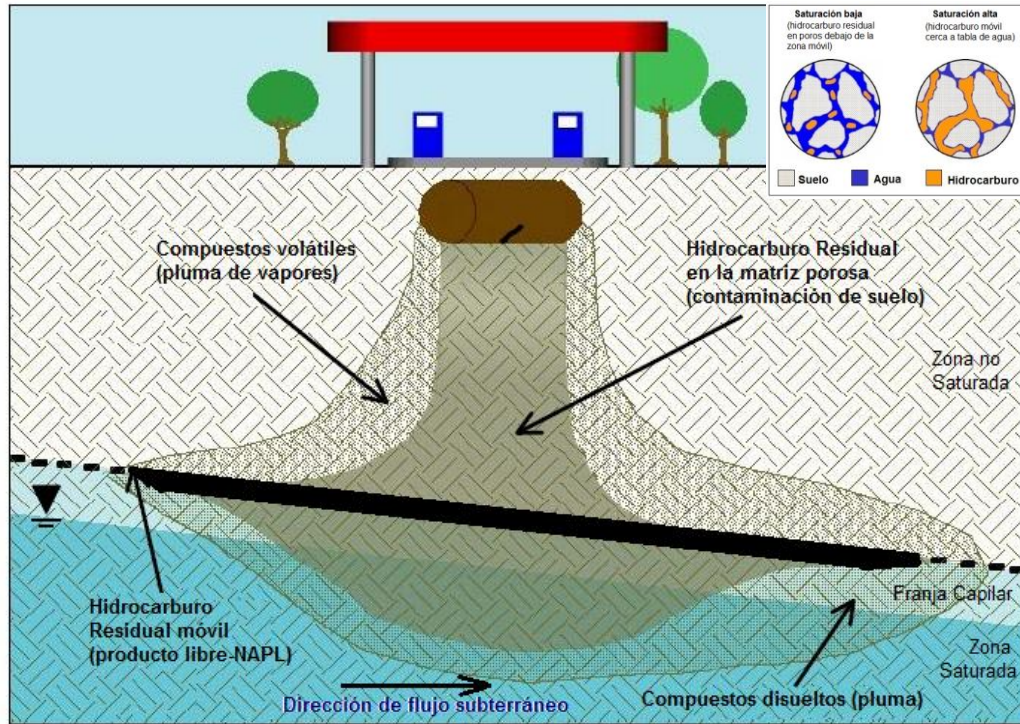


Figura 3. Representación estados del hidrocarburo en el subsuelo (Acoplada de API. 2004)

Debido a la presencia de agua en el suelo, las saturaciones de hidrocarburo nunca son 100%, pero puede variar desde el 5% a más del 70% (figura 3). El porcentaje de saturación y la movilidad de hidrocarburo en la red de poros cambia con el tiempo como el petróleo. Inicialmente el hidrocarburo desplaza el agua de los poros del suelo y posteriormente, es desplazado cuando sube el nivel freático.

Aunque hay una variedad de fuerzas resistentes, como la presión capilar de entrada que deben tenerse en cuenta, existe la combinación de la conductividad y un gradiente de porosidad que va a determinar la tasa de movilidad del hidrocarburo en el subsuelo.

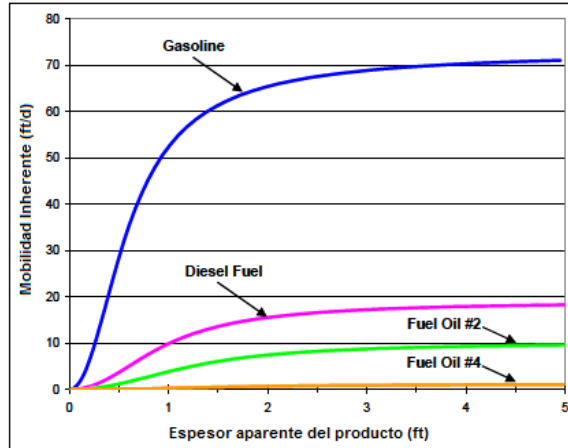


Figura 4. Movilidad de hidrocarburos en un suelo arenoso (API. 2004)

Como se muestra en la figura 4, si aumenta el espesor aparente del hidrocarburo, aumenta la movilidad de éste soluto por los poros del suelo de textura arenosa, con el tiempo la movilidad del hidrocarburo se vuelve asintótica a un valor máximo; lo mismo ocurre con otros tipos de suelo y condición del producto, pero de forma más lenta.

Según estudios de la API. 2004, en perfiles de suelo de los acuíferos afectados por hidrocarburo, existe una disminución en la saturación del hidrocarburo con respecto a la profundidad. En síntesis, la fase de aceite que se desplaza con el agua presiona sobre los espacios porosos de las capas superiores del perfil de suelo, y con la profundidad la cantidad de petróleo que empuja los poros es cada vez menos, hasta que a cierta profundidad no hay agua desplazada, y así los poros permanecen completamente llenos de agua o a 100% de saturación.

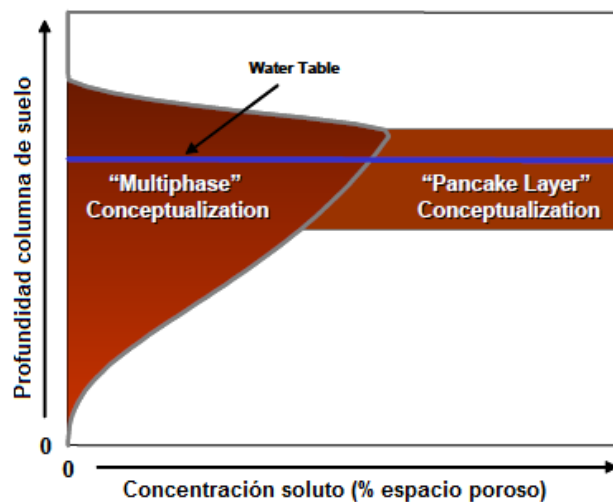


Figura 5. Distribución vertical del hidrocarburo en el suelo (API. 2004)

En la figura 5 se muestra la conceptualización multifase que según API. 2004, ofrece una buena representación de la distribución vertical del soluto en los suelos de grano grueso y fino.

2.4.1. Caso de estudio: Efectos de la migración según tipo de hidrocarburo

El Instituto Americano del Petróleo (API) en el año 2004, hizo el siguiente estudio: la situación se basó en un derrame hipotético de un millón de galones de producto (gasolina y diesel), durante un período de cinco años, en un acuífero arenoso con una pendiente constante hacia el noroeste. Después de cinco años, la liberación se dio por terminado y la consiguiente migración de la columna de hidrocarburo fue localizada. La única diferencia en el análisis fue el tipo de producto. El tipo de producto en la primera simulación se definió como gasolina con una densidad de 0.73 g/cm^3 y una viscosidad dinámica de 0.0062 g/cm^2 (0.62 cP). En la segunda simulación, diesel con una densidad de 0.87 g/cm^3 y viscosidad dinámica de 0.053 g/cm^2 (5.3 cP).

Resultados de las simulaciones demuestran claramente que según el tipo de producto, puede haber un impacto significativo en el movimiento de la pluma de contaminación. De acuerdo a la densidad y viscosidad del producto, es la forma, distribución y espesor aparente de la pluma. La pluma de la gasolina es más amplia, más larga y de menor espesor el producto evidente, que la pluma de diesel.

2.5. Componentes del Petróleo Crudo

El petróleo crudo es una mezcla compleja de hidrocarburos que se caracterizan por el número de átomos de carbono presentes en la estructura molecular, cuyo tamaño varía desde 1 a 50 o más átomos de carbono tetravalentes y átomos de hidrógeno monovalentes. El mayor o menor porcentaje de hidrocarburos ligeros o pesados, así como la concentración de las diversas estructuras moleculares, hace que existan grandes diferencias entre los crudos producidos a lo largo de la geografía mundial. (OSMAN. 2004)

La composición química del petróleo es muy compleja, ya que existen hidrocarburos **parafínicos**, **nafténicos**, **aromáticos** y sus combinaciones, a los que hay que añadir compuestos sulfurados, nitrogenados, oxigenados y órgano-metálicos. Además, contribuyen a estas las distintas concentraciones de elementos tales como azufre, nitrógeno, oxígeno y metales, entre los que hay que mencionar sodio, vanadio y níquel. (OSMAN. 2004)

Un primer análisis elemental del petróleo crudo podría presentar unos valores similares a los que se indican en la tabla 2.

Tabla 2. Composición elemental del petróleo

ELEMENTOS	%
Carbono	83 – 87
Hidrógeno	11 – 15
Azufre	0.1 - 6.0
Oxígeno	0.0 - 0.5
Nitrógeno	0.0 – 0.7
Metales	0.0 – 0.1

Fuente: API. 2004

SEMARNAP. 1996, plantea que los efectos tóxicos de los hidrocarburos en el ambiente dependerán de la cantidad y composición del petróleo, la frecuencia y tiempo de exposición, el estado físico del derrame, las características del sitio donde sucedió el derrame, variables ambientales como temperatura, humedad y oxígeno, el uso de dispersantes químicos, y la sensibilidad de la biota específica del ecosistema impactado.

En la tabla 3, se describe de forma resumida los principales compuestos derivados del petróleo, procedencia, capacidad de dispersión y efectos tóxicos.

Tabla 3. Clasificación de los principales tipos de contaminación

TIPO DE COMPUUESTO	PROCEDENCIA HABITUAL	CAPACIDAD DE DISPERSIÓN	EFECTOS TÓXICOS
Diesel y gasolina	Estaciones de servicio, bases militares, refinerías	Baja a moderada	Compuestos cancerígenos, incluyendo una gran variedad de compuestos de petróleo
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)	Fabricación de gas de hulla, emisiones de procesos de combustión	Baja a moderada	Numeroso HAP son conocidos, o se sospecha que son cancerígenos
PCBs	Transformadores eléctricos	Baja	Cáncer

Fuente: OSMAN. 2004

2.5.1. Gasolina

La gasolina es una mezcla de hidrocarburos de bajo peso molecular entre C4 a C10 (éteres: MTBE) y aditivos químicos (alcoholes: etanol). Como resultado de ello, la gasolina es más móvil, inestable y por lo general más soluble que otros derivados del petróleo. (Celis. 2009). Los hidrocarburos de gasolina se componen de 10 a 40 por ciento del petróleo crudo y los rendimientos pueden aumentar a más del 70 por ciento, a través de la polimerización. (API. 2004)

Según API. 2004, las moléculas de hidrocarburo predominante en la gasolina son los n-alcanos (butano, pentano) y los isoalcanos (isooctano, isoparafinas), seguidas por cicloalcanos (ciclobutano, ciclopentano, ciclohexano, cicloheptano, ciclooctano, ciclonoano y ciclodecano) y compuestos aromáticos (benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos, conocidos como BTEX).

La densidad y la viscosidad dinámica típica de la gasolina son 0.73 g/cm^3 y 0.0062 g/cm^2 , respectivamente. (API. 2004). Así mismo, la alta concentración de compuestos aromáticos en la gasolina fresca como BTEX, hace que la gasolina sea un producto fácilmente volátil y soluble; cuando la gasolina se introduce en el subsuelo se produce una disolución de penacho de vapor, que con el tiempo filtra compuestos altamente peligrosos.

2.5.2. Combustibles Destilados

Los combustibles destilados consisten en diesel, queroseno, combustible para aviones y aceites ligeros. Estos productos son compuestos de hidrocarburos en el rango de C10 a C20 y tienen una mayor concentración de cicloalcanos y hidrocarburos aromáticos policíclicos. (API. 2004).

Las concentraciones de BTEX son generalmente bajas, de 1 a 3 por ciento, por ello son productos más densos, de menor volatilidad y menos solubles; por ende menos móviles que la gasolina. Las viscosidades de estos hidrocarburos son entre 4 a 5 veces mayores que la gasolina. (API. 2004).

Según API. 2004, el diesel normal y el queroseno tienen densidades de 0.83 g/cm^3 y 0.84 g/cm^3 , respectivamente. Del mismo modo, las viscosidades de estos productos son del orden de 4 a 5 veces mayor que la gasolina.

2.6. Estado de arte: Contaminación por Hidrocarburos

2.6.1. Ámbito Internacional

Subsoil TPH contamination in two oil pipeline pumping stations and one pipeline right-of-way in north Mexico (Iturbe et al. 2010)

Esta investigación trata de la caracterización realizada en las zonas de alrededor de dos estaciones de bombeo y una tubería de paso en el norte de México. En particular se evaluó la contaminación así: (a) zona sur de la zanja de separación en la estación de Avalos, (b) zona entre el foso de separación en la estación de Avalos, (c) sobre el km 194 - 420 de la estación de Moctuzma, y (d) sobre el km 286 - 900 en la estación de Candelaria. Los resultados de esta investigación arrojaron que sólo cuatro muestras tenían valores altos de Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH), de acuerdo al límite permitido en México para 2004: AVA 1B, con 21.191 mg/kg; AVA 1C, con 9.348 mg/kg; AVA 2B, con 13.970 mg/kg; y MOC 2A, con 4.108 mg/kg. Así mismo, se detectaron Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP), en valores superiores a los permitidos por la legislación Americana, en el rango de 0,0004 y 13,05 mg/kg. Los autores sugieren poner en práctica el lavado del suelo, como una técnica de remediación de los aproximadamente 600 m³ de agua subterránea que debe ser tratada.

Detection of groundwater contamination with hydrocarbons (Russia) (Fomenko et al. 2008)

La tarea fue detectar la contaminación de aguas subterráneas con hidrocarburos (gasolina, queroseno, combustible diesel) sin necesidad de taladrar pozos especiales, por medio de la geotomografía NMR. Las mediciones experimentales se llevaron a cabo en una estación de gas ubicada cerca del pueblo de Abakan (Khakasia, RF), en donde se detectó una posible fuga de gasolina; con un pozo de observación se controló la contaminación de las aguas subterráneas. Para detectar la fuente de contaminación, se emplearon señales de relajación que actúan diferente con el tiempo, las señales cortas llegaron de los protones de hidrógeno que componen el agua, y las señales de mucho más tiempo, provenían de protones de hidrógeno de la gasolina.

Remediation of groundwater contaminated with DNAPLs by biodegradable oil emulsion (República de Korea) (Chul Lee et al. 2007)

Se investigó la aplicación de una emulsión basada en aceites vegetales biodegradables, como tecnología alternativa para el tratamiento del subsuelo contaminado con DNAPLs (Líquido denso en fase no acuoso), en especial el TCE (tricloroetileno) y PCE (percloroetileno). Para la preparación de la emulsión se homogenizó maíz y emulsiones de aceite de oliva; las gotas dieron una distribución de tamaño similar (1-10 µm), se inyectó en pozos con presencia de petróleo y casi el 90% se mantuvo en un estado de dispersión. En los experimentos de lotes, el 2% (v/v) de la emulsión de aceite puede absorber hasta 11.000 ppm de TCE o PCE de 18.000 ppm, sin crear una fase libre. Los resultados de los estudios de columna unidimensional,

indicaron que contaminantes con alta solubilidad en el agua, podrían ser eliminados eficazmente por el lavado de emulsiones de aceite vegetal. Las eficiencias de remoción superan el 98% para el TCE y PCE. Los resultados de este estudio muestran que el lavado con emulsión de aceite biodegradable, puede ser utilizado para la remediación de aguas subterráneas contaminadas por DNAPLs.

Tratamientos biológicos de suelos contaminados: contaminación por hidrocarburos. Aplicaciones de hongos en tratamientos de biorrecuperación (España) (Martín et al. 2004)

La biodescontaminación es un proceso espontáneo o dirigido, mediante procedimientos biológicos, fundamentalmente microbiológicos que degradan o transforman los contaminantes hasta formas menos tóxicas o no tóxicas y se mitiga la contaminación ambiental. Los hongos basidiomicetos ligninolíticos producen un conjunto de enzimas extracelulares para metabolizar la lignina que les confieren. Así mismo, tienen la capacidad de degradar un amplio abanico de contaminantes. Con este tratamiento se pretende aumentar la velocidad del proceso de degradación natural, que tiene lugar en el suelo embebido de agua que se encuentra por debajo de la capa freática. En general, el dispositivo para tratar aguas subterráneas consiste en un pozo para extraer el agua contaminada, un sistema superficial de tratamiento en el que se añade al agua, oxígeno y nutrientes y otros pozos adicionales de reinyección del agua tratada para que los microorganismos lleven a cabo la actividad degradadora de los contaminantes.

Una de las principales limitaciones de este tipo de operaciones, es que las diferencias en la estratificación y densidad del subsuelo pueden ocasionar que el agua acondicionada siga al reinyectarse vías de flujo preferentes. En este caso, el agua pretratada no alcanzaría algunas zonas contaminadas.

A controlled field experiment on groundwater contamination by a multicomponent DNAPL: creation of the emplaced-source and overview of dissolved plume development (Canada) (Rivett et al. 2001)

Se llevo a cabo un experimento de campo en la sede de investigación CFB Borden, con el propósito de investigar el desarrollo de los disolventes clorados de una pluma proveniente de un líquido denso en fase no acuosa (DNAPL). La metodología "emplaced-source" consistió en un trazador (ES) que de forma controlada, se colocó en un bloque de arena que contenía disolventes clorados por debajo del nivel del agua. La disolución gradual de esta fuente residual DNAPL, bajo condiciones naturales del acuífero formó plumas disolventes de triclorometano, tricloroetano y percloroetano. El desarrollo de la pluma se controló con éxito, a través de 173 muestras a varias profundidades; la prueba tuvo un periodo de 475 días antes de iniciar la investigación con trazadores. Con el experimento, se observó que la pluma

se estrecha por la debilidad de los procesos de dispersión transversal y por el prolongado tiempo de advección y dispersión longitudinal, así como la atenuación por sorción o biodegradación fue insignificante; y se concluyó que la pluma solvente tiende a ser altamente móvil y persistente, por lo menos en los acuíferos que son aeróbicos (arena) y tienen un bajo potencial de absorción (material orgánico).

2.6.2. Ámbito Nacional

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, 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. A su vez, está soportada 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.

El transporte y almacenamiento de crudo y sus derivados en el país, se ha visto afectado considerablemente durante los últimos 18 años por una permanente actividad terrorista contra los oleoductos e instalaciones petroleras. Las áreas perjudicadas por los derrames de petróleo se ubican principalmente en la zona alta de la llanura Araucana, en la región de la cuenca del río Catatumbo, en la llanura del valle medio y medio bajo del río Magdalena; departamentos de Santander, Cesar y Sucre, y en los departamentos del Putumayo y Nariño. (Restrepo. 2002)

Según Restrepo. 2002, en el año 2001 los grupos al margen de la ley realizaron 263 ataques, para el año 2002 la cifra llegó a 74 incursiones y para el primer semestre del 2003 la cantidad llegó a 60. Aunque los ataques disminuyeron, los impactos ambientales permanecen en los diferentes ecosistemas afectados y se ven representados en las consecuencias ambientales.

3. METODOLOGÍA

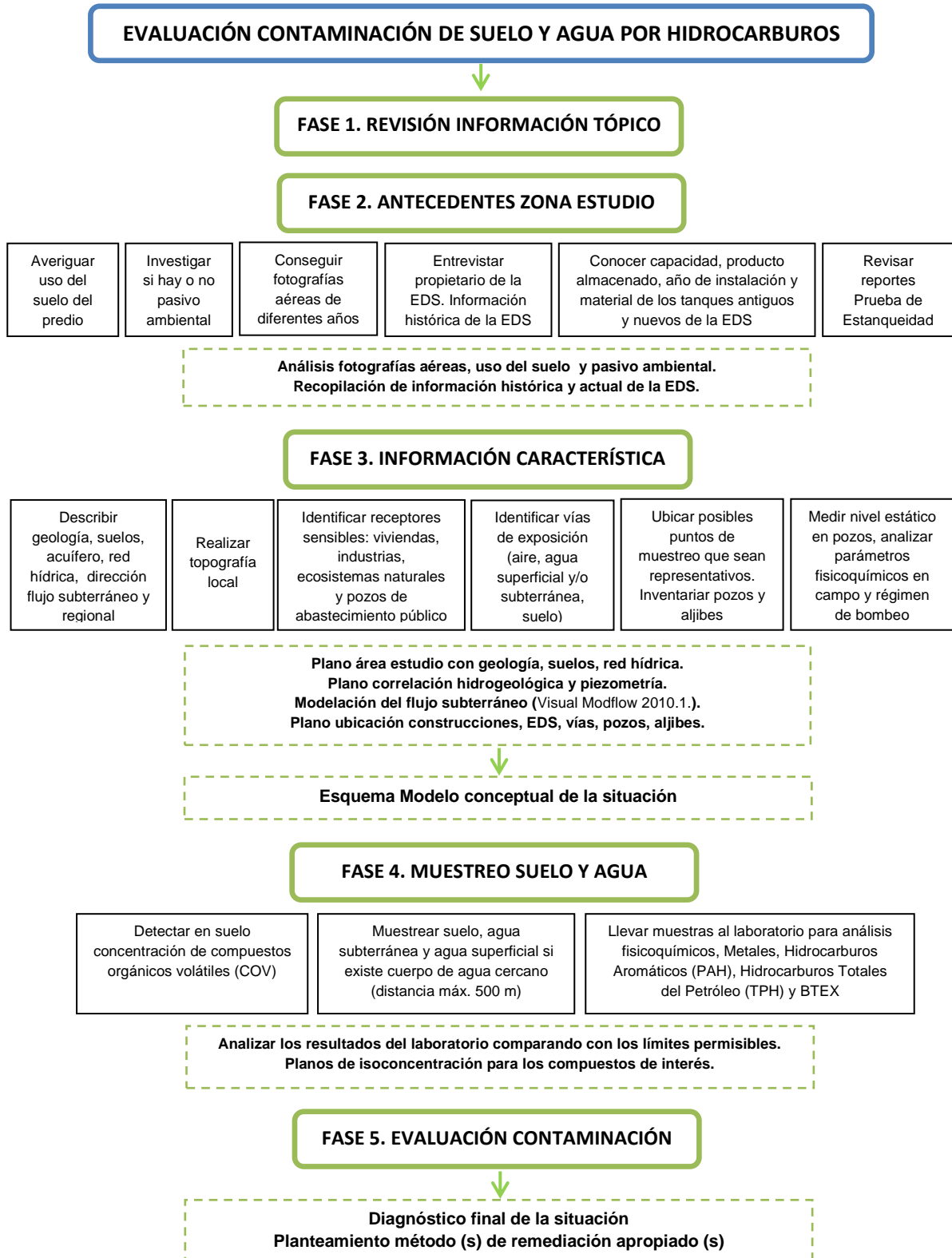
3.1. Localización del Proyecto

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 (figura 6). Geográficamente se ubica a 3° 24'43" de latitud norte y 76° 2'01" de latitud oeste, municipio de topografía plana del valle geográfico, latitud entre los 945 m.s.n.m. (Juanchito) y 995 m.s.n.m. (corregimiento de Cabuyal). Sus tierras están en el piso térmico cálido con temperaturas que fluctúan entre 35°C y 37°C como máximo y de 11°C a 19°C como mínimo. (Portal página web oficial Alcaldía de Candelaria)



Figura 6. Ubicación geográfica zona de estudio

3.2. Esquema Metodología implementada en el proyecto



3.3. Fases de la Metodología

3.3.1. Fase 1. Revisión información tópic

Se realizaron consultas de documentos sobre aguas subterráneas, riesgo de contaminación, hidrocarburos, dinámica de los solutos en subsuelo, evaluación de la contaminación, normatividad de estaciones de servicio y métodos de remediación. Las principales fuentes de búsqueda fueron bases de datos especializadas, Science Direct, Instituto Americano del Petróleo (API), Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), Organización Mundial de la Salud (OMS), Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), libros Hidrogeología subterránea.

Para elaborar la metodología de evaluación de la contaminación por hidrocarburos se utilizó como guía el *Manual Técnico para la Ejecución de Análisis de Riesgos para Sitios de Distribución de Derivados de Hidrocarburos* del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial MAVDT. 2007.

3.3.2. Fase 2. Antecedentes zona de estudio

En primer lugar, se delimitó el área de estudio teniendo en cuenta que el centro de la investigación era la estación de servicio Esso Cavasa, se tomó un radio de influencia de 2 km en los que se abarcaba un número considerado de pozos profundos y aljibes vulnerables a la contaminación, fuentes superficiales, viviendas, industrias y predios agrícolas.

Debido a que se desconocía la procedencia del hidrocarburo y su transporte hasta las aguas subterráneas, se investigó sobre el pasivo ambiental de la zona, lo que existía hace algunos años y existe en la actualidad, y el uso del suelo que ha tenido el sitio de estudio, para ello se entrevistó al propietario de la estación de servicio el señor José Ignacio Solano, se consulto información histórica de la estación como ubicación de los tanques antes y después de ser remodelada, año de instalación, capacidad, producto almacenado en los tanques, material de los surtidores, tuberías y tanques. Así mismo, se observaron fotografías del proceso de remodelación de la estación de servicio Esso Cavasa.

Otra información consultada durante la visita a la estación de servicio fueron los últimos reportes de las pruebas de estanqueidad y hermeticidad de los tanques enterrados, se pregunto si esta misma prueba se había realizado a los surtidores y tuberías, y la respuesta fue negativa.

Una vez realizada la entrevista con el propietario, se hizo un recorrido por las instalaciones de la estación de servicio Esso Cavasa, y se revisó el estado de pozos de monitoreo, boquillas de los tanques, surtidores, y tapas de llenado de los tanques (figura 7). Así mismo, con el ánimo de tener una panorámica general de los predios que rodean la estación de servicio o posibles receptores, se hizo igualmente un recorrido por la zona de cavasa en un radio no mayor a los 750 m.



Figura 7. Recorrido instalaciones estación de servicio Esso Cavasa

Por otro parte, se consultó el expediente abierto por la entidad ambiental del Valle del Cauca CVC a la estación de servicio Esso Cavasa, para conocer los antecedentes que ha tenido la estación, se revisó el Informe Técnico presentado por la empresa Hidrogeoambiental S.A. en el 2008 sobre el trabajo "Perforaciones exploratorias e instalación de pozos de monitoreo para la caracterización ambiental complementaria del suelo y aguas subterráneas hacia el sector sur-este de la estación de servicio Esso Cavasa en Cali Valle del Cauca" contratado por el propietario de la estación de servicio Esso Cavasa.

Debido a la importancia del uso del suelo de la zona de estudio, se buscaron fotografías aéreas de diferentes vuelos y años tomadas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC y la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC, se escanearon y analizaron.

3.3.3. Fase 3. Información característica

Geología

La información geológica básica fue obtenida de la plancha 261 "Mapa Geológico generalizado del departamento del Valle del Cauca" a escala 1:300.000 realizada por el Ingeominas. 1992 (anexo 1), la plancha 5-13 del "Atlas Geológico de Colombia" a escala 1:500.000 (anexo 2), la cual contiene información más detallada de la zona de estudio. Otra fuente de información de la geología base fue suministrada por la Corporación Autónoma Regional

del Valle del Cauca CVC en formato digital; por último, se seleccionó la geología específica del área que comprende el estudio.

Suelos

Para determinar el tipo de suelos se consultó el libro "levantamiento de suelos y zonificación de tierras del departamento del Valle del Cauca" tomo II, de autoría del Instituto geográfico Agustín Codazzi IGAC. De igual manera, se revisó el Mapa de zonificación textural del suelo de la zona plana del Valle del Cauca a escala 1:250.000 elaborado por Ingeominas (anexo 5). Una vez ubicado el corregimiento El Carmelo, municipio de Candelaria en estas fuentes, se tomaron los datos texturales y su distribución para el área de estudio.

Hidrogeología

Para conocer la hidrogeología del Valle del Cauca y municipio de Candelaria en particular, se consultó el documento "Plan de Manejo para la Protección de las Aguas Subterráneas en el departamento del Valle del Cauca", 2001 elaborado por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. De igual manera, se contó con el aporte de profesionales de CVC especialistas en el tema de aguas subterráneas en el Valle del Cauca.

Para la correlación hidrogeológica se utilizó información de 13 pozos profundos, la información consistió en consultar las columnas litológicas consignadas en las fichas técnicas (anexo 3) de cada pozo levantadas por la empresa perforadora, así como las columnas levantadas por funcionarios de la CVC, y éstas a su vez fueron comparadas con los registros eléctricos (anexo 4) de los pozos, para de esta manera identificar claramente la ubicación de las capas permeables (arena, grava).

Dado que para este estudio lo que se buscaba era analizar el acuífero libre o freático más susceptible a contaminación, se tomaron los primeros 50 m de profundidad de cada columna litológica, y se realizaron dos cortes de correlación hidrogeológica: corte Este-Oeste y corte Sur-Norte, tomando una distancia de 1 km con respecto al sector de Cavasa.

Parámetros Hidráulicos

- Conductividad hidráulica (k)

La conductividad hidráulica expresa que tan fácil se transporta un fluido a través de una matriz porosa; por lo tanto, depende de las propiedades del medio poroso y del fluido. Para determinar la conductividad hidráulica de la zona de estudio se tomaron los registros de las pruebas de bombeo de 10 pozos profundos, realizados por la CVC en campo de un área que abarcaba desde el río Cauca hasta el río Fraile del municipio de Candelaria. En los

ensayos de bombeo se determina en general el valor de la transmisividad, luego sabiendo por *Darcy* que la transmisividad es igual al producto de la conductividad y el espesor (ecuación 6), se despeja la conductividad.

$$T = k * b \quad (6)$$

k: conductividad hidráulica (m/d)

T: transmisividad (m²/d)

b: espesor capas acuíferas (m)

Fue necesario contar con más datos para la modelación del flujo subterráneo de la zona, se revisó las fichas técnicas de 6 pozos profundos y se tomó de allí el dato de capacidad específica (Q/s), determinado previamente por el ensayo de bombeo de pozo único, donde interviene el caudal de bombeo (Q) y el abatimiento (s) del pozo. Una vez se tiene la capacidad específica en LPS/m se multiplica por un factor de 100 y de esta manera se obtiene el valor promedio de transmisividad del pozo (ecuación 7).

$$T = Q/s * 100 \quad (7)$$

Q/s: capacidad específica (LPS/m)

Se contó con 16 datos de conductividad hidráulica (anexo 9) para la modelación del flujo subterráneo utilizando el programa Visual Modflow 2010.1.

- Transmisividad (T)

Está definida como la capacidad del acuífero de transmitir agua horizontalmente, a través de su espesor saturado bajo gradiente hidráulico unitario, fue determinada con las pruebas de bombeo y ensayos de pozo único de 16 pozos profundos, tal como se mencionó anteriormente.

- Espesor (b)

Para determinar el espesor de las capas acuíferas, se tomó la columna litológica de cada pozo, se observó la ubicación de los filtros y se sumaron los estratos de arena y/o grava captados por cada filtro abarcando la profundidad total del pozo.

- Porosidad (n)

La porosidad total de un material viene expresada por la relación entre el volumen de su parte vacía (agua + aire) y su volumen total. Por otra parte, la porosidad efectiva está relacionada con el volumen de agua almacenada en un periodo determinado y el volumen total; luego, la porosidad efectiva esta en función de la disposición de los granos.

En general, la porosidad está influenciada por el tipo de material natural presente en la zona de estudio, por tanto para determinar la porosidad total y eficaz, se tomaron en cuenta las características del acuífero y se consultó en el libro de Custodio & Llamas. 1996, en la tabla 4 se señalan en recuadro los valores seleccionados.

Tabla 4. Valores porosidades totales y eficaces de diversos materiales naturales

MATERIAL		POROSIDAD TOTAL % m					POROSIDAD EFICAZ % me		
Tipo	Descripción	Media	Normal		Extraordin		Media	Máx	Mín
			Máx	Mín	Máx	Mín			
Rocas masivas	Granito	0.3	4	0.2	9	0.05	<0.2	0.5	0.0
	Caliza masiva	8	15	0.5	20		<0.5	1	0.0
	Dolomia	5	10	2			<0.5	1	0.0
Rocas metamórficas		0.5	5	0.2			<0.5	2	0.0
Rocas volcánicas	Piroclastos y tobas	30	50	10	60	5	<5	20	0.0
	Escorias	25	80	10			20	50	1
	Pumitas	85	90	50			<5	20	0.0
	Basaltos densos, fonolias	2	5	0.1			<1	2	0.1
	Basaltos vacuolares	12	30	5			5	10	1
Rocas sedimentarias consolidadas	Pizarras sedimentarias	5	15	2	30	0.5	<2	5	0.0
	Areniscas	15	25	3	30	0.5	10	20	0.0
	Creta blanda	20	50	10			1	5	0.2
	Caliza detrítica	10	30	1.5			3	20	0.5
Rocas sedimentarias sueltas	Aluviones	25	40	20	45	15	15	35	5
	Dunas	35	40	30			20	30	10
	Gravas	30	40	25	40	20	25	35	15
	Loess	45	55	40			<5	10	0.1
	Arenas	35	45	20			25	35	10
	Depósitos glaciares	25	35	15			15	30	5
	Limos	40	50	35			10	20	2
Arcillas sin compactar	45	60	40	85	30	2	10	0.0	
Suelos superiores	50	60	30			10	20	1	

Fuente: Custodio & Llamas. 1996.

- Coeficiente de almacenamiento (S)

Está definido como el volumen de agua que el acuífero libera o absorbe por unidad de superficie por un cambio unitario de presión, y es el resultado de la compresión del acuífero y de la expansión del agua confinada cuando la presión es reducida durante el bombeo.

Para determinar el coeficiente de almacenamiento se tuvo presente las características litológicas de los materiales aflorantes. El valor para efectos prácticos y según datos obtenidos en ensayos de bombeo realizados por el Instituto Geológico y Minero de España, se muestran en la tabla 5. Para la zona de estudio se seleccionaron los valores que aparecen en recuadro.

Tabla 5. Valores del coeficiente de almacenamiento

TIPO DE MATERIAL PERMEABLE	FORMA DEL FUNCIONAMIENTO DEL ACUIFERO	VALORES DE S (MEDIOS)
Kárstico		
Caliza y dolomías jurásicas	Libre	2×10^{-2}
	Semiconfinado	5×10^{-4}
	Confinado	5×10^{-5}
Calizas y dolomías cretácicas		
	Libre	$2 \times 10^{-2} - 6 \times 10^{-2}$
	Semiconfinado	$10^{-3} - 5 \times 10^{-4}$
	Confinado	$10^{-2} - 5 \times 10^{-5}$
Poroso intergranular		
Gravas y arenas	Libre	$5 \times 10^{-2} - 15 \times 10^{-2}$
	Semiconfinado	10^{-3}
	Confinado	10^{-4}
Kárstico y porosos		
Calcarenitas marinas terciarias	Libre	$15 \times 10^{-2} - 18 \times 10^{-2}$

Fuente: Villanueva & Iglesias. 1984.

Nivelación Topográfica

Para la construcción de un modelo de flujo es importante contar con información real de la topografía de la zona, por lo tanto la nivelación topográfica de los pozos existentes en el área de estudio representa una parte fundamental en la alimentación del modelo, ya que la cota de elevación es el punto de referencia para la toma de niveles estáticos o niveles de agua.

Dado que los pozos de la zona de estudio cuentan con cotas de elevación en el sistema de referencia CVC, y otros fueron nivelados con el sistema IGAC, se hace necesario unificar el sistema de referencia para todos los pozos. Sin embargo, por cuestiones económicas no fue posible realizar el levantamiento topográfico local como se había previsto.

Como alternativa para obtener las cotas de elevación de los pozos, se contó con la plancha 300-IC2 de propiedad de la CVC donde se muestra la ubicación de los BM o mojones georeferenciados con el sistema IGAC, con ésta información se realizó un modelo digital de elevación del terreno utilizando los programas *Visual Modflow 2010.1* y *Surfer 9*, luego se traslaparon los pozos en el terreno y se asignó la cota de elevación.

Determinación Régimen de Recarga

Para determinar la recarga del acuífero de la zona de estudio, se realizó un balance hídrico donde se tuvo en cuenta la precipitación, evaporación, transpiración, infiltración y escorrentía del municipio de Candelaria. La ecuación 8 se emplea para realizar un balance hídrico.

$$\text{Entrada de agua} - \text{Salida de agua} = \text{Infiltración}$$

$$P - Ev - E = R \quad (8)$$

R: recarga total (mm)

P: precipitación (mm/año)

Ev: evapotranspiración (mm/año)

E: escorrentía (mm/año)

Se contó con información de precipitación multianual del año 2004 al 2011 de la Estación Pluviométrica: Ingenio La Quinta (coordenadas 1081227E, 869282N), ubicada en el municipio de Candelaria (anexo 7), con esta información se calculó la precipitación media multianual.

Para determinar la evaporación se tomó información total mensual del año 2004 al 2011, de la estación Evaporimétrica: La Diana (coordenadas 1099759E, 860082N), ubicada en el municipio de Florida (anexo 8), siendo la más cercana a Candelaria. Luego, con estos datos se calculó la evaporación media multianual. En la figura 8 se muestra la ubicación de las estaciones climatológicas con respecto a la zona de estudio.

Para determinar la evapotranspiración de la zona se tuvo en cuenta el coeficiente del cultivo (*Kc*) de la caña de azúcar, como valor promedio se tomó 0.8, por ser este el de mayor presencia en el municipio de Candelaria, Valle del Cauca. Así mismo se tuvo en cuenta el coeficiente del tanque evaporímetro (*Kt*) dado por 0.75.

La escorrentía de la zona se determinó utilizando la ecuación 9.

$$E = P - (I + Ev) \quad (9)$$

E: escorrentía media (mm/yr)

P: precipitación media (mm/yr)

I: infiltración potencial (mm)

Ev: evapotranspiración (mm)

Luego, para determinar la infiltración potencial se utilizó la ecuación 10.

$$I = \left[\frac{2540}{CN} - 25.4 \right] * 10 \quad (10)$$

CN: número de curva = 50 (grado de cobertura vegetal regular)

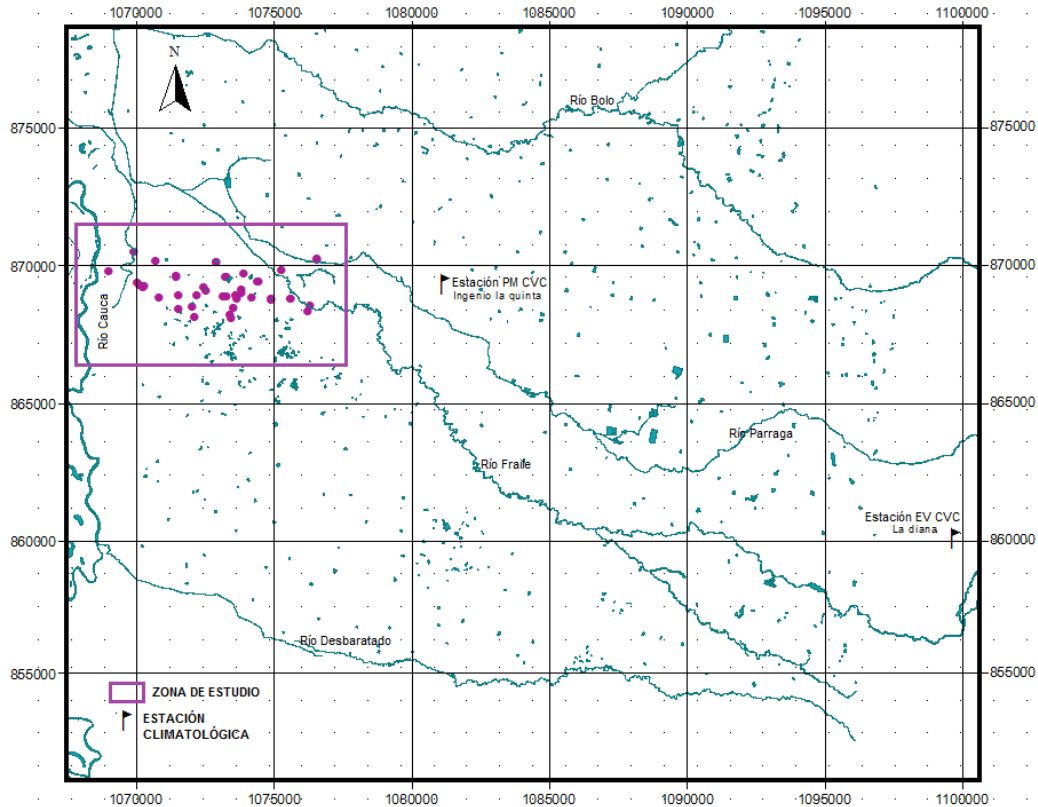


Figura 8. Ubicación de las estaciones climatológicas

Determinación Modelo de flujo subterráneo

El modelo de flujo se elaboró usando el programa modular tridimensional de diferencias finitas para la solución de problemas de flujo de aguas subterráneas desarrollado por el USGS (U.S. Geological Service), MODFLOW, computado en la adaptación comercial de Waterloo Hydrogeologic Inc., llamada Visual MODFLOW versión 2010.1.

Para la simulación del flujo subterráneo se seleccionó un tipo de flujo numérico, este fue el MODFLOW 2000, ya que es muy aplicable para zonas saturadas con densidad constante. Se seleccionó un área de 2815.14 ha, mucho mayor al área de estudio específica (594.71 ha), con el propósito de tomar condiciones de frontera que representaran el movimiento del agua a nivel regional, incluyendo el río Cauca y río Fraile, para de esta manera poder obtener el flujo local. Una vez definida el área a simular, se trazo una grilla de 100 columnas x 50 filas, quedando las celdas de un área de 0.6 ha, el tamaño de la celda se definió de acuerdo a la distancia promedio entre los puntos de información con que se contaba. Se definió como espesor a simular los primeros 100 m del acuífero superficial y semiconfinado de la unidad hidrogeológica A definida para el departamento del Valle del Cauca.

Se seleccionaron los pozos profundos de la zona con máximo 100 m de profundidad en total fueron 20 pozos, se agregó información de coordenadas, número y ubicación de filtros, caudal bombeado y nivel piezométrico que equivale a la diferencia del nivel de terreno y el nivel estático (figura 9). Se tomaron registros de niveles estáticos medidos desde el año 2007 al 2011 y como datos iniciales para correr el modelo de flujo se escogieron los valores del primer periodo del 2007.

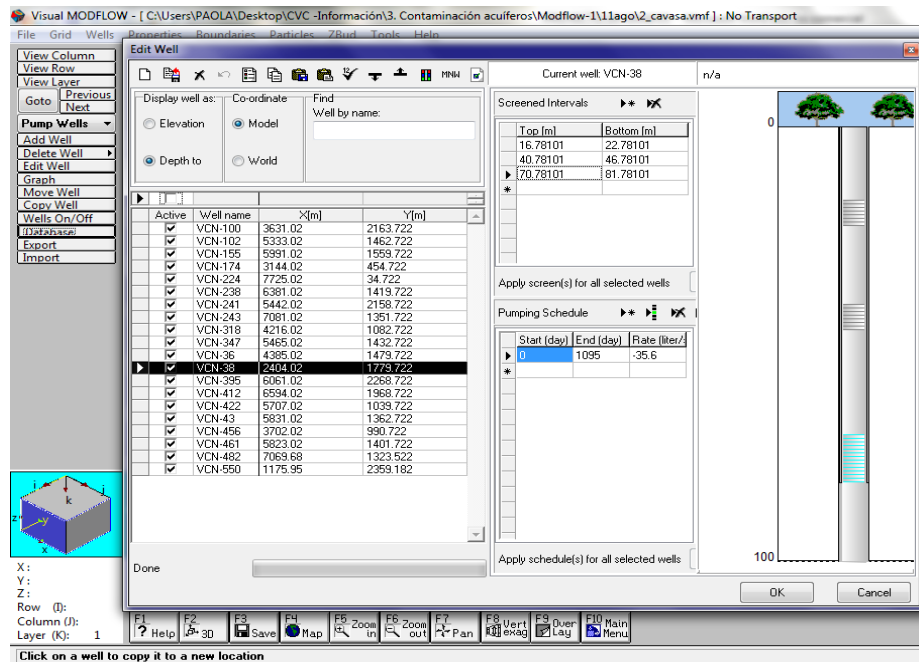


Figura 9. Perfil de pozo profundo con ubicación de filtros

Otro de los datos de entrada son las propiedades hidráulicas del acuífero, como son: la conductividad hidráulica (K_x , K_y , K_z), almacenamiento específico (S_s), rendimiento específico (S_y), porosidad efectiva y porosidad total. Para definir la conductividad hidráulica, se traslapo el mapa geológico y se dividió en tres zonas, tal como se muestra en la figura 10, siendo: blanco = depósitos de pantanos aluviales (Q_2), azul = albardones naturales (Q_4), verde = zonas resecaadas y rellenos de cauce (Q_5). Dentro de las presunciones que se tuvieron para el modelo está el asumir el acuífero como homogéneo e isotrópico, en otras palabras la conductividad hidráulica en todas las direcciones sería la misma $K_x=K_y=K_z$. Los valores de conductividad hidráulica ingresados al modelo fueron tomados de los pozos presentes en cada zona.

Dada la complejidad de encontrar conductividades diferentes en los pozos del área de estudio, se tuvo en cuenta las condiciones hidrogeológicas para integrar zonas y finalmente tomar dos valores de conductividad hidráulica en

el modelo de flujo subterráneo. Los valores tomados para la modelación fueron:

K: zona blanca y zona verde = 4 m/d

K: zona azul = 15.2 m/d

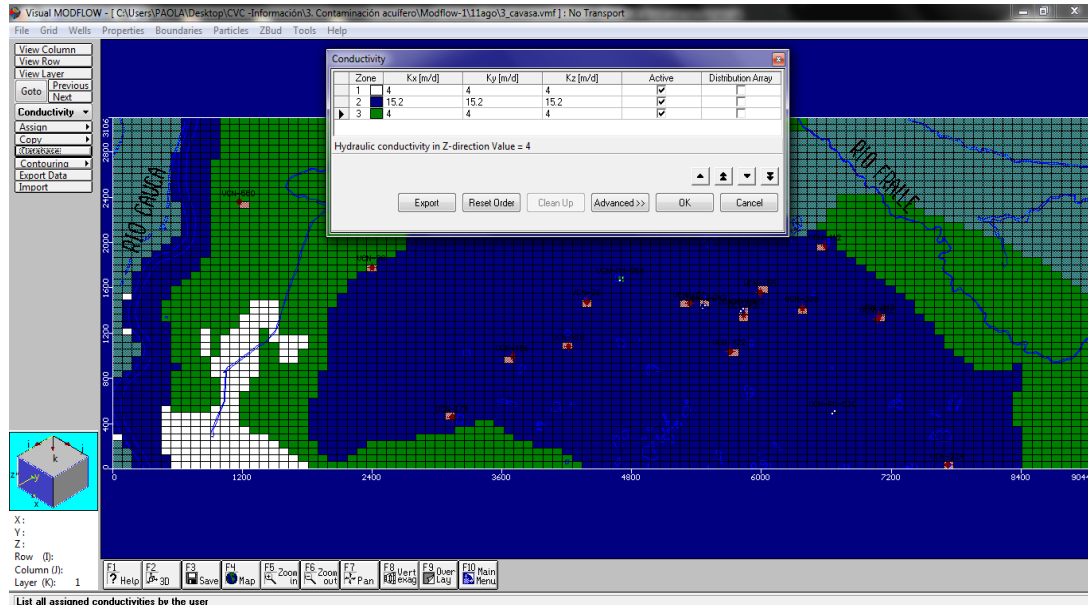


Figura 10. Distribución conductividad hidráulica según geología de la zona

Para el almacenamiento específico, rendimiento específico, porosidad efectiva y porosidad total, se tuvo en cuenta las condiciones naturales del acuífero según autores antes citados en tablas. Ver valores ingresados al modelo en la figura 11.

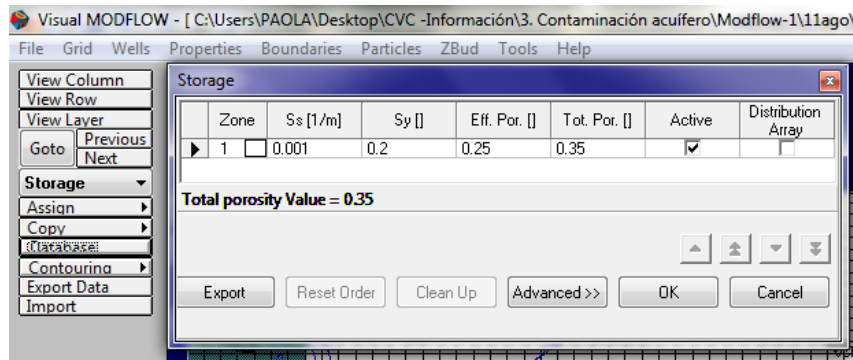


Figura 11. Valores de almacenamiento y porosidad presumidos para la zona

Las condiciones de frontera se definieron de la siguiente manera:

Margen izquierda: Río Cauca – constant head: 939.8 m

Margen derecha: línea equipotencial flujo regional (de acuerdo a los Mapas piezométricos zona sur del Valle del Cauca 2007-2010, elaborados por el Grupo de Recursos Hídricos de la CVC se mantiene constante un nivel piezométrico por esta margen de la zona de estudio) – constant head: 955 m

Margen superior: pared impermeable (de acuerdo a los Mapas piezométricos regionales 2007-2010, elaborados por el Grupo de Recursos Hídricos de la CVC no existe intercambio de agua en esta margen de la zona de estudio) – wall: espesor: 100 m

Margen inferior: pared impermeable (de acuerdo a los Mapas piezométricos regionales 2007-2010, elaborados por el Grupo de Recursos Hídricos de la CVC no existe intercambio de agua en esta margen de la zona de estudio) – wall: espesor: 100 m

De igual manera, se ingreso la recarga (254 mm/año) y evapotranspiracion (632.2 mm/año) de la zona anteriormente calculada. Luego, se corrio la simulacion presumiendo un estado estacionario, y se escogió como método el WHS (Waterloo Hydrogeological software) para la interpolacion de la ecuación matricial de flujo de agua subterránea.

Una vez corrido el modelo (datos iniciales 2007 y alimentado con niveles piezométricos hasta el 2011), se visualizaron los resultados en mapas: las líneas equipotenciales, vectores de velocidad y dirección de flujo; y en gráficos: la calibración de la cabeza hidráulica se hizo con 5 pozos profundos escogidos por presentar niveles estáticos poco variables, se calibró hasta obtener un Normalized RMS= 19.9% (ver anexo 10).

Receptores sensibles

Para identificar los receptores sensibles en el área de estudio, se trazo un radio de 500 m alrededor de la Estación de servicio Esso Cavasa, se hizo un recorrido observando el tipo de industrias que manejan alimentos, que utilizan agua de pozo para sus procesos industriales, para el consumo de empleados, predios que utilizan agua tanto de pozo como superficial para el riego de cultivos agrícolas, pozos profundos de abastecimiento público, viviendas con aljibes para uso doméstico y oficios varios.

En síntesis, los receptores sensibles van ligados a la salud humana, dado los componentes cancerígenos y mutagénicos que constituyen los hidrocarburos, y al tener un contacto en ingestión, tacto o inhalación produce serios problemas. Otro receptor que podría ser sensible son los ecosistemas naturales, como reservas, fauna y/o flora de especial cuidado para preservación, que podría verse influenciado por la contaminación del suelo, aire y agua; para este trabajo no se identificó este tipo de receptor natural.

Inventario de aljibes

Se llevo a cabo una campaña de inventario de aljibes, dado la importancia que presenta para el estudio conocer la calidad del agua subterránea del acuífero libre o freático, se tomó de radio 500 m alrededor de la Estación de servicio Esso Cavasa, estos aljibes estaban ubicados en restaurantes, predios agrícolas, industrias y casas de familia. Lo que se hizo fue georeferenciar con GPS Topcon GMS-2, asignarle un código, medir profundidad y diámetro del pozo con cinta métrica, medir el nivel estático con sonda eléctrica, tomar parámetros químicos en campo utilizando un multiparámetros marca Horiba U-10, donde fue posible se hizo aforo para determinar el caudal de extracción (figura 12), y por último se hicieron las observaciones en cuanto a sanidad del aljibe, ubicación, uso y estado. En el anexo 10 se adjuntan las planillas de campo.



Figura 12. Procedimiento inventario de aljibes

Medición Nivel estático

Para medir los niveles freáticos en cada pozo profundo, pozo de monitoreo y aljibe se usó una sonda eléctrica, la sonda presenta un contacto eléctrico entre dos electrodos metálicos cuando alcanza el nivel del agua, emite una señal sonora y luminosa, en ese momento el técnico dobla la sonda y mide con una cinta métrica (figura 13); luego, a este valor se resta la altura de la base, ya que el nivel freático es correcto con respecto al nivel del terreno, y por último se anota el dato en cartera de campo.



Figura 13. Procedimiento medición nivel freático

3.3.4. Fase 4. Muestreo de Suelo y Agua Subterránea

Para seleccionar los puntos de muestreo se trazó un radio de 250 m alrededor de la Estación de servicio, como barrera estimada según inspecciones en campo: en el inventario de pozos y aljibes, el olor a hidrocarburo se logró percibir de manera localizada en un radio promedio de 100 m; sin embargo, se quiso delimitar una área mayor para verificar hasta donde ha viajado el hidrocarburo, dado que en aljibes localizados a 200 m se encontraron valores de conductividad en agua subterránea tomados en campo con el multiparámetros Horiba por encima del límite permitido para agua potable (1000 $\mu\text{s}/\text{cm}$).

El muestreo de agua subterránea se realizó en 3 días de campo, la comisión estuvo conformada por tres técnicos de CVC y un profesional, por día se tomaron 5 muestras de agua subterránea en recipientes de vidrio y plástico. Se tomaron muestras para análisis: fisicoquímicos, hidrocarburos, COT's, grasas, fenoles y metales. En total se muestrearon 5 pozos profundos, 3 pozos de monitoreo y 4 aljibes del área de estudio. En la tabla 6 se relaciona la ubicación y código de los pozos y aljibes muestreados.

El procedimiento para el muestreo se realizó utilizando el protocolo establecido por la CVC para el monitoreo de agua subterránea así: se midió nivel estático con sonda eléctrica, se metió bailer y extrajo muestra de agua sin alterar para el análisis de hidrocarburo, una vez se instaló la bomba sumergible se bombeo el pozo a una frecuencia conocida, se puso a llenar balde hasta rebosar y luego se tomaron parámetros fisicoquímicos del agua subterránea con el Horiba cada 10 minutos hasta que éstos parámetros se estabilizaron. A su vez, se etiquetaron cada uno de los frascos de vidrio y plástico con el código del pozo, predio, fecha y hora del muestreo, y análisis requeridos; luego, se aplicaron gotas de los reactivos H_2SO_4 – HNO_3 para bajar pH hasta 2 de los frascos de fenoles, metales y grasas, y de esta manera garantizar la preservación de la muestra hasta llegar al laboratorio. Las muestras fueron refrigeradas en nevera portátil durante el transporte hasta llegar a entregarlas al Laboratorio Ambiental de la CVC en Cali; allí el

laboratorista verifica planilla de custodia, marcación de los frascos y corrobora pH con paleta de papel. En la figura 14 se muestra una secuencia de fotos que resume el procedimiento desarrollado durante el muestreo de agua subterránea.

Tabla 6 . Relación de los pozos y aljibes muestreados

CÓDIGO	COORDENADAS		PROF (m)	NE (m)	NB (m)	Q _{muestreo} (LPS)	ESTADO	PREDIO
	N	E						
Vcn-459	1073603.2	868913.9	28.7	-	8.34	Bomba del pozo	Activo	EDS Cavasa
Vcn-461	1073647	868836	112	6.30	10.90	Bomba del pozo	Activo	Carvajal s.a.
Vcn-43	1073655	868797	90	4.73	4.82	1.2	Inactivo	Carvajal s.a.
Vcn-155	1073815	868994	100	-	12.28	Bomba del pozo	Activo	Cavasa
Vcn-422	1073531	868474	44	3.57	-	-	Inactivo	Pollos Bucanero
Vcn-pm-34	1073648.5	868878.2	10	3.54	3.74	1.0	Activo	EDS Cavasa
Vcn-pm-35	1073655.0	868906.2	10	3.26	3.76	1.0	Activo	EDS Cavasa
Vcn-pm-41	1073645.6	868840.2	4.2	3.37	-	-	Activo	Carvajal s.a.
Aljibe 8	1073614	868828.8	14.9	3.72	3.78	1.0	Activo	Rest. Punto rico
Aljibe 1	1073792.8	868734.4	12.6	3.06	3.16	1.0	Activo	Frutas carolina
Aljibe 3	1073842.1	868750.3	11.8	3.52	3.61	0.78	Activo	Rest. Fogón llanero
Aljibe 9	1073619.5	868643.7	18.4	-	4.20	Bomba del pozo	Activo	Pollos Bucanero

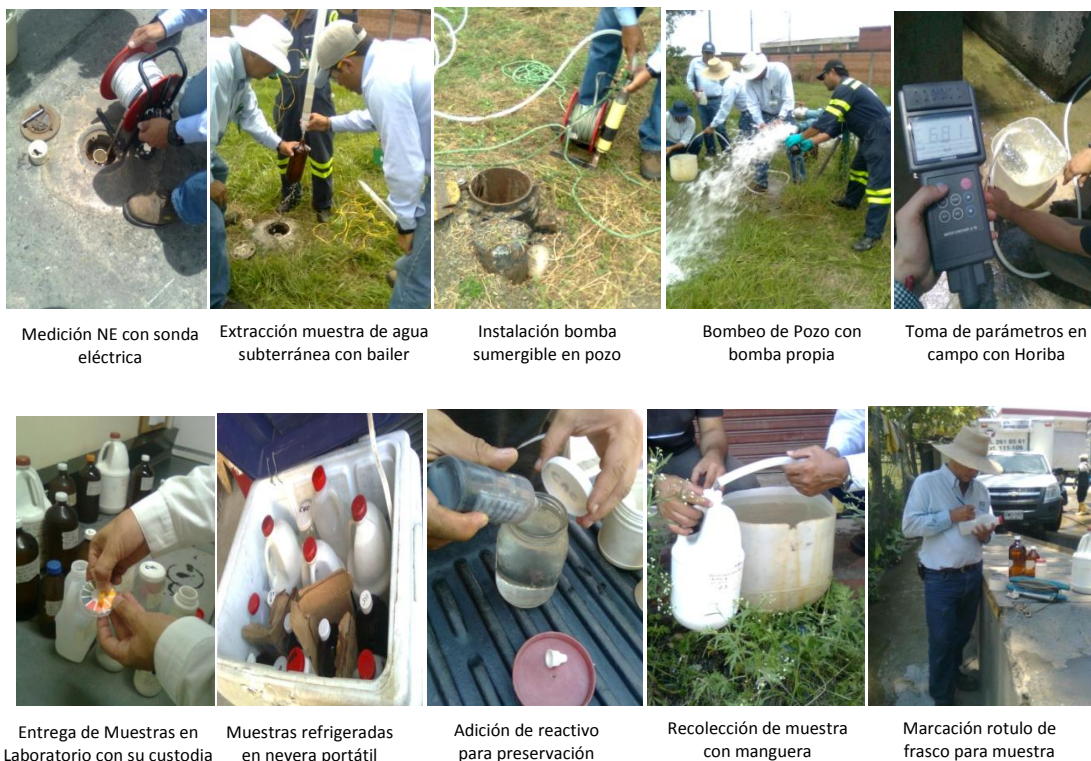


Figura 14. Procedimiento para el muestreo de agua subterránea

Para el presente proyecto no fue posible por cuestiones económicas realizar los muestreos y análisis de suelo; sin embargo para contextualizar la relación suelo-agua subterránea con la contaminación encontrada, se tuvo en cuenta el procedimiento y resultados aportados por la empresa Hidrogeoambiental S.A. en su estudio realizado en el año 2008 para la Estación de servicio Esso Cavasa.

Se realizaron 3 perforaciones exploratorias de 4 m de profundidad para obtener las muestras de suelo; las perforaciones están ubicadas así: a 10 m del pozo Vcn-461 se hizo la perforación PE-3 (Vcn-pm-41), en las instalaciones de la Estación de servicio Esso Cavasa se hizo la perforación PE-1 muy cerca del pozo de monitoreo vcn-pm-34 y PE-2 (Vcn-pm-36) ubicada cerca a las oficinas de la Estación.

Para la recolección de las muestras se utilizó el equipo manual AMS, el cual cuenta con tuberías metálicas de 1.20 m de longitud y diferentes muestreadores de 0.35 m; la muestra de suelo se conservó en una bolsa de cierre hermético en donde se homogenizó para la posterior medición de la concentración de compuestos orgánicos volátiles (COV) con un fotoionizador (PID) marca miniRAE 2000; así mismo, se analizó a que profundidad se evidenciaba mayor concentración de COV y luego, estas muestras fueron enviadas al laboratorio Lancaster (PA, USA) para su posterior análisis. En la tabla 7, se especifica la identificación de cada muestra, profundidad de muestreo, análisis solicitados y la fecha del muestreo.

Tabla 7. Especificaciones de cada muestra de suelo

PERFORACIÓN EXPLORATORIA	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA*	PROFUNDIDAD MUESTREO (m)	ANÁLISIS SOLICITADOS	FECHA DEL MUESTREO
PE-1 (cerca al Vcn-pm-34)	HGA-CAL-CAV-PE1 (1.00 – 1.50)	1.00 – 1.50	TPH-DRO/TPH-GRO/BTEX	01/07/2008
PE-2 (Vcn-pm-36)	HGA-CAL-CAV-PE2 (6.50 – 7.00)	6.50 – 7.00	TPH-DRO/TPH-GRO/BTEX	02/07/2008
PE-3 (Vcn-pm-41)	EXM-TOL-SFR-PE3 (2.00 – 2.50)	2.00 – 2.50	TPH-DRO/TPH-GRO/BTEX	03/07/2008

* Identificación de la muestra dada por Hidrogeoambiental

En la figura 15, se muestra en resumidos pasos el procedimiento seguido durante el muestreo de suelo en los tres pozos exploratorios del estudio.



Figura 15. Procedimiento resumido del muestreo de suelo. (Fuente: Informe técnico presentado por Hidrogeoambiental. 2008)

3.3.5. Fase 5. Evaluación Contaminación

Para realizar la evaluación del análisis de riesgos de la contaminación por hidrocarburos de la zona de estudio, se tomaron los resultados de laboratorio que se relacionan en la tabla 8.

Tabla 8. Relación de reportes de laboratorio de muestras de agua subterránea

FECHA	LABORATORIO ANÁLISIS AGUA SUBTERRÁNEA	PARÁMETROS ANALIZADOS	EMPRESA QUE MANDO MUESTRAS
Nov/2007	Laboratorio Ambiental CVC. Cali, Colombia	Hidrocarburos aromáticos, Hidrocarburos totales	Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
Jul/2008	Laboratorio Ambiental CVC. Cali, Colombia	Hidrocarburos aromáticos, Hidrocarburos totales	Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
Ago/2008	Lancaster Laboratories. Lancaster, Pennsylvania, U.S.	TPH-DRO, TPH-GRO, BTEX	Hidrogeoambiental S.A.
May/2009	Laboratorio Ambiental CVC. Cali, Colombia	Hidrocarburos aromáticos, Hidrocarburos totales, Metales	Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
Sep/2011	Laboratorio Ambiental CVC. Cali, Colombia	Hidrocarburos aromáticos, Hidrocarburos totales, Metales	Corporación Regional del Valle del Cauca
Sep/2011	International Analytical Group (IAG). Pensacola, Florida, U.S.	TPH-DRO, TPH-GRO, TPH-ORO, TPH-ERO, BTEX, MTBE	GeoSub Ltda.

Se compararon los resultados de laboratorio de los años 2007, 2008, 2009 y 2011, realizados por el Laboratorio Ambiental CVC (anexo 12), por tratarse de los mismos parámetros analizados (hidrocarburos aromáticos, hidrocarburos totales, Metales). A su vez, se comparó los resultados de TPH-DRO, TPH-GRO y BTEX, realizados por las empresas Hidrogeoambiental S.A. (2008) y GeoSub Ltda. (2011), analizando si aumentaron o disminuyeron con el tiempo.

Las concentraciones obtenidas de los parámetros hidrocarburos aromáticos, Metales y fisicoquímicos, analizados en el Laboratorio Ambiental de la CVC

fueron comparadas de acuerdo a los límites establecidos para agua potable por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, y el Ministerio de la Protección Social en la Resolución 2115/2007. En la tabla 9 y tabla 10, se muestran los valores de referencia.

Tabla 9. Valores de referencia correspondientes a sustancias químicas de fuentes

SUSTANCIAS ORGÁNICAS	VALOR REFERENCIA (mg/L)
Benceno	0.01
Etilbenceno	0.3
Tolueno	0.7
Xileno	0.5
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	0.01
Plomo	0.01
Níquel	0.02

Fuente: Resol. 2115/2007 del MAVDT.

Tabla 10. Valores fisicoquímicos aceptables para agua potable

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE
pH	Unidades	6.5 – 9.0
Conductividad	µs/cm	1000
Turbiedad	UNT	2
Color Aparente	UPC	15

Fuente: Resol. 2115/07 del MAVDT

Por otra parte, los resultados de laboratorio de TPH-GRO, TPH-DRO y BTEX de las muestras de agua subterránea, analizadas en los laboratorios de Estados Unidos, se compararon con los límites genéricos basados en riesgo (LGBRs) dados por el MAVDT. 2007. En la tabla 11, se muestra los valores límites de acuerdo al uso del agua subterránea que tenga en la zona de estudio, para este proyecto se decidió comparar con Exposición a Agua Subterránea de Uso Potable.

Las concentraciones de las muestras de suelo tomadas en ago/2008 por la empresa Hidrogeoambiental S.A., fueron comparadas con los límites genéricos basados en riesgo (LGBRs) dados por el MAVDT. 2007. En la tabla 12, se muestra los valores de referencia de acuerdo al uso del suelo que tiene la zona de estudio, para este proyecto se decidió comparar con Exposición a suelo Industrial/Comercial, y específicamente con Migración a Aguas Subterráneas, dado el peligro que representa el contaminar el acuífero.

Tabla 11. Límites de referencia de agua subterránea/superficial para la comparación de sitios impactados por hidrocarburos

PARÁMETRO	EXPOSICIÓN A AGUA SUBTERRÁNEA/SUPERFICIAL NO POTABLE (mg/L)			EXPOSICIÓN A AGUA SUBTERRÁNEA/SUPERFICIAL POTABLE (mg/L)		
	Solubilidad	MCL	No Potable	Solubilidad	MCL	Potable
TPH GRO			4.0			0.32
TPH DRO			2.4			0.29
Benceno	1800	0.005	0.052	1800	0.005	0.01
Tolueno	530	1.0	8.2	530	1.0	0.93
Etilbenceno	170	0.7	10	170	0.7	1.6
Xileno	160	10	20	160	10	0.27
PAHs						
Cancerígeno Benzo(a)	0.0016	0.0002	0.0007	0.0016	0.0002	0.0007
Pireno						
Plomo		0.015	0.015		0.015	0.015

Fuente: Manual Técnico ejecución análisis de riesgo para sitios de distribución de derivados de hidrocarburos del MAVDT, 2007.

Tabla 12. Límites de referencia de suelo industrial/comercial y residencial/agrícola para la comparación de sitios impactados por hidrocarburos

PARÁMETRO	EXPOSICIÓN A SUELO INDUSTRIAL/COMERCIAL (mg/kg)			EXPOSICIÓN A SUELO RESIDENCIAL/AGRÍCOLA (mg/kg)		
	Saturación de suelo	Contacto directo	Migración a aguas subterráneas	Saturación de suelo	Contacto directo	Migración a aguas subterráneas
TPH GRO		1000	330		590	25
TPH DRO		5600	990		2600	790
Benceno	590	250	35	590	75	340
Tolueno	310	16000	100	310	8800	12
Etilbenceno	160	6800	200	160	4600	13
Xileno	170	880	430	170	690	210
PAHs						
Cancerígeno Benzo(a)		1.5	29		50	29
Pireno						
Plomo		750	30		400	30

Fuente: Manual Técnico ejecución análisis de riesgo para sitios de distribución de derivados de hidrocarburos del MAVDT, 2007.

Determinación Pluma de contaminación

Para demarcar la pluma de contaminación en el área de estudio, se tomaron los valores de la concentración de hidrocarburos aromáticos registrada en el muestreo de septiembre de 2011. Aunque se analizaron otros parámetros más específicos de laboratorios de U.S., se escogió el parámetro

hidrocarburos aromáticos como el más representativo, puesto que se analizó en mayor cantidad de pozos y aljibes de la zona estudiada.

Los valores fueron tabulados e insertados al programa *Surfer 9* para generar las líneas de concentración, luego este archivo fue exportado en formato *.dxf* y posteriormente abierto en el programa AutoCAD 2009, para de esta manera traslapar las demás capas: vías, pozos, aljibes y construcciones del área de estudio. A su vez se insertó una foto aérea de la zona y se puso como fondo de las isolíneas de concentración generadas.

4. RESULTADOS

4.1. Antecedentes Zona de Estudio



Figura 16. Fotografía aérea vuelo C1146 del año 1964. (Fuente: Grupo Sistemas de Información Ambiental. CVC)

Para el año 1964 (figura 16) en el área de estudio funcionaba el Aeropuerto "Calipuerto", en donde se tenían bodegas para almacenamiento de combustible. No fue posible saber la cantidad y tipo de producto almacenado en dichas bodegas. El pozo Vcn-90 fue perforado en 1960 y estaba en funcionamiento para el Aeropuerto.

Esta pista aérea se utilizó hasta el año 1976, donde fue reemplazada por la construcción del Aeropuerto Internacional de Palmaseca en Palmira. Al analizar la figura 16 se observa que el uso de suelo para este año era en su totalidad agrícola.



Figura 17. Fotografía aérea vuelo C1960 del año 1980. (Fuente: Grupo Sistemas de Información Ambiental. CVC)

En el año 1980 tal como lo muestra la figura 17, la pista aérea de “Calipuerto” fue reemplazada por las instalaciones de la Central de Abastos de Cali “CAVASA”, la cual contaba ya con dos pozos profundos el Vcn-90 (actualmente inactivo) y el Vcn-155 para uso industrial. En la figura 17 se observa que el uso de suelo para este año es agrícola, industrial y urbano.

Al entrevistar al propietario de la Estación de servicio Esso Cavasa y empleado más antiguo (32 años trabajando en la zona de estudio), se habló de la existencia de otra Estación de servicio “Roraima”, presuntamente ubicada cerca a las instalaciones de la fábrica Café Águila Roja y a 300 m de la empresa Carvajal S.A., quien para este año contaba con el pozo Vcn-43 (actualmente inactivo) para uso industrial.

De la estación de servicio “Roraima” no fue posible saber la cantidad de combustible almacenado. Sin embargo, si se hubiera presentado alguna fuga o derrame de combustible, los pozos que presentarían algún problema de contaminación teniendo en cuenta la dirección del flujo serían de propiedad de Café Águila Roja, ubicados a 120 m de la presunta Estación.

Por otro lado, al hacer el recorrido por la zona de estudio (ago.2011), se encontró el aljibe 11 de propiedad de "Distriabonos Ltda" ubicado a 80 m de la estación de servicio "Roraima"; el agua subterránea captada por el aljibe (acuífero freático) no presenta olor a hidrocarburo ni producto libre.

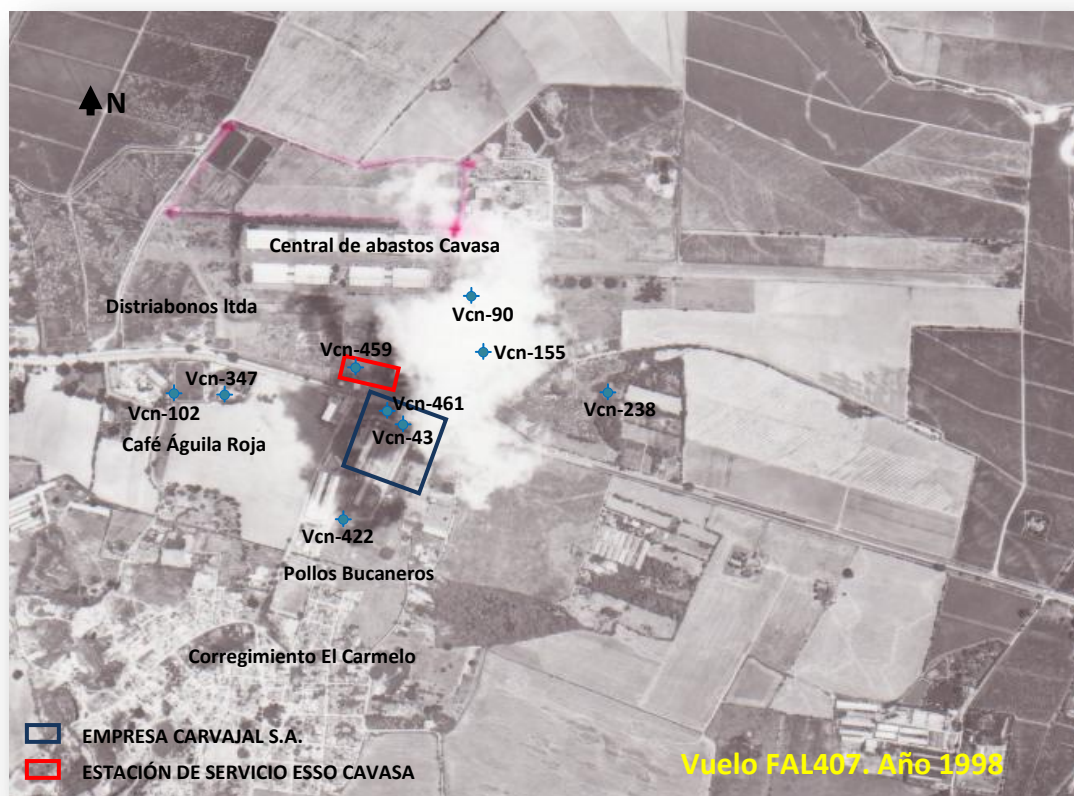


Figura 18. Fotografía aérea vuelo FAL407 del año 1998. (Fuente: Grupo Sistemas de Información Ambiental. CVC)

Para el año 1998 como se muestra en la figura 18, la empresa Carvajal S.A. ya cuenta con el pozo profundo Vcn-461 (perforado en el año 1997) para uso industrial; por otro lado, el pozo Vcn-43 quedó inactivo pero no fue sellado totalmente.

En la figura 18 se observa el pozo Vcn-347 (perforado en el año 1990) de propiedad de Café Águila Roja para uso industrial y riego; así como el pozo Vcn-422 (perforado en el año 1994) de uso industrial propiedad de la Planta Celulosa del Valle actualmente instalaciones de Pollos El Bucanero.

Así mismo, aparece la Estación de servicio Esso Cavasa (sitio del problema de contaminación por hidrocarburos), a continuación se hace un recuento sobre el predio:

4.1.1. Operaciones Históricas y Actuales de la EDS Esso Cavasa

La Estación de servicio Esso Cavasa inició sus labores desde el año 1986 en un predio baldío, su propietario era el señor Diego Alonso Gómez, los tanques de almacenamiento eran de acero, existían 2 tanques con capacidad de 5000 galones, el producto almacenado era gasolina regular y diesel, y se ubicaban en la misma parte donde se instalaron los nuevos tanques, sólo existían 2 surtidores; la Estación tenía servicio de montallantas, lavado, y venta de aceites.

En el año 1996 la Estación de servicio Esso Cavasa fue remodelada, se cambiaron los tanques de almacenamiento por una capacidad de 10000 galones, se instalaron en total 4 tanques, quedando 3 tanques para gasolina regular y 1 tanque para diesel y se colocaron 4 surtidores. El material de los tanques instalados es de acero doble pared marca *Plasteel Elutron*, al parecer según versión del empleado que maneja el servicio de Montallantas en la Estación, los tanques retirados estaban en buen estado. Para el año 1997 la CVC otorgó permiso para la construcción del pozo Vcn-459 para el lavadero de carros.

El actual propietario, el señor José Ignacio Solano compró la Estación de servicio Esso Cavasa hace 7 años (2004), desde este año a la fecha (2011) la estación cuenta con 5 tanques de almacenamiento, 3 tanques para gasolina regular con capacidad de 10000 galones, 1 tanque para diesel con capacidad de 10000 galones y 1 tanque para extra con capacidad de 3000 galones; 4 islas de expendio y 3 cárcamos para lavados de carros. Dentro de los servicios que ofrece actualmente la estación esta: venta de combustibles, montallantas, lavado y polichado de carros, cambio de aceite y calibración. Adicionalmente, la estación cuenta con sus respectivas oficinas.

Se realizó prueba de estanqueidad a los tanques de combustible enterrados desde hace 3 años (2008), los resultados indicaron que no hay fallas en ningún tanque. Ésta prueba es exigida por el Ministerio de Minas y Energía en su Decreto 1521/98.

Por requerimiento de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC, el propietario de la estación de servicio inició en Feb/2011 la extracción del producto libre con bailer en los tres pozos de monitoreo de su propiedad, con una frecuencia diaria, llevando un control en planilla. Esta primera acción de remediación finalizó en Abr/2011. La cantidad total de producto libre extraído fue 290 ml y 5.90 ml en los pozos de monitoreo Vcn-pm-34 y Vcn-pm-35, respectivamente; el pozo de monitoreo Vcn-pm-36 por su poca profundidad se secó y el bailer no logró extraer el producto.

En la figura 19 se presenta un plano de distribución de la estación de servicio Esso Cavasa, en donde se muestra la zona de tanques, zona de islas, lavadero, montallantas, oficinas, así como la ubicación de los pozos de monitoreo de la estación.

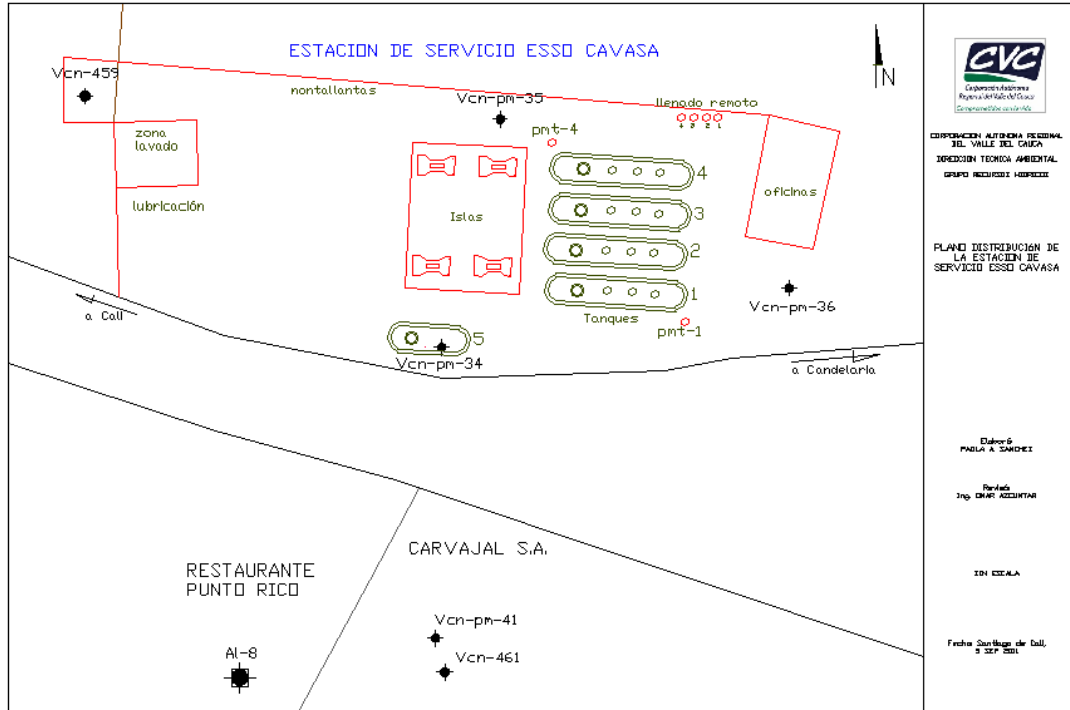


Figura 19. Plano distribución Estación de servicio Esso Cavasa

4.1.2. Receptores sensibles

La Estación de servicio Esso Cavasa se encuentra en un área de usos múltiples donde predominan la industria y agricultura. Los receptores más sensibles en un radio de 500 m se mencionan en la tabla 13, en total son 15 captaciones de agua subterránea entre pozos profundos y aljibes de la zona, el código de identificación es asignado por la CVC.

Tabla 13. Predios adyacentes a la Estación de servicio Esso Cavasa

DIRECCIÓN	DISTANCIA	CODIGO CVC	PROFUND. (m)	USO	PREDIO
Sur	36 m	Aljibe- 8	14.9	D (oficios varios)	Restaurante Punto Rico
Sur	38 m	Pozo vcn-461	112	I, D (planta y trabajadores)	Carvajal s.a.
Sur	76 m	Pozo vcn-43	90	inactivo	Carvajal s.a.
Noreste	187 m	Pozo vcn-155	100	I (lavado alimentos)	Central de abastos "Cavasa"
Este	194 m	Aljibe -1	12.6	D (oficios varios)	Frutas Carolina-casa familia
Este	224 m	Aljibe -3	11.8	D (oficios varios)	Restaurante Fogón Llanero
Sur	225 m	Aljibe -9	18.4	I (lavado silos concentrado)	Pollos El Bucanero
Este	262 m	Aljibe -2	11.4	D (oficios varios)	Casa de familia. Maricela Arango
Sureste	293 m	Aljibe -5	22	D, A (jardines, establos)	Criadero mi dulce sueño
Oeste	317 m	Pozo vcn-347	74	I, A (planta y riego)	Café Águila Roja
Oeste	340 m	Aljibe -11	9.5	A, D (riego, oficios varios)	Distriabonos Ltda.
Sureste	340 m	Aljibe -4	-	Inactivo	Bodega madera santa maria
Norte	366 m	Aljibe -10	11.9	Inactivo	Carulla -Cavasa
Sur	415 m	Pozo vcn-422	66	Inactivo	Pollos El Bucanero
Sureste	420 m	Aljibe -6	10.4	D (oficios varios)	Callejón el saman

D: doméstico ; I: industrial ; A: agrícola.

4.2. Información Característica

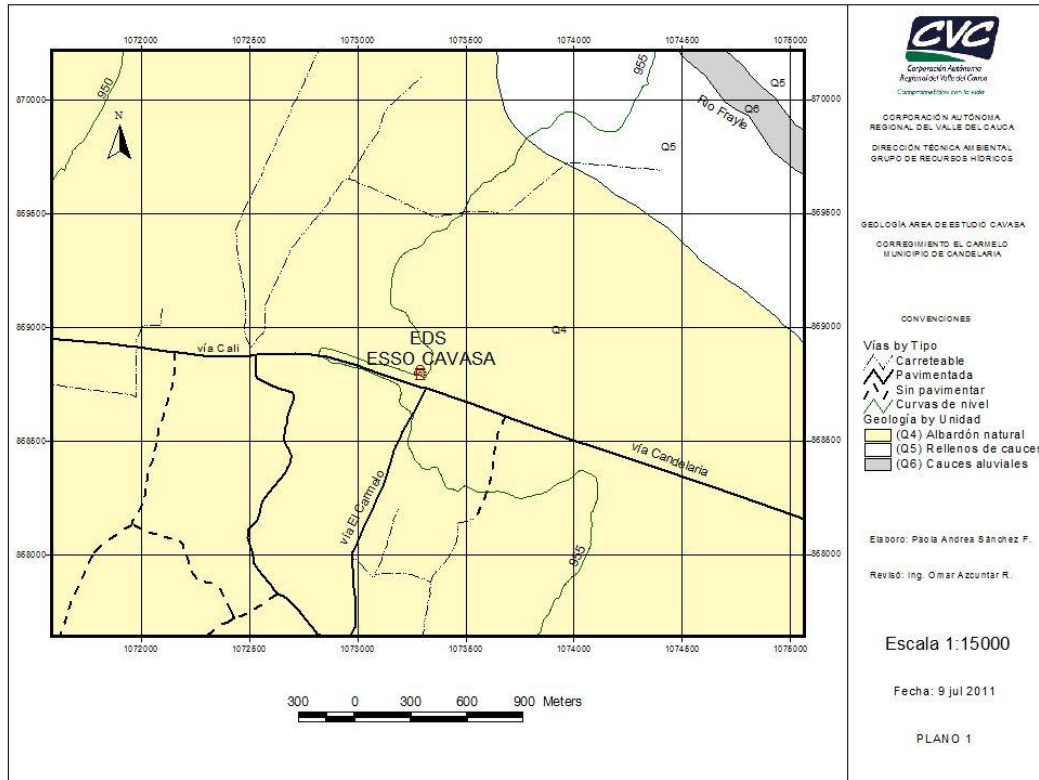
4.2.1. Geología

El manto geológico en el cual está ubicado el municipio de Candelaria cuenta con formaciones del Cuaternario, en especial depósitos aluviales, terrazas aluviales y depósitos de cuerpo y pie de abanicos, compuestos por conglomerados y arenas sometidos al transporte de las corrientes. Los depósitos aluviales (Qal), corresponden a la llanura aluvial del río Cauca y sus tributarios; los depósitos son de tamaño variable desde arena gruesa, hasta limos y en las partes más distales arcillas; los fragmentos se componen de rocas ígneas y metamórficas, con ligera meteorización y restos orgánicos.

El resto del territorio municipal se compone de terrazas aluviales (Qt) y depósitos de cuerpo y pié de abanicos recientes. Esta sedimentación se localiza entre la Llanura aluvial del río Cauca y la zona de depósitos

recientes y subrecientes, la unidad se compone de estratos de arenas medias a finas, arenas limosas y gravas.

A lo largo de los ríos Bolo, Fraile, Párraga y Desbaratado, se encuentran abundantes depósitos de terrazas bajas, barras aluviales y en general todo el material grueso como cantos, gravas y arenas depositadas por el cauce. Tal como se observa en la figura 20, en la zona de estudio predomina el albardón natural (Q₄), seguido de las zonas resecaadas y rellenos de cauces (Q₅) y el cauce aluvial (Q₆) que esta sobre el río Fraile.



Tenjo et al. 1971, describe a los albardones naturales (Q₄) como crestas bajas paralelas al curso del río, se debe a la acumulación de sedimentos causados por pérdidas repentinas del poder de transporte cuando el río desborda sus márgenes; luego, las zonas resecaadas y rellenos de cauces (Q₅) son zonas de antiguos pantanos, resecaadas e inundadas en varios periodos y finalmente secadas artificial o naturalmente, y los rellenos de cauces son depósitos de cauces secos abandonados.

4.2.2. Suelos

El área de estudio comprende en su mayoría suelos de textura gruesa, suelos de tipo Arenosos finos, seguidos por suelos franco-arenosos, franco-arcillosos y arcillosos, tal como se observa en la figura 21. En especial la estación de servicio Eso Cavasa está ubicada sobre un suelo arenoso fino, siendo esta textura permeable, susceptible a que cualquier líquido se infiltre con facilidad y transite sobre la zona no saturada y con el tiempo llegue a la zona saturada.

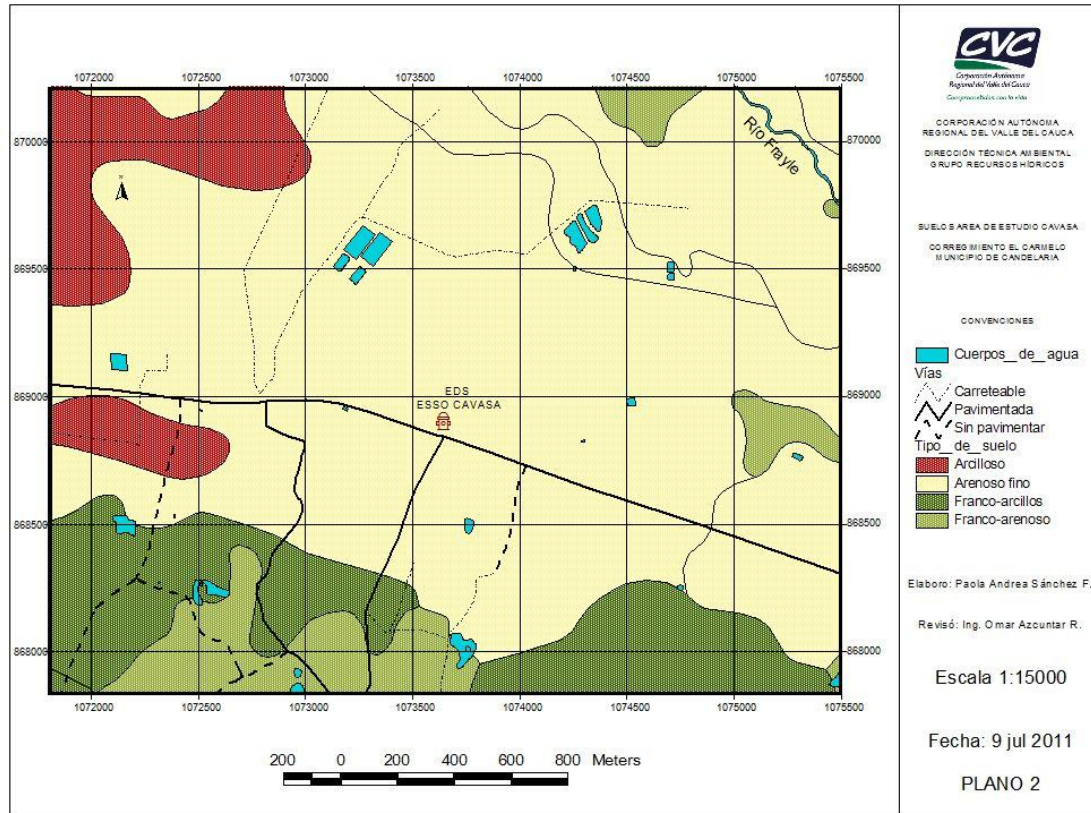


Figura 21. Plano Suelos zona de estudio Cavasa Candelaria, Valle del Cauca

4.2.3. Topografía

En la figura 22, se muestran las curvas de nivel de la zona utilizada para el modelo de flujo (del río Cauca al río Fraile por la vía a Candelaria). Cabe mencionar que las curvas de nivel fueron proyectadas utilizando 92 BM's amarrados al sistema IGAC. La cota más alta es 960 msnm y se presenta muy cerca al río Fraile, así mismo, la cota más baja 945 msnm está muy cerca al caño Tortugas ubicado a 709 m de distancia antes del río Cauca. La distancia horizontal que separa estas dos cotas es de 7142 m, luego, la pendiente de la zona es de 0.12%.

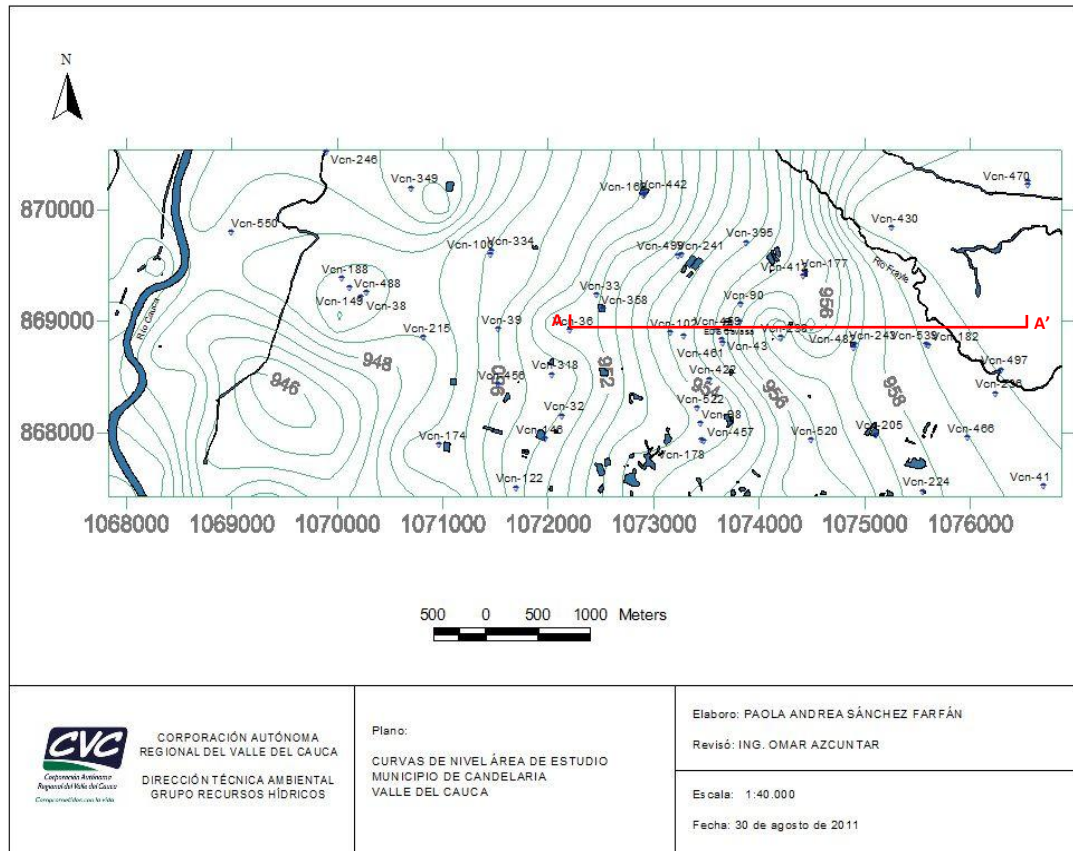


Figura 22. Plano curvas de nivel del río Cauca al río Fraile por la vía a Candelaria

Por otro lado, al observar en el plano de curvas de nivel algunos remolinos, o encierros de igual cota, se hizo necesario realizar un modelo de terreno en 3D de la zona, y de esta manera ver claramente la topografía con sus quiebres (picos altos y bajos). En la figura 23, se muestra el modelo de terreno en 3D de la zona de estudio, generado con el programa visual ModFlow 2010.1.

Al generar el modelo de terreno en 3D y ubicar la estación de servicio Esso Cavasa (cota 955 msnm), se observa que está sobre una colina con pendiente menor a 0.1%; sin embargo al sur y norte de la estación la cota es menor, lo que provocaría una desviación local del sentido de flujo regional (Este - Oeste) y convertirse en un sentido de flujo Este - Sur, teniendo en cuenta sólo el relieve de la zona.

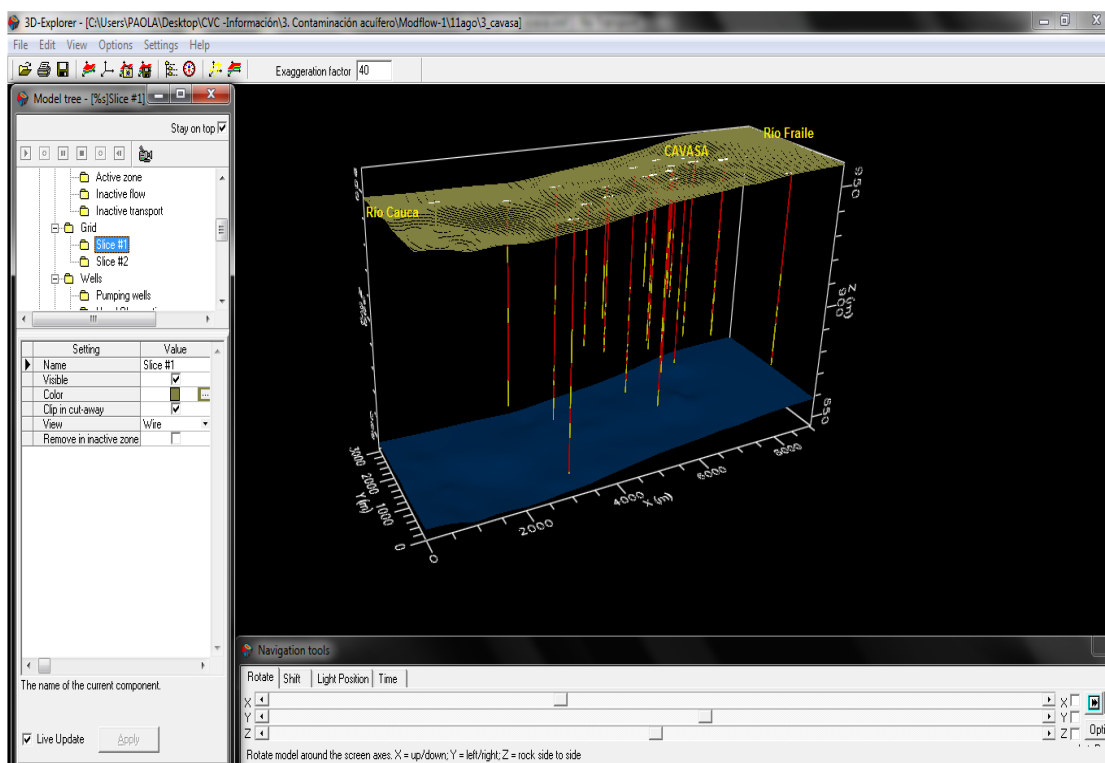


Figura 23. Modelo de terreno del río Cauca al río Fraile por la vía a Candelaria

4.2.4. Hidrogeología

Sobre la llanura aluvial del río Cauca se identifican dos sistemas acuíferos muy bien definidos (A y C); hacia los conos aluviales y conos de deyección se pierde esta diferenciación para presentarse una secuencia alterna de capas permeables e impermeables de diferente espesor y granulometría. En el anexo 3 se esquematizan estas unidades.

Los acuíferos libres y semiconfinados hacen parte de la unidad A, los sedimentos del subsuelo en los primeros 120-150 m de profundidad están constituidos por una secuencia alterna de capas permeables e impermeables; dentro de las capas permeables están las gravas y arenas con guijarros desde muy finos en la llanura aluvial y partes bajas de los conos aluviales hasta cantos rodados y bloques en las partes medias y altas de los conos aluviales, las capas impermeables son lentes de arcilla y limos.

En el municipio de Candelaria, los aljibes con profundidades de 10 a 15 m captan el acuífero libre, y los pozos profundos con profundidades de 50 a 300 m captan el acuífero semiconfinado y confinado, dependiendo de la ubicación de los filtros del pozo, así como de la calidad y cantidad de agua subterránea que se requiera.

Al analizar los valores de conductividad hidráulica de las pruebas de bombeo (anexo 9), realizadas a pozos de la zona de estudio con profundidades iguales o menores a los 100 m, se observó que el dato de conductividad hidráulica oscila entre 13 m/d y 20 m/d.

Se trazó un corte A – A' (figura 22), para la correlación hidrogeológica Este - Oeste (figura 24) de la zona de estudio. En la figura 24 se evidencia una primera capa de suelo arenoso-limoso de aprox. 80 cm de espesor, seguido por un estrato arcillo-limoso de aprox. 3 m de espesor, luego a los 4 m de profundidad se encuentra el primer estrato permeable de arena con un espesor de aprox. 3 m, como base de este estrato arenoso vienen un estrato impermeable de arcilla con espesores de 5 m hasta 12 m en algunos tramos. El estudio se centró en la evaluación de la calidad del agua de este primer acuífero por su alto riesgo de contaminación.

La ubicación de los filtros de captación del agua subterránea de los 9 pozos profundos, utilizados para la correlación están a partir de los 24 m de profundidad, de esta manera se garantiza una buena calidad del recurso hídrico, teniendo en cuenta que el acuífero está siendo protegido por un tapón de arcilla de un espesor que varía entre 5 y 12 m aprox. ubicado de 8 a 15 m de profundidad, como se observa en la figura 24.

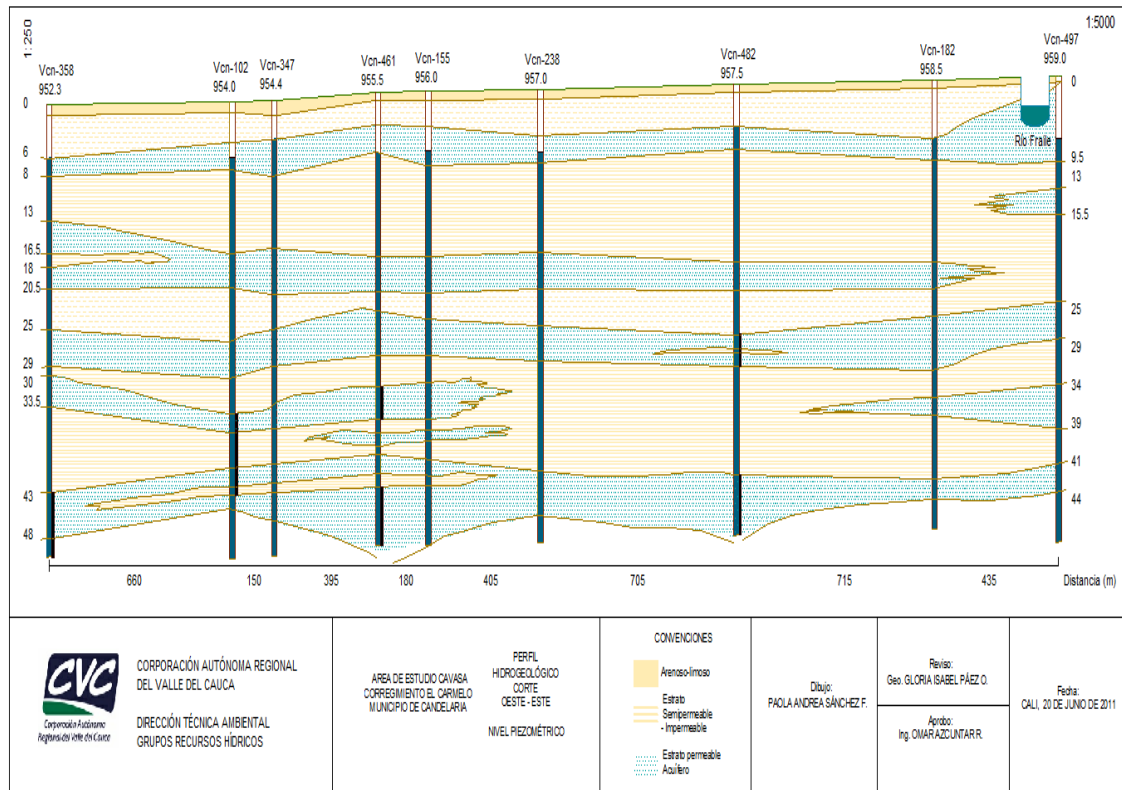


Figura 24. Correlación hidrogeológica corte Este-Oeste

4.2.5. Niveles Freáticos

De acuerdo a la información tomada durante el monitoreo de los pozos y aljibes, ubicados en un radio de 500 m con respecto a la estación de servicio Esso Cavasa, el nivel freático de la zona se encuentra en un rango de 1.8 m (verano) a 3.5 m (invierno). En la figura 25 se muestra un plano de los niveles freáticos medidos en época de invierno (sep_2011) y en la figura 26 se muestran los niveles freáticos medidos en época de verano (jul_2011), en la zona de estudio.

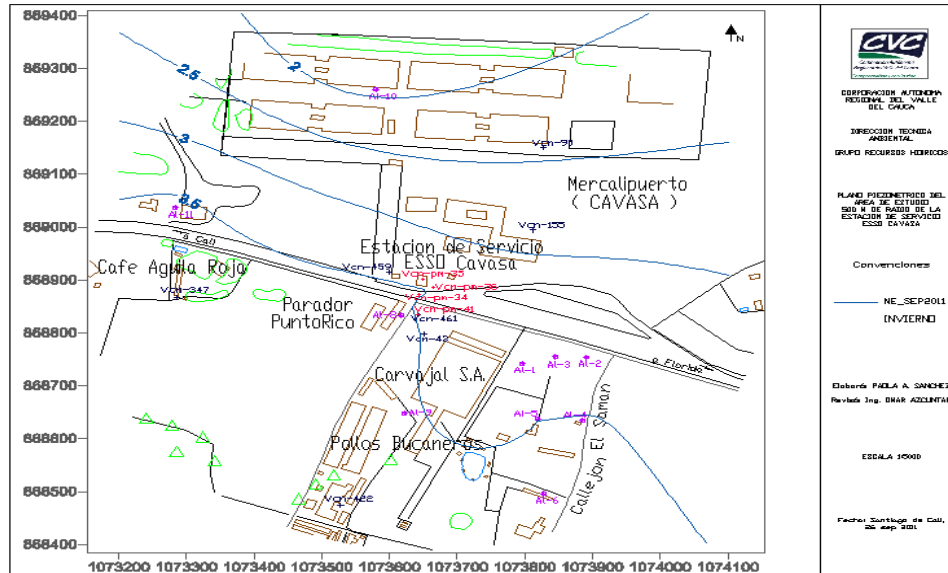


Figura 25. Plano niveles freáticos en invierno de la zona de estudio

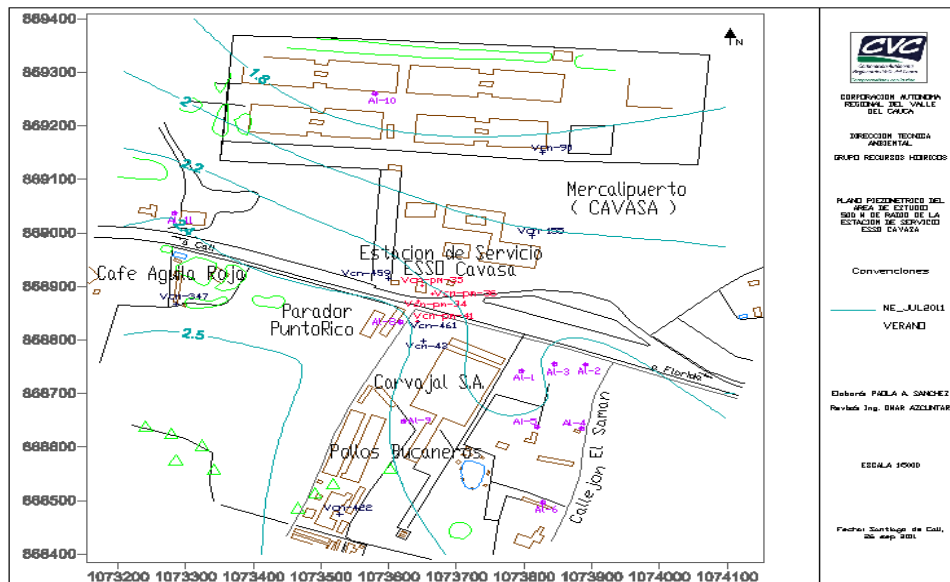


Figura 26. Plano niveles freáticos en verano de la zona de estudio

4.2.6. Dirección de Flujo Subterráneo

Cabe mencionar que para generar este flujo subterráneo, se tuvo en cuenta parámetros hidráulicos propios de la zona: conductividad hidráulica, transmisividad, porosidad y espesor del primer acuífero (libre), toda ésta información fue de pozos de hasta 100 m de profundidad. De igual manera, se tomaron valores de niveles freáticos desde el año 2007 al 2011, valores de precipitación y evaporación registrados en estaciones climatológicas de la zona.

En la figura 27 se muestra las líneas equipotenciales generadas por el Programa Visual Modflow 2010.1, así como los vectores de la dirección del flujo subterráneo del área que comprende del río Cauca al río Fraile por la vía Candelaria. Como se observa, el flujo subterráneo sigue la dirección del flujo regional del Valle del Cauca desde el piedemonte (Este) hasta el río Cauca (Oeste); sin embargo tiende a haber una desviación 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 influencia o captura que se generan en los pozos profundos localizados en esta zona.

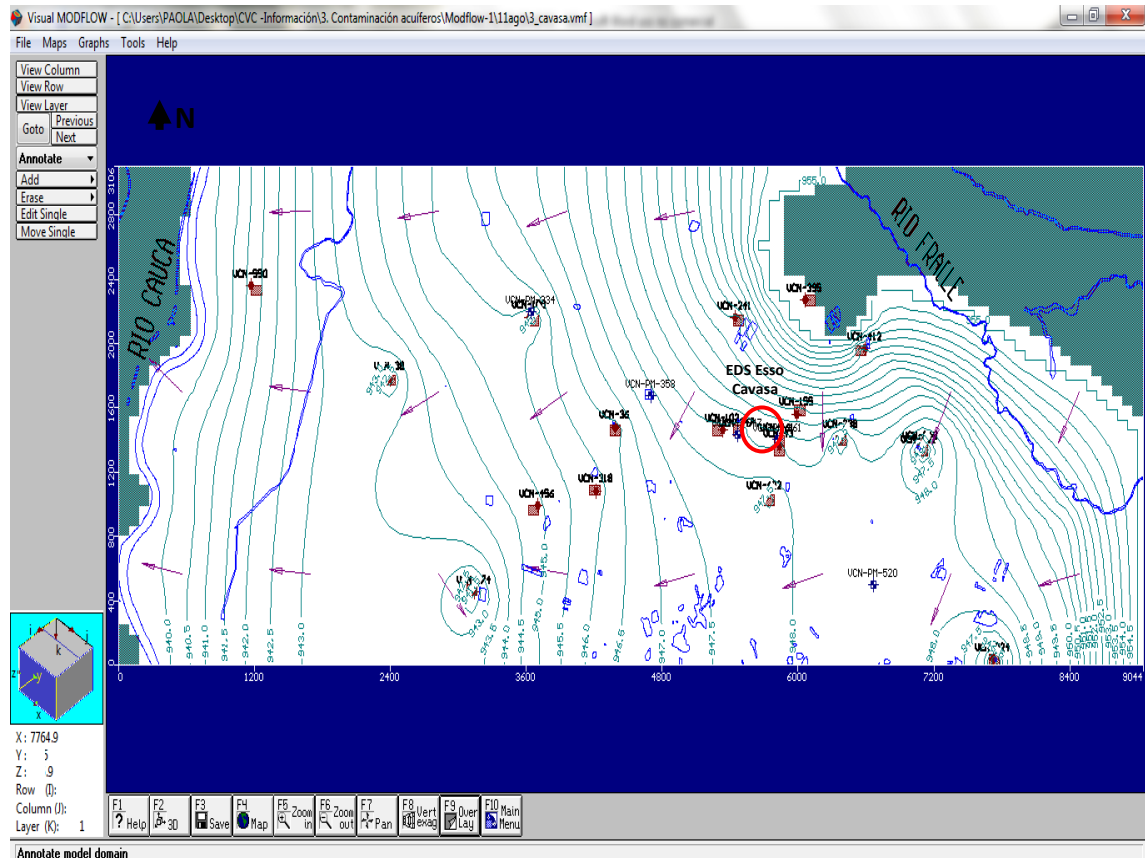


Figura 27. Dirección de flujo subterráneo y líneas equipotenciales

Las zonas de captura que generan los pozos profundos cercanos a la estación de servicio, los cuales bombean un caudal considerable y durante un tiempo prolongado, se muestran en la figura 28. A su vez, los cálculos de abatimientos, interferencia y radios de influencia se muestran en el anexo 12.

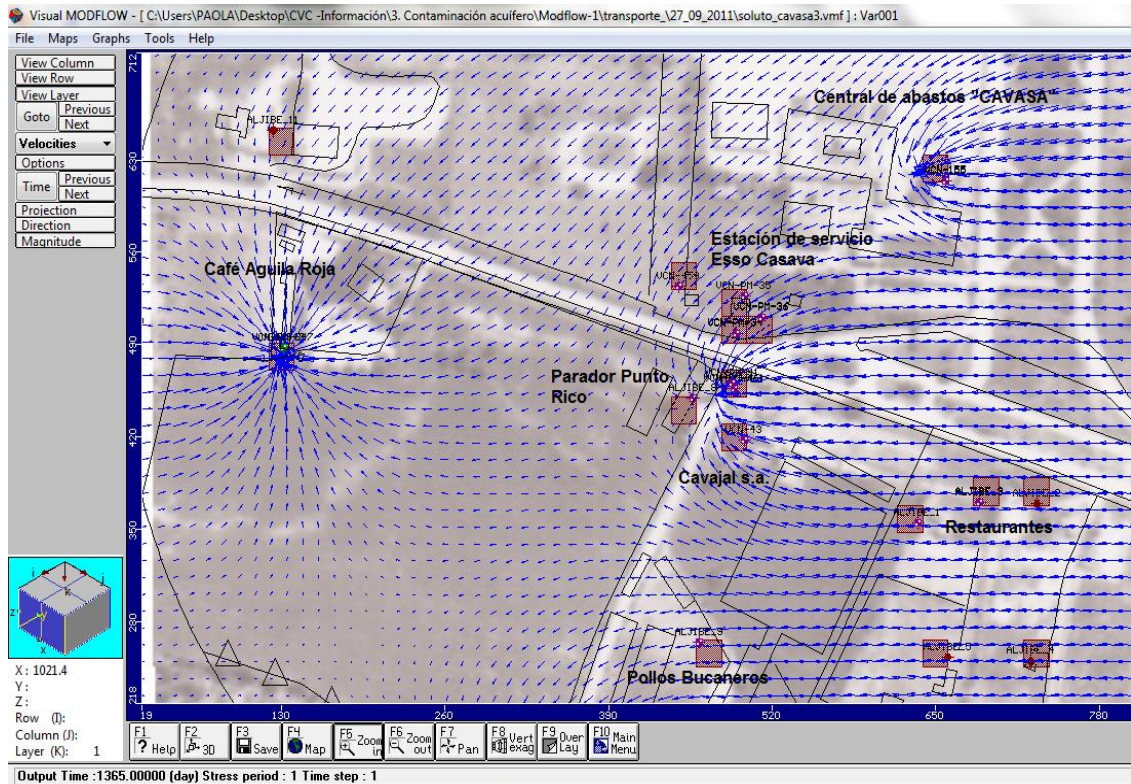


Figura 28. Zonas de captura de las líneas de flujo subterráneo en los pozos profundos

A continuación se especifican los datos de funcionamiento de los pozos más cercanos (menos de 400 m) a la estación de servicio Esso Cavasa:

El pozo Vcn-155 de propiedad de la central de abastos “Cavasa” tiene concesionado un caudal de 16.5 l/s, y el tiempo de bombeo son 8 horas al día durante los 7 días de la semana; éste pozo tiene instalada una bomba con prendido automático y llena un tanque elevado.

El pozo Vcn-461 de propiedad de la empresa Carvajal S.A. tiene concesionado un caudal de 15 l/s, y el tiempo de bombeo son 4 horas al día durante los 7 días de la semana; éste pozo tiene instalada una bomba sumergible a los 27 m de profundidad.

El pozo Vcn-459 de propiedad de la estación de servicio Esso Cavasa tiene concesionado un caudal de 2.6 l/s, y el tiempo de bombeo son 5 horas al día durante los 7 días a la semana.

4.3. Esquema Modelo Conceptual de la situación

En las figuras 29 y 30, se muestran dos cortes (Este – Oeste y Sur - Norte) del modelo conceptual de 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.

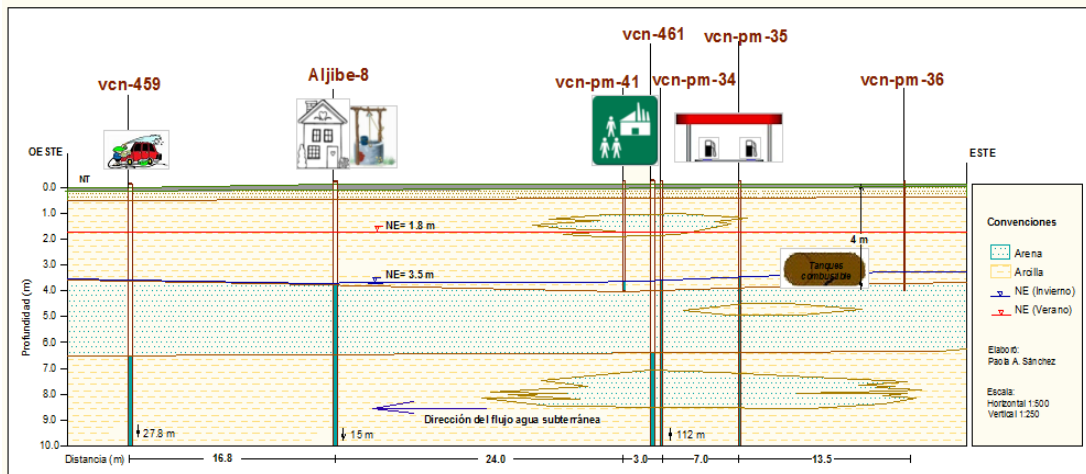


Figura 29. Modelo conceptual corte Este – Oeste

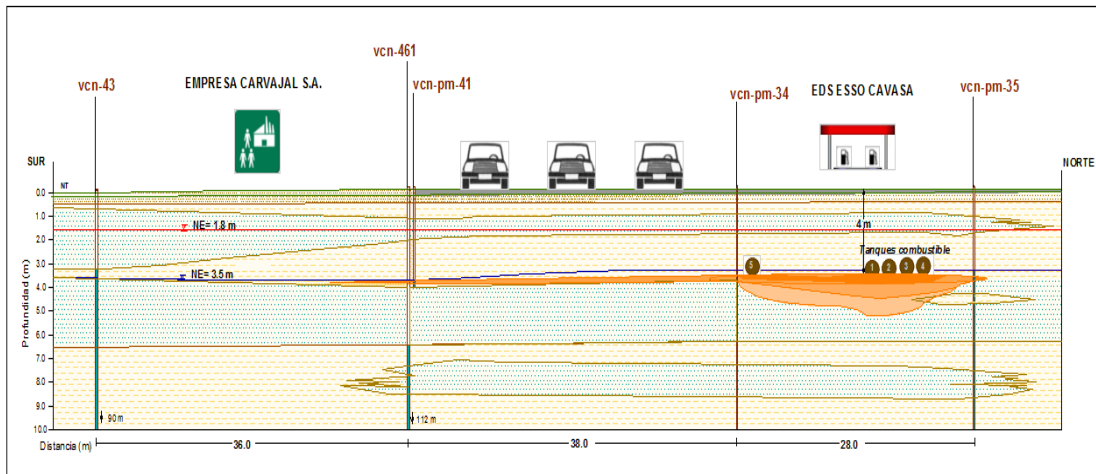


Figura 30. Modelo conceptual corte Sur – Norte

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 29) 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.

En la figura 31, se muestra un esquema de escenarios de exposición conceptuales para el sitio. La estructura del esquema fue acoplado del *Manual Técnico para la Ejecución de Análisis de Riesgos para Sitios de Distribución de Derivados de Hidrocarburos* (MAVDT, 2007).

En este esquema se precisa las fuentes primarias, fuentes secundarias, vías de exposición, caracterización del receptor y los comentarios que se consideren en el sitio, en este caso en la estación de servicio Esso Cavasa. Al hacer una primera inspección al sitio se llena este esquema de escenarios considerando lo siguiente:

Fuentes primarias: Tanques/baterías de almacenamiento y Tuberías de distribución;

Fuentes secundarias: Compuestos de interés disueltos en agua subterránea, Suelos profundos contaminados de algún compuesto de interés, Suelos superficiales contaminados de algún compuesto de interés, Producto libre sobre agua subterránea;

Vías de exposición: Ingestión de agua subterránea, Lixiviación de suelo a agua subterránea, Contacto dermal/ingestión/inhalación vapores y partículas de suelo superficiales, Intrusión de vapores de producto libre;

Caracterización del receptor: Residencial, Agrícola, Comercial/industrial, Exposición/incendio, Salud crónica;

Dentro de los comentarios se especifica que no existen receptores ecológicos sensibles a la contaminación en un radio menor o igual a 500 m; además que los pozos visitados están ubicados en zonas abiertas al aire libre, descartando la inhalación de vapores en espacios cerrados.

ESCENARIOS DE EXPOSICIÓN CONCEPTUALES PARA EL SITIO

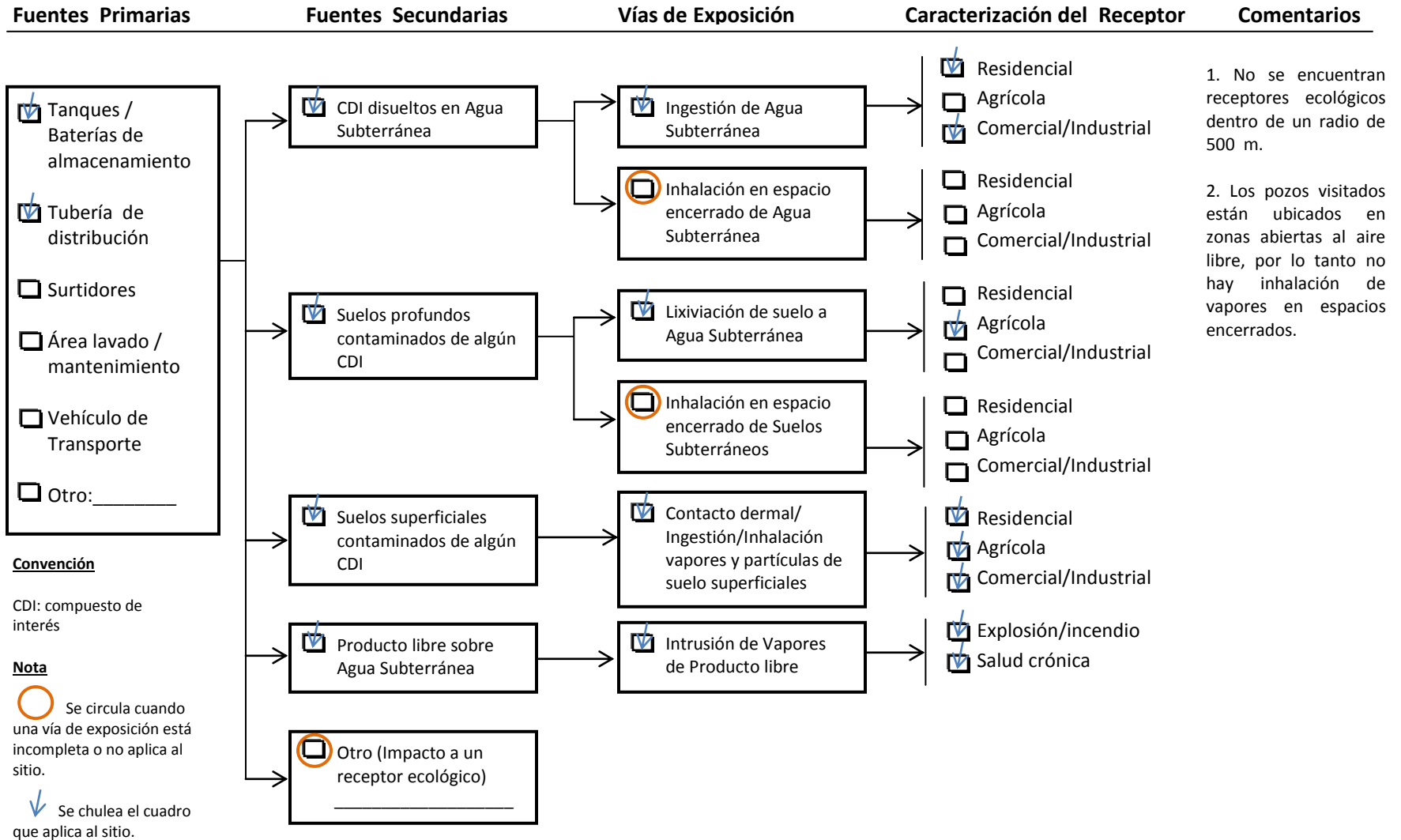


Figura 31. Esquema escenarios de exposición conceptuales para el sitio (Estación de servicio Esso Cavasa)

4.3.1. Hipótesis de la Contaminación

Para que la contaminación haya entrada al pozo profundo Vcn-461 de propiedad de la empresa Carvajal S.A. se pueden plantar tres *hipótesis*:

- El pozo Vcn-461 no tiene el sello sanitario, tal como aparece en la ficha técnica del pozo;
- El sello sanitario del pozo Vcn-461 existe pero tiene fisuras y permite la entrada de contaminantes a través del filtro de grava y luego por el primer filtro ubicado a los 32.5 m de profundidad;
- El contaminante viajó por el primer estrato acuífero influenciado por el bombeo y entró por el pozo abandonado Vcn-43 (sin sello sanitario) de propiedad de Carvajal S.A. hasta llegar al pozo Vcn-461, ubicado a menos de 30 m de distancia.

4.4. Análisis Resultados de Laboratorio

4.4.1. Aguas subterráneas

4.4.1.1. Laboratorio Ambiental CVC

Las concentraciones de hidrocarburos aromáticos en las muestras de agua subterránea tomadas los días 5, 6 y 12 de septiembre de 2011, no sobrepasan el valor máximo permisible (10 µg/L), estipulado por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, y Ministerio de la Protección Social en la Resolución 2115/07 para Agua Potable. En el anexo 13 se adjuntan los reportes del Laboratorio Ambiental de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca -CVC.

Al analizar los reportes del laboratorio Ambiental de la CVC, las mayores concentraciones de hidrocarburos aromáticos, las registraron los pozos Vcn-pm-34 con 7.41 µg/L (tabla 14), Vcn-pm-35 con 5.42 µg/L (tabla 15) y Vcn-459 con 3.78 µg/L (tabla 16); los tres pozos son de propiedad de la estación de servicio Esso Cavasa.

Tabla 14. Análisis fisicoquímicos de aguas. Pozo de monitoreo Vcn-pm-34

POZO Vcn-pm-34						
PARÁMETRO	UNIDAD	FECHAS DE MUESTREOS				
		5 sep/11 (Bailer)	5 sep/11 (Bomba)	26 may/09 (Bomba)	7 jul/08 (Bomba)	26 nov/07 (Bomba)
pH	unidades	6.23	6.57	6.78	6.59	-
Conductividad	µs/cm	1080	1067	1008	989.1	-
Hidrocarburos Aromáticos	µg/L	7.41	0.88	5.06	1.61	-
Hidrocarburos Totales		-	< 5.0	-	-	0.94
Plomo	mg/L	-	< 0.34	<0.06	-	-
Níquel		-	< 0.09	<0.09	--	--
Grasas		-	8.42	-	-	-

Tabla 15. Análisis fisicoquímicos de aguas. Pozo de monitoreo Vcn-pm-35

POZO Vcn-pm-35						
PARÁMETRO	UNIDAD	FECHAS DE MUESTREOS				
		5 sep/11 (Bailer)	5 sep/11 (Bomba)	26 may/09 (Bomba)	7 jul/08 (Bomba)	26 nov/07 (Bomba)
pH	unidades	-	6.64	6.81	6.66	-
Conductividad	µs/cm	-	1048	103	1008	-
Hidrocarburos Aromáticos	µg/L	5.42	3.22	2.84	1.48	-
Hidrocarburos Totales		-	6.08	-	-	1.78
Plomo	mg/L	-	<0.34	<0.06	-	-
Níquel		-	<0.09	<0.09	-	-
Grasas		-	8.70	-	-	-

Tabla 16. Análisis fisicoquímicos de aguas. Pozo Vcn-459

POZO Vcn-459				
PARÁMETRO	UNIDAD	FECHAS DE MUESTREOS		
		5 sep/11 (Bomba)	17 nov/09 (Bomba)	7 jul/08 (Bomba)
pH	unidades	7.22	7.21	7.11
Conductividad	µs/cm	983	1107	930
Hidrocarburos Aromáticos	µg/L	3.78	5.31	0.164
Hidrocarburos Totales		<5.0	-	-
Plomo	mg/L	<0.34	<0.32	-
Níquel		<0.09	<0.09	-
Grasas		10.9	-	-

Comparando las concentraciones de hidrocarburos aromáticos encontradas en los años 2008, 2009 y 2011 en los pozos de monitoreo Vcn-pm-34, Vcn-pm-35 y pozo Vcn-459, se observa un aumento de este compuesto en el agua subterránea (figura 32), indicando que la fuente de contaminación está activa y que la estación de servicio Esso Cavasa es la directamente responsable de la fuga de hidrocarburo que se ha transportado por la zona no saturada hasta llegar al nivel freático.

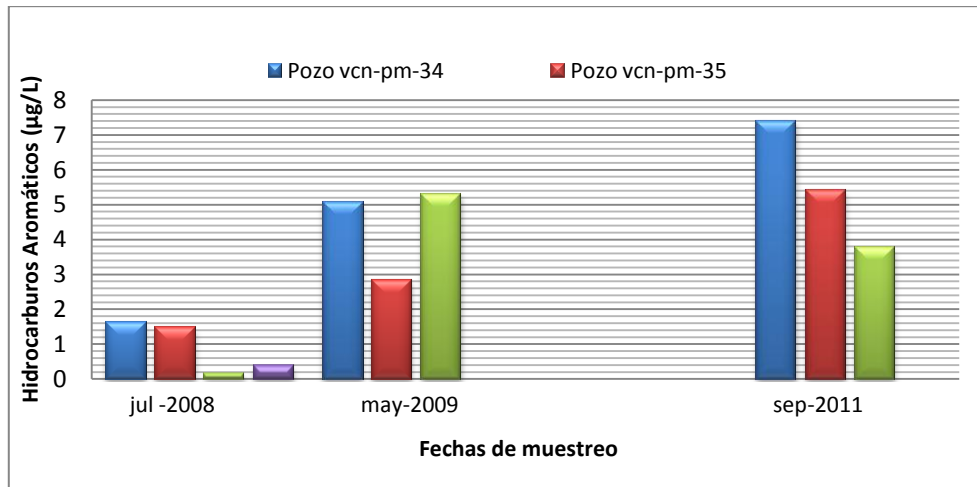


Figura 32. Comparación concentraciones de hidrocarburos aromáticos

El pozo Vcn-461 de propiedad de la empresa Carvajal S.A., afectado por la contaminación de hidrocarburos reportada en el año 2007, presento una concentración de Hidrocarburos Aromáticos de 0.81 µg/L (tabla 17), lo cual es un valor bajo en comparación con el inicialmente reportado (5.20 µg/L).

Sin embargo, el olor a hidrocarburo que se percibió el día del muestreo (sep.6/2011) fue muy penetrante; de ésta manera, hay que tener en cuenta que la muestra de agua subterránea que se llevo al laboratorio, fue tomada al ser bombeado el pozo a un caudal de 15 LPS y la bomba está instalada a 27 m de profundidad, siendo una muestra mezclada de los diferentes acuíferos captados.

Tabla 17. Análisis fisicoquímicos de aguas. Pozos propiedad Carvajal S.A.

PARÁMETRO	UNIDAD	POZO Vcn-461			POZO Vcn-43	POZO Vcn-pm-41
		FECHAS DE MUESTREOS				
		6 sep/11 (Bomba)	17 nov/09 (Bomba)	14 mar/07 (Bomba)	6 sep/11 (Bomba)	6 sep/11 (Bailer)
pH	unidades	7.26	7.83	8.3	8.33	-
Conductividad	µs/cm	777	922	743	192	-
Hidrocarburos Aromáticos	µg/L	0.81	0.729	5.20	1.04	2.63
Hidrocarburos Totales		-	-	-	-	-
Plomo	mg/L	<0.34	<0.32	-	<0.34	-
Níquel		<0.09	<0.09	-	<0.09	-
Grasas		17.4	-	-	13.5	-

Por otra parte, el pozo de monitoreo Vcn-pm-41 ubicado a menos de un metro de distancia del pozo Vcn-461, reportó una concentración de 2.63 µg/L en Hidrocarburos Aromáticos; ésta muestra de agua subterránea fue tomada con bailer (sin alterar). Así mismo, se debe tener en cuenta que dicho pozo tiene una profundidad de 4 m, lo cual indica que se alcanza a tomar el primer estrato de arena de la zona localizado de 3.5 a 6.5 m.

Al analizar la concentración de 1.04 µg/L en Hidrocarburos Aromáticos reportada por el pozo Vcn-43, se descarta en principio la hipótesis que el hidrocarburo llego hasta el pozo Vcn-461 por medio del estrato de arena que conecta a éste con el pozo Vcn-43, y por las líneas de flujo que muestra la zona de captura del pozo Vcn-461. Por otra parte, siguen en pie las otras dos hipótesis.

Las concentraciones registradas por las muestras de agua subterránea de los aljibes seleccionados están en la tabla 18. Se observa que la mayor concentración en Hidrocarburos Aromáticos es 1.91 µg/L, y la reporta el aljibe-8 de propiedad del restaurante Punto Rico ubicado a 38 m de la estación de servicio Esso Cavasa, siendo éste aljibe el más cercano a la estación. Los otros aljibes reportaron concentraciones que oscilan entre 0.6 y

1.0 µg/L, valores bajos en comparación con el valor máximo permisible de 10 µg/L estipulado por la Resol. 2115/07 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, y Ministerio de la Protección Social. El hecho de que no se sobrepase el valor máximo permisible no indica que no haya contaminación sino que posiblemente puede estar en avance.

Tabla 18. Análisis fisicoquímicos de aguas. Aljibes seleccionados para el muestreo

PARÁMETRO	UNIDAD	Aljibe-1	Aljibe-3	Aljibe-8	Aljibe-9
		FECHAS DE MUESTREOS			
		6 sep/11 (Bomba)	12 sep/11 (Bomba)	5 sep/11 (Bomba)	6 sep/11 (Bomba)
pH	unidades	6.83	6.90	6.84	7.14
Conductividad	µs/cm	1426	2246	1179	796
Hidrocarburos Aromáticos	µg/L	0.58	0.83	1.91	1.08
Hidrocarburos Totales		-	-	16.0	-
Plomo	mg/L	<0.34	<0.34	<0.34	<0.34
Níquel		<0.09	<0.09	<0.09	<0.09
Grasas		22.0	7.82	9.67	12.0

Otro de los pozos muestreados fue el pozo Vcn-155 de propiedad de la Central de abastos "Cavasa", el cual reportó una concentración de 0.43 µg/L (tabla 19) en Hidrocarburos Aromáticos, valor bajo con respecto al máximo permisible en este parámetro.

Tabla 19. Análisis fisicoquímicos de aguas. Pozo Vcn-155

POZO Vcn-155		
PARÁMETRO	UNIDAD	FECHA DE MUESTREO
		12 sep/11 (Bomba)
pH	unidades	7.56
Conductividad	µs/cm	626
Hidrocarburos Aromáticos	µg/L	0.43
Hidrocarburos Totales		-
Plomo	mg/L	<0.34
Níquel		<0.09
Grasas		11.9

En la figura 33, se muestran las isolíneas de concentración de Hidrocarburos Aromáticos, generadas a partir de los reportes de laboratorio de sep/2011. El rango de concentración encontrado está de 7.5 µg/L a 3.5 µg/L en las instalaciones de la estación de servicio Esso Cavasa, y en rangos de 1.0 µg/L a 0.4 µg/L en zonas más apartadas.

Las doce muestras de agua subterránea tomadas para análisis, registraron un pH de 6.5 a 8.3, rango que está dentro del permisible (6.5 – 9.0) para agua potable estipulado por la Resol. 2115/2007 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, y Ministerio de la Protección Social.

En la tabla 18, se muestra los valores de conductividad del aljibe 1 (1426 µs/cm), aljibe 3 (2246 µs/cm) y aljibe 8 (1179 µs/cm), siendo los valores más altos registrados durante el muestreo, y que están por encima del valor máximo permisible (1000 µs/cm) para agua potable, según la Resolución 2115/2007 expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, y el Ministerio de la Protección Social. La alta conductividad puede estar relacionada con contaminación orgánica producto de tanques sépticos y/o letrinas.

El parámetro Grasas debe estar ausente (Resol. 2115/2007 del MAVDT) en muestras de agua que sean para uso potable; sin embargo en todas las muestras de agua subterránea (doce en total) se registraron grasas en un rango de 7.8 a 22.0 mg/L; siendo preocupante la calidad del agua subterránea de la zona, y más aún que el pozo Vcn-155 (Central de abastos "Cavasa") y el aljibe 9 (Pollos Bucaneros) que utilizan agua subterránea para el lavado de alimentos y avicultura, reportaron una concentración en grasas de 12 mg/L. La mayor concentración de Grasas (22 mg/L), la registró la muestra del aljibe 1 de propiedad de Frutas Carolina, donde el uso del agua es doméstico.

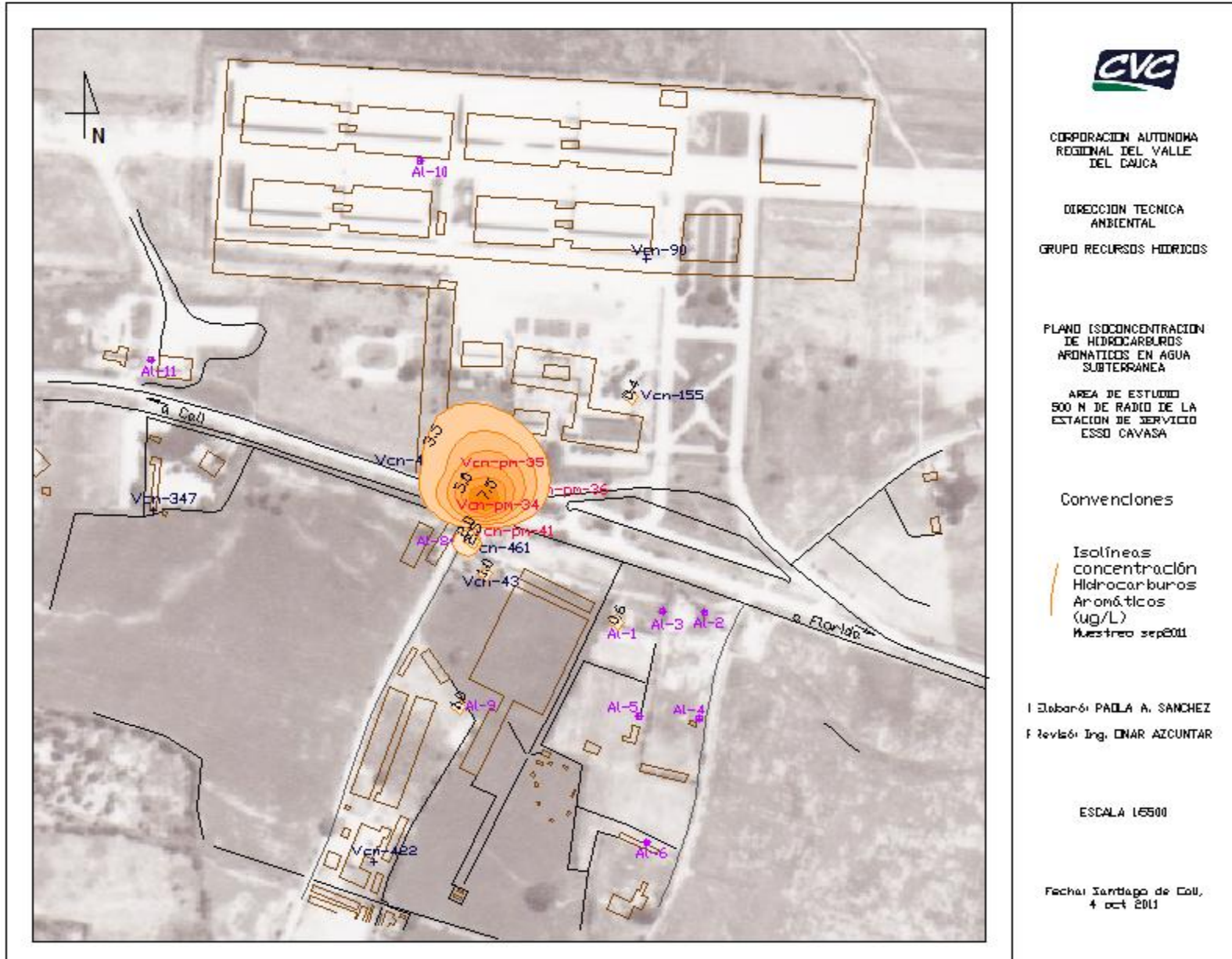


Figura 33. Plano isoconcentración de Hidrocarburos Aromáticos (sep/2011)

4.4.1.2. Laboratorios especializados U.S.

En la tabla 20 se muestran los resultados de las muestras de agua subterránea obtenidos en Ago/2008, presentados por la empresa Hidrogeoambiental S.A.. Los parámetros fueron analizados en Lancaster Laboratories U.S. Para esta fecha (Ago/2008), los pozos que presentaron mayor concentración de BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno), e Hidrocarburos totales del petróleo (TPH) en rangos orgánicos de gasolina (GRO) y diesel (DRO), fueron los pozos de monitoreo Vcn-pm-41 (ubicado a 4 m del pozo Vcn-461 de propiedad de la empresa Carvajal S.A.) y el Vcn-pm-36 (ubicado cerca a las oficinas de la estación de servicio). A su vez, el pozo de monitoreo PM-3 (cercano al pozo Vcn-pm-34) reportó concentraciones de TPH-GRO y TPH-DRO altas, por encima de lo permitido por el MAVDT.

Tabla 20. Resumen resultados de laboratorio comparados con los límites del MAVDT

Parámetro	Unidad	MAVDT Exposición a Agua Subterránea/ Superficial Potable	Fecha de Muestreo: ago-7/2008				
			Vcn-pm-41	Vcn-459	PM-3 (Vcn-pm-34)	Vcn-pm-36	
BTEX	Benceno	mg/l	0.01	0.5	<0.001	0.0056	3.0
	Tolueno	mg/l	0.93	2.5	<0.001	0.0049	1.1
	Etilbenceno	mg/l	1.6	0.72	<0.001	0.0017	0.67
	Xileno	mg/l	0.27	4.3	<0.003	0.012	3.4
TPH GRO	mg/l	0.32	25	<0.05	0.510	27	
TPH DRO	mg/l	0.29	2.6	3.2	1.1	3.8	
TPH ERO	mg/l	-	-	-	-	-	
TPH ORO	mg/l	-	-	-	-	-	
MTBE	mg/l	-	-	-	-	-	

■ Concentración que sobrepasa el límite permisible. - Análisis no realizado ND: No detectable

En la tabla 21 se presentan las concentraciones obtenidas durante el muestreo el 6 de septiembre de 2011 por la empresa Geosub Ltda. Las muestras de agua subterránea fueron enviadas a los Estados Unidos al Laboratorio International Analytical Group.

Se observa que el pozo Vcn-461 de propiedad de la empresa Carvajal S.A. no presenta concentraciones detectables de los compuestos analizados. Así mismo, el pozo Vcn-459 de uso para el lavado de carros de la estación de servicio Esso Cavasa, no presenta concentraciones detectables en BTEX y TPH-GRO, y la concentración obtenida de 0.14 mg/L en TPH-DRO está por debajo del límite permisible por el MAVDT. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la muestra de agua fue tomada con el caudal de bombeo del

pozo y esto genera mucha volatilización que puede hacer disminuir las concentraciones de hidrocarburos.

Las mayores concentraciones registradas que superan los límites establecidos por el MAVDT, tal como lo muestra la tabla 21, están en los pozos de monitoreo Vcn-pm-34 y Vcn-pm-36, ambos ubicados en la estación de servicio Esso Cavasa.

Tabla 21. Resumen resultados de laboratorio comparados con los límites del MAVDT

Parámetro	Unidad	MAVDT Exposición a Agua Subterránea/ Superficial Potable	Fecha de Muestreo: sep-6/2011			
			Vcn-461 (Bomba del pozo)	Vcn-459 (Bomba del pozo)	Vcn-pm-34 (Bailer)	Vcn-pm-36 (Bailer)
BTEX	Benceno	mg/l	0.01	ND	12	1.9
	Tolueno	mg/l	0.93	ND	5.0	0.043
	Etilbenceno	mg/l	1.6	ND	1.2	0.17
	Xileno	mg/l	0.27	ND	7.3	ND
TPH GRO	mg/l	0.32	ND	ND	39	6.7
TPH DRO	mg/l	0.29	ND	0.14	5.9	3.2
TPH ERO	mg/l	-	ND	0.17	15	4.9
TPH ORO	mg/l	-	ND	ND	ND	ND
MTBE	mg/l	-	ND	0.0061	5.9	0.11

■ Concentración que sobrepasa el límite permisible. - Análisis no realizado ND: No detectable

Es preocupante observar (tabla 21) la concentración de TPH-GRO (39 mg/L) registrada en el pozo de monitoreo Vcn-pm-34, siendo superior casi 100 veces al límite establecido por el MAVDT para agua potable (0.32 mg/L). Así mismo, las concentraciones de BTEX y TPH-DRO están por encima de los límites permitidos por el MAVDT, llegando a ser de 5 a 10 veces mayor la concentración con respecto al límite de referencia. Cabe anotar que el pozo de monitoreo Vcn-pm-35 no fue monitoreado, siendo éste uno de los pozos con mayor olor a hidrocarburos.

El pozo de monitoreo Vcn-pm-36 localizado cerca a las oficinas de la estación de servicio Esso Cavasa, también reportó concentraciones altas en los parámetros TPH-GRO y TPH-DRO.

En el anexo 14 se adjuntan los reportes presentados por los Laboratorios Lancaster e International Analytical Group de U.S.

En la figura 34 se muestran los diagramas de barras comparativos de cada parámetro analizado en los laboratorios de U.S. de los resultados obtenidos en Agosto/2008 y Septiembre/2011.

Observando el parámetro Benceno en las muestras de agua subterránea de ambos años, se nota que la concentración ha disminuido en el pozo de monitoreo Vcn-pm-36 (de 3.0 mg/L a 1.9 mg/L), pero el valor del parámetro sigue siendo superior al límite permisible por el MAVDT. En los pozos Vcn-459 y Vcn-461 la concentración se ha hecho no detectable. Sin embargo, existe la particularidad de que en el pozo de monitoreo Vcn-pm-34 localizado en la estación de servicio Esso Cavasa, la concentración de Benceno ha aumentado considerablemente, pasando de 0.0056 mg/L (2008) a 12 mg/L (2011).

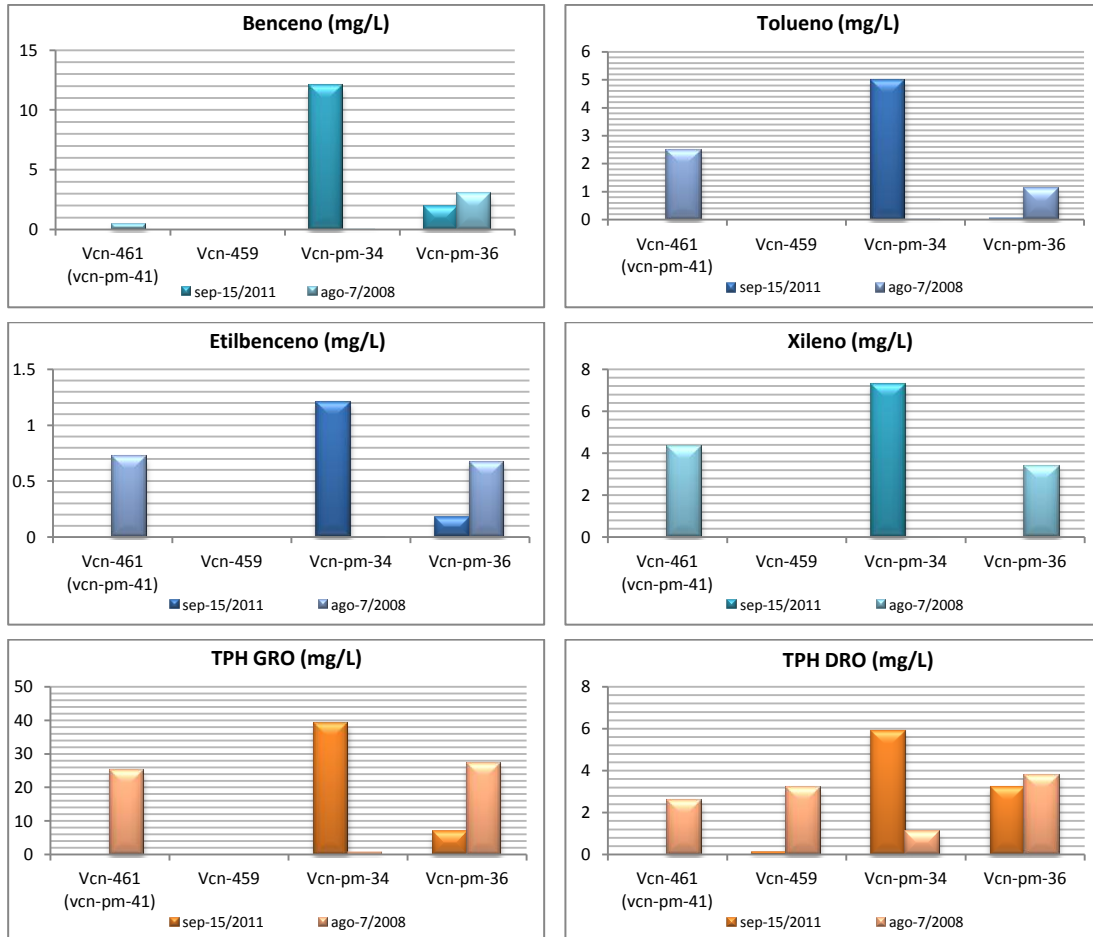


Figura 34. Comparación por parámetros analizados en Ago/2008 y Sep/2011

La concentración de Tolueno en los pozos monitoreados ha disminuido (Vcn-pm-36) hasta no ser detectado en los pozos Vcn-459 (lavado de carros estación de servicio) y Vcn-461 (Carvajal S.A.). Sin embargo, en el pozo de monitoreo Vcn-pm-34 la concentración de Tolueno ha aumentado (de 0.0049 mg/L en el año 2008 a 5 mg/L en el año 2011).

Así mismo, las concentraciones de Etilbenceno y Xileno en las muestras de agua subterránea monitoreadas han disminuido hasta no ser detectable en los pozos Vcn-pm-36, Vcn-459 y Vcn-461; con la particularidad de que en el

pozo de monitoreo Vcn-pm-34 de propiedad de la estación de servicio las concentraciones en ambos parámetros (Etilbenceno y Xileno) han aumentado del año 2008 al año 2011, en una proporción mayor a 10 veces.

La concentración de hidrocarburos totales del petróleo (TPH) en rangos orgánicos de gasolina (GRO), en los pozos Vcn-459 y Vcn-461 no ha sido detectada. En los pozos de monitoreo de la estación de servicio Vcn-pm-36 y Vcn-pm-34 las concentraciones registradas en el año 2011 son superiores al límite estipulado por el MAVDT, en el pozo Vcn-pm-36 ésta concentración disminuyó con respecto al año 2008 y en el pozo Vcn-pm-34 el parámetro TPH-GRO aumento exponencialmente, pasando de 0.51 mg/L a 39 mg/L.

La concentración de hidrocarburos totales del petróleo (TPH) en rangos orgánicos de diesel (DRO), en el pozo de monitoreo Vcn-pm-36 fue muy similar del año 2008 al 2011 (de 3.8 mg/L a 3.2 mg/L), persistiendo este valor por encima de lo permitido por el MAVDT. En el pozo de monitoreo Vcn-pm-34 la concentración aumento de 1.1 mg/L (2008) a 5.9 mg/L (2011), siendo estos valores mayores a lo permitido por el MAVDT. De manera contraria, ocurre con el pozo Vcn-459 donde la concentración de TPH-DRO disminuyó hasta estar por debajo de la norma, y en el pozo Vcn-461 donde para el 2011 no es detectado este parámetro.

Otra forma de analizar las concentraciones de cada parámetro obtenida en los análisis de laboratorio es mediante los Diagramas de Stiff, los cuales sirven para visualizar rápidamente la variación espacial de un determinado análisis. En la figura 35 se muestran los diagramas construidos con los resultados del laboratorio International Analytical Group, muestreo realizado en Septiembre de 2011 a cuatro pozos del área de estudio (Vcn-459, Vcn-461, Vcn-pm-34 y Vcn-pm-36).

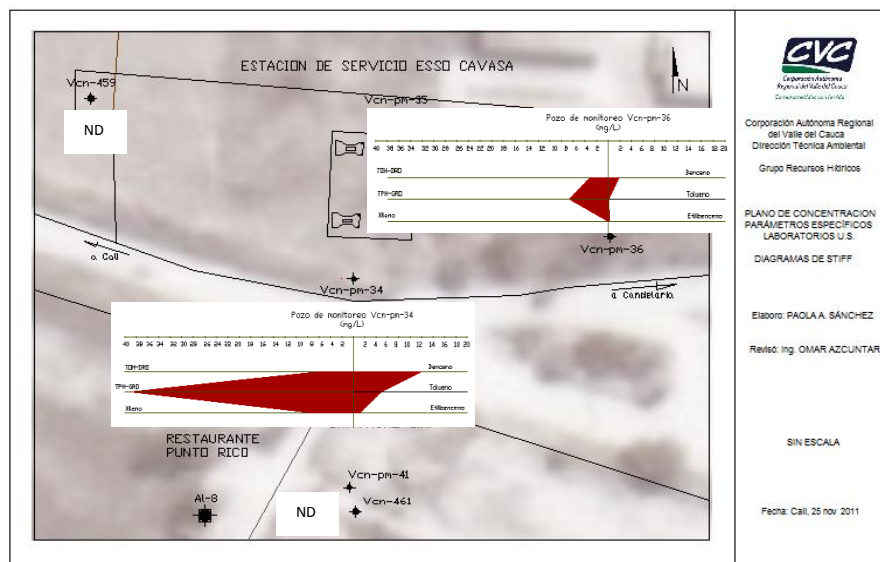


Figura 35. Plano representación de concentraciones (Sep.2011) con Diagramas de Stiff

4.4.2. Suelo

En la Tabla 22 se presentan los valores de COV registrados en el perfil de suelo de tres pozos de monitoreo con su respectiva profundidad; en el anexo 15 se adjuntan estos mismos resultados junto con la descripción litológica y la evaluación organoléptica realizada por la empresa Hidrogeoambiental S.A. en el año 2008.

Tabla 22. Concentración de Compuestos Orgánicos Volátiles (Ago/2008)

PROFUNDIDAD (m)	CONCENTRACIONES DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COV) (ppm)		
	PM-3 (Vcn-pm-34)	Vcn-pm-36	Vcn-pm-41
0.00 – 0.20	4.2	0.0	-
0.20 - 0.50	4.2	0.0	4.9
0.50 - 1.00	4.8	4.5	245
1.00 - 1.50	49.5	1.8	142
1.50 - 2.00	18	2.7	159
2.00 - 2.50	22.9	3.3	897
2.50 - 3.00	3.3	2.6	482
3.00 - 3.50	11.1	5.3	257
3.50 - 4.00	8.8	3.3	456
4.00 - 4.50	-	838	-
4.50 - 5.00	-	851	-
5.00 - 5.50	-	778	-
5.50 - 6.00	-	589	-
6.00 - 6.50	-	513	-

Para este muestreo (2008) la muestra de suelo que registró mayor concentración de COV (897 ppm) fue la del pozo Vcn-pm-41 tomada a una profundidad de 2.0 – 2.5 m; sin embargo a partir de los 0.5 – 1.0 m de profundidad, el suelo de éste pozo presento concentraciones altas de COV (245 ppm).

La muestra de suelo del pozo Vcn-pm-36 ubicado cerca a las oficinas de la estación de servicio, registró una concentración de COV de 838 ppm a una profundidad de 4.0 – 4.5 m, de allí en adelante todas las concentraciones de COV registradas en este pozo fueron altas. Así mismo, la muestra de suelo del pozo PM-3 (ubicado al lado del pozo de monitoreo Vcn-pm-34), registro una concentración alta de COV (49.5 ppm) a una profundidad de 1.0 – 1.5 m.

En la Tabla 23 se presenta un resumen de los resultados de laboratorio emitidos por Laboratorios Lancaster (Ago/2008), de las muestras de suelo colectadas para análisis de los parámetros TPH-DRO, TPH-GRO y BTEX; en el anexo 15 se muestran los reportes del Laboratorio Lancaster.

Tabla 23. Resultados de laboratorio para las muestras de suelo (Ago/2008)

PARÁMETRO	UNIDAD	MAVDT Exposición a Suelo Industrial/ Comercial Migración a Aguas subterráneas	PM-3 (Vcn-pm-34)	Vcn-pm-36	Vcn-pm-41	
			HGA-CAL- CAV-PE1* (1.00 – 1.50) m	HGA-CAL- CAV-PE2* (6.50 – 7.00) m	HGA-CAL- CAV-PE3* (2.00 – 2.50) m	
TPH DRO	mg/kg	990	< 16	62	< 15	
TPH GRO	mg/kg	330	9.4	310	9.8	
BTEX	Benceno	mg/kg	35	< 0.0066	0.700	0.130
	Tolueno	mg/kg	100	0.0087	4.5	0.072
	Etilbenceno	mg/kg	200	0.016	3.0	0.110
	Xileno	mg/kg	430	< 0.066	19.0	0.670

* Identificación de la muestra dada por Hidrogeoambiental S.A.

Al observar los resultados de laboratorio de las muestras de suelo colectadas (Ago/2008) y comparando con la normatividad de referencia (MAVDT. 2007), se concluye que las muestras de suelo de los tres pozos (PM-3 (Vcn-pm-34), Vcn-pm-36 y Vcn-pm-41) presentan concentraciones por debajo de los límites de referencia de la normatividad en Hidrocarburos Totales del Petróleo (TPH) en rangos orgánicos de Diesel (DRO), rangos orgánicos de Gasolina (GRO) y BTEX.

4.5. Evaluación de la Contaminación

Se descarta la posibilidad de que la contaminación por hidrocarburos haya sido ocasionada por el antiguo Aeropuerto de Cali "Calipuerto", ya que las bodegas en las que se almacenaba el combustible se ubicaron a 442 m de distancia del pozo afectado Vcn-461, aguas abajo en sentido del flujo subterráneo.

Así mismo, se descarta que la estación de servicio "Roraima" ubicada a 364 m de distancia del pozo afectado Vcn-461, aguas abajo en sentido del flujo subterráneo haya presentado alguna fuga o derrame de combustible; de ser así, los pozos que presentarían algún problema de contaminación serían los de propiedad de Café Águila Roja y el aljibe 11 de propiedad de Distriabonos Ltda., ubicados a menos de 120 m de distancia de donde estuvo operando la estación.

Como primera acción de remediación el propietario de la estación de servicio Esso Cavasa por requerimiento de la entidad ambiental CVC, inicio en Feb/2011 hasta Abr/2011 la extracción del producto libre de los tres pozos de monitoreo de su propiedad, con una frecuencia diaria. La cantidad de producto libre extraído fue 290 ml y 5.90 ml en los pozos de monitoreo Vcn-

pm-34 y Vcn-pm-35, respectivamente; el pozo de monitoreo Vcn-pm-36 por su poca profundidad se secó y el bailer no logró extraer el producto.

A pesar de que los resultados de las últimas pruebas de estanqueidad (2008) realizadas en los tanques de combustible enterrados de la estación de servicio Esso Cavasa arrojan resultados normales, al parecer existe una fuga de hidrocarburo por las tuberías de conducción de llenado remoto hacia los tanques, ya que durante la visita en Sep/2011 se encontró producto libre en el pozo seco pmt-4 ubicado en la zona de tanques.

El nivel freático de la zona se encuentra en un rango de 1.5 a 3.5 m, ubicándose este nivel por encima de los tanques de combustible de la estación de servicio Esso Cavasa enterrados a 4 m de profundidad, como se observó en el diagrama del modelo conceptual. De esta manera, los tanques enterrados estarían ubicados en el primer acuífero de 3 m de espesor, encontrado entre 3 y 6 m de profundidad; ocasionando esto un alto riesgo de contaminación con el contacto directo hidrocarburo – agua subterránea.

Al utilizar el programa Visual Modflow 2010.1 se observa que el flujo subterráneo local de la zona de estudio circula en sentido Este – Sur, influenciado por la pendiente del terreno y por los radios de influencia que se generan en los pozos profundos (Vcn-155, Vcn-461 y Vcn-459) localizados en esta zona, que bombean un caudal considerable a cierta frecuencia por semana.

La razón por la que apareció hidrocarburo en el pozo Vcn-461, es que al ser bombeado 15 l/s durante 4 horas al día, se genera un radio de influencia de 1003.99 m calculado para 1 día continuo de bombeo (se muestra el cálculo en el anexo 12); luego, la distancia del pozo Vcn-461 con respecto a la estación de servicio es de sólo 38 m, lo cual hace que se arrastre el hidrocarburo derramado en la estación de servicio hacia el pozo.

Las mayores concentraciones de hidrocarburos aromáticos (10 µg/L máximo valor permisible por el MAVDT), las registraron los pozos Vcn-pm-34 con 7.41 µg/L, Vcn-pm-35 con 5.42 µg/L y Vcn-459 con 3.78 µg/L, los tres pozos de propiedad de la estación de servicio Esso Cavasa, indicando que el foco de contaminación está en la estación.

Es preocupante la concentración de TPH-GRO (39 mg/L) registrada en el pozo de monitoreo Vcn-pm-34, siendo superior casi 100 veces al límite establecido por el MAVDT para agua potable (0.32 mg/L). Así mismo, las concentraciones de BTEX y TPH-DRO están por encima de los límites permitidos por el MAVDT, llegando a ser de 5 a 10 veces mayor la concentración con respecto al límite de referencia.

El pozo de monitoreo Vcn-pm-36 localizado cerca a las oficinas de la estación de servicio Esso Cavasa, también reportó concentraciones altas en los parámetros TPH-GRO y TPH-DRO.

La muestra de agua subterránea tomada del pozo de la empresa Carvajal S.A. no registró concentraciones de Hidrocarburos por encima de los límites permisibles por el MAVDT. Sin embargo, se considera que la muestra que se llevo al laboratorio no es muy representativa, ya que fue colectada en el tubo de descarga de la bomba. La bomba está instalada a 30 m de profundidad y capta acuíferos profundos, el primer filtro está a 32 m de profundidad. Para ver el estado real de la afectación que tiene dicho pozo es necesario sacar la bomba que éste tiene instalada, para poder tomar una muestra más representativa. Cabe anotar que durante el muestreo se percibió un fuerte olor a hidrocarburo al ser bombeado el pozo.

4.5.1. Acciones Provisionales y Correctivas

Con el bailer extraer el producto libre de todos los pozos de monitoreo (Vcn-pm-34, Vcn-pm-35, Vcn-pm-36), así como de los pozos secos ubicados en la zona de tanques (pmt-1 y pmt-4) de la estación de servicio Esso Cavasa, hasta que no se registre sobrenadante de hidrocarburo.

Es necesario hacer pruebas de estanqueidad de las tuberías de conducción desde la zona de llenado remoto hasta los tanques y de los tanques hasta las islas de distribución de la estación de servicio.

Llevar a laboratorios especializados en hidrocarburos, el producto libre encontrado en el pozo de monitoreo de la zona de tanques pmt-4, e identificar el tipo de hidrocarburo encontrado (gasolina, diesel y/o extra), así como la edad de éste hidrocarburo (reciente o antiguo).

Las técnicas de remediación que se plantean para la zona de estudio se plantean a continuación:

Extracción de vapores del suelo

Consiste en la eliminación de volátiles en fase gaseosa inducida por la aplicación de vacío en los pozos de extracción (figura 36), la tecnología reduce las concentraciones de los componentes volátiles en la zona no saturada. El gradiente de presión inducida por la aplicación de vacío causa una migración de los vapores hacia los pozos de extracción, que son ventilados directamente a la atmósfera, teniendo en cuenta que no existan cables de energía cercanos.

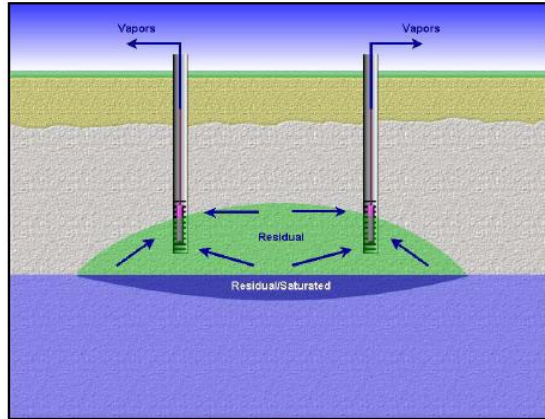


Figura 36. Extracción vapores del suelo (Tomado de API. 2004)

El periodo para la aplicación de ésta técnica varía, de acuerdo a la extensión del área afectada; para verificar su efectividad se deben sacar muestras de suelo a diferentes profundidades y con un fotoionizador (PID) tomar el dato de concentraciones de compuestos orgánicos volátiles COV. Es una técnica que no exige mucho presupuesto.

Excavación

En el caso de que se esté seguro del tanque o tubería que presenta fuga en la estación de servicio Esso Cavasa, se recomienda retirar el tanque y/o la tubería de conducción, extraer el suelo contaminado, lavar el lecho del tanque y/o tubería con una solución microbiológica de hongos basidiomicetos que biodegradan los contaminantes hasta formas menos tóxicas.

Bioremediación

Consiste en aumentar de forma natural la actividad microbiana de la zona no saturada y saturada, con la circulación de agua cargada de oxígeno, nutrientes y agentes microbianos inoculados (bacterias).

Según Bedavides et al. 2006, el *Biosparging* es un método in situ que combina el efecto de la ventilación con la utilización de los microorganismos autóctonos para degradar compuestos orgánicos absorbidos por el suelo en la zona saturada. En este método el aire y los nutrientes se inyectan en la zona saturada para mejorar la actividad de los microorganismos presentes. La técnica se utiliza para la degradación de compuestos orgánicos en el suelo y aguas subterráneas.

Entre los factores que influyen en la aplicación de esta técnica se destacan: los hidrocarburos deben ser no halogenados con concentraciones en suelo menores

a 50.000 ppm, superficie de trabajo relativamente grandes, necesidad de una población microbiana mayor a 1000 UFC (Unidades Formadoras de Colonias) por gramo de suelo. (Benavides et al. 2006)

Las mejorías al aplicar esta técnica son a largo plazo cuando no se cuenta con oxígeno suficiente. En caso contrario, los compuestos orgánicos se convierten en dióxido de carbono y se forma una masa celular microbiana, resultando así una técnica eficaz para tratar contaminación con hidrocarburos.

4.5.2. Remediación con Bioremediación

La empresa Geosub Ltda inició el trabajo de Bioremediación el 25 de octubre de 2011, en los pozos de monitoreo Vcn-pm-34, Vcn-pm-35 y Vcn-pm36 ubicados en la estación de servicio Esso Cavasa.

El procedimiento realizado fue el siguiente (figura 37): se calentó en estufa 1 litro de agua a 35 °C, se agregó 100 gramos (1 dosis) de bacterias *Septitrim*, se mezcló y se dejó reposar por 1 hora para que las bacterias (producto biológico) se activaran. Por último, fue la aplicación de la mezcla a cada pozo de monitoreo.

El tratamiento se tiene programado para un periodo de 90 días (3 meses), con una frecuencia de aplicación diaria. La empresa Geosub Ltda recomienda realizar análisis de hidrocarburos para cada pozo, al iniciar y al finalizar el periodo del tratamiento para verificar mejorías en la calidad del agua subterránea.



Figura 37. Procedimiento aplicación de bacterias en pozos de monitoreo

Las bacterias *Septitrim* fueron compradas al Laboratorio Ingenieros Químicos y Asociados S.A. de Manizales, Colombia. El costo de 100 gramos (1 dosis) de Bacterias es de \$16.000.00.

A continuación se mencionan algunas especificaciones de las Bacterias *Septitrim Hidrocarburos* (anexo 16):

- Son cultivos de bacterias seleccionadas de su ambiente natural, especializadas en la degradación de hidrocarburos como gasolina, diesel, grasas minerales, aceites, petróleo, antirefrigerantes y solventes de petróleo.
- Puede ser empleado en aguas residuales y remediación de suelos.
- Restablece el proceso biológico natural y potencializa la actividad biológica existente.
- Su concentración es de 5×10^9 UFC por gramo de producto. Este cultivo de bacterias está enriquecido con nutrientes de alta potencia que aseguran el óptimo desarrollo de los organismos en las condiciones más adversas.

5. PRESUPUESTO

ACTIVIDADES	UNIDAD	CANT	TIEMPO	VALOR UNITARIO	GASTOS DE VIAJE	COSTO TOTAL	AREA RESPONSABLE
FASE 2. ANTECEDENTES ZONA DE ESTUDIO							
Copia fotografías aéreas de diferentes años escaneadas	Personal cartografía CVC	3	2 semanas	10.400		31.200	CVC
Analizar fotografías aéreas, correlacionando lo que existía con lo actual	Profesional	1		300.000		600.000	USCO
Revisión y consulta de permisos de concesión de aguas, ficha técnica de pozos existentes, uso y estado de los pozos	Asesoría profesional CVC	1	2 días	200.000		200.000	CVC
	Profesional	1	1 mes	1.800.000		1.800.000	USCO
	Alquiler computador	1	1 mes	70.000		70.000	USCO
Revisar expediente de la estación de servicio Esso Cavasa, candelaria	Profesional	1	2 semanas	300.000		600.000	USCO
Indagar pasivo ambiental de la zona (qué tipo de derrame hubo y en qué proporción)	Profesional CVC	2	1 día	100.000		200.000	CVC
	Profesional	1	2 semana	300.000		600.000	USCO
Realizar recorrido por los alrededores de la estación de servicio (Salida de campo)	Profesional CVC	1	1 día	100.000	70.000	170.000	CVC
	Profesional	1		60.000	50.000	110.000	USCO
Identificar los combustibles manejados en la estación de servicio, observar los medios afectados (suelo, agua), estimar posibles rutas de migración (tuberías, tanques, drenajes) (Salida de campo)	Profesional CVC	1	2 días	100.000	140.000	340.000	CVC
	Profesional	1		60.000	100.000	220.000	USCO
	Técnico CVC	1		40.000	100.000	180.000	CVC
SUBTOTAL						\$5.121.200	
FASE 3. INFORMACIÓN CARACTERÍSTICA							
Realizar descripción de suelos y geología de la zona	Profesional CVC	1	1 día	100.000		100.000	CVC
	Profesional	1	1 semana	300.000		300.000	USCO
Realizar correlación estratigráfica de la zona y determinar flujo subterráneo con Modflow 2010.1	Asesoría profesional CVC	1	2 días	200.000		200.000	CVC
	Profesional	1	1 mes	1.800.000		1.800.000	USCO
	Alquiler computador	1	1 mes	70.000		70.000	USCO
	Impresión carta	1		5.000		5.000	CVC
Identificar las fuentes superficiales, curvas de nivel y flujo regional	Asesoría Profesional CVC	1	1 día	100.000		100.000	CVC
	Profesional	1	1 día	60.000		60.000	USCO

Trazar plano del área de estudio con geología, suelos, red hídrica y flujo regional	Profesional	1	2 días	60.000		120.000	USCO
	Alquiler computador	1	2 días	70.000		140.000	USCO
	Impresión carta	1		5.000		5.000	CVC
Identificar viviendas, industrias, servicios públicos, tanques de agua potable (Salida de campo)	Profesional CVC	1	2 días	100.000	140.000	340.000	CVC
	Profesional	1		60.000	100.000	220.000	USCO
	Técnico CVC	1		40.000	100.000	180.000	CVC
Realizar inventario de pozos monitoreo, aljibes, pozos profundos, pozos abandonados (Salida de campo)	Profesional	1	4 días	60.000	200.000	440.000	USCO
	Técnico CVC	2		40.000	400.000	720.000	CVC
Realizar levantamiento topográfico local (Salida de campo)	Técnico CVC	1	3 días	40.000	150.000	270.000	CVC
	Profesional	1		60.000	150.000	330.000	USCO
	Comisión de topografía (cadeneros, topógrafo, estación total)	1		250.000		750.000	CVC
Medición de niveles estáticos de los pozos y aljibes existentes (Salida de campo)	Técnico CVC	2	4 días	40.000	400.000	720.000	CVC
	Profesional	1		60.000	200.000	240.000	USCO
	Sonda eléctrica, cinta métrica	1		500.000		500.000	CVC
Trazar plano del área de estudio con pozos profundos, de monitoreo y aljibes existentes, curvas de nivel y flujo subterráneo	Profesional	1	2 días	60.000		120.000	USCO
	Alquiler computador	1		70.000		140.000	USCO
	Impresión carta	1		5.0000		5.000	CVC
Realizar modelo conceptual del problema	Profesional	1	1 semana	60.000		300.000	USCO
	Alquiler computador	1		70.000		350.000	USCO
SUBTOTAL						\$8.525.000	
FASE 4. ANÁLISIS DE SUELO Y AGUA							
Muestreo de suelos y aguas, recolección y preservación para análisis (Salida de campo)	Técnico CVC	2	4 días	40.000	400.000	720.000	CVC
	Profesional	1		60.000	200.000	440.000	USCO
	Bolsas y recipientes			50.000		50.000	CVC
Análisis de laboratorio fisicoquímicos de suelos y aguas Laboratorio ambiental CVC	Laboratorista CVC	1	1 mes	1.700.000		1.700.000	CVC
	Muestras de suelo y aguas	12		85.600		1.027.200	CVC
Análisis de laboratorio de suelos y aguas, parámetros BTEX y PAH. Laboratorio Antek s.a. Bogotá	Muestras de suelo y aguas	5		250.000		1.250.000	CVC

Análisis e interpretación de resultados de laboratorio	Asesoría profesional CVC	1	4 días	100.000		400.000	CVC
	Profesional	1	2 meses	60.000		3.600.000	USCO
SUBTOTAL						\$9.187.200	
FASE 5. EVALUACIÓN CONTAMINACIÓN							
Comparar los resultados de laboratorio con los límites genéricos basados en riesgo según MAVDT y OMS, realizar promedio aritmético	Profesional	1	2 semanas	60.000		600.000	USCO
	Alquiler computador	1		70.000		700.000	
Generar isolíneas de concentración de los compuestos analizados, utilizando el programa Arcgis	Profesional	1	2 semanas	60.000		600.000	USCO
	Alquiler computador	1		70.000		700.000	
Trazar plano del área de estudio con la pluma de concentración	Profesional	1	1 semana	60.000		300.000	USCO
	Alquiler computador	1		70.000		350.000	USCO
	Impresión carta	1		5.000		5.000	CVC
Proponer método (s) de remediación apropiado (s)	Profesional	1	1 mes	1.800.000		1.800.000	USCO
	Alquiler computador	1		70.000		2.100.000	USCO
	Impresión documento final	50		300		15.000	CVC
SUBTOTAL						\$7.170.000	
TOTAL						\$30.003.400	

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El sitio donde está ubicada la estación de servicio Esso Cavasa, presenta un pasivo ambiental por derrame de hidrocarburos, razón por la cual fue remodelada en el año 1996. Se descarta la posibilidad de que la contaminación por hidrocarburos haya sido ocasionada por el antiguo Aeropuerto de Cali "Calipuerto" o por la estación de servicio "Roraima" que operaban anteriormente en la zona de estudio, por encontrarse aguas abajo del flujo subterráneo y por cuanto el área que presenta afectación está muy localizada en la estación de servicio Esso Cavasa.

Las pruebas de estanqueidad realizadas en el 2008 a los tanques de combustible muestran que éstos no presentan fugas activas. Por tanto, se considera como primera instancia que el problema de fuga de hidrocarburo se estaría presentando en las tuberías de conducción desde la zona de llenado remoto hasta los tanques, por encontrar producto libre en el pozo seco pmt-4 de la zona de tanques.

El flujo subterráneo local de la zona de estudio circula en sentido Este – Sur, justo cerca a la estación de servicio Cavasa, influenciado por la pendiente del terreno y por los radios de captura que se generan en los pozos profundos localizados en esta zona, que se puede observar con la ayuda del programa Visual Modflow 2010.1.

En la construcción del modelo conceptual se identificaron las condiciones relevantes del sitio de estudio implicado en un proceso de contaminación por hidrocarburos, como la fuente contaminante (estación de servicio Esso Cavasa), la posición del nivel freático como medio de transporte del contaminante (primer acuífero entre los 3 y 6 m de profundidad) y los receptores (pozos, aljibes, empresas, viviendas) que se ven afectados por este tipo de contaminación por hidrocarburos en el suelo y agua.

La razón por la que apareció hidrocarburo en el pozo Vcn-461 (propietario Carvajal S.A.), es que al ser éste bombeado genera un radio de influencia grande que posiblemente ha podido arrastrar el hidrocarburo derramado en la estación de servicio Esso Cavasa hacia el pozo. Aunque no se tiene certeza, se considera que el sello sanitario del pozo no fue bien construido o presenta fisuras que permiten la entrada del contaminante por la primera capa acuífera que se localiza entre 3 y 6 m de profundidad, que fue aislada con este sello.

Los resultados de laboratorio muestran claramente la existencia de hidrocarburos en el agua subterránea, lo cual puede afectar el abastecimiento de agua de las comunidades aledañas a la estación de servicio. Las mayores concentraciones de acuerdo a los límites permisibles

por el MAVDT de los parámetros: Hidrocarburos aromáticos, BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xileno), Hidrocarburos totales (TPH) en rangos orgánicos de gasolina (GRO) y en rangos orgánicos de diesel (DRO), se presentaron en los pozos de monitoreo Vcn-pm-34, Vcn-pm-35 y Vcn-pm-36 ubicados en la estación de servicio Esso Cavasa, indicando que allí está el foco del derrame por hidrocarburos.

Es preocupante la concentración de 39 mg/L en Hidrocarburos totales en rangos orgánicos de gasolina (TPH-GRO), registrada en la muestra de agua subterránea del pozo de monitoreo Vcn-pm-34, siendo superior casi 100 veces al límite establecido (0.32 mg/L) por el MAVDT para agua potable, teniendo en cuenta el alto grado de toxicidad de estas sustancias para la salud.

La muestra de agua subterránea tomada del pozo de la empresa Carvajal S.A. no registró concentraciones de Hidrocarburos por encima de los límites permisibles por el MAVDT. Sin embargo, se considera que la muestra que se llevo al laboratorio no es muy representativa, ya que fue colectada en el tubo de descarga de la bomba. La bomba está instalada a 30 m de profundidad y capta acuíferos profundos, el primer filtro está a 32 m de profundidad. Para ver el estado real de la afectación que tiene dicho pozo, es necesario sacar la bomba que éste tiene instalada, para poder tomar una muestra más representativa. Cabe anotar que durante el muestreo se percibió un fuerte olor a hidrocarburo al ser bombeado el pozo.

Otro de los parámetros analizados en el laboratorio fue Grasas, el cual debe ser ausente según la Resol. 2115/2007 del MAVDT en muestras de agua que sean para uso potable. Sin embargo, en todas las muestras (doce) de agua subterránea recolectadas en Sep/2011, se registró grasas en un rango de 7.8 mg/L a 22.0 mg/L, siendo preocupante la calidad del agua subterránea de la zona y más aún que el pozo Vcn-155 (Central de abastos "Cavasa") y el aljibe 9 (Pollos Bucaneros) que utilizan agua subterránea para el lavado de alimentos y avicultura, reportaron una concentración en grasas de 12 mg/L. La mayor concentración de grasas (22 mg/L), la registró la muestra del aljibe 1 de propiedad de Frutas Carolina, donde el uso del agua es doméstico.

Al generar la pluma de contaminación o isolíneas de concentración del parámetro Hidrocarburos aromáticos con los reportes (Sep/2011) del Laboratorio Ambiental de la CVC, se observa que el rango de concentración está de 7.5 µg/L a 3.5 µg/L en las instalaciones de la estación de servicio Esso Cavasa, y en rangos de 1.0 µg/L a 0.4 µg/L en zonas más apartadas; valores que están por debajo del máximo permisible (10 µg/L) por el MAVDT.

Se recomienda extraer totalmente el producto libre de los pozos de monitoreo de la estación de servicio Esso Cavasa (Vcn-pm-34, Vcn-pm-35 y Vcn-pm-36), así como de los pozos secos ubicados en la zona de tanques

(pmt-1 y pmt-4), para que de esta manera la bioremediación iniciada en octubre de 2011 con la aplicación de 100 gramos de bacterias *Septitrim* de forma diaria durante un periodo de 90 días, pueda tener un resultado favorable en cuanto a la calidad del agua subterránea de la zona impactada.

Si después de los 90 días de la aplicación de bacterias *Septitrim* no disminuye la concentración de compuestos de hidrocarburos en el agua subterránea de la zona impactada, se deben utilizar métodos de remediación más costosos como la extracción de vapores con la ayuda de un pozo vecino, o el bombeo continuo en un pozo que atrape la mayor cantidad de hidrocarburo derramado, luego habría que tratar el agua extraída para su posterior vertimiento.

Se hace necesario encontrar la fuga de hidrocarburo que está activa en la estación de servicio Esso Cavasa, de esta forma pararla y controlarla a tiempo. Se recomienda hacer pruebas de estanqueidad en las tuberías de conducción desde la zona de llenado remoto hasta los tanques y de los tanques hasta las islas de distribución.

Para la CVC este trabajo fue muy importante por los graves y muchos problemas de contaminación que las estaciones de servicio de combustibles están generando, especialmente en las zonas urbanas que están afectando el suelo y contaminando los acuíferos superficiales que son ampliamente utilizados para uso doméstico y abastecimiento público, poniendo en riesgo la salud de las personas que los utilizan.

De esta manera, este proyecto es un avance para establecer una metodología confiable y válida para evaluar procesos de contaminación ocasionados por derrame de hidrocarburos, teniendo como soporte la guía "*Manual Técnico para la Ejecución de Análisis de Riesgos para Sitios de Distribución de Derivados de Hidrocarburos*" expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial MAVDT. 2007.

BIBLIOGRAFÍA

ÁNGEL, C. Hidrogeología de la Isla de San Andrés. IV seminario colombiano de Hidrogeología. Octubre, 1993. Cartagena de Indias, Colombia.

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

AZCUNTAR R. Omar, PÁEZ O. Gloria I., RENGIFO R. Ruber 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, Valle del Cauca.

BEDIENT B. Philip, RIFAI S. Hanadi, NEWELL J. Charles, 1994. Ground Water Contamination: Transport and Remediation. Environmental Engineering water & wastewater. Prentice Hall. United states of America.

BENAVIDES L. de M. Joaquín, QUINTERO Gladis, GUEVARA V. Andrea L., JAIMES C. Diana C., GUTIERREZ R. Sandra M., MIRANDA G. Johanna, 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.

CELIS H. Bástian, 2009. Contaminación de aguas subterráneas por hidrocarburos líquidos livianos en fase no acuosa. Universidad de Concepción, departamento de Ingeniería Civil, Edmundo Larenas. Revista Ciencia Ahora no. 22 Chile.

CEPIS. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 1987. "Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas, una metodología basada en datos existentes". Lima.

CUSTODIO Emilio, LLAMAS Manuel R., 1996. "Hidrología Subterránea". Tomo I, 2da edición. Ediciones Omega S.A. Barcelona, España.

CVC. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, 2001. Plan de Manejo para la Protección de las Aguas Subterráneas en el Departamento del Valle del Cauca. Santiago de Cali.

FETTER Charles W., 1997. "Contaminant Hydrogeology". Mc Millan Publishing Company New York, United States.

FOMENKO V. M., SHUSHAKOV O. A., KUSKOVSKII V. S., 2008. Detection of groundwater contamination with hydrocarbons. Institute of Chemical Kinetics and Combustion, Institute of Petroleum Geology and Geophysics. Revista Russian Geology and Geophysics No. 49. Russia.

FOSTER Stephen, HIRATA Ricardo, Gomes Daniel, D'Elia Monica, Paris Marta. 2002. "Protección de la Calidad del Agua Subterránea" *guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales*. Banco Mundial. Washington, D.C.

GUTIERREZ M. M., MARQUEZ J. J., 2003. Simulación del comportamiento hidráulico de los acuíferos existentes en la zona plana de los municipios de Tulúa, San Pedro y Buga departamento del Valle del Cauca, para la planificación del aprovechamiento sostenible de las aguas subterráneas. Universidad del Valle – Universidad Nacional de Colombia sede Palmira.

HUGGET, A. Memoria del Mapa Hidrogeológico de Colombia. Memoria III simposio colombiano de Hidrogeología. 1998. Bogotá, Colombia.

IHOBE, S.A. Sociedad Pública Gestión Ambiental, 1998. Investigación de la Contaminación del Suelo, Guía Análisis de Riesgos: Migración y Seguimiento de contaminantes en el suelo y en las aguas subterráneas. Editorial Gobierno Vasco, Argentina.

Instituto de la Investigación Geocientífica Minero-Ambiental y Nuclear (INGEOMINAS). 1992. Mapa geológico generalizado, departamento del Valle del Cauca, Colombia.

ITURBE R., FLORES S. R. M., CASTRO A., FLORES C., TORRES L.G., 2010. Subsoil TPH contamination in two oil pipeline pumping stations and one pipeline right-of-way in north Mexico. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Politecnico Nacional, Departamento de Bioprocesos. Revista Journal of Environmental Management 91 (2010). México D.F.

OSMAN. Observatorio de salud y medio ambiente de Andalucía. 2004. Diagnóstico de la situación ambiental del entorno del campo de Gibraltar, con la participación de la Unión Europea. Proyecto cofinanciado por el FEDER. Algeciras, España.

MAROTO A. Maria E., ROGEL Q. Juan Manuel, 2001. Aplicación de sistemas de biorremediación de suelos y aguas contaminadas por hidrocarburos. *GEOCISA. Div. Protección Ambiental de Suelos*. España.

MARTIN M. Carmen, GONZÁLEZ B. Aldo, BLANCO María J., 2004. Tratamientos biológicos de suelos contaminados: contaminación por hidrocarburos. Aplicaciones de hongos en tratamientos de biorrecuperación. Revista Iberoamericana Micol 21 (2004). Madrid, España.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; Ministerio de la Protección Social, República de Colombia. Resolución 2115/2007, "por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Bogotá D.C.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007. "Manual técnico para la ejecución de análisis de riesgos para sitios de distribución de derivados de hidrocarburos". Bogotá D.C.

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.

NÚÑEZ M., J. L. 2002. Aplicación de los modelos matemáticos de flujo y transporte de contaminantes para el diseño de sistemas de remediación. URS, Madrid, España.

Portal Ciudadano página web oficial Alcaldía de Candelaria. Información general. Consultado el 15 de septiembre de 2011. Disponible en <http://www.candelaria-valle.gov.co>.

SEMARNAP, 1996. "Los Suelos de Tabasco. Restauración, Conservación y Uso. Gobierno Constitucional del Estado de Tabasco, México.

RESTREPO R., 2002. Derrame de hidrocarburos: Impacto en los ecosistemas tropicales. Ecopetrol Instituto Colombiano de Petróleo. Bogotá D.C.

RIVETT O. Michael, FEENSTRA Stanley, CHERRY John A., 2001. A controlled field experiment on groundwater contamination by a multicomponent DNAPL: creation of the emplaced-source and overview of dissolved plume development. University of Waterloo. Revista Journal of Contaminant Hydrology No. 49. Canada.

TENJO G. Sigilfredo., ALVAREZ O. Alberto., 1971. Hidrogeología del Valle del Cauca entre Santander de Quilichao y el río Sonso. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Santiago de Cali, Valle del Cauca.

TRAVAILLÉ, G. 2005. Master tesis "Técnicas de análisis de Riesgo para la Remediación de Suelos y Aguas Subterráneas Contaminados por Hidrocarburos". Universitat Politècnica de Catalunya, España.

Universidad Nacional de Colombia, 1996. Restauración de series hidrometeorológicas en las cuencas afluentes de Isagen. Postgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos. Medellín, Colombia.

VILLANUEVA M. Manuel, IGLESIAS L. Alfredo, 1984. Libro: Pozos y acuíferos "Técnicas de evaluación mediante ensayos de bombeo". Instituto Geológico Minero de España IGME. Madrid.

Young-Chul Lee, Tae-Soon Kwon, Jung-Seok Yang, Ji-Won Yang, 2007. Remediation of groundwater contaminated with DNAPLs by biodegradable oil emulsion. Environmental Remediation Engineering Laboratory, Department of Chemical & Biomolecular Engineering. Revista Journal of Hazardous Materials No. 140. República de Korea.

WIERENGA P.J. 1994. Water and Solute transport and Storage. Handbook of Vadose zone characterization & Monitoring. Edited by L.G.Wilson, L.G. Everett, S.J. Cullen CRC Press Inc.

ANEXOS

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 selecciono 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.

¹Especialista en Hidrogeología. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Cra 56 No. 11-36 Cali. omar.azcuntar@cvc.gov.co

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

³Estudiante Ingeniería Agrícola. Universidad Surcolombiana. Av. Pastrana Borrero carrera 1ª Neiva. kamgola@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.

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 Vcn-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 metodología

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.

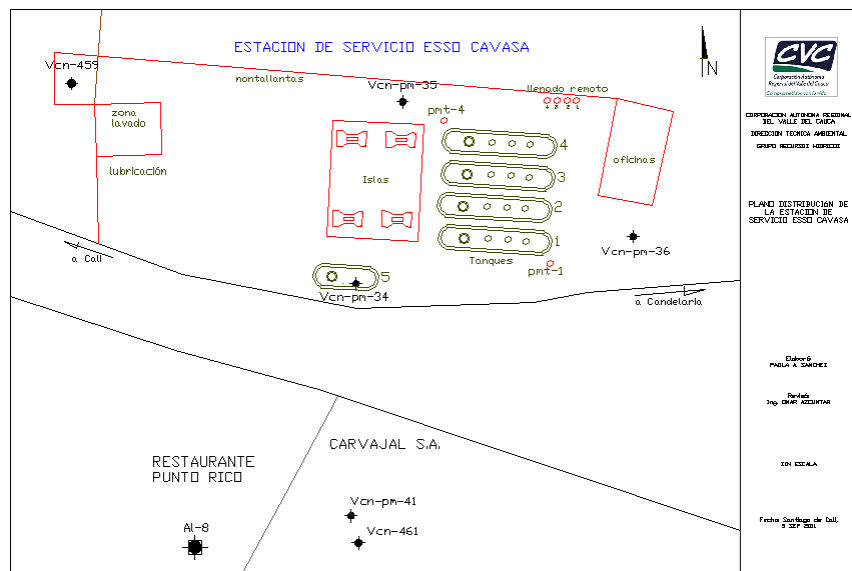


Figura 2. Plano distribución Estación de servicio Esso Cavasa

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.

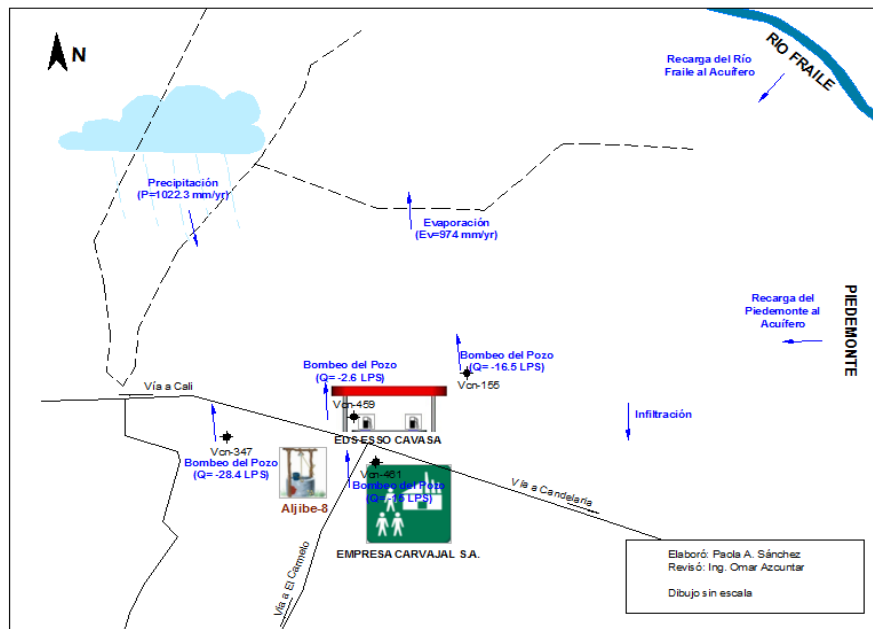


Figura 3. Balance de entradas y salidas del recurso hídrico en el sitio de estudio

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.

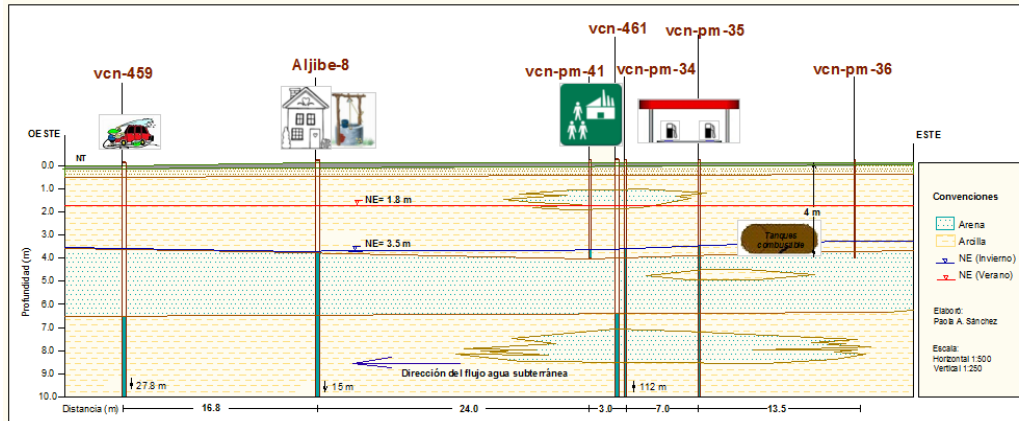


Figura 4. Corte Este – Oeste del sitio de estudio

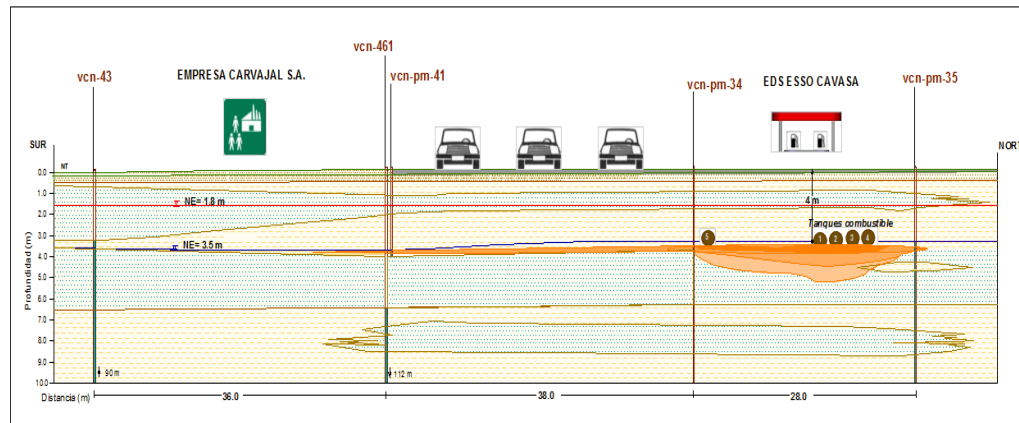


Figura 5. Corte Sur – Norte del sitio de estudio

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.

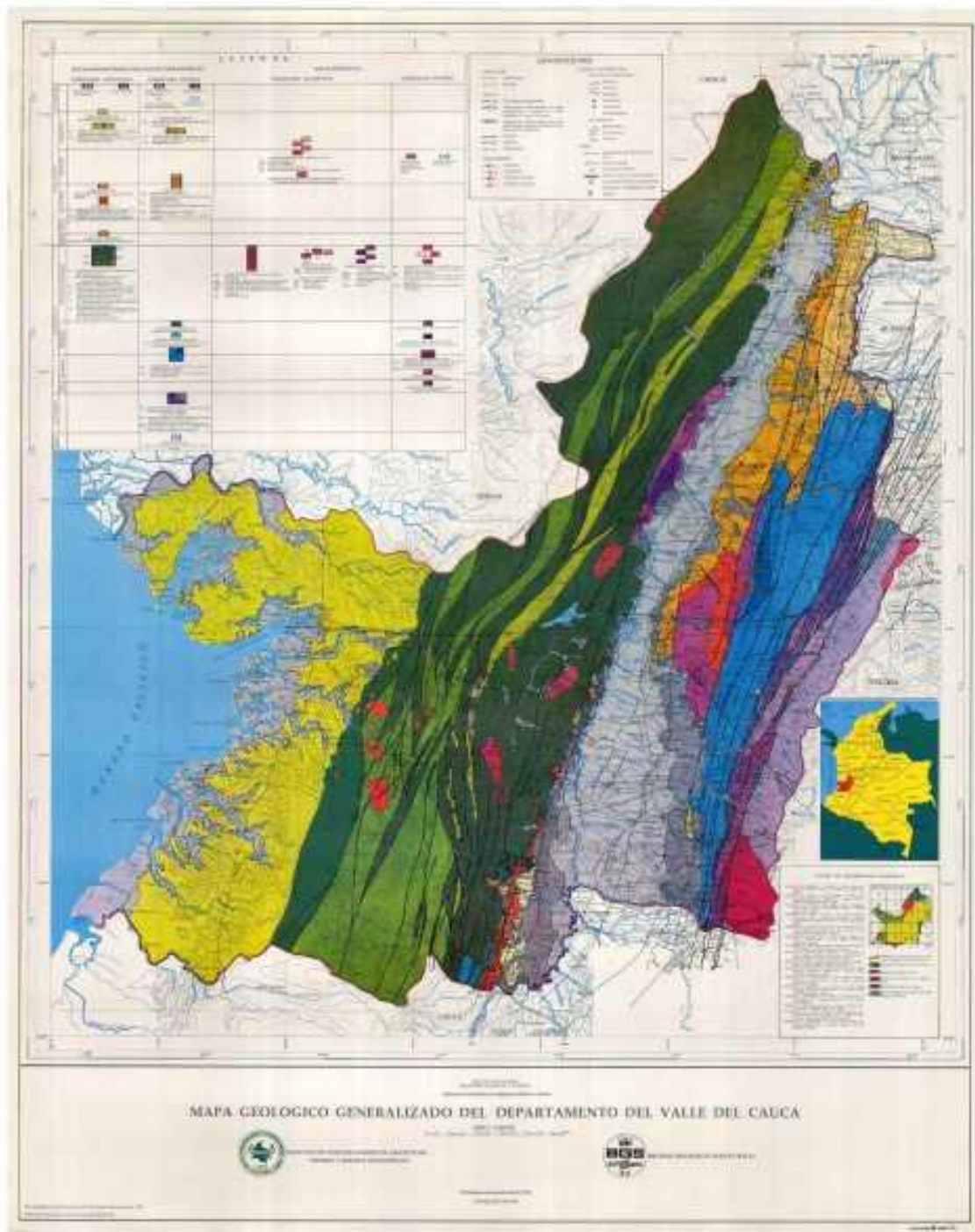
Mediante la construcción del modelo conceptual se identificó la información adicional que se debe recolectar para hacer una evaluación completa de la contaminación por hidrocarburos en el suelo y agua subterránea, como visitas de campo, muestreos, análisis de suelo y agua, diagnóstico de la magnitud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

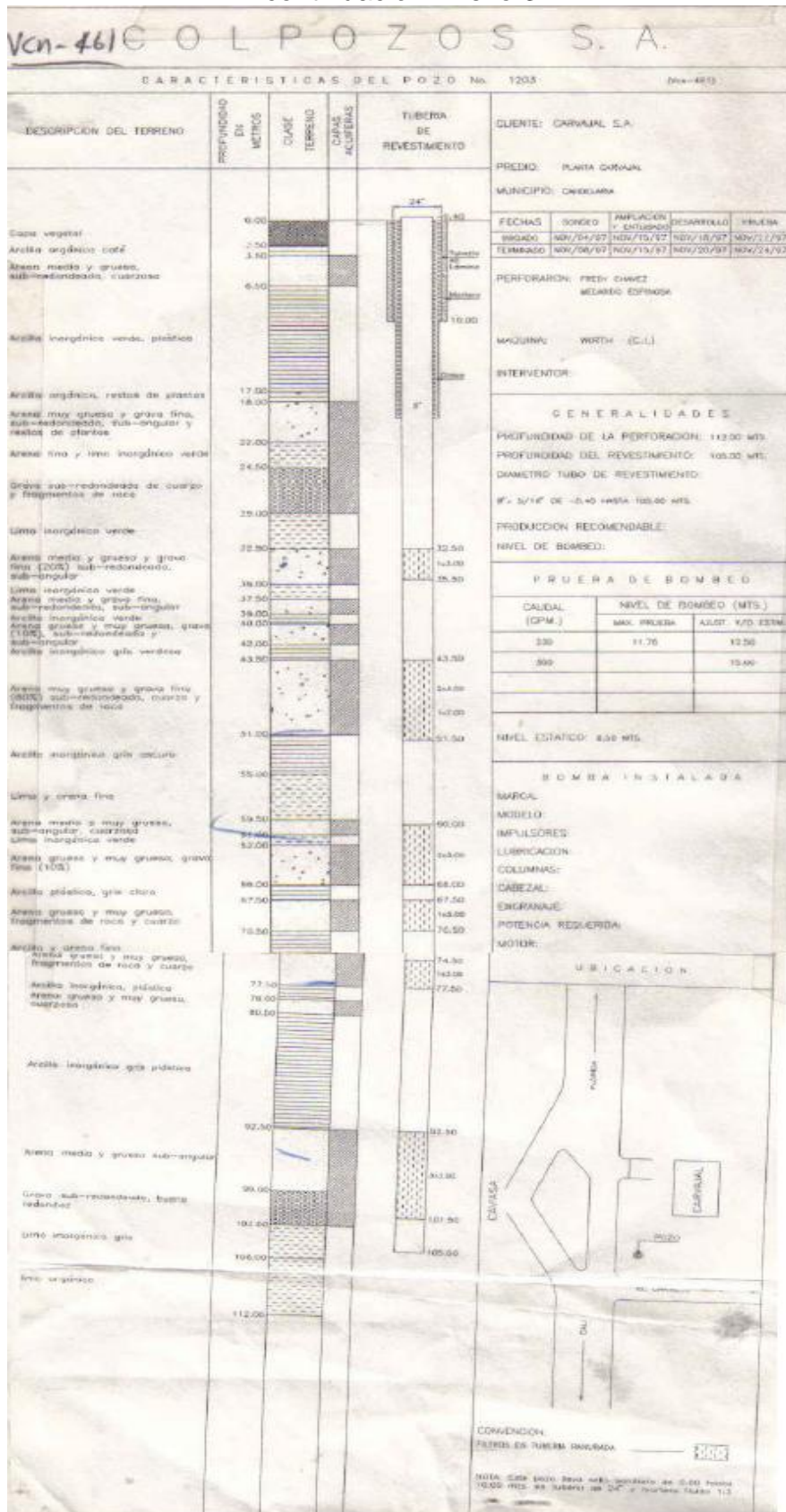
Anexo 1. Mapa geológico generalizado del departamento del Valle del Cauca.
Escala 1:300.000




Anexo 3. Ficha técnica CVC. Pozo vcn-461

CVC		DIVISION DE AGUAS SECCION AGUAS SUBTERRANEAS		Inventariado por: <u>Cuelos Felix.</u>	Fecha: _____
LOCALIZACION	Mpio.: <u>CANDELARIA</u> Sitio: <u>CORREG. EL CARMELO</u> Plancha: <u>300-TC</u> Coord. N <u>868.870</u> E- <u>1.073.520</u> Elevación NT.: _____ Ubicación, placa o mira: _____ Mortología del área: _____				
PERFORACION	Cia.: <u>COLPOZOS S.A.</u> Sistema: <u>ROT. CIRC. DIRECTA</u> Equipo: <u>WIRTH</u> Fecha: <u>NOVIE/97</u> Diámetros y profundidades de la perforación: <u>112.00mts</u> Diám. _____ de _____ a _____ m. Diám. _____ de _____ a _____ m. Diám. _____ de _____ a _____ m.				
DISEÑO	Diámetros y profundidades del revestimiento: <u>105.00 mts</u> Diám. <u>8"</u> de <u>-0.40</u> a <u>105.00</u> m. Cono _____ de _____ a _____ m. Diám. _____ de _____ a _____ m. Filtros: <u>TUBERIA RANURADA</u> N°. de Filtros: <u>6</u> Longitud total de Filtros: <u>32.00mts</u> Diámetros y ubicación de los Filtros: 1) Diám. <u>8"</u> de <u>32.50</u> a <u>35.50</u> m. 3) Diám. _____ de _____ a _____ m. 2) Diám. <u>8"</u> de <u>43.50</u> a <u>51.50</u> m. 8) Diám. _____ de _____ a _____ m. 3) Diám. <u>8"</u> de <u>60.00</u> a <u>66.00</u> m. 6) Diám. _____ de _____ a _____ m. 4) Diám. <u>8"</u> de <u>67.50</u> a <u>70.50</u> m. 3) Diám. _____ de _____ a _____ m. 5) Diám. <u>8"</u> de <u>74.50</u> a <u>77.50</u> m. 3) Diám. _____ de _____ a _____ m. 6) Diám. <u>8"</u> de <u>92.50</u> a <u>101.50</u> m. 9) Diám. _____ de _____ a _____ m.				
INSTALACIONES	Bomba, clase: <u>Sumergible.</u> Marca: <u>GEOFLO</u> Modelo: <u>6H18-3</u> Potencia requerida: _____ R.P.M.: _____ Columna: <u>φ 4" x 90' (27.43m)</u> Lubricación: <u>AGUA.</u> Engranaje: <u>Acople directo.</u> Marca: _____ Modelo: _____ Relación: _____ Motor, clase: <u>FRANKLIN ELEC.</u> Marca: <u>FRANKLIN ELECTRIC</u> R.P.M.: <u>3.500</u> Potencia: <u>15 HP. (220 Voltios)</u> Tubería de descarga, Diám. <u>4"</u> Longitud: _____ Sistema de Aloro: _____ Embalse: _____ Capacidad: _____				
USO	Doméstico, Irrigación, Industrial, Urbano, Estudio, Abandonado: <u>SE UTILIZARA EN EL PROCESO INDUSTRIAL</u> Área que sirve: _____ Tipo de cultivo: _____ Sistema de riego: _____				
REGIMEN DE EXPLOTACION	Actual: _____ Permisible: <u>Q = 15 LPS. - 4 HORAS/DIA - 7 dias/semana - Publicada.</u>				
INFORMACION	Columna litológica: _____ Registro Eléctrico: _____ Análisis Granulométrico: _____ Análisis de Agua: _____ Concepto técnico N°. <u>SGA-AS-2336/97 Exped. N° 1098</u> Fecha: <u>SEPTIEMBRE 29/97</u>				
CARACTERISTICAS HIDRAULICAS	<u>COLPOZOS</u> Iniciales, Fecha: <u>NOV 22/97</u> Medidas, Fecha: <u>NOV 24/97</u> Medidas, Fecha: _____ Nivel Estático (N.E.): <u>8.50 mts (13 cables)</u> N.E. <u>8.50 mts (2° cielo)</u> N.E. _____ Nivel de Bombeo (N.B.): <u>11.77 mts (24 cables)</u> N.B. <u>11.75 mts (48 cables)</u> N.B. _____ Abatimiento (s) <u>3.27 mts.</u> s <u>3.25 mts</u> s _____ Caudal (Q) <u>230 GPM = 14.50 LPS</u> Q <u>230 GPM = 14.50 LPS</u> Q _____ Capacidad específica (Q/s) <u>4.43 LPS/mts</u> Q/s <u>4.46 LPS/mts</u> Q/s _____				
OBSERVACIONES	<u>ESTE POZO TIENE UN SELLO SANITARIO de 0 a 10 mts - REEMBAZADO AL Ven-43</u> <u>PLANTA IMPRESION DE PUBLICACIONES Resolución N° DRS-000006 ENE/02 Publicada.</u>				
Pozo N° <u>Ven-461</u> Predio: <u>CARGRAPHICS</u> Proprietario: <u>CARGRAPHICS S.A.</u>					

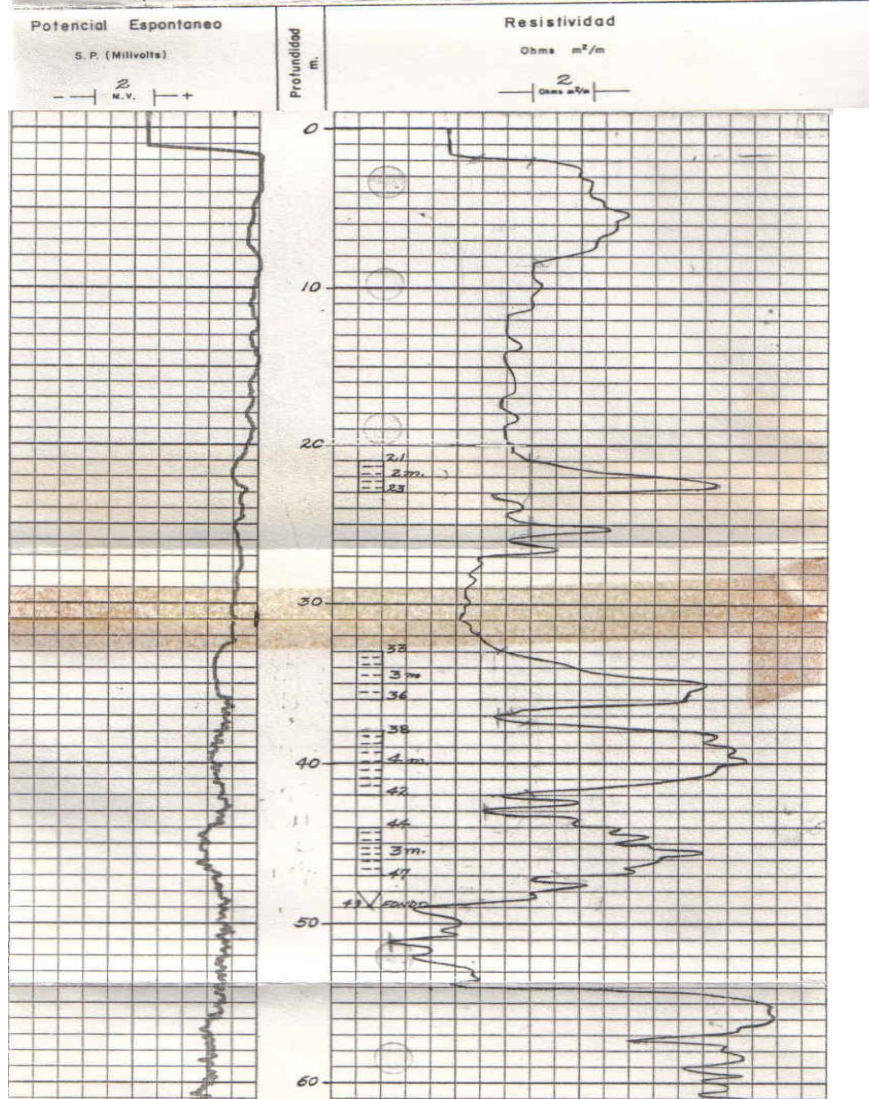
continuación Anexo 3



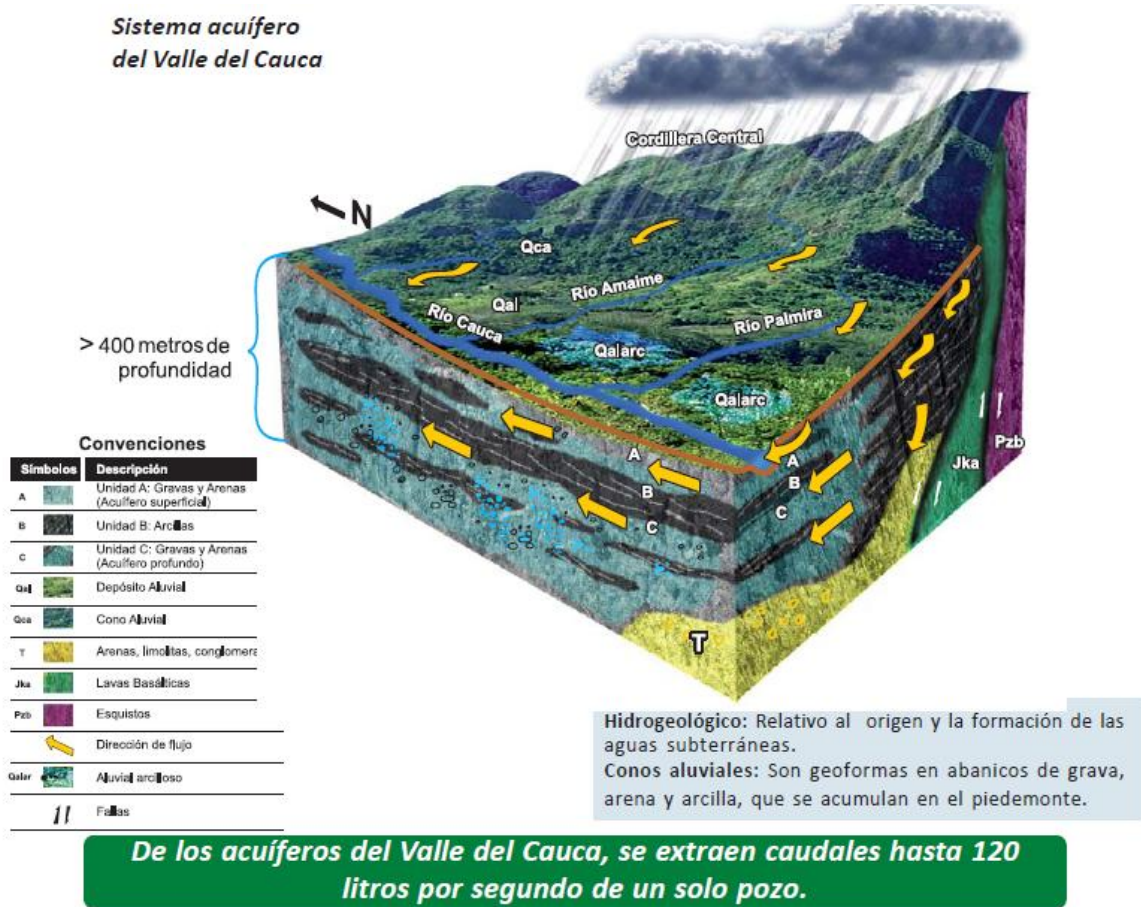
Anexo 4. Registro eléctrico CVC. Pozo vcn-422

 CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA DIVISION DE AGUAS SECCION AGUAS SUBTERRANEAS			
Compañía Perforadora <u>COLPOZOS S.A.</u>		Nº Pozo C.V.C. <u>Vcn-422</u>	
Propietario <u>CELULOSA DEL VALLE S.A. CELULOSA</u>		Nº Pozo (Comp) _____	
Departamento <u>VALLE</u> Mpio <u>CANDELARIA</u> Predio <u>DEL VALLE</u>		Sistema de Perforación <u>ROT. SURG. INVERSA</u>	
Coordenadas: N <u>868.480</u> E <u>1073.420</u>		Fecha: <u>ABRIL 20/94</u>	
Primera lectura	<u>66.00 mts.</u>	Naturaleza del lodo	<u>AGUA</u>
Ultima lectura	<u>2.00 mts.</u>	Viscosidad	
Metros registrados	<u>64.00 mts.</u>	Resistividad	<u>0</u> °C
Metros perforados	<u>66.00 mts.</u>		
Metros revestidos	<u>49.00 mts.</u>		
Diámetro perforación	<u>12 1/2" de 0 a 66 mts</u>	Escala Vertical	<u>1:200</u>
Diámetros revestimiento	<u>10" de +0.40 a 49 mts.</u>	Tomado por	<u>JAIINE ARTURO VARGAS</u>
	de _____ a _____	Testigos	
Observaciones <u>ESTE REGISTRO SE TOMO CON EL EQUIPO WILCO DE COLPOZOS. CONCEITO TECNICO DAB-S- DAB-S- 443/91 SE CONFIRMO CON EL CONCEITO DAB-S- 65/94</u>			

Registro Electrico



Anexo 6. Representación esquemática Hidrogeología del Valle geográfico del río Cauca



Fuente: CVC, 2010

Anexo 7. Reporte estación pluviométrica Ing. La Quinta

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA													
											Estación : ING LA QUINTA		
											Municipio : CANDELARIA		
											Cuenca : FRAILE		
											LatitudLongitud : 907,721.721,045,951.52		
											Altura : 980		
											Código CVC : 2612710103		
											Entidad : CVC		
											Categoría : PM		
											Fecha inicio : 01/09/1969		
RESUMEN MENSUAL MULTIANUAL PRECIPITACION MENSUAL(en milímetros)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1.969	***<	***<	***<	***<	***<	***<	***<	.0	90.0	200.0	93.0	50.0	
1.970	62.0	120.0	72.0	165.0	83.0	106.0	51.0	10.0	37.0	173.0	9.0	33.0	
1.971	103.0	124.0	234.0	95.0	404.0	47.0	8.0	73.0	116.0	292.0	106.0	160.0	
1.972	154.0	85.0	148.0	157.0	170.0	48.0	19.0	135.0	79.0	53.0	190.0	62.0	
1.973	9.0	14.0	157.0	151.0	85.0	50.0	40.0	54.0	158.0	122.0	147.0	167.0	
1.974	56.0	194.0	113.0	160.0	160.0	64.0	***<	71.0	143.0	159.0	103.0	81.0	
1.975	42.0	188.0	174.0	92.0	129.0	75.0	124.0	135.0	115.0	233.0	53.0	202.0	
1.976	17.0	79.0	115.0	183.0	102.0	87.0	30.0	7.0	29.0	164.0	39.0	27.0	
1.977	25.0	7.0	58.0	73.0	78.0	96.0	21.0	81.0	111.0	80.0	82.0	39.0	
1.978	134.0	51.0	94.0	237.0	186.0	34.0	.0	23.0	56.0	184.0	105.0	199.0	
1.979	15.0	8.0	131.0	125.0	251.0	71.0	58.0	133.0	101.0	106.0	131.0	47.0	
1.980	89.0	152.0	75.0	120.0	76.0	112.0	28.0	16.0	55.0	147.0	61.0	92.0	
1.981	.0	89.0	104.0	189.0	207.0	63.0	14.0	34.0	44.0	153.0	102.0	10.0	
1.982	102.0	90.0	184.0	296.0	65.0	26.0	12.0	.0	110.0	159.0	107.0	123.0	
1.983	10.0	5.0	147.0	230.0	105.0	89.0	15.0	.0	.0	84.0	107.0	125.0	
1.984	119.0	83.0	40.0	154.0	82.0	145.0	30.0	75.0	178.0	156.0	125.0	110.0	
1.985	173.0	76.0	38.0	20.0	147.0	5.0	38.0	52.0	144.0	77.0	124.0	70.0	
1.986	126.0	134.0	22.0	196.0	80.0	51.0	13.0	52.0	54.0	149.0	83.0	2.0	
1.987	13.0	104.0	186.0	203.0	109.0	.0	77.0	47.0	80.0	217.0	***<	***<	
1.988	81.0	137.0	15.0	127.0	102.0	103.0	82.0	96.0	98.0	125.0	201.0	75.0	
1.989	114.0	68.0	126.0	58.0	82.0	107.0	.0	20.0	50.0	42.0	116.0	12.0	
1.990	42.0	112.0	86.0	207.0	.0	13.0	30.0	10.0	10.0	138.0	77.0	90.0	
1.991	24.0	12.0	150.0	119.0	153.0	30.0	44.0	10.0	100.0	45.0	74.0	62.0	
1.992	15.0	85.0	63.0	58.0	49.0	13.0	10.0	18.0	107.0	30.0	130.0	33.0	
1.993	.0	179.0	196.0	117.0	113.0	7.0	3.0	.0	53.0	112.0	165.0	13.0	
1.994	91.0	49.0	150.0	99.0	217.0	12.0	9.0	.0	.0	202.0	227.0	16.0	
1.995	17.0	.0	106.0	77.0	143.0	92.0	73.0	22.0	100.0	120.0	83.0	15.0	
1.996	37.0	98.0	189.0	185.0	102.0	197.0	31.0	33.0	20.0	131.0	55.0	115.0	
1.997	188.0	7.0	166.0	160.0	128.0	42.0	.0	.0	73.0	103.0	165.0	29.0	
1.998	6.0	82.0	204.0	86.0	90.0	97.0	77.0	58.0	102.0	30.0	112.0	21.0	
1.999	23.0	247.0	107.0	185.0	110.0	55.0	22.0	.0	100.0	97.0	101.0	93.0	
2.000	88.0	136.0	115.0	177.0	137.0	110.0	20.0	15.0	151.0	30.0	140.0	86.0	
2.001	172.0	57.0	61.0	48.0	125.0	18.0	20.0	.0	84.0	5.0	97.0	124.0	
2.002	7.0	28.0	91.0	181.0	55.0	40.0	15.0	57.0	19.0	67.0	124.0	215.0	
2.003	23.0	26.0	98.0	191.0	42.0	120.0	101.0	27.0	54.0	87.0	168.0	53.0	
2.004	164.0	7.0	35.0	143.0	88.0	23.0	14.0	.0	119.0	132.0	157.0	107.0	
2.005	56.0	60.0	112.0	101.0	165.0	11.0	25.0	10.0	83.0	101.0	134.0	93.0	
2.006	29.0	67.0	170.0	197.0	115.0	167.0	17.0	15.0	9.0	68.0	104.0	138.0	
2.007	28.0	22.0	69.0	231.0	88.0	8.0	29.0	110.0	5.0	124.0	91.0	91.0	
2.008	104.0	216.0	128.0	248.0	257.0	110.0	66.0	78.0	24.0	75.0	82.0	68.0	
2.009	97.0	47.0	182.0	81.0	59.0	33.0	.0	.0	7.0	20.0	42.0	155.0	
2.010	12.0	44.0	48.0	172.0	221.0	66.0	51.0	73.0	82.0	103.0	248.0	168.0	
2.011	17.0	306.0	145.0	***<	***<	***<	***<	***<	***<	***<	***<	***<	
MAX	188.0	306.0	234.0	296.0	404.0	197.0	124.0	135.0	178.0	292.0	248.0	215.0	
MED	63.9	88.0	116.8	148.6	125.9	64.5	32.9	39.0	75.0	116.5	113.7	84.7	
MIN	0.0	0.0	15.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	9.0	2.0	
<	Dato Incompleto												
***<	No hay dato												
									Fecha Impresión:	05/07/2011			

Anexo 9. Valores de conductividad hidráulica presentes en la zona de estudio

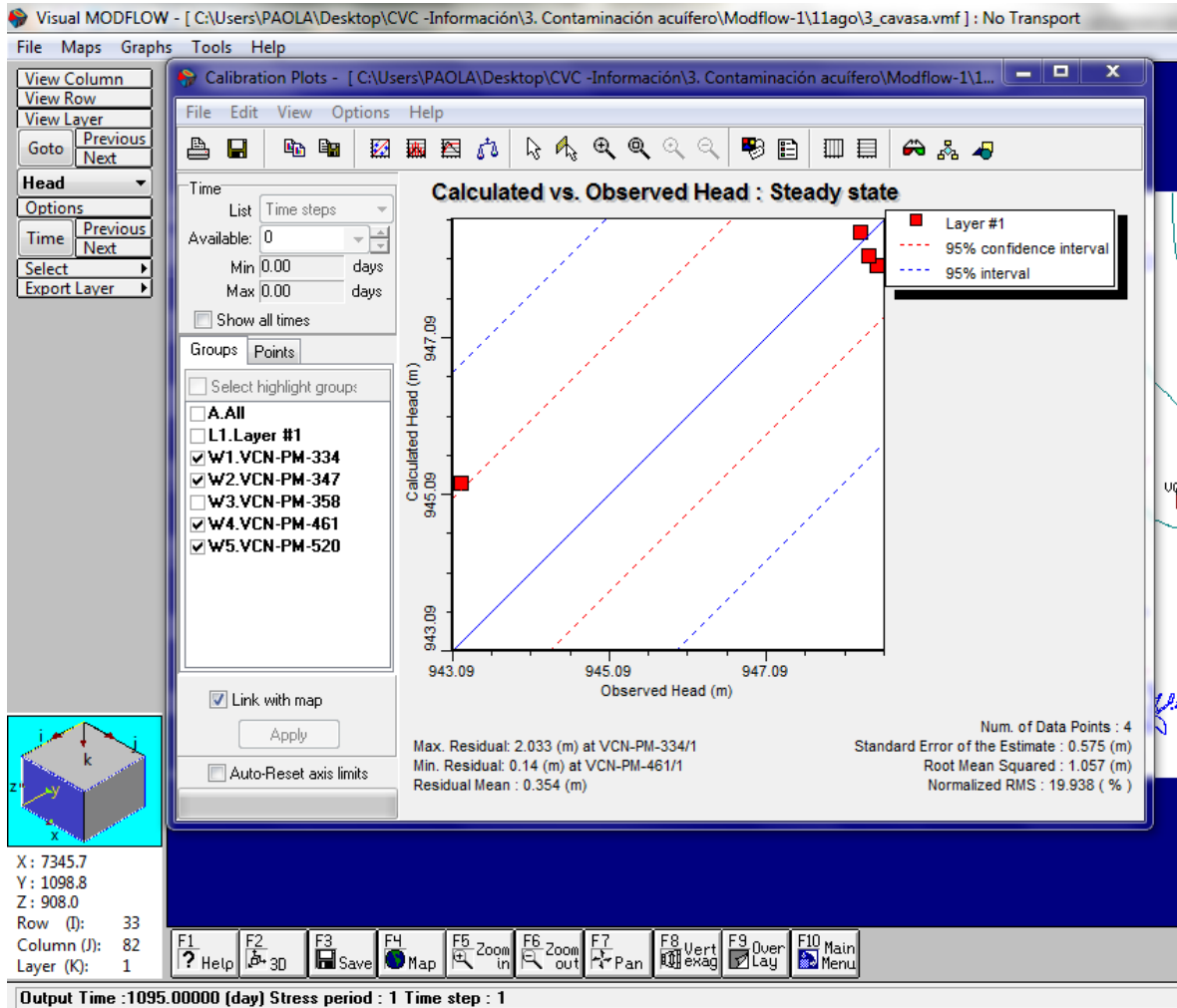
Conductividad hidráulica con pruebas de bombeo

Código Pozo	ESTE	NORTE	T (m²/d)	K (m/d)
Vcn-182	1075550	868900	415	16.6
Vcn-201	1075940	871120	558	17.4
Vcn-236	1076250	868530	533	2.66
Vcn-241	1073220	869560	543	20.9
Vcn-243	1074840	868900	338	19.8
Vcn-318	1072000	868470	476	29.6
Vcn-349	1071030	872050	933	16.3
Vcn-358	1072530	869230	495	13.0
vcn-456	1071520	868570	160	10.6
Vcn-461	1073520	868870	448	14.0
Vcn-488	1070100	869100	363	16.5
Vcn-497	1076250	868410	514	13.9
Vcn-522	1073420	868210	692	20.9

Conductividad hidráulica calculada con capacidad específica

Código Pozo	ESTE	NORTE	T (m²/d)	b (m)	K (m/d)
Vcn-33	1072460	869230	410.6	25	16.4
Vcn-102	1073090	868960	105.6	16	6.6
Vcn-177	1074440	869480	601.3	80	7.5
Vcn-347	1073120	868930	338.9	21	16.1
Vcn-395	1073740	869700	558.7	24.5	22.8
Vcn-412	1074340	869400	339.9	19.1	17.8
Vcn-422	1073420	868480	229.0	9.9	23.1
Vcn-482	1074810	868780	363.0	25	14.5
vcn-499	1073300	869645	549.8	41	13.4

Anexo 10. Gráfica calibración del modelo de flujo subterráneo



Anexo 11. Inventario de aljibes (radio 500 m de la EDS Esso Cavasa)

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA
DIRECCION TECNICA AMBIENTAL
GRUPO RECURSOS HIDRICOS

LISTADO INVENTARIO ALJIBES PRIMER SEMESTRE 2011

Código CVC	Predio	Propietario	ESTE	NORTE	asnm	GPS_PDOP	Prof pozo (m)	Diam pozo	Uso	Caudal (LPS)
AL-1	Frutas Carolina	Luz marina chauz	1073792.77	868734.38	951.23	TOPCON GMS-2	12.56	14" cemento	D	-
AL-2	casa de familia	Maricela arango	1073887.82	868749.06	963.5	TOPCON GMS-2	11.40	6" PVC	D	-
AL-3	Restaurante fogon llanero	Jose ignacio jimenez	1073842.14	868750.28	960.18	TOPCON GMS-2	18.78	6" PVC	D	0.78
AL-4	Bodega madera santa maria	Hector fabio garcia	1073882.85	868629.45	961.64	TOPCON GMS-2	-	-	-	-
AL-5	Criadero mi dulce sueño	Samuel otalvora	1073816.68	868632.11	962.73	TOPCON GMS-2	22.00	12" acero	D	-
AL-6	callejon el saman	Adolfo leon camacho	1073824.95	868491.23	962.45	TOPCON GMS-2	10.36	12" cemento	D	0.33
AL-7	Inst. edu. Rodrigo lloreda caicedo	-	1073355.98	868368.35	961.28	TOPCON GMS-2	-	-	D	-
AL-8	Restaurante punto rico	Campo elias ramirez	1073613.96	868828.75	963.89	TOPCON GMS-2	14.88	6" PVC	D	-
AL-9	Pollos Bucaneros	-	1073619.49	868643.76	971.19	TOPCON GMS-2	11.76	6" PVC	I	-
AL-10	Cavasa - carulla	-	1073554.43	869335.97	966.05	TOPCON GMS-2	11.90	44" cemento	-	-
AL-11	Distriabonos Ltda.	Ramon izquierdo	1073280.59	869031.96	965.66	TOPCON GMS-2	9.48	6" PVC	D	-

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA

DIRECCION TECNICA AMBIENTAL

GRUPO RECURSOS HIDRICOS

LISTADO INVENTARIO ALJIBES PRIMER SEMESTRE 2011

Fecha	Código CVC	ESTE	NORTE	asnm	NE_1_2011	Uso	Observaciones
07-jul-11	ALJIBE 1	1073792.77	868734.38	951.23	2.02	oficios varios, baño, no potable. Activo	agua sin sedimentos, apariencia cristalina, se almacena en tanque elevado de cemento, aljibe con tapa en cemento, está ubicado en el patio, se observa filtración de detergente.
07-jul-11	ALJIBE 2	1073887.82	868749.06	963.5	2.20	baño, cocina, oficios varios. Activo	aljibe ubicado en patio de la casa, piso sin pavimentar, tubería rota, aljibe sin tapa, susceptible a contaminación, agua sin olor.
07-jul-11	ALJIBE 3	1073842.14	868750.28	960.18	2.27	no esta en uso. Abandonado	aljibe en mal estado, colmatado, en abandono, con escombros cerca, a 5.8 m del aljibe está la trampa de grasas al mismo nivel del terreno, susceptible a contaminación.
07-jul-11	ALJIBE 4	1073882.85	868629.45	961.64		Inactivo	aljibe encerrado en caseta de ladrillo, no se pudo acceder a él, sólo se georeferenció.
07-jul-11	ALJIBE 5	1073816.68	868632.11	962.73	2.25	jardines, establos, oficios varios. Activo	aljibe en buen estado, encerrado en caseta de ladrillo, nivel del agua por encima del aljibe, agua clara, sin olor.
07-jul-11	ALJIBE 6	1073824.95	868491.23	962.45	1.70	baño, ropa, oficios varios. Activo	aljibe en buen estado, encerrado en cuarto de paredes y piso en cemento, aljibe sin tapa, agua clara, sin olor.
07-jul-11	ALJIBE 7	1073355.98	868368.35	961.28		lavar ropa, baños, oficios varios. Activo	aljibe en pasillo, con tapa en cemento no fue posible destapar el aljibe, aljibe conectado con tanque elevado de ternis.
07-jul-11	ALJIBE 8	1073613.96	868828.75	963.89	2.50	oficios varios. Activo	aljibe en mal estado, no cuenta con ninguna protección, se ubica sobre el andén de la calle, tubería rota, basura alrededor del aljibe, se bombea y almacena en tanque elevado.
25-jul-11	ALJIBE 9	1073619.49	868643.76	971.19	2.90	lavado planta, silos, uso industrial. Activo	aljibe se mantiene prendido, cuenta con muro en cemento, está protegido con caseta, sin embargo está ubicado en medio de mucho polvo, carga pesada.
25-jul-11	ALJIBE 10	1073554.43	869335.97	966.05	1.52	no esta en uso. Abandonado	aljibe en mal estado, se observa maleza en su alrededor, el aljibe está colmatado. Está ubicado en caseta de ladrillo sin techo.
25-jul-11	ALJIBE 11	1073280.59	869031.96	965.66	2.40	baños, oficios varios, riego. Activo	aljibe susceptible a contaminación, está sobre el nivel del terreno, rodeado de maleza y tierra. El aljibe está conectado con tanque elevado de cemento.

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA

DIRECCION TECNICA AMBIENTAL

GRUPO RECURSOS HIDRICOS

PARÁMETROS DE CAMPO ALJIBES

FECHA	CODIGO	COORD NORTE	COORD ESTE	PROF. POZO	SONDA	N.B.	FREC. BOMBA	HORIBA							CAUDAL	OBSERVACIONES
	CVC				N.E			Hora	pH	Conductividad (µS/CM)	Turbiedad (UNT)	OD (MG/L)	Temperatura (°c)	Salinidad (%)	LPS	
07-jul-11	1	1073792.77	868734.38	12.56 m	2.02	-	-	09:25 a.m.	6.75	1740	61	-	26.5	0.08	-	Horiba dentro del pozo sin bombeo
07-jul-11	1	1073792.77	868734.38	12.56 m	2.02	-	-	09:30 a.m.	7.31	2100	72	-	24.4	0.10	-	Horiba dentro del balde con bombeo
07-jul-11	2	1073887.82	868749.06	11.40 m	2.20	-	-	11:40 a.m.	7.99	1070	91	-	25.4	0.04	-	Horiba dentro del balde con bombeo por tuberia cebada
07-jul-11	3	1073842.14	868750.28	18.78 m	2.27	-	-	11:05 a.m.	6.76	2760	138	-	26.8	0.14	0.78	Horiba dentro del balde con bombeo
07-jul-11	3	1073842.14	868750.28	18.78 m	2.27	-	-	11:12 a.m.	6.81	2810	105	-	26.9	0.13	0.78	Horiba dentro del balde con bombeo
07-jul-11	5	1073816.68	868632.11	22.00 m	2.25	-	-	12:24 p.m.	6.99	1660	67	-	27.3	0.07	-	Horiba dentro del balde con bombeo
07-jul-11	5	1073816.68	868632.11	22.00 m	2.25	-	-	12:30 p.m.	6.86	1620	69	-	27.2	0.07	-	Horiba dentro del balde con bombeo
07-jul-11	6	1073824.95	868491.23	10.36 m	1.70	-	-	01:00 p.m.	6.81	1940	71	-	27.8	0.09	0.33	Horiba dentro del balde con bombeo
07-jul-11	6	1073824.95	868491.23	10.36 m	1.70	-	-	01:07 p.m.	6.82	1930	62	-	27.9	0.09	0.33	Horiba dentro del balde con bombeo
07-jul-11	7	1073355.98	868368.35	-	-	-	-	02:47 p.m.	8.90	460	68	-	27.9	0.01	-	Horiba dentro del balde con bombeo
07-jul-11	8	1073613.96	868828.75	14.88 m	2.5	-	-	03:25 p.m.	7.59	1390	61	-	26.3	0.06	-	Horiba dentro del balde con bombeo
25-jul-11	9	1073619.49	868643.76	11.76 m	2.9	-	-	11:25 a.m.	6.97	960	3	2.28	27.7	0.04	-	Horiba dentro del balde con bombeo
25-jul-11	9	1073619.49	868643.76	11.76 m	2.9	-	-	11:35 a.m.	6.64	960	2	2.29	27.7	0.04	-	Horiba dentro del balde con bombeo
25-jul-11	10	1073554.43	869335.97	11.90 m	1.52	-	-	12:15 p.m.	7.2	1770	1	0.75	26.8	0.08	-	Horiba dentro del pozo sin bombeo
25-jul-11	11	1073280.59	869031.96	2.40 m	2.4	-	-	01:15 p.m.	7.47	1130	6	4.87	25.7	0.05	-	Horiba dentro del balde con bombeo
25-jul-11	11	1073280.59	869031.96	2.40 m	2.4	-	-	01:20 p.m.	7.34	1130	4	4.76	25.6	0.05	-	Horiba dentro del balde con bombeo
25-jul-11	Vcn-459	1073603.2	868913.9	27.80 m	-	-	-	12:35 p.m.	6.97	1100	7	3.7	28.2	0.04	-	Horiba dentro del balde con bombeo
25-jul-11	Vcn-459	1073603.2	868913.9	27.80 m	-	-	-		6.85	1090	6	3.68	28.2	0.04	-	Horiba dentro del balde con bombeo

Anexo 12. Cálculos abatimientos, interferencia y radios de influencia

CÁLCULOS DE ABATIMIENTO, INTERFERENCIA Y RADIOS DE INFLUENCIA A 5 DÍAS DE BOMBEO CONTINUO EN POZOS ALREDEDOR DE LA EDS CAVASA TOMANDO UN RADIO DE 750 m

Parámetros hidráulicos	unidades	valores
Transmisividad (T)	m ² /d	448
Coef. Almacena. (S)		1.0 E-3

$$S_p = 0.183 * \frac{Q}{T} * \log\left(\frac{2.25 * T * t}{r^2 * S}\right)$$

Ecu. Cálculo abatimiento (Jacob)

Pozo	N	E	NT	radio (m)	caudal (LPS)	caudal (m ³ /d)	s (jacob) (m)
Vcn-461	1073647	868836	955.5	74	15.00	1296.0	1.57
vcn-459	1073603.2	868913.9	955	55	1.03	89.0	0.12
vcn-155	1073815	868994	956	185	16.52	1427.3	1.26
vcn-422	1073531	868474	954.5	448	29.00	2505.6	1.43
vcn-347	1073289	868867	954.5	370	28.40	2453.8	1.57
vcn-238	1074205	868854	957	552	58.00	5011.2	2.49
vcn-102	1073157	868897	954	504	3.78	326.6	0.17
vcn-522	1073420	868210	953.5	730	75.70	6540.5	2.61
INTERFERENCIA (m)							11.22

RADIO DE INFLUENCIA CALCULADO CON 5 DÍAS DE BOMBEO POZO VCN-461

tiempo (d)	ri (m)
1	1003.99
2	1419.86
3	1738.97
4	2007.98
5	2244.99

$$r_i = 1.5 \sqrt{(T * t) / S}$$

Ecu. Radio influencia del pozo

Anexo 13.
Reportes Análisis de Agua subterránea
Laboratorio Ambiental Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca

Anexo 14.

Reportes Análisis de Agua subterránea

Laboratorio Lancaster, Pensilvania U.S.
International Analytical Group (IAG), Florida U.S.

Anexo 15.
Reportes Análisis de Suelo. Laboratorio Lancaster, Pensilvania U.S.
Registros COV de la muestras de suelo analizadas

Anexo 16. Especificaciones técnicas producto biológico
Septitrim Hidrocarburos