



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE MAESTRÍA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL



**EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE REMEDIACIÓN PARA EL  
ACUÍFERO LA GUACAMAYA, MUNICIPIO VALENCIA, ESTADO  
CARABOBO USANDO LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL  
MODELMUSE**

Autor: Ing. Abel A. Rodríguez S.

Bárbula, Mayo 2018



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE MAESTRÍA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL



**EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE REMEDIACIÓN PARA EL  
ACUÍFERO LA GUACAMAYA, MUNICIPIO VALENCIA, ESTADO  
CARABOBO USANDO LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL  
MODELMUSE**

Autor: Ing. Abel A. Rodríguez S

Tutora: Ing. MSc. Ph.D Adriana Márquez

Bárbula, Mayo 2018



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE MAESTRÍA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL



**EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE REMEDIACIÓN PARA EL  
ACUÍFERO LA GUACAMAYA, MUNICIPIO VALENCIA, ESTADO  
CARABOBO USANDO LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL  
MODELMUSE**

Autor: Ing. Abel Rodríguez

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO ANTE EL  
ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO DE LA  
UNIVERSIDAD DE CARABOBO PARA OPTAR  
AL TÍTULO DE MAGÍSTER EN INGENIERÍA  
AMBIENTAL.

Bárbula, Mayo 2018



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE MAESTRÍA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL



AVAL DEL TUTOR

Dando cumplimiento a lo establecido en el Reglamento de Estudios de Postgrado de la Universidad Carabobo en su artículo 133, quien suscribe PROF. ADRIANA MARQUEZ, titular de la cédula de identidad V-12.604.007, en mi carácter de Tutor del Trabajo de Maestría titulado: EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE REMEDIACIÓN PARA EL ACUÍFERO LA GUACAMAYA, MUNICIPIO VALENCIA, ESTADO CARABOBO USANDO LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL MODELMUSE, ESTADO CARABOBO, presentado por: ING. ABEL ANDRÉS RODRÍGUEZ SEPÚLVEDA , C.I.: E-84.599.382, para optar al título de MAGÍSTER EN INGENIERÍA AMBIENTAL, hago constar que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y a la evaluación por parte del jurado examinador que se le designe.

En Bárbula a los Veintitrés (23) días del mes de Abril del año dos mil dieciocho (2.018).

---

Prof. ADRIANA MARQUEZ  
C.I.: V-12.604.007



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE MAESTRÍA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL



**EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE REMEDIACIÓN PARA EL  
ACUÍFERO LA GUACAMAYA, MUNICIPIO VALENCIA, ESTADO  
CARABOBO USANDO LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL  
MODELMUSE**

AUTOR: ING. ABEL RODRÍGUEZ

Aprobado en el Área de Estudios de Postgrado de la Universidad de Carabobo  
por Miembros de la Comisión Coordinadora del Programa:

---

---

---

Bárbula, Mayo 2018



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE MAESTRÍA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL



### VEREDICTO

Nosotros, Miembros del Jurado designado para la evaluación del Trabajo de Grado titulado EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE REMEDIACIÓN PARA EL ACUÍFERO LA GUACAMAYA, MUNICIPIO VALENCIA, ESTADO CARABOBO USANDO LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL MODELMUSE, presentado por: ING. ABEL ANDRÉS RODRÍGUEZ SEPÚLVEDA, C.I.: E- 84.599.382 para optar al título de MAGÍSTER EN INGENIERÍA AMBIENTAL estimamos que el mismo reúne los requisitos para ser considerado como APROBADO.

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

Bárbula, Mayo 2018

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi tutora y gran orientadora, profesora Adriana Márquez, por su increíble dedicación, tiempo y apoyo en todo el transcurso de la Maestría.

A las familias Castellanos Capdebilla, Gómez Capdebilla, Aravena Alliende y Acosta Zajac que de diversas maneras apoyaron mi proceso en estos tiempos.

A las personas del Ministerio del Poder Popular de Ecosocialismo y Agua que hoy en día son mis grandes amigos, Angremy Rivas y Víctor Carrillo, que sin duda alguna siempre valoraré su tremenda disposición y ayuda conmigo.

A la empresa Inversiones y Construcciones Makrofusion por darme la oportunidad de conocer este increíble país, por facilitarme los recursos y el tiempo para terminar mis estudios.

Al laboratorio Hidrolab Toro y en especial al Ing. MSc Miguel Mura, por su buena disposición en los análisis Físico – Químicos.

A mi amigo Adrián Coronel y los amigos que he podido conocer y lograr en Venezuela y a todas las personas que de alguna u otra manera aportaron un granito de motivación en la culminación de este trabajo.

A Uds. Gracias de corazón.

## DEDICATORIA

A la memoria de mi amada madre Paulina Del Carmen Sepúlveda Sagal y mi abuelo Abel Rodríguez Casas, que desde algún lugar donde se encuentren estarían muy orgullosos.

Al Sr. Jorge Capdebilla y la Sra. Vivianne Villegas, por su apoyo incondicional y por darme el cariño y confianza de una familia.

A mis primos José Torres y Daniel Calistro que aun a la distancia se puede sentir el calor de sus buenas vibras hacia mi persona.

A toda la familia Rodríguez, a mi mama mina, primos, tíos y sobrinos, que siempre los pensé en momentos buenos y tristes.

A mi Padre Juan Eduardo Zumelzú Campos, a mi hermana Thamara Zumelzú Sepúlveda y a mi sobrino Benjamin Alavado Zumelzú, que desde lejos los llevé conmigo todos los días de mi vida y han sido una pieza fundamental en mi formación personal.

A mis grandes amigos Emilio Hernández, José Lillo, Nelson Rodríguez y Marcial Moreno, que todos los recuerdos que tengo con Uds. Me motivaron más por esforzarme para volver a verlos.

A mi tía Ángela y primas Constanza y Esperanza que a pesar de todas las adversidades el tiempo nos ha mantenido unidos.

Y a ti mi vida, mi bella Nataly Leonor Capdebilla Villegas, por aceptarme en tu vida como compañero y por hacer todo lo posible por entenderme, comprenderme y aun sin lograrlo, apoyarme en todo lo que para mí ha sido la experiencia más grande de mi vida, gracias por hacerme parte de tus logros porque los míos son completamente tuyos.

## INDICE GENERAL

	Pág.
<b>INTRODUCCION</b>	1
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>EL PROBLEMA</b>	
Planteamiento del Problema	3
Objetivos de la Investigación	8
Objetivo General	8
Objetivos Específicos	9
Justificación	9
Alcance y Limitaciones	10
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>MARCO TEÓRICO</b>	
Antecedentes de la Investigación	12
Bases Teóricas	15
Remediación	16
Remediación Ambiental	16
Tecnologías de Remediación	17
Estrategias de Remediación	17
Acuífero	25
Tipos de Acuíferos	25
Aguas Subterráneas	26

Parámetros Hidrogeológicos	27
Transporte de Contaminantes	34
Contaminación de Acuíferos por Gasolina	40
¿Qué es la Gasolina?	41
Benceno	43
Tolueno	44
Xileno	46
Modelación de Aguas Subterráneas	46
Modelos Estadísticos de Predicción Espacial	47
Marco Normativo Legal	49

### **CAPITULO III**

#### **MARCO METODOLÓGICO**

Tipo de Investigación	52
Diseño de la Investigación	53
Población y Muestra	54
Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	54
Análisis de Datos	56
Procedimiento de la Investigación	56

### **CAPITULO IV**

#### **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Descripción de las características geográficas de la cuenca	58
---	----

Identificación de los usos de la tierra	70
Estudio de los parámetros hidráulicos del acuífero	72
Determinación de los parámetros físico-químicos	81
Simulación de la pluma contaminante	90
Evaluación de alternativas de remediación	96
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>104</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>105</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>106</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>129</b>

## INDICE DE TABLAS Y CUADROS

<b>TABLAS</b>	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Ventajas y desventajas de las tecnologías de remediación in situ y ex situ	34
Tabla 2. Ventajas y desventajas de las tecnologías de remediación, clasificadas de acuerdo al tipo de tratamiento	35
Tabla 3. Características de las tecnologías de remediación	36
Tabla 4. Valores típicos de la conductividad hidráulica	47
Tabla 5. Características geométricas de la sub cuenca La Guacamaya	75
Tabla 6. Pozos de Estudio	76
Tabla. Distribución porcentual de las Pendientes de la Sub Cuenca	78
Tabla 8. Distribución porcentual de la Elevación en la Sub Cuenca	78
Tabla 9. Distribución porcentual de las Curvas de Nivel en la Sub Cuenca	79
Tabla 10. Características Geomorfológicas de la Sub Cuenca	81
Tabla 11. Características Geomorfológicas de la Sub Cuenca	82
Tabla 12. Red Hídrica	83
Tabla 13. Perfiles Litológicos del acuífero del Sector la Guacamaya, Parroquia Miguel Peña, Municipio Valencia Referenciados en la Figura 23	85
Tabla 14. Tipos de usos del Suelo del Sector la Guacamaya, Parroquia Miguel Peña, Municipio Valencia Referenciados en la Figura 24	87

Tabla 15. Niveles Estáticos del acuífero del sector la guacamaya, parroquia miguel peña, municipio valencia, estado Carabobo. Referenciados en la Figura 25	89
Tabla 16. Niveles Dinámicos del acuífero del sector la guacamaya, parroquia miguel peña, municipio valencia, estado Carabobo. Referenciados en la Figura 26.	91
Tabla 17. Permeabilidad de la sub-cuenca del sector la guacamaya, parroquia miguel peña, municipio valencia, estado Carabobo. Referenciada en la Figura 27.	92
Tabla 18. Porcentaje de Porosidad de la sub-cuenca del sector la guacamaya, parroquia miguel peña, municipio valencia, estado Carabobo. Referenciada en la Figura 28.	94
Tabla 19. Gradiente Hidráulico de la sub-cuenca del sector la guacamaya, parroquia miguel peña, municipio valencia, estado Carabobo. Referenciada en la Figura 29.	95
Tabla 20. Transmisividad de la sub-cuenca del sector la guacamaya, parroquia miguel peña, municipio valencia, estado Carabobo. Referenciada en la Figura 30.	97
Tabla 21. Ubicación de los Pozos de Estudio	98
Tabla 22. Condiciones Ambientales del Laboratorio. 26 de Mayo 2017	99
Tabla 23. Resultados de los Análisis de Laboratorio (Benceno, Tolueno y Xileno). Muestras 1 y 2	99
Tabla 24. Resultados de los Análisis de Laboratorio (Benceno, Tolueno y Xileno). Muestras 3 y 4	100
Tabla 25. Condiciones Ambientales del Laboratorio. 02 de Junio 2017	100

Tabla 26 Resultados de los Análisis de Laboratorio (Benceno, Tolueno y Xileno). Muestras 1,2 y 3	101
Tabla 27. Condiciones Ambientales del Laboratorio. (Gasolina). 26 Mayo 2017	101
Tabla 28. Resultados de los Análisis de Gasolina. Muestras 1 y 2	102
Tabla 29. Resultados de los Análisis de Gasolina. Muestras 3 y 4	102
Tabla 30. Condiciones Ambientales del Laboratorio. (Gasolina). 02 Junio 2017	103
Tabla 31. Condiciones Ambientales del Laboratorio. (Gasolina). 02 Junio 2017	103
Tabla 32. Ubicación de los pozos estudiados por Geohidra Consultores C.A	104
Tabla 33. Análisis Benceno, Tolueno y Xileno Geohidra Consultores C.A.	105
Tabla 34. Criterios de Selección de Alternativas de Remediación	115
<b>CUADROS</b>	
Cuadro 1. Velocidad Real Media del agua en medios porosos.	45

## INDICE DE FIGURAS

<b>FIGURAS</b>	Pág.
Figura 1. Proceso de inyección de aire	38
Figura 2. Variación de coeficiente de película del líquido con el flujo de líquido para la absorción de oxígeno en agua	40
Figura 3. Acuífero libre o freático	41

Figura 4. Acuífero confinado	41
Figura 5. Acuífero semiconfinado	42
Figura 6. Esquema de comportamiento de las Aguas subterráneas	43
Figura 7. Velocidad del agua en medios porosos	45
Figura 8. Coeficiente de Almacenamiento	48
Figura 9. Dispersión longitudinal por la tortuosidad	51
Figura 10. Dispersión longitudinal por amplitud de los canales	51
Figura 11. Dispersión transversal	51
Figura 12. Inyección momentánea	53
Figura 13. Inyección continúa	53
Figura 14. Transporte si se produjera solo advección	54
Figura 15. Sub cuenca hidrográfica sector La Guacamaya.	75
Figura 16. Ubicación de los pozos de estudios	76
Figura 17. Mapa de Pendientes	77
Figura 18. Mapa de Elevación	78
Figura 19. Curvas de Nivel de la Sub-cuenca La Guacamaya	79
Figura 20. Mapa de Geomorfología	80
Figura 21. Mapa de Geología	82
Figura 22. Mapa de Hidrología	83
Figura 23. Mapa de Hidrología	84
Figura 24. Mapa de Usos de la Tierra	87
Figura 25. Mapa de Niveles Estáticos	89
Figura 26 Mapa de Niveles Dinámicos	90

Figura 27. Mapa de Permeabilidad	92
Figura 28. Mapa de Porosidad	93
Figura 29. Mapa de Gradiente Hidráulico	95
Figura 30. Mapa de Transmisividad	96
Figura 31. Recarga del Acuífero (Planta)	106
Figura 32. Recarga del Acuífero (Frontal)	107
Figura 33. Recarga del Acuífero (Lateral)	107
Figura 34. Mapa de Concentración Benceno	108
Figura 35. Mapa de Flujo Másico Benceno	108
Figura 36. Mapa de Concentración Tolueno	109
Figura 37. Mapa de Flujo Másico Tolueno	109
Figura 38. Mapa de Concentración Xileno	110
Figura 39. Mapa de Flujo Másico Xileno	110
Figura 40. Mapa de Concentración Gasolina	111
Figura 41. Mapa de Flujo Másico Gasolina	111
Figura 42. Inyección de Aire y Extracción de Vapores	113
Figura 43. Inyección de Aire y Extracción de Vapores	114
Figura 44. Mapa de Caudal de Aire a Suministrar	117
Figura 45. Mapa de Ubicación de Extractores	119



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE MAESTRÍA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL**



**RESUMEN**

Los avances en la eliminación de los hidrocarburos derivados del petróleo presentan una alternativa para mejorar la calidad del agua subterránea para el consumo humano. El objetivo de esta investigación es evaluar alternativas de remediación para el acuífero “La Guacamaya”, Parroquia Miguel Peña, Municipio Valencia del Estado Carabobo, para lo cual se han realizado actividades para determinar las características edáficas e hidráulicas de la sub cuenca del sector La Guacamaya, analizar los usos del suelo del sector, caracterizar el agua subterránea y simular la pluma de los principales contaminantes del acuífero soportados por herramientas computacionales (SIG) y de simulación. La metodología a aplicar es de tipo descriptiva con trabajo de campo. Para recopilar la información se utilizará la revisión documental histórica del lugar y los parámetros físico - químicos del acuífero, así como la observación directa en campo, del comportamiento del acuífero. El análisis del acuífero se realizó utilizando el software Arcgis 10.0, el procesamiento de imágenes de satélite con el software ERDAS Imagine 2014 y ENVI 5.3 y la simulación del flujo subterráneo y la pluma del contaminante con el software Model Muse 3.10.0.0 y Arcgis 10.0. Los resultados indican que el acuífero es confinado, que el agua no es apta para el consumo humano y el flujo subterráneo se comporta como la escorrentía superficial drenando hacia el sur del acuífero.

**Palabras claves:** Acuífero, Remediación, Simulación.



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE MAESTRÍA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL**



**Autor:** Ing. Abel Rodríguez Sepúlveda  
**Tutora:** Ing. MSc. Ph.D Adriana Márquez  
**Fecha:** Abril 2018

### **ABSTRACT**

Advances in the elimination of hydrocarbons derived from oil present an alternative to improve the quality of groundwater for human consumption. The objective of this research is to evaluate remediation alternatives for the La Guacamaya aquifer, Miguel Peña Parish, Valencia Municipality of Carabobo State, for which the following objectives have been developed: determine the edaphic and hydraulic characteristics of the sub-basin of the sector The Guacamaya, analyze the land uses of the sector, characterize the groundwater and simulated, the plume of the main pollutants of the aquifer supported by computational tools (SIG) and simulation. The methodology will be applied a descriptive type research, with a field design. To collect the information, the historical documentary review of the literature and the physical parameters of the aquifer chemist will be used, as well as the direct observation in the field of aquifer behavior. The analysis of the aquifer was performed using the Arcgis 10.0 software, the processing of satellite images with the ERDAS Imagine 2014 and ENVI 5.3 software, and the simulation of the underground flow and the plume of the pollutant with the software Model Muse 3.10.0.0 and Arcgis 10.0. The results indicate that the aquifer is confined, that the water is unfit for human consumption and the underground flow as surface runoff from the south to the south of the aquifer.

**Keywords:** Aquifer, Remediation, Simulation.

.  
.

# INTRODUCCIÓN

La importancia del agua subterránea, como fuente de abastecimiento para consumo humano, requiere de mayor atención a fin de contrarrestar los efectos negativos originados por la contaminación de tipo antropogénico. La presencia, cada vez mayor, de elementos ajenos a la composición natural del agua subterránea constituye una alteración en su calidad.

Por otro lado, el amplio uso de los hidrocarburos en la actualidad está asociado a las actividades de exploración, explotación, refinación, distribución y comercialización, así como su empleo principalmente como combustibles para el sector industrial y de transporte. Estas actividades implican un intenso manejo de hidrocarburos con el inminente riesgo de que puedan ocurrir descargas en el ambiente con implicaciones de contaminación cuya magnitud y consecuencias están en función de las características del sitio afectado.

El propósito del estudio consistió en evaluar diferentes alternativas de remediación para el acuífero del sector La Guacamaya contaminado actualmente con hidrocarburos derivados del petróleo provenientes de la Estación de Servicio el Prado. Para determinar las alternativas de remediación se analizó el acuífero del sector evaluando parámetros geológicos, hidrogeológicos, topográficos, hidráulicos y físico – químico para conocer su comportamiento subterráneo y nivel de contaminación.

Ahora bien, el motivo para abordar la problemática en cuestión fue conocer los niveles de contaminación del acuífero de la sub cuenca del sector la Guacamaya para proponer alternativas de remediación apoyado en herramientas computacionales y de sistemas de información geográfica (SIG), utilizando imágenes satelitales y software de modelamiento subterráneo para hacer las simulaciones de los contaminantes, debido a que en la actualidad es la tendencia para estudios ambientales.

A este respecto y con los resultados obtenidos en las simulaciones, las técnicas de remediación seleccionadas fueron la Aspersión de Aire con Extracción de Vapores por su aplicabilidad, costos relativamente bajos y eficacia en su implementación y además son las más utilizadas a nivel mundial para acuíferos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo.

El proyecto se organizó de la siguiente manera:

El Capítulo I, El Problema, contiene el planteamiento del problema, la formulación del mismo, el objetivo general y los específicos, así como la justificación de la investigación y su alcance y limitación.

El Capítulo II, Marco Teórico, comprende los antecedentes de la investigación, las bases teóricas y las bases legales que lo sustentan.

El Capítulo III, Marco Metodológico, está conformado el tipo y diseño de la investigación, las técnicas de recolección de la información, el análisis e interpretación de los datos, los procedimientos para realizar este trabajo.

El Capítulo IV, Análisis de Resultados, en este se presentan los mapas, análisis físico químicos obtenidos del muestreo en campo como también la

simulación de la pluma contaminante utilizando herramientas computacionales.

Finalmente se señalan las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA**

### **Planteamiento del Problema**

Desde la antigüedad, se han venido presentando problemas con la contaminación del agua debido a que desde un principio las comunidades habitaban a las orillas de cuerpos de agua por su cercanía y facilidad de aprovechamiento, no obstante esto ocasionó dificultades en el entorno ya que los cuerpos de agua fueron contaminados por las actividades propias del ser humano ya que se desconocían sistemas de tratamientos utilizados en la actualidad.

Hoy en día, los cuerpos de agua se ven afectados principalmente por vertido de efluentes industriales con ningún tratamiento o insuficiente, aguas subterráneas destinadas a consumo humano que son contaminadas con organismos patógenos por infiltraciones de los pozos sépticos en zonas sin red cloacal o por contaminación que proviene de derrames de petróleo y todos sus derivados, ya sea de la actividades petroleras o por mala disposición de aceites usados y otros combustibles en las estaciones de servicio.

Según datos de la UNESCO (2012),

Las aguas subterráneas abastecen de agua potable por lo menos al 50% de la población mundial y representan el 43% de toda el agua utilizada para el riego (FAO, 2010). A nivel mundial, 2.500 millones de personas dependen exclusivamente de los recursos de aguas subterráneas para satisfacer sus necesidades básicas diarias de agua.

Mazari (2007) informa que en los Estados Unidos “el límite global de sostenibilidad ecológica de agua disponible para su extracción ha sido superado por una tercera parte aproximadamente de la población y aumentará hasta aproximadamente la mitad hacia el año 2030”. (WWAP, 2012). “...cerca del 30% en Canadá y aproximadamente el 70% en Europa.

Aunado a lo que se podría percibir como un problema de abastecimiento, que se presenta por el crecimiento poblacional, se debe tener especial atención en la contaminación de aguas subterráneas por presencia de hidrocarburos, entre los que casos que se puede mencionar está:

En septiembre del 2004 se detectó la contaminación con hidrocarburos (mezcla de gasolina, diesel y aceites) del pozo AB-1089, ubicado en Barreal de Heredia, Costa Rica. Posteriormente se determinó que la contaminación había sido causada por un derrame desde los tanques o tuberías de una gasolinera adyacente. ([www.una.ac.cr](http://www.una.ac.cr)).

Ahora bien, existen distintas formas de remoción de hidrocarburos del agua donde se persigue remediar los acuíferos afectados. La Agencia de Protección ambiental de Estados Unidos, por sus siglas en inglés EPA (2017), ha realizado programas de localización y limpieza de contaminantes conocidos como “Superfund”, que es responsable de dar respuesta a emergencias ambientales y limpiar los sitios más contaminados del país.

El mismo autor en el año 2011, realiza el informe de intervención Amco Chemical Superfund, caso de contaminación ocurrido el año 2004 en Oakland,

California; donde más de 200 contaminantes individuales fueron detectados en las aguas subterráneas, el suelo y el aire, donde 98 de estos compuestos fueron identificados como contaminantes de interés, entre ellos los hidrocarburos derivados del petróleo (p. 2)

En el país, tal como lo menciona la ONG Vitalis (2012) se han presentado casos de contaminación de cuerpos de agua por derrames de hidrocarburos, tal como sucedió el día 4 de febrero de 2012, con el rompimiento de una tubería del Complejo Operacional Jusepín, ubicado en el Norte del estado Monagas que desembocó en las aguas del río Guarapiche, una de las principales fuentes de agua de la ciudad de Maturín.

En el informe anual del Programa Venezolano de Educación-Acción en Derechos Humanos (PROVEA, 2014), destaca que debe prestarse especial atención en las fases de exploración, producción y refinación de petróleo, ya que cualquier accidente que se produzca, como los ocurridos en Complejo Industrial José Antonio Anzoátegui y las explosiones en la Refinería de Amuay, han ocasionado daños ambientales que contaminan acuíferos y cursos de agua los cuales son fuente del abastecimiento necesario para el consumo doméstico y cotidianos, así como para el riego de sus siembras y permitir la cría de sus animales.

De acuerdo al informe especial realizado por PROVEA (2016) sobre la situación petrolera en el país, los datos registrados son alarmantes, las cifras de derrames de hidrocarburos por parte de la empresa Petróleos de Venezuela Sociedad Anónima (PDVSA) en el año 2010 datan de 2.369 casos, donde para el año 2013 aumentan en 10.660 (p. 15). Esto evidencia un aumento del 449,98%, por lo tanto, la gestión ambiental realizada por la empresa nacional PDVSA ha sido insuficiente, puesto que en 3 años de explotación de crudo la tendencia va en aumento.

Adicionalmente en la investigación realizada por Rivas en el año 2016, expone que habitantes de la urbanización Los Andes del sector La Victoria, en Aragua, en compañía del Presidente del Centro de Ingeniero Marino Azcárate y la Diputada a la Asamblea Nacional Karin Salanova, realizaron una denuncia ante el ministerio público por la contaminación de 7 pozos de aguas profundas con hidrocarburos, los cuales se estima que provienen de la Estación de Servicio en la Ciudad de la Juventud. Este problema se debería a la falta de mantenimiento de los tanques de almacenamiento de combustible, procedimiento que le correspondería a PDVSA.

El Municipio Valencia – Estado Carabobo, está distribuido en Parroquias siendo la más grande la Parroquia Miguel Peña. Dentro de las comunidades de esta Parroquia se mencionan los habitantes de los sectores circundantes a la Autopista del Sur, tramo Valencia – Campo de Carabobo, tales como La Guacamaya, Los Caobos, José Gregorio Hernández y La Castrera. Esta zona es utilizada principalmente como sector industrial para la producción de cables y cerámicas, entre otras, generando una fuente laboral importante para el sector.

Recientemente el 27 de enero de 2016, el Ministerio de Ecosocialismo y Aguas (MINEA) del Estado Carabobo, realizó una inspección y monitoreo ambiental en la urbanización Los Caobos, parroquia Miguel Peña de Valencia, donde se encuentra la estación de servicio El Prado, ante las denuncias de la comunidad sobre olores y presencia de combustible en las viviendas y áreas comunes. Como medida de seguridad, (PDVSA) ha suspendido por tiempo indefinido el despacho de gasolina y gasoil en la estación de servicio, mientras se realizan los procesos de investigación. Al mismo tiempo, el MINEA realiza inspecciones a las empresas ubicadas en la Zona Industrial La Guacamaya.

La situación antes descrita, mantiene alerta a los vecinos y se plantea una interrogante acerca de una posible afectación del acuífero, en caso que realmente se hayan presentado derrames o filtraciones en los tanques

subterráneos de almacenamiento de combustible en la estación de servicio El Prado o existan vertidos desde talleres de mecánica automotriz y negocios aledaños que usen gasolina en sus actividades.

O, de no resolverse el problema de infiltración de los hidrocarburos al acuífero, las consecuencias sobre la salud de los habitantes del sector podrían ser por ingestión afectando 3 sistemas orgánicos fundamentales: pulmón, aparato gastrointestinal y sistema nervioso; por aspiración donde la toxicidad del hidrocarburo dañaría directamente el tejido pulmonar y/o por contacto causando dermatitis o irritación en los ojos ya que algunos componentes pueden ser absorbidos a través de la córnea. (es.slideshare.net).

Cabe destacar que existen tecnologías que permiten obtener en menos tiempo resultados confiables, para así poder atacar el problema con la brevedad que lo requiere, tal como MODFLOW, es el código para el modelamiento de agua subterránea en 3D basado en diferencias finitas desarrollado por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS). MODEL MUSE es la plataforma de pre y post procesamiento también desarrollada por la USGS que implementa MODFLOW. Esta plataforma tiene una alta performance debido a su "diseño por objetos" que optimiza la conceptualización de condiciones de bordes y otros elementos del modelo, disminuyendo el tiempo de construcción y mejora la interpretación de los datos de salida.

De esta manera se podría simular el alcance de la contaminación por la infiltración y migración de compuestos derivados de hidrocarburos. Por lo que es necesario realizar la evaluación de alternativas de remediación para el acuífero la guacamaya, municipio Valencia, estado Carabobo usando la herramienta computacional modelmuse.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, surgen las siguientes interrogantes:

## **Formulación del Problema**

¿Cuáles son las características topográficas, geológicas, hidrogeológicas y aguas subterráneas en el Sector La Guacamaya?

¿Qué usos se le da a las tierras del Sector La Guacamaya?

¿Cuáles son los parámetros hidráulicos del acuífero del sector?

¿Cuáles son las características fisicoquímicas de las aguas subterráneas del Sector La Guacamaya?

¿Qué tipo de tratamiento se puede aplicar a las aguas subterráneas si están contaminadas?

## **Objetivos de la Investigación**

### **Objetivo General**

Evaluar alternativas de remediación para el acuífero la guacamaya, municipio Valencia, estado Carabobo con el apoyo del software modelmuse.

### **Objetivos Específicos**

1. Describir las características topográficas, geológicas, hidrogeológicas y pozos del Sector La Guacamaya, Municipio Valencia, Estado Carabobo.
2. Identificar los usos de la tierra en el del Sector La Guacamaya, Municipio Valencia, Estado Carabobo.
3. Estimar los parámetros hidráulicos del acuífero del Sector La Guacamaya, Municipio Valencia, Estado Carabobo.
4. Determinar los parámetros fisicoquímicos de las fuentes de agua subterráneas.

5. Simular la pluma de contaminación para el principal contaminante del acuífero del Sector la Guacamaya con los software ArcGis 10.0 y ModelMuse.

### **Justificación**

El agua extraída de los acuíferos y la calidad de la misma es indudablemente importante para el desarrollo de las actividades industriales y urbanas del Municipio Valencia – Sector La Guacamaya, por lo tanto es necesario realizar un estudio de la calidad de la aguas del lugar, que permita determinar una posible contaminación del acuífero por infiltración de hidrocarburos derivados del petróleo, el estudio debe abarcar el alcance de los contaminantes que permita establecer los sistemas adecuados de remediación en el caso de revelar infiltración de combustible en el acuífero.

En este sentido, esta investigación tiene un beneficio ambiental significativo pues permitirá identificar una posible fuente de contaminación de hidrocarburos, lo que se traduce en lograr una adecuada remediación del sitio, establecer medidas de contingencia para los habitantes del sector en cuanto a la ingesta y usos del agua, como también fomentar la adopción de medidas preventivas y correctivas para solucionar la situación, estudio que beneficiaría directamente a las personas que actualmente se encuentran residenciadas en el Sector La Guacamaya, especialmente los vecinos de la Urbanización los Caobos.

Igualmente, desde el punto de vista académico, este trabajo tiene como propósito que otros estudiantes puedan utilizar la metodología y técnicas del presente estudio como referencia para futuras investigaciones de Transporte

y Transformación de Contaminantes, y Técnicas de Remediación; líneas de investigación inscrita en el Centro de Investigaciones Hidráulicas y Ambientales de la Universidad de Carabobo (CIHAM UC) y en el Programa de Maestría de Ingeniería Ambiental respectivamente,

Como aporte técnico, se utilizarán los software Arcgis 10.0 para la obtención de los parámetros hidráulicos de la sub – cuenca del sector La Guacamaya, ENVI 5.3 para el procesamiento de imágenes satelitales y ERDAS Imagine 2014 para la clasificación de las imágenes satelitales. Además, se analizará el comportamiento del acuífero con la herramienta informática ModelMuse, utilizada actualmente por muchos países e instituciones para realizar estudios de migración de contaminantes en aguas subterráneas.

## **Alcance y Limitaciones**

### **Alcance**

El proyecto a realizar comprende el estudio de contaminación por hidrocarburos del acuífero del Municipio Valencia, Sector la Guacamaya – Estado Carabobo, con la finalidad de realizar mediciones de niveles en 7 pozos ubicados en la Parroquia Miguel Peña, en las áreas adyacentes a la estación de servicio El Prado.

El Ministerio del Poder Popular Para Ecosocialismo y Agua suministró los datos de ubicación y parámetros Físico – Químicos históricos de los pozos del sector, así como también la realización de un análisis actualizado de la calidad de las aguas, para obtener resultados más precisos en cuanto a una posible contaminación del acuífero.

La investigación sólo se realizará con los datos de campo obtenidos de las nuevas caracterizaciones de las aguas de los pozos monitoreados con la colaboración del MINEA, durante el año 2017.

### **Limitaciones**

No se puede medir niveles estáticos y dinámicos en todos los pozos de estudio, por las características físicas de la sonda.

En el presente estudio no se muestran los perfiles litológicos de todos los pozos del sector.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

Hernández Sampieri et. al. (2010) señalan que “la perspectiva teórica proporciona una visión de donde se sitúa el planteamiento propuesto dentro del campo de conocimiento en el cual nos “moveremos””. (p. 52). Dicho esto, es necesario para todo investigador analizar los antecedentes que se hayan efectuado anteriormente, las teorías planteadas que sustentan la investigación y los conceptos que enmarquen el estudio.

#### **Antecedentes de la Investigación**

Todo tipo de investigación debe tener en consideración los estudios realizados anteriormente en la problemática a abordar tanto en el ámbito internacional como nacional, con referencia a esto se presentan los antecedentes internacionales y aquellos estudios realizados en el país relacionado con la investigación a realizar.

##### **Internacionales**

EPA (2013), *Tercer Informe de Revisión Quinquenal del Sitio Superfund Wellfield de Palermo Tumwater, Washington*. Este trabajo tuvo como

propósito observar, en los últimos 5 años, las acciones correctivas aplicadas en Palermo Wellfield Superfund Site Tumwater, determinando si son protectoras de la salud humana y el ambiente. La metodología se basó en un análisis conceptual del sitio, la realización de muestreos en las aguas subterráneas para caracterizar y confirmar los contaminantes de mayor interés identificando así sus fuentes potenciales. El análisis logró identificar que las medidas correctivas aplicadas al sitio contaminado, aún después de 5 años eran una vía potencial de la contaminación puesto que excedían los límites de exposición para el ser humano. La citada investigación suministra información de apoyo al estudio, debido a que se realizaron estudios topográficos y de migración de contaminantes lo que sirvió para complementar las bases teóricas.

Maldonado, L. (2012), elaboró un estudio titulado: *Evaluación del Comportamiento de la Pluma Contaminante Ante Eventuales Escenarios de Contaminación por Hidrocarburo Liviano en Aguas Subterráneas Dentro de dos Instalaciones Industriales Utilizando el Software Visual Modflow*. La metodología aplicada fue una investigación de campo y el estudio de los parámetros hidráulicos de las aguas subterráneas junto con la simulación de los escenarios de contaminación con el software Visual Modflow. Se determinó que las instalaciones se encuentran en buenas condiciones para prevenir un derrame de hidrocarburos y que la pluma contaminante actuaría de acuerdo a la topografía del lugar que cuenta con una pequeña pendiente con sentido preferencial hacia el sur-oeste. El aporte de esta investigación es la metodología empleada en cuanto a una simulación de la migración de hidrocarburos a través de un software.

Leal, M. (2011) publicó un estudio titulado: *Planteamiento de Alternativas Físico – Químicas para Remediación de Agua Subterránea y Suelos Contaminados con Hidrocarburos Apoyados en la Aplicación de Software*

*Visual ModFlow para un Área de Interés de Ecopetrol S.A.* La metodología que se empleó fue un diseño no experimental apoyado en una investigación de campo. El comportamiento del flujo y la trayectoria de la pluma contaminante se realizaron mediante el software Modflow. En este estudio se encontraron valores de hidrocarburos totales superiores a lo establecido en la norma colombiana, en cuanto a la pluma contaminante la modelación del flujo fue la esperada de acuerdo a la topografía del sector, todo esto conllevó a proponer medidas de biorremediación. Este trabajo interpreta la migración de los contaminantes y medidas para su mitigación lo que aporta información para el logro del objetivo general.

### **Nacionales**

García y Mendoza (2016), elaboraron un estudio titulado: *Elaboración de Mapas de Propiedades Hidrogeoquímicas del Acuífero del Municipio San Diego del Estado Carabobo Durante el Año 2015. Caso de Estudio: Sector Norte A.* La metodología para realizar esta investigación fue la identificación de las condiciones geográficas del sector, la identificación de los pozos de estudio y los parámetros hidráulicos del acuífero utilizando la herramienta informática ArcGis. El resultado del estudio fue la elaboración de mapas hidrogeológicos del sector de San Diego, Venezuela, determinar la calidad de las aguas y las propiedades hidrogeofísicas del acuífero. La citada investigación suministra información de apoyo a la investigación porque se realizaron análisis de parámetros hidráulicos y topográficos del acuífero utilizando la herramienta informática ArgGis.

Rivero, J. (2016) realizó el estudio denominado: *Elaboración de Mapas de Propiedades Hidrogeoquímicas del Acuífero del Municipio San Diego Estado Carabobo Durante el Año 2015. Caso: Sector Industrial.* El objeto de este estudio fue la realización de mapas hidrogeoquímicos con el objetivo de dar a conocer las características principales del acuífero para evitar así la

sobreexplotación del mismo; la investigación se realizó con la utilización del software ArcGis. Se pudo determinar que la transmisividad del acuífero es baja principalmente por la cantidad de agua del acuífero, se determinó que, en los pozos de estudio, no existe sobreexplotación. El aporte de esta investigación es la metodología empleada para la medición de niveles estáticos y dinámicos en pozos, junto con la metodología de utilización de software ArcGis.

Carrillo, V. (2015), realizó el estudio titulado: *Vulnerabilidad Hidrogeológica del Acuífero del Municipio San Diego, Estado Carabobo*. La metodología utilizada fue el método DRASTIC, donde fue complementado con el mapa de vulnerabilidad diseñado con la herramienta informática ArcGis y los análisis físico – químicos de las aguas subterráneas del acuífero. En este sentido se determinó que en el área de estudio existen 108 pozos; donde 81 de ellos suministran agua potable a las poblaciones del municipio, la calidad de las aguas se encuentra bajo los parámetros normativos venezolanos y la vulnerabilidad de riesgo de contaminación del acuífero se localiza en el 60% del territorio a nivel moderado, 30% en los niveles altos y 10% en el nivel más bajo. El aporte de esta investigación, es la utilización del software ArcGis en la elaboración de mapas de vulnerabilidad como de ubicación de pozos para el estudio.

### **Bases Teóricas**

Para poder comprender y desarrollar el conocimiento es necesario conocer y establecer las teorías que sustentan el estudio, todo esto se realiza a partir de bibliografía y documentos existentes en el área de investigación. Considerando lo anteriormente expuesto a continuación se

mencionan y explican los conceptos que sustentan el presente trabajo en cuanto a remoción, movilidad de contaminantes, acuíferos, entre otros.

## **Remediación**

“El término Remediación tiene su origen en las investigaciones hechas por los profesores estadounidenses Bolter y Grusin en el año 1999. La definición y uso de esta palabra es bastante reciente”. Bocciolesi, E. (2014)

Según el Biólogo Chacaltana, J (2009)

Conjunto de procesos a través de los cuales se intenta recuperar las condiciones y características naturales a ambientes que han sido objeto de daño. Uno de los temas que ha cobrado interés en la última década dentro del sistema jurídico ambiental es el establecimiento de acciones para reparar los daños cometidos en contra de la naturaleza. Esta acepción tiene dos elementos a saber. El primero de estos elementos tiene relación a los sistema de reparación que han de establecerse a favor de las personas que han sido afectadas en sus patrimonios y derechos; y, el segundo tiene que ver con los mecanismos de reparación o también llamada restauración que ha de efectuarse para resolver el daño material concreto del ambiente. Es incuestionable que dentro de un daño ambiental se ven afectados estos dos tipos de elementos: los naturales y los personales.

## **Remediación Ambiental**

“La remediación ambiental implica proporcionar una solución para un problema ambiental y poder recuperar el sistema degradado donde se puede incluir la eliminación de contaminantes de aguas subterráneas, la limpieza después de un derrame de petróleo, entre otros”. Ordoñez, R (2012)

La remediación ambiental, de acuerdo con un artículo en el sitio web del Departamento de Química de la Universidad de Kentucky, “es un procedimiento para restaurar un ambiente contaminado a un estado que no es una amenaza para la salud humana o de otras formas de vida”. ([www.ehowenespanol.com](http://www.ehowenespanol.com))

## **Tecnologías de Remediación**

El término “tecnología de tratamiento” implica cualquier operación unitaria o serie de operaciones unitarias que altera la composición de una sustancia peligrosa o contaminante a través de acciones químicas, físicas o biológicas de manera que reduzcan su toxicidad, movilidad o volumen del material contaminado (EPA, 2001)

Como ya se mencionó, el uso de una tecnología de remediación en particular depende, además de los factores específicos del sitio y de las propiedades fisicoquímicas del contaminante, de su disponibilidad, de la fiabilidad demostrada y proyectada, de su estado de desarrollo (laboratorio, escala piloto o gran escala) y de su costo. Sellers (1999).

## **Estrategia de Remediación**

Son tres estrategias básicas que pueden usarse separadas o en conjunto, para remediar la mayoría de los sitios contaminados:

- *Destrucción o modificación de los contaminantes.* Este tipo de tecnologías busca alterar la estructura química del contaminante.
- *Extracción o separación.* Los contaminantes se extraen y/o separan del medio contaminado, aprovechando sus propiedades físicas o químicas (volatilización, solubilidad, carga eléctrica).
- *Aislamiento o inmovilización del contaminante.* Los contaminantes son estabilizados, solidificados o contenidos con el uso de métodos físicos o químicos. (Sellers, 1999; EPA, 2001)

En función del lugar de realización del proceso de remediación, en general, se distinguen dos tipos de tecnología:

- *In situ.* Son las aplicaciones en las que el sitio contaminado es tratado, o bien, los contaminantes son removidos, en el mismo sitio donde se encuentra la contaminación.
- *Ex situ.* La realización de este tipo de tecnologías, requiere de excavación, dragado o cualquier otro proceso para remover el medio contaminado antes de su tratamiento que puede realizarse en el mismo sitio (on site) o fuera de él (off site). (Sellers, 1999; EPA, 2001)

**Tabla 1. Ventajas y desventajas de las tecnologías de remediación in situ y ex situ.**

	<b>In situ</b>	<b>Ex situ</b>
<b>Ventajas</b>	Permiten tratar el suelo sin necesidad de excavar ni transportar. Potencial disminución en costos	Menor tiempo de tratamiento Más seguros en cuanto a uniformidad: es posible homogeneizar y muestrear periódicamente.
<b>Desventajas</b>	Mayores tiempos de tratamiento Pueden ser inseguros en cuanto a uniformidad: heterogeneidad en las características del suelo. Dificultad para verificar la eficacia del proceso	Necesidad de excavar el suelo Aumento en costos e ingeniería para equipos Debe considerarse la manipulación del material y la posible exposición al contaminante.

Nota. EPA (2001)

En lo que al tipo de tratamiento se refiere, se basa en el principio de la tecnología de remediación y se divide en tres tipos de tratamiento, a saber:

- *Tratamientos biológicos (biorremediación).* Utilizan las actividades metabólicas de ciertos organismos (plantas, hongos, bacterias) para degradar (destrucción), transformar o remover los contaminantes a productos metabólicos inocuos.
- *Tratamientos fisicoquímicos.* Este tipo de tratamientos, utiliza las propiedades físicas y/o químicas de los contaminantes o del medio contaminado para destruir, separar o contener la contaminación.
- *Tratamientos térmicos.* Utilizan calor para incrementar la volatilización (separación), quemar, descomponer o fundir (inmovilización) los contaminantes. (Sellers, 1999; EPA, 2001)

## **Tipos de Tratamiento**

- **Biológicas**
  - Biodegradación in situ
  - Bioestimulación in situ
  - Bioventing
  - Bioslurping
  - Biodegradación ex situ on site
  - Landfarmig
  - Biopilas
  - Compostaje
  - Biodegradación ex situ off site
  - Fitorremediación

**- Fisicoquímicas**

- Extracción de vapores
- Inyección de aire
- Aireación
- Bombeo de agua
- Enjuague de suelos
- Lavado de suelos
- Tratamiento electrocinético
- Tratamientos químicos in situ
- Barreras reactivas permeables

**- Térmicas**

- Incineración
- Desorción térmica. ([www.miliarium.com](http://www.miliarium.com))

**Tabla 2.** *Ventajas y desventajas de las tecnologías de remediación, clasificadas de acuerdo al tipo de tratamiento*

	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Tratamientos biológicos</b>	<p>Son efectivos en cuanto a costos</p> <p>Son tecnologías más benéficas para el ambiente</p> <p>Los contaminantes generalmente son destruidos</p> <p>Se requiere un mínimo o ningún tratamiento posterior</p>	<p>Requieren mayores tiempos de tratamiento</p> <p>Es necesario verificar la toxicidad de intermediarios y/o productos</p> <p>No pueden emplearse si el medio no favorece el crecimiento microbiano</p>
<b>Tratamientos fisicoquímicos</b>	<p>Son efectivos en cuanto a costos</p> <p>Pueden realizarse en períodos cortos</p> <p>El equipo es accesible y no se necesita de mucha energía ni ingeniería</p>	<p>Los residuos generados por técnicas de separación, deben tratarse o disponerse: aumento en costos y necesidad de permisos</p> <p>Los fluidos de extracción pueden aumentar la movilidad de los contaminantes: necesidad de sistemas de recuperación</p>
<b>Tratamientos térmicos</b>	<p>Permite tiempos rápidos de limpieza</p>	<p>Es el grupo de tratamientos más costoso</p> <p>Los costos aumentan en función del empleo de energía y equipo</p> <p>Intensivos en mano de obra y capital</p>

*Nota.* EPA (2001)

**Tabla 3. Características de las tecnologías de remediación**

<b>Técnica</b>	<b>Lugar de aplicación</b>	<b>Velocidad de tratamiento</b>	<b>Coste económico</b>	<b>Contaminantes tratables</b>
<u>Tecnologías de pantalla</u>	In situ	Lenta	Bajo	<u>Contaminantes muy tóxicos</u>
<u>Vitrificación in situ</u>	In situ	Media	Alto	<u>Contaminantes muy tóxicos</u>
<u>Reducción de la volatilización</u>	In situ	Solución temporal	Bajo	<u>COV</u>
<u>Estabilización/solidificación</u>	In situ ex situ	Rápida	Bajo	<u>Metales pesados, materiales radiactivos</u>
<u>Extracción de vapores</u>	In situ	Media	Bajo	<u>COV, algunos derivados del petróleo</u>
<u>Inyección de aire</u>	In situ	Media	Bajo	<u>COV</u>
<u>Aireación</u>	Ex situ	Lenta	Bajo	<u>COV</u>
<u>Bombeo de agua</u>	In situ	Rápida	Bajo	Compuestos solubles
<u>Enjuague de suelos</u>	In situ	Media	Medio	Fenoles, <u>metales</u> , aceites, contaminantes solubles, <u>compuestos orgánicos</u>
<u>Lavado de suelos</u>	Ex situ	Rápida	Medio	<u>Metales, derivados del petróleo, COV, plaguicidas</u>
<u>Tratamiento electrocinético</u>	In situ	Media	Alto	<u>Metales, compuestos orgánicos</u>
<u>Tratamientos químicos</u>	In situ	Rápida	Medio	<u>PCB, otros contaminantes orgánicos</u>
<u>Barreras reactivas</u>	In situ	Lenta	Medio	<u>Metales, halocarbonos, hidrocarburos derivados del petróleo, otros compuestos orgánicos</u>
<u>Bioestimulación in situ</u>	In situ	Lenta	Bajo	<u>Hidrocarburos, derivados del petróleo, pesticidas, disolventes, conservantes de la madera, otras sustancias químicas orgánicas.</u>

<u>Bioventing</u>	In situ	Media	Bajo	<u>Hidrocarburos derivados del petróleo</u> , disolventes no clorados, algunos <u>pesticidas</u> , conservantes de la madera, otros <u>compuestos orgánicos</u>
<u>Bioslurping</u>	In situ	Media	Bajo	<u>Hidrocarburos derivados del petróleo</u>
<u>Landfarmig</u>	Ex situ	Media	Bajo	Lodos de refinería
<u>Biopilas</u>	Ex situ	Media	Bajo	<u>COV</u> , <u>hidrocarburos</u> , <u>pesticidas</u>
<u>Compostaje</u>	Ex situ	Media	Bajo	Explosivos, <u>HAP</u> , <u>compuestos orgánicos</u> biodegradables
<u>Biodegradación off site</u>	Ex situ	Media	Alto	Residuos de artillería, <u>COV</u> , <u>PCB</u> , <u>pesticidas</u>
<u>Fitorremediación in situ</u>	In situ	Lenta	Bajo	<u>Metales</u> , <u>pesticidas</u> , disolventes, explosivos, <u>hidrocarburos del petróleo</u> , <u>HAP</u>
<u>Incineración</u>	Ex situ	Rápida	Alto	Todo tipo de <u>compuestos orgánicos</u>
<u>Desorción térmica</u>	Ex situ	Rápida	Medio	<u>Compuestos orgánicos</u> procedentes de residuos de refinería, residuos de alquitrán, residuos de la industria de la madera, suelos contaminados por creosota, <u>hidrocarburos</u> , <u>pesticidas</u> , desechos de pinturas

*Nota.* www.miliarium.com

La importancia de las definiciones anteriores radica en que en los últimos años los desarrollos urbanísticos e industriales han ocasionado modificaciones en las condiciones de la naturaleza, afectando recursos hídricos tanto superficiales como subterráneos. En esta investigación se hará referencia a la remediación de acuíferos.

## **Burbujeo de Aire**

El burbujeo de aire es un proceso de transferencia de masa que aumenta la volatilización de compuestos del agua al pasar aire a través del agua para mejorar la transferencia entre el aire y las fases del agua. El burbujeo de aire es uno de los procesos comúnmente utilizados para la remediación de aguas subterráneas contaminadas con compuestos orgánicos volátiles (COVs) tales como los solventes. AIDIS 1998.

En el caso de los compuestos orgánicos volátiles una de las técnicas de remediación de sitios contaminados es la Inyección de Aire por su alta eficiencia en la remoción de COV, su aplicabilidad y bajo costo en comparación a otras técnicas; es un proceso bastante sencillo.

## **Descripción del Proceso**

El proceso consiste en un flujo de contracorriente de agua y aire a través de un material de relleno. El relleno provee un área de superficie alta para la transferencia de COV desde la fase líquida hacia el aire.

El proceso se ilustra en la Figura siguiente.

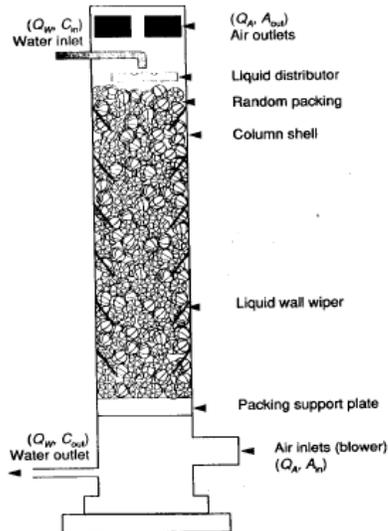


Figura 1. Proceso de inyección de aire. Nota. AIDIS (1998)

Se introduce una corriente de agua contaminada en la parte superior del cilindro a través del descargador y se distribuye en forma pareja sobre el relleno, mientras la corriente de aire se introduce en la parte inferior de la columna. Los materiales típicos de relleno están compuestos de formas plásticas que tienen una proporción de superficie a volumen alta y que proveen la superficie de transferencia necesaria para permitir a los componentes volátiles moverse desde la corriente líquida hacia la corriente de aire.

La corriente de aire deja la columna por la parte superior; la corriente de agua por la parte inferior. Se podría escribir una ecuación de balance de masa para la columna estableciendo la masa del contaminante removido del agua igual a la masa adicionada al aire:

AIDIS 1998.

$$Q_w [C_{in} - C_{out}] = Q_a [A_{out} - A_{in}] \quad \text{Ec. 2.1}$$

Donde  $Q_w$  = caudal de flujo de agua (m<sup>3</sup>/ seg)

$C$  = concentración en agua (kmol/ m<sup>3</sup>)

$Q_a$  = tasa de flujo de aire (m<sup>3</sup>/ seg)

$A$  = concentración en aire (kmol/ m<sup>3</sup>)

Es importante tener en cuenta que la transferencia de aire para la remediación de sitios contaminados con COV por sí sola no funciona ya que es necesaria una extracción de los vapores de los contaminantes.

### ***Teoría del Burbujeo***

El valor en el que un contaminante se transfiere del agua al aire, para contaminantes de baja solubilidad, se representa mediante una constante de valor de transferencia total,  $KLa$  (seg<sup>-1</sup>) que es el producto de dos variables:  $Kl$ , el coeficiente de transferencia de masa líquida (m/seg), y  $a$ , la proporción de volumen a área del relleno (m<sup>2</sup> / m<sup>3</sup>). Para fines de diseño, se debería determinar en forma experimental el  $KLa$ . De todos modos, para las soluciones diluidas, se puede estimar el  $KLa$  de la ecuación de Sherwood y Holloway: AIDIS (1998)

$$K_{La} = a \times D_L \times \left( 0.305 * L / \mu \right)^{1-n} \left( \mu / (\rho D_L) \right)^{0.5} \quad \text{Ec. 2.2}$$

Donde:

$D_L$  = coeficiente de difusión líquida ( $m^2/seg$ )

$L$  = porcentaje de carga de la masa líquida ( $kg/m^2 seg$ )

$\mu$  = viscosidad líquida

$\rho$  = densidad del agua

$a, n$  = constantes

La eficacia de un tratamiento por aspersion de aire y extracción de vapores se determinará de acuerdo al cuidado de la selección de los parámetros de la ecuación de la teoría de burbujeo.

Para determinar la variable  $KLa$  se utiliza la siguiente la gráfica representada en la Figura 2:

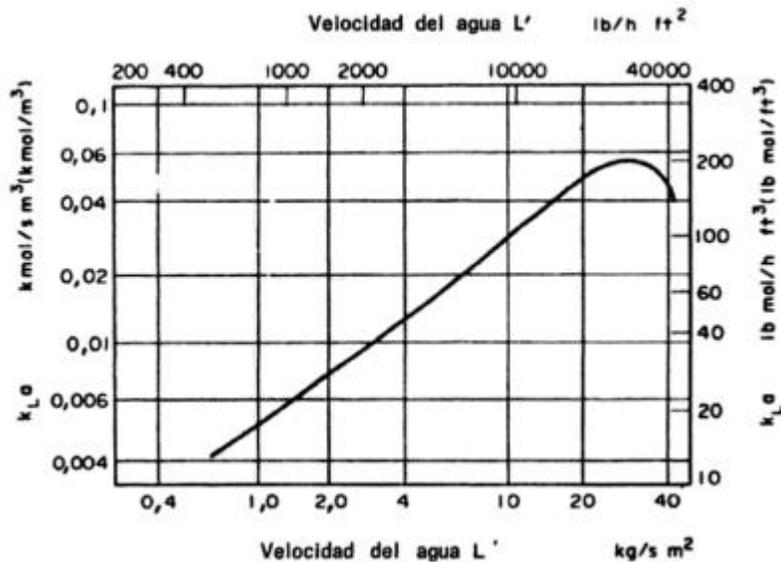


Figura 2. Variación de coeficiente de película del líquido con el flujo de líquido para la absorción de oxígeno en agua. Nota. AIDIS (1998)

## Acuífero

Según el Geólogo Juan Gil (2011),

Se denomina acuífero a aquellas formaciones geológicas que almacenan y liberan agua, con la particularidad, del carácter móvil y renovable de las aguas que llegan y saturan el medio permeable, permitiendo que el hombre pueda extraerla y aprovecharla en cantidades económicamente apreciables para sus necesidades.

## Tipos de Acuíferos

**Acuífero libre o freático.** Está delimitado superiormente por la superficie del terreno e inferiormente por un manto semi o impermeable.

D'elia, M. (2013)

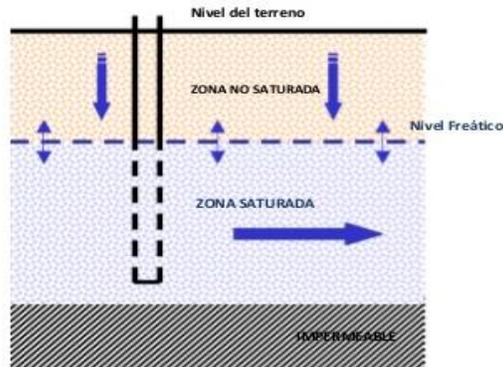


Figura 3. **Acuífero libre o freático.** Nota. D'elia, M. (2013)

**Acuífero Confinado.** Se encuentra limitado superior e inferiormente por formaciones impermeables (acuicludos o acuífugos).

D'elia, M. (2013)

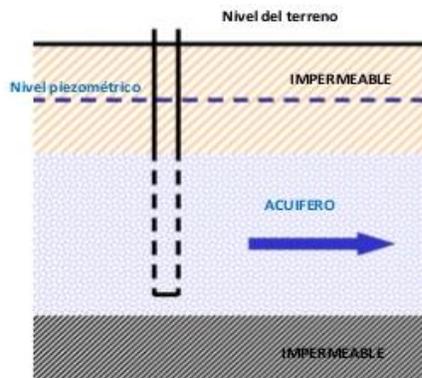


Figura 4. **Acuífero confinado.** Nota. D'elia, M. (2013)

## **Acuífero semiconfinado**

Los acuíferos semiconfinados, son aquellos en los que el agua se encuentra a presión, igual que en los confinados (dicho más exactamente: su límite superior está a una presión superior a la atmosférica), pero alguna de las capas que lo confinan no es perfectamente impermeable y permite alguna filtración o “rezume”<sup>1</sup> que contribuye en cierta proporción al caudal que extraemos del acuífero semiconfinado. (web.usal.es)

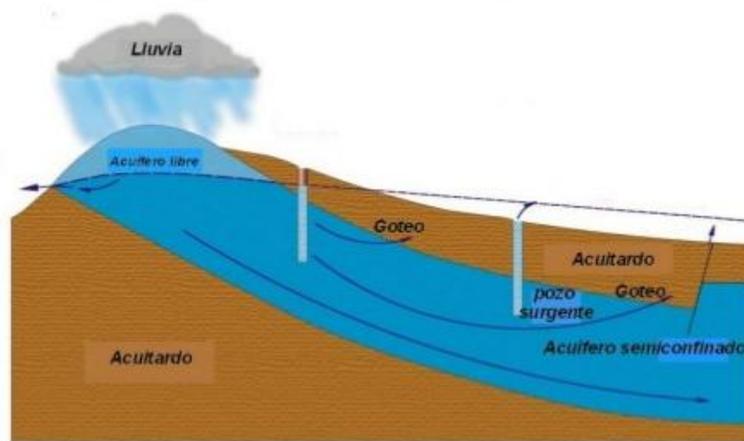


Figura 5. **Acuífero semiconfinado.** Nota. Molineros, J. (2015)

## **Aguas subterráneas**

Antiguamente se creía que las aguas subterráneas procedían del mar y habían perdido su salinidad al filtrarse entre las rocas. Hoy se sabe que es agua procedente de la lluvia. Las aguas subterráneas forman grandes depósitos que en muchos lugares constituyen la única fuente de agua potable disponible.

A veces, cuando circulan bajo tierra, forman grandes sistemas de cuevas y galerías. En algunos lugares regresan a la superficie, brotando de la tierra en forma de fuentes o manantiales. Otras, hay que ir a recogerlas a distintas profundidades excavando pozos.

Los términos "aguas subterráneas" y "acuífero" pueden ser confusos. En muchos casos, parece como si se pudieran utilizar indistintamente. Esto es porque la interacción humana con el agua subterránea es en el contexto de los acuíferos. En pocas palabras, un acuífero es una zona de rocas subterráneas o sedimentos que contiene suficiente agua subterránea para crear un pozo o un manantial natural. Clay, Ch. (2013)

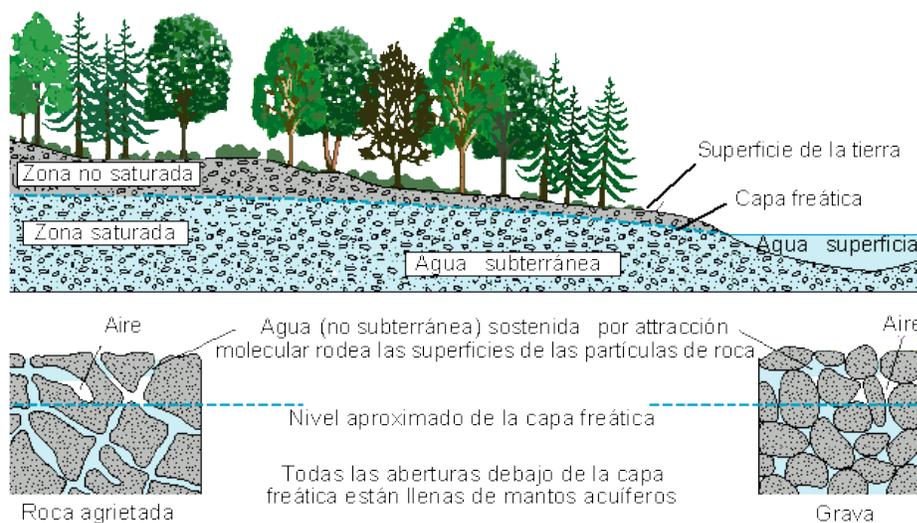


Figura 6. **Esquema de comportamiento de las Aguas subterráneas.** Nota. (water.usgs.gov)

Ahora bien, para estimar el comportamiento de un acuífero es importante conocer los parámetros hidrogeológicos tales como almacenamiento, circulación y distribución de las aguas terrestres en las zonas saturada y no saturada de las formaciones geológicas, teniendo en cuenta sus propiedades físicas y químicas, sus interacciones con el medio físico y biológico y sus reacciones a la acción del hombre.

### Parámetros Hidrogeológicos

Se definen a continuación una serie de parámetros fundamentales para caracterizar los acuíferos. Las características de estos parámetros

(porosidad, permeabilidad, transmisividad y coeficiente de almacenamiento) definen las posibilidades de explotación que ofrecen los acuíferos.

**Porosidad y tipos de porosidad**

*Porosidad.* El porcentaje de volumen de poros o espacio poroso, o el volumen de roca que puede contener fluidos. La porosidad puede ser un relicto de un depósito (porosidad primaria, tal como el espacio existente entre los granos que no fueron completamente compactados) o puede desarrollarse a través de la alteración de las rocas (porosidad secundaria, tal como sucede cuando los granos de feldespato o los fósiles se disuelven preferentemente a partir de las areniscas). La porosidad puede generarse a través del desarrollo de fracturas, en cuyo caso se denomina porosidad de fractura. (www.glossary.oilfield.slb.com)

*Porosidad Total (m o mt):* "...es el cociente entre el volumen de poros que presenta el acuífero referidos al volumen total del mismo, expresado en porcentaje (%)". Villarroya, F (2009)

*Porosidad eficaz (me):* "...es el cociente entre el volumen de poros o huecos conectados que presenta el acuífero por donde puede circular efectivamente el agua subterránea referida al volumen total del mismo". Villarroya, F (2009)

$$P = \frac{Vh}{Vt} * 100 \qquad \text{Ec. 2.3}$$

**Velocidad del agua en medios porosos**

$$Q = A_1 * \vartheta = A_2 * V \qquad \text{Ec. 2.4}$$

$$A_2 = A_1 * me \qquad \text{Ec. 2.5}$$

$$Q = A_1 * \vartheta = A_1 * me * V \qquad \text{Ec. 2.6}$$

Entonces,

$$V = \frac{\vartheta}{me} \qquad \text{Ec. 2.7}$$

Donde:

$V$  = velocidad real efectiva del flujo en el medio poroso,

$M_e$  = porosidad efectiva

$\vartheta$  = velocidad aparente = velocidad del flujo si no existiera material granular

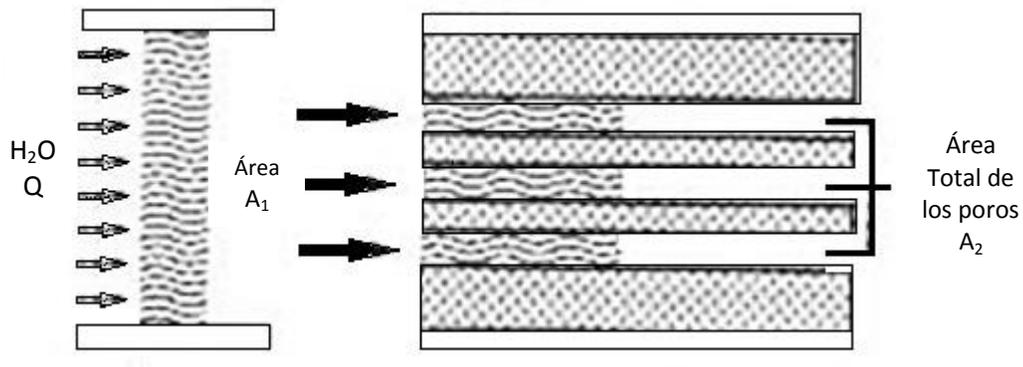


Figura 7. **Velocidad del agua en medios porosos.** Nota. D'elia, M. (2013)

### **Velocidad del agua en medios porosos**

**Cuadro 1.** *Velocidad Real Media del agua en medios porosos*

<b>VELOCIDAD REAL MEDIA</b>	
<b>(T=10°C, i=1/100)</b>	
Arena fina (0,2mm)	16m/año
Arena (0,4mm)	65m/año
Arena gruesa (0,8mm)	257m/año
Grava fina (2mm)	1635m/año
Suelos arcillosos (i=1)	<3cm/año

Nota. D'elia, M. (2013)

### **Permeabilidad**

Un material se dice que es permeable cuando permite el paso de los fluidos a través de sus poros. Tratándose de suelos, se dice que éstos son

permeables cuando tienen la propiedad de permitir el paso del agua a través de sus vacíos. No todos los suelos tienen la misma permeabilidad; de ahí que se los haya dividido en suelos permeables y suelos impermeables. Se llama impermeables a aquellos (generalmente arcillosos) en los cuales la cantidad de escurrimiento del agua es pequeña y lenta. El grado de permeabilidad de un suelo es medido por su "coeficiente de permeabilidad". Su determinación se basa en la ley propuesta por el ingeniero francés Darcy, en el siglo XIX. ([www.apuntesingenierocivil.blogspot.com](http://www.apuntesingenierocivil.blogspot.com))

### ***Transmisibilidad o Transmisividad***

Es una medida de la capacidad de un acuífero para conducir agua o transmitir agua, definiéndose como el volumen de agua que pasa por unidad de tiempo, a través de una franja vertical de acuífero de ancho unitario, extendida en todo el espesor saturado, cuando el gradiente hidráulico es unitario y a una temperatura de 15°C (Arocha 1980). La transmisividad es el producto de la conductividad hidráulica y el espesor saturado del acuífero:

$$T = b * K \qquad \text{Ec. 2.8}$$

*Donde:*

*T* —> *Transmisividad (L<sup>2</sup>/T),*

*b* —> *Espesor saturado del acuífero (L)*

*K* —> *Conductividad hidráulica (L/T)*

Para un acuífero compuesto de muchos estratos la transmisividad total es la suma de las transmisividades de cada estrato:

$$T = \Sigma * T_1 \qquad \text{Ec. 2.9}$$

*Donde:*

*n* —> *Número total de estratos y*

*T<sub>i</sub>* —> *Transmisividad del estrato i.*

La transmisividad de un acuífero es un concepto que asume que el flujo a través de él es horizontal. En algunos casos este supuesto es válido, pero en otros no. También indica la posibilidad que ofrece un acuífero de cara a su explotación. Ordoñez, J. (2011)

### **Conductividad Hidráulica**

A la constante k, se la conoce como la conductividad hidráulica. Esta es usada como un parámetro para evaluar la resistencia que ofrece el suelo al flujo de agua. La conductividad hidráulica depende en gran manera de la estructura del suelo, las propiedades que influyen en la conductividad hidráulica son:

- El tamaño de partículas.
- La gradación del suelo.
- El índice de vacíos del suelo.
- La textura y rugosidad de las partículas.
- Temperatura.
- Viscosidad del fluido. (www.ingenierocivilinfo.com)

$$Q = K * A * i = K * A * \frac{(h_2 - h_1)}{L} \quad \text{Ec. 2.10}$$

K: es una constante de proporcionalidad que tiene en cuenta las características hidráulicas del medio (roca y fluidos)

**Tabla 4.** *Valores típicos de la conductividad hidráulica*

<b>Tipo de suelo</b>	<b>Conductividad Hidráulica (cm/s)</b>
Grava limpia	1 a 100
Arena y grava mezclada	$10^{-2}$ a 10
Arena gruesa limpia	$10^{-2}$ a 1
Arena fina	$10^{-2}$ a $10^{-1}$
Arena limosa	$10^{-3}$ a $10^{-2}$
Arena arcillosa	$10^{-4}$ a $10^{-2}$
Limo	$10^{-8}$ a $10^{-2}$
Arcilla	$10^{-10}$ a $10^{-6}$

*Nota.* Coduto, D. (1999)

### **Coefficiente de Almacenamiento**

Es adimensional. Se refiere al volumen que es capaz de liberar el acuífero al descender en una unidad el nivel piezométrico (o la presión) Se define como el volumen de agua que puede ser liberado por un prisma vertical del acuífero, de sección igual a la unidad y altura la del espesor saturado, si se produce un descenso unidad del nivel piezométrico. En acuíferos confinados los valores típicos se encuentran entre 0.00005 y 0.005, mucho menores que la porosidad eficaz de un acuífero libre. Esto se debe a que en un acuífero confinado el agua no es liberada por el drenaje de los intersticios sino por la compresión del acuífero, en particular de las capas de arcillas y limos intercaladas, (por eso también denominado coeficiente de almacenamiento elástico), y todo el material acuífero permanece saturado.

En un acuífero libre:  $S = 0'05 - 0'03$

En acuíferos confinados:  $S = 10^{-3} - 10^{-5}$ . Ordoñez, J. (2011)

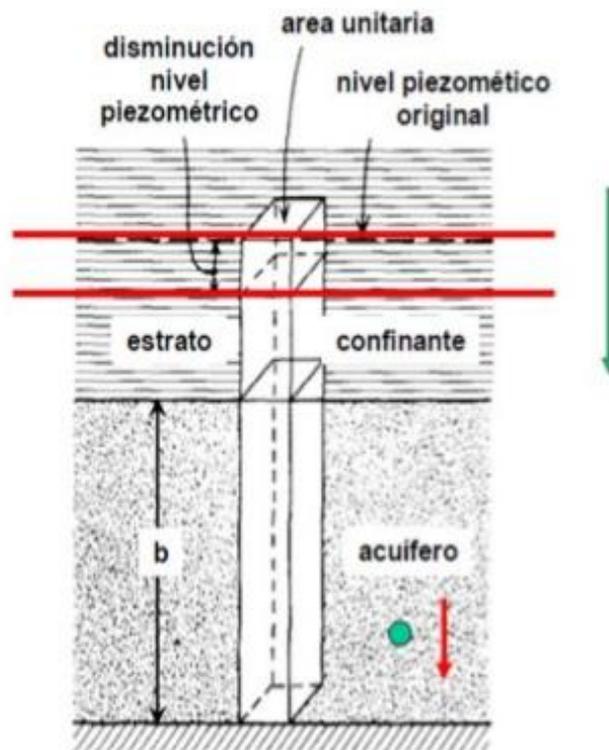


Figura 8. **Coefficiente de Almacenamiento.** Nota. [www.fcfm.cl](http://www.fcfm.cl)

### **Gradiente Hidráulico**

“El gradiente hidráulico se define como la pérdida de energía experimentada por unidad de longitud recorrida por el agua; es decir,

representa la pérdida o cambio de potencial hidráulico por unidad de longitud, medida en el sentido del flujo de agua". (portal.uah.es)

$$i = \nabla h = \frac{\Delta h}{\Delta x} = \frac{\Delta h}{L} \quad Ec. 2.11$$

Dentro de este marco, el investigador considera necesario mencionar la Ley de Darcy.

### ***Ley de Darcy***

Darcy, estudió las propiedades de un flujo de agua a través de un lecho de arena variando la longitud de la muestra y la presión del agua en los planos superior e inferior del lecho y midiendo, además, el caudal que circulaba a través del mismo. En 1856 publicó una ecuación para suelos saturados.

$$V_x = k_x * \frac{\Delta H}{L} = k_x * i \quad Ec. 2.12$$

Donde:

V = velocidad de descarga, la cual es la cantidad de agua fluyendo en unidades de tiempo a través de un corte seccional de área en ángulo recto a la dirección del flujo.

K = coeficiente de permeabilidad

La velocidad media,  $v$ , es para el área de la sección transversal normal a la dirección del flujo, sin embargo, el flujo a través de los suelos, se produce solo a través de los vacíos interconectados. La velocidad a través de estos espacios vacíos, se llama velocidad de filtración ( $v_s$ ) y se obtiene dividiendo la velocidad promedio por la porosidad del suelo.

$$V_s = \frac{k_j}{n} * i \quad \text{Ec. 2.13}$$

Para que se cumpla la Ley de Darcy se deben dar las siguientes condiciones:

- El medio a través del que se produce el flujo debe ser poroso.
- Flujo con régimen laminar, no siendo válido un régimen turbulento. Suele cumplirse excepto en escolleras y grandes áridos.
- Suelo saturado. Si está semisaturado puede quedar aire ocluido que reduzca la sección de paso y por tanto la conductividad hidráulica. (es.slideshare.net)

De lo descrito en los párrafos anteriores se puede inferir que todos estos parámetros deben ser considerados al momento de estudiar el transporte de un contaminante bien sea en suelo, en agua o en ambos. Para una mejor comprensión por parte del lector, se hará una breve descripción del transporte de contaminantes en acuíferos libres.

### Transporte de Contaminantes

Cuando un contaminante entra en el agua subterránea, normalmente en disolución, se producen varios procesos complejos. Para su estudio, se deben distinguir dos posibles situaciones, que suponen dos grupos de procesos:

- **No existe ningún tipo de interacción con el medio geológico.** El contaminante se mueve arrastrado por el flujo subterráneo, si existe. En este supuesto se estudiará la advección, la difusión y la dispersión. Se habla de contaminantes (o solutos) no reactivos o conservativos. Este sería el caso del cloruro o del Tritio.
- **Se producen interacciones entre las sustancias contenidas en el agua y el medio geológico:** adsorción, precipitación o disolución, diversas reacciones químicas,... Se habla de solutos reactivos. Evidentemente, la comprensión del fenómeno resultará más compleja que en el caso anterior, ya que habrá que considerar conjuntamente estos procesos reactivos con los citados en el punto anterior. Sánchez, J (2016)

## ***Dispersión y Advección***

Son los procesos que mueven a los contaminantes en el medio ambiente. La dispersión (difusión) se refiere al transporte de compuestos por la acción de movimientos de las moléculas. La advección se refiere al transporte de un contaminante con el flujo de un fluido. Fuentes, J. (2010)

### ***Dispersión***

#### **a.-Dispersión Mecánica**

La dispersión mecánica es la provocada por el movimiento del fluido a través del medio poroso. Esta dispersión se produce en el sentido del flujo (longitudinal) y lateralmente (transversal).

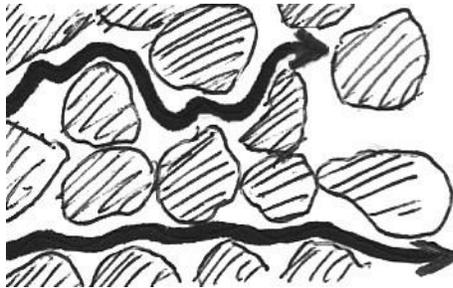


Figura 9. **Dispersión longitudinal por la tortuosidad.** Nota. Sánchez, J (2016)

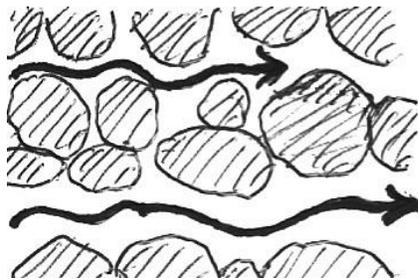


Figura 10. **Dispersión longitudinal por amplitud de los canales.** Nota. Sánchez, J (2016)

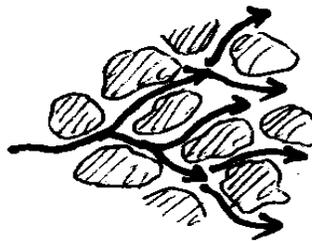


Figura 11. **Dispersión transversal.** Nota. Sánchez, J (2016)

La dispersión longitudinal es debida a:

Las moléculas que encuentran caminos más tortuosos se retrasan (fig. 7).

Las moléculas que encuentran caminos más anchos avanzan más rápido (fig. 8).

Las moléculas que circulan por el centro de los canales intergranulares avanzan más rápido que las que circulan cerca de los granos.

Todo esto suponiendo un medio homogéneo. Las heterogeneidades aumentarán la dispersión, retrasando a las moléculas que encuentren zonas menos permeables.

La dispersión transversal es debida a la constante bifurcación de los caminos que encuentra el fluido (fig. 9).

La dispersión longitudinal siempre es mayor que la transversal, por lo que la mancha contaminante adquirirá una forma alargada en el sentido del flujo.

La capacidad del medio poroso para dispersar mecánicamente un fluido que circula por él se refleja en un coeficiente denominado dispersividad dinámica  $\alpha$  (unidades: L), en el que influyen la porosidad, la tortuosidad, la forma de los granos, etc.

Se distingue la dispersividad dinámica longitudinal  $\alpha_L$  (en el sentido del flujo) y transversal  $\alpha_T$  (en sentido transversal).

**La dispersión mecánica** es igual al producto de este coeficiente por la velocidad lineal media (unidades:  $L^2/T$ ):

Dispersión mecánica =  $\alpha \cdot v$

$\alpha$  = Dispersividad dinámica (L)

$v$  = velocidad lineal media (L/T). Sánchez, J (2016)

Es decir, que la dispersividad dinámica es un coeficiente que depende solamente del medio poroso, mientras que la dispersión mecánica considera el medio poroso y la velocidad del fluido.

## b.- Dispersión Hidrodinámica

La dispersión hidrodinámica (hydrodynamic dispersion) es la acción conjunta de la difusión y la dispersión mecánica; ambos fenómenos no pueden considerarse aisladamente. Para tomarlos en consideración de un modo conjunto, se establece el coeficiente de dispersión hidrodinámica D:

D = dispersión mecánica + coeficiente de difusión efectiva

Desglosando este concepto en la dirección del flujo (longitudinal) y perpendicular al flujo (transversal), queda expresado así:

$$D_L = \alpha_L \cdot v + D^*$$

$$D_T = \alpha_T \cdot v + D^*$$

donde:

$D_L$  ,  $D_T$  = coeficiente de dispersión hidrodinámica (longitudinal, transversal) (unidades:  $L^2/T$ )

$\alpha_L$   $\alpha_T$  = coeficientes de dispersividad dinámica (longitudinal, transversal)

$\vartheta$  = velocidad lineal media (=velocidad Darcy/porosidad eficaz)

$D^*$  = coeficiente de difusión efectiva

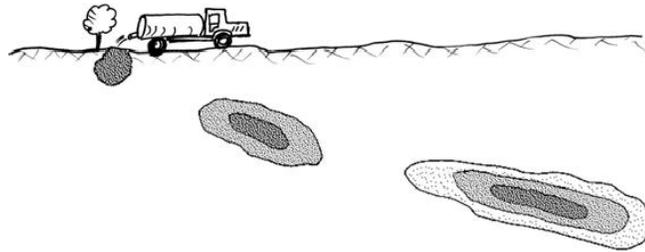


Figura 12. **Inyección momentánea.** Nota. Sánchez, J (2016)

Por tanto, el transporte del contaminante no se produce como una mancha de contaminante que se mueve con el flujo y se expande por difusión, sino que la dispersión expande mucho más la mancha de contaminación. Por eso se observa que una contaminación producida por un vertido breve (figura 10) se transforma en una pluma alargada que se va ampliando y difuminando a medida que circula con el flujo subterráneo.

Si la entrada de una sustancia al flujo subterráneo se produce de modo continuo (por ejemplo, rezumes de un depósito o vertedero), el resultado es una mancha alargada en el sentido del flujo regional (figura 11), que en inglés se denomina *plume*, sin traducción universalmente aceptada al español (pluma, penacho, lengua)

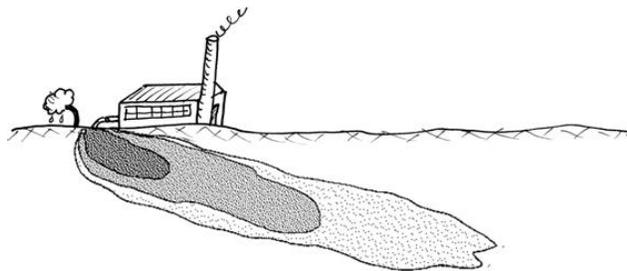


Figura 13. **Inyección continua.** Nota. Sánchez, J (2016)

## Advección

La advección es el arrastre de la sustancia contaminante por el agua. Si sólo existiera este proceso, el contaminante viajaría a la misma velocidad que el agua y la extensión ocupada por el contaminante sería constante.

La advección simplemente transporta las sustancias contaminantes. En un medio poroso el flujo de masa a través de una sección unidad perpendicular al flujo es igual a:

$$J = m_e \cdot C \cdot v$$

Siendo:

J = flujo de masa, por unidad de sección y por unidad de tiempo

$m_e$  = porosidad eficaz

C = concentración

v = velocidad lineal media (= velocidad Darcy /  $m_e$ )

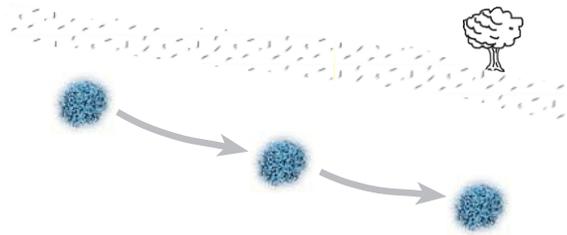


Figura 14. Transporte si se produjera solo advección. Nota. Sánchez, J (2016)

## Difusión Molecular (Ley de Fick)

Según Fuentes (ob.cit). El flujo molar de un componente en una mezcla es proporcional al gradiente de concentración

Densidad de flujo = Constante x Gradiente

$$J = -D \left[ \frac{dC}{dx} \right] \quad \text{Ec. 2.14}$$

D es el coeficiente de difusión o difusividad

## Difusión Turbulenta o Dinámica

La masa se transfiere o transporta mediante remolinos turbulentos dentro del fluido.

- El tamaño de los remolinos (eddies) es varios ordenes de magnitud mayor que la trayectoria libre media de las

moléculas individuales, por lo que la transferencia de masa es mayor comparada con difusión molecular.

- Los coeficientes de dispersión son mayores y dependen únicamente de las propiedades de flujo.
- En estos casos aplica también la ley de Fick. Fuentes, J. (2010)

### ***Difusión Dinámica***

El transporte de contaminantes por difusión o dispersión dinámica viene dado:

$$J = -\alpha * D_{xAx} * \left[ \frac{\delta_c}{\delta_x} \right] \quad \text{Ec. 2.15}$$

Siendo

$D_x$  = coef. de dispersión dinámica en la dirección  $x$ ,  $m^2/s$

$\delta C / \delta x$  = gradiente de concentración en la dirección  $x$ ,  $g/m^3 m$

El coeficiente puede ser expresado como la suma de dos términos:

$$V_x (Kx)^n + D_m$$

Donde:

$D_m$  es el coeficiente de difusión molecular  $K$  es una propiedad característica del sistema  $n$  es una constante empírica, usualmente igual a 1. Si la velocidad media es pequeña, la dispersión dinámica es igual a la difusión molecular.

La información que precede a este párrafo, es de vital importancia cuando se requiere realizar la remediación de suelos o aguas subterráneas contaminadas.

### **Contaminación de Aguas Subterráneas por Hidrocarburos Líquidos Livianos en Fase No Acuosa**

La contaminación por estaciones de servicio presenta dos características diferenciales respecto de las que pueden producirse en las otras etapas del proceso productivo:

- Fundamentalmente se trata de productos livianos.
- Frecuentemente, la fuente de halla inmersa en plena trama urbana con una multiplicación importante del riesgo de conflagración que puede afectar a un gran número de personas y bienes.

### ***Acceso y Movilidad de los combustibles en las Agua Subterráneas***

Sucedidas las pérdidas o fugas de los Hidrocarburos (HC), existen dos situaciones diferentes respecto a su acceso y movimiento:

- La superficie freática es profunda y el producto accede inicialmente a la Zona No Saturada (ZNS).
- La superficie freática es elevada y en contacto directo con el producto fugado.

En el primer caso, la *fase volátil* puede comportarse como gas adsorbido al agua pelicular de los clastos, como gas libre que escapa a la atmósfera o como gas ocluido.

La *fase líquida no acuosa* (FLNA) migra verticalmente por acción de la gravedad, con una menor movilidad en la periferia del cuerpo que en su seno por influencia de la tensión superficial.

Si la FLNA llega a la zona saturada, se comportará de forma igual a la planteada para la segunda opción (acceso directo al acuífero freático). Hernández y González (1999)

### **Contaminación de Acuíferos por gasolina**

En el mes de julio del año 2015, el presidente del Centro de Ingenieros del estado Aragua (CEINAR), Marino Azcárate y la Diputada a la Asamblea Nacional Karin Salanova, pidieron la interpelación del Ministerio del Ambiente, por la contaminación de siete pozos con gasolina ubicados el La Victoria. La situación, según la denuncia, se deriva de la falta de mantenimiento de los tanques de una estación de servicio en la Ciudad de la Juventud, procedimiento que corresponde a Petróleos de Venezuela (PDVSA), organización que hasta ahora no responde ante la crisis ambiental y de salud que se registra en la entidad.

-Son siete pozos de aguas profundas en situación crítica de contaminación en La Victoria, con situación informada por Hidrocentro. Los pozos surten a un alto porcentaje de la capital del municipio Ribas y hasta ahora no hay respuesta de las autoridades-, dijo Marino Azcárate, presidente del CEINAR.

Indica la Diputada Karin Salanova que habitantes de la urbanización Los Andes en La Victoria, comenzaron a sentir un fuerte olor a gasolina que salía de los grifos. El tanque que almacena la gasolina de la estación de servicios ubicada en las inmediaciones de La Fontana fue la causante del problema, lo que finalmente según su denuncia, afectó un total de seis pozos más por falta de atención.

-Ya los vecinos se reunieron con el ministerio del Ambiente, Corposalud y los exámenes que se practicaron en la Universidad Simón Bolívar arrojaron trazas de plomo en una familia de cinco integrantes, pero PDVSA no reconoce los resultados porque para ellos deben ser practicados en solo dos laboratorios del país. Una estación de servicios pierde 16 mil litros semanales de gasolina de 95 octanos que van a parar a los pozos-, explicó la parlamentaria aragüeña.

### **¿Qué es la gasolina?**

La gasolina es una mezcla compleja manufacturada que no existe naturalmente en el ambiente. Sin embargo, los componentes químicos de esta mezcla pueden generalmente encontrarse en varios estados físicos (gas, líquido u otras formas) en lugares habitados por seres humanos. La gasolina se manufactura mediante el refinamiento del petróleo. La gasolina que se trata en esta investigación es la gasolina utilizada corrientemente como combustible para automóviles y otros vehículos.

Típicamente, la gasolina contiene más de 150 sustancias químicas incluyendo pequeñas cantidades de benceno, tolueno, xileno y, en ocasiones, plomo. El método de manufactura de la gasolina determina que sustancias se encuentran en la gasolina y sus concentraciones. La composición actual de la gasolina varía con la fuente del petróleo, el método de manufactura, y la temporada del año. La gasolina es un líquido castaño pálido, rosado o incoloro. La gasolina es muy inflamable. La gasolina se evapora rápidamente y forma mezclas explosivas con el aire. La mayoría de la gente puede comenzar a detectar el olor de la gasolina a 0.25 partes de gasolina por millón de partes de aire (ppm). La gasolina se puede encontrar en el aire, el agua subterránea y el suelo. La gasolina no se disuelve fácilmente en el agua. Sin embargo, algunas de las sustancias químicas que se encuentran en la gasolina pueden disolverse fácilmente en agua. (www.atsdr.cdc.gov)

### ***Efectos de la gasolina sobre la salud***

Muchos de los efectos dañinos observados luego de la exposición a la gasolina se atribuyen a compuestos químicos individuales que se encuentran en la gasolina, tales como benceno y pequeñas cantidades de plomo. Inhalar o ingerir grandes cantidades de gasolina puede causar la muerte. Los niveles de gasolina que son fatales para seres humanos son 10,000 a 20,000 ppm de gasolina en el aire o la ingestión de por lo menos 12 onzas de gasolina.

La inhalación de concentraciones altas de gasolina produce irritación de los pulmones mientras que la ingestión irrita el revestimiento del estómago. La gasolina también es un irritante de la piel. Respirar concentraciones altas de gasolina por períodos breves o ingerir grandes cantidades de gasolina también puede afectar adversamente el sistema nervioso. Estos efectos se hacen más serios según aumenta la cantidad de gasolina inhalada o ingerida.

Los efectos leves incluyen mareos y dolor de cabeza mientras que los efectos más serios incluyen estado de coma y la incapacidad para respirar. Se han observado efectos adversos en el sistema nervioso en personas expuestas a vapores de gasolina por períodos largos tanto en el trabajo o al inhalar gasolina intencionalmente con el propósito de sufrir alucinaciones. Ingerir gasolina puede provocar efectos adversos en los pulmones ya que la gasolina puede entrar a los pulmones cuando la persona vomita.

Algunos animales de laboratorio desarrollaron tumores del hígado y los riñones luego de respirar altas concentraciones de vapores de gasolina sin plomo continuamente durante dos años. Sin

embargo, no hay evidencia que la exposición a la gasolina cause cáncer en seres humanos. No hay suficiente información disponible para establecer si la gasolina causa defectos de nacimiento o si afecta la reproducción. ([www.atsdr.cdc.gov](http://www.atsdr.cdc.gov))

Puede entrar en el medio ambiente, por derrames cuando se llena el tanque de gasolina del automóvil, derrames accidentales sobre el suelo. Algunas sustancias químicas en la gasolina pueden disolverse en el agua, por ejemplo se puede contaminar aguas subterráneas cuando hay escapes de gasolina almacenada en tanques subterráneos. Sin embargo, la manera más probable de exposición a la gasolina es al respirar los vapores mientras se llena el tanque de gasolina del automóvil.

A fin de obtener más información sobre los efectos de la gasolina sobre la salud, a continuación se mencionan: Benceno, Tolueno y Xileno.

### **Benceno**

El benceno, conocido también como benzol, es un líquido incoloro de olor dulce. El benceno se evapora al aire rápidamente y es sólo ligeramente soluble en agua. El benceno es sumamente inflamable. La mayoría de la gente puede empezar a detectar el olor del benceno en el aire cuando está en concentraciones de 60 partes de benceno por millón de partes de aire (ppm) y a reconocerlo como benceno cuando la concentración alcanza 100 ppm.

La mayoría de la gente empieza a detectar el sabor del benceno cuando está en concentraciones entre 0.5 y 4.5 ppm en el agua. Una parte por millón equivale aproximadamente a una gota en 40 galones. El benceno se encuentra en el aire, el agua y el suelo. El benceno proviene tanto de fuentes industriales como naturales. Las descargas industriales, la disposición de productos que contienen benceno, y las fugas de gasolina desde tanques subterráneos liberan benceno al agua y al suelo. ([www.atsdr.cdc.gov](http://www.atsdr.cdc.gov))

## ***Efectos del Benceno sobre la salud***

Hay varios factores que determinarán si la exposición al benceno producirá efectos adversos, así como el tipo y severidad de los posibles efectos. Estos factores incluyen a la cantidad de benceno a que se expuso y la duración de la exposición. La exposición breve (5 a 10 minutos) a niveles muy altos de benceno en el aire (10,000 a 20,000 ppm) puede producir la muerte. Niveles más bajos (700 a 3,000 ppm) pueden producir letargo, mareo, aceleración del latido del corazón, dolor de cabeza, temblores, confusión y pérdida del conocimiento. En la mayoría de los casos, los efectos desaparecerán cuando la exposición termina y la persona empieza a respirar aire fresco.

La ingestión de alimentos o bebidas que contienen niveles altos de benceno puede producir vómitos, irritación del estómago, mareo, somnolencia, convulsiones, aceleración del latido del corazón, coma y la muerte. Los efectos del consumo de alimentos o líquidos que contienen niveles bajos de benceno no se conocen. Si usted derrama benceno sobre su piel, puede sufrir enrojecimiento y ulceración. El contacto de benceno con los ojos puede causar irritación y daño de la córnea.

No se sabe que efectos podría causar la exposición prolongada a alimentos o agua contaminada con benceno. En animales, la exposición a través de alimentos o agua contaminada con benceno puede alterar elementos de la sangre y el sistema inmunitario y además puede producir cáncer. ([www.atsdr.cdc.gov](http://www.atsdr.cdc.gov))

Una forma de estar expuesto al benceno es por la fuga de gasolina desde tanques subterráneos o desde vertederos o sitios de desechos peligrosos que contienen benceno. La gente que tiene agua de grifo contaminada con benceno puede exponerse al beber el agua o al ingerir alimentos preparados con el agua contaminada. Además, también puede ocurrir exposición al inhalar benceno al ducharse, al bañarse en bañera o al cocinar con agua contaminada.

## **Tolueno**

Tolueno es un líquido incoloro transparente con un olor característico. Es un buen solvente (una sustancia que puede disolver a otras sustancias). El tolueno también ocurre en forma natural en petróleo crudo y en el árbol tolú. Es producido en el proceso de manufactura de la gasolina y de otros combustibles a partir del petróleo crudo y en la manufactura de coque a partir del carbón.

El tolueno puede entrar a aguas de superficie y al agua subterránea (pozos) cuando se derraman solventes o productos de petróleo. También puede filtrarse desde tanques de almacenamiento bajo tierra en gasolineras y otras facilidades. Cuando productos que contienen tolueno se colocan en vertederos o sitios de desechos, el tolueno puede pasar al suelo y al agua cerca del sitio. El tolueno puede ser degradado en agua bajo la superficie principalmente por microorganismos anaeróbicos. El tolueno se evaporará fácilmente al aire o será degradado por microorganismos en aguas de superficie. Tanques de almacenamiento bajo tierra con escapes pueden contaminar el suelo con tolueno y otros productos de petróleo. El tolueno en la superficie del suelo se evapora rápidamente al aire. El tolueno en el suelo es degradado rápidamente a otras sustancias químicas por microorganismos. (www.atsdr.cdc.gov)

### ***Efectos del Tolueno sobre la salud***

La posibilidad de que el tolueno afecte el sistema nervioso (el cerebro y los nervios) es motivo de seria preocupación. Los efectos sobre el sistema nervioso pueden ser pasajeros, por ejemplo, dolores de cabeza, mareo o pérdida del conocimiento.

Generalmente no se detecta tolueno en agua potable. Si usted usa un pozo que ha sido contaminado con tolueno debido a un derrame accidental, puede que ingiera algo. Sin embargo, esta ruta de exposición es menos probable que inhalar tolueno del aire. El tolueno se evapora rápidamente del suelo. Por lo tanto, es improbable que usted se exponga a tolueno en el suelo, a menos que usted entre en contacto con suelo cerca de un sitio de desechos peligrosos que contenga tolueno o cerca de donde ocurrió un derrame accidental.

Cuando usted inhala tolueno, éste pasa directamente a la sangre a través de los pulmones. Igualmente, cuando usted toca productos que contienen tolueno, por ejemplo, líquido para remover el barniz de uñas, o se baña en agua que contiene tolueno, el tolueno puede pasar a la sangre a través de la piel. Cuando usted ingiere alimentos o toma agua que contiene. (www.atsdr.cdc.gov)

El tolueno entra al ambiente cuando usted usa materiales que lo contienen, por ejemplo diluyentes de pintura, adhesivos, barniz para las uñas y gasolina; tolueno se evapora rápidamente desde estos productos y se mezcla con el aire que usted respira. Personas que trabajan con gasolina, pintura, laca, o tinturas se exponen a niveles más altos de tolueno, como

también lo hacen personas que fuman o que intencionalmente inhalan productos que contienen tolueno por sus efectos eufóricos.

## **Xileno**

Los xilenos se usan en la formulación de gasolinas, como disolventes y como sustancias químicas intermedias. Se liberan al medio ambiente principalmente por el aire, que es principal vía de exposición a los xilenos, aumentada por el consumo de tabaco. Valor de referencia 0,5 mg/l

Presencia. Se han descrito concentraciones de hasta 8 Pg/l en aguas superficiales, aguas subterráneas y aguas de consumo; se han registrado concentraciones de unos pocos miligramos por litro en aguas subterráneas contaminadas por emisiones localizadas. Los xilenos también pueden penetrar en las tuberías de plástico desde suelos contaminados. (OMS, 2003)

### ***Efectos del Xileno sobre la salud***

Los xilenos se absorben rápidamente por inhalación. No hay datos de exposición por vía oral. Los xilenos se distribuyen rápidamente por el organismo, sobre todo en el tejido adiposo. Se metabolizan casi por completo y se excretan por la orina. La toxicidad aguda por vía oral de los xilenos es baja. No se han hallado pruebas concluyentes de su capacidad teratógena. Los estudios de carcinogenia a largo plazo no han mostrado pruebas de su capacidad cancerígena. Los resultados de las pruebas de mutagenia realizadas in vitro e in vivo han sido negativos. (OMS, 2003)

En función a las características químicas del contaminante y del suelo, tendrá una movilidad que bajo el conocimiento de las mismas permitirá realizar la modelación de la pluma contaminante y evaluar las alternativas de remediación.

### **Modelación de Aguas Subterráneas**

“La exploración de aguas subterráneas se define como el conjunto de operaciones que permiten la localización de acuíferos o embalses

subterráneos de los que se puede obtener agua en cantidad y de calidad adecuada para el fin que se pretende” Betancur, Palacio y Mejía (2016).

Por eso es importante conocer el funcionamiento de herramientas informáticas, tales como Visual ModFlow por lo que puede ofrecer a los profesionales de aguas subterráneas un completo conjunto de herramientas, para afrontar iniciativas de calidad, suministro y protección de aguas subterráneas.

Dentro de la modelación aplicada de flujo y transporte de contaminantes en aguas subterráneas se puede encontrar una amplia gama de actividades tales como: la evaluación de recursos hídricos, investigación de campo de sitios contaminados, instalación de pozos de bombeo y monitoreo hasta el diseño e implementación de la remediación.

Dependiendo de los resultados de los análisis de laboratorio y la modelación del comportamiento del contaminante en los pozos sujetos de este estudio, se evaluará la alternativa de remediación.

Uno de los parámetros utilizados en la modelación espacial de los contaminantes es la herramienta de geo procesamiento estadístico que sirve para predecir el comportamiento de los datos en un espacio de tiempo; Idealmente, la diversidad de las variables ambientales está determinada por un conjunto finito de entradas y siguen exactamente alguna ley física conocida. Si se sabe el algoritmo (fórmula), los valores de las variables objetivo pueden predecirse exactamente. En realidad, la relación entre la característica de interés y el entorno físico es tan compleja que no se puede modelar exactamente. Esto se debe a que no conocemos exactamente: (a) la lista final de entradas en el modelo, (b) las reglas (fórmulas) requeridas para derivar el resultado de las entradas y (c) la importancia del componente aleatorio en el sistema. Entonces, la única posibilidad es que podamos tratar de estimar un modelo usando las mediciones de campo reales de la variable objetivo. Esto se puede referir como la estimación indirecta o no determinista. Hengl (2007)

### ***Modelos Estadísticos de Predicción Espacial***

En el caso de los modelos estadísticos, los coeficientes / reglas utilizados para derivar productos se derivan de manera objetiva siguiendo la teoría de la probabilidad. A diferencia de los modelos mecánicos, en el caso de los modelos estadísticos, debemos seguir varios pasos de análisis de datos estadísticos antes de poder generar mapas. Esto hace que todo el proceso de mapeo sea más complicado pero eventualmente nos ayuda a: (a) producir mapas más confiables / objetivos, (b) entender las fuentes de errores en los datos y (c) representar áreas / puntos problemáticos que deben revisarse.

### ***Kriging***

Kriging se ha utilizado durante muchas décadas como sinónimo de interpolación geoestadística. Se originó en la industria minera a principios de la década de 1950 como un medio para mejorar la estimación de reservas de mineral. La idea original vino de los ingenieros de minas D. G. Krige y del estadístico H. S. Sichel. La técnica se publicó por primera vez en Krige (1951), pero tardó casi una década hasta que un matemático francés G. Matheron derivó las fórmulas y básicamente estableció todo el campo de la geoestadística lineal.

Una versión estándar de kriging se llama kriging ordinario (OK). Aquí las predicciones se basan en el modelo:

$$Z(s) = \mu + \varepsilon'(s) \quad \text{Ec. 2.16}$$

Donde  $\mu$  es la función estacionaria constante (media global) y  $\varepsilon'(s)$  es la parte estocástica de variación espacialmente correlacionada. Las predicciones se realizan como en la ecuación 2.16

$$\hat{z}_{OK}(s_0) = \sum_{i=1}^n w_i(s_0) \cdot z(s_i) = \lambda_0^T \cdot z \quad \text{Ec. 2.17}$$

Donde  $\lambda_0$  es el vector del peso kriging,  $z$  es el vector de  $n$  observaciones en ubicaciones primarias. En cierto modo, kriging puede verse como una sofisticación de la interpolación de distancia inversa.

### **Marco Normativo Legal**

El Estado venezolano, a través de sus leyes orgánicas, decretos, reglamentos y demás disposiciones establecidas, dictan las medidas que se deben cumplir en lo relacionado con la calidad de las aguas. Pero la base fundamental del ordenamiento jurídico actual está en la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela sancionada en el año 1999, que declara en su artículo 304 todas las aguas como: "...del dominio público de la Nación, insustituibles para la vida y el desarrollo..."

De forma que, suprimida la titularidad privada sobre las aguas queda derogada cualquier norma del ordenamiento jurídico contraria a esa afectación, quedando extinguido el derecho de propiedad privada que los particulares tenían sobre las aguas, conforme a las disposiciones del Código Civil. Luego, el artículo 127 consagra la obligación del Estado, con la activa participación de la sociedad, de garantizar la protección del agua, además de otros elementos de los ecosistemas.

Es importante destacar que para el caso de las personas interesadas en la construcción y perforación de pozos de aguas subterráneas, el artículo 129 de la Constitución Bolivariana indica que: "Todas las actividades susceptibles de generar daños a los ecosistemas deben ser previamente acompañadas de estudios de impacto ambiental y sociocultural". Es decir, deben solicitar

ante el Ministerio con Autoridad Nacional de las Aguas, un Estudio de Impacto Ambiental y Sociocultural, esto con la finalidad de minimizar los efectos, daños y alteraciones que se puedan causar a los ecosistemas.

**Ley Orgánica del Ambiente:** Tiene por objeto establecer las disposiciones y los principios rectores para la gestión del ambiente en el marco del desarrollo sustentable como derecho y deber fundamental del Estado y de la sociedad, para contribuir a la seguridad y al logro del máximo bienestar de la población y al sostenimiento del planeta, en interés de la humanidad. Establece las normas que desarrollan las garantías y derechos constitucionales a un ambiente seguro, sano y ecológicamente equilibrado. Fue decretada el 22 de diciembre de 2006, en Gaceta oficial Extraordinaria No. 5.833.

**Ley de Aguas:** Decretada en Gaceta Oficial N° 38.595 el 2 de enero de 2007 y tiene por objeto establecer las disposiciones que rigen la gestión integral de las aguas, como elemento indispensable para la vida, el bienestar humano y el desarrollo sustentable del país, y es de carácter estratégico e interés de Estado.

**Normas sanitaria de calidad del agua potable:** Promulgada por el Ministerio de Sanidad y Asistencia Social de la República según Gaceta Oficial N° 36.395 el 13 de febrero de 1998 y cuyo objetivo es establecer los valores máximos de aquellos componentes o características del agua que representan un riesgo para la salud de la comunidad, o inconvenientes para la preservación de los sistemas de almacenamiento y distribución del líquido, así como la regulación que asegure su cumplimiento.

El Capítulo III habla de los aspectos organolépticos, físicos y químicos en donde se indica que la turbiedad debe tener un valor deseable menor a 1

UNT y un máximo aceptable de 5-10 UNT. Un pH de 6,5 a 8,5 como valor menor y un máximo aceptable de 9,0. Los sólidos disueltos deben estar en el rango 600-1000 mg/L. El valor aceptable de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) es de 45,0 mg/L y el de nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) es de 0.03 mg/L.

Es importante también considerar **“Normas para la Ubicación, Construcción, Protección, Operación y Mantenimiento de Pozos Perforados destinados al Abastecimiento de Agua Potable”** Gaceta 36.298. Publicada el 24 de septiembre de 1997, la cual señala en el artículo 4 que los interesados en perforar pozos deben solicitar una autorización ante el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente. El artículo 13 dispone a los responsables del pozo perforado realizar periódicamente exámenes bacteriológicos y análisis físico-químicos, así como llevar permanentemente una Hoja para Registro de la operación, funcionamiento y mantenimiento del pozo (artículo 15).

A continuación se listarán un conjunto de normas venezolanas COVENIN las cuales se consultaron en algún momento en este trabajo para explicar términos y para clarificar y puntualizar algunos procedimientos en el marco metodológico.

**COVENIN 589-79 Código de Práctica para la Construcción de Pozos de Agua individuales, para proyectos de envergadura o especiales**, en los cuales se pueden exigir requisitos adicionales. Además, este Código contiene las consideraciones de diseños, planos, construcción, perforación, materiales y equipos para bombeos, formatos de presupuesto y símbolos geotécnicos.

**COVENIN 2253:2001. Concentraciones Ambientales Permisibles de Sustancias Químicas en lugares de trabajo e Índices biológicos de Exposición (3<sup>ra</sup> Revisión).** Aprobada en fecha 31 de octubre de 2001

A pesar de que no pudiera aplicar directamente, pero debido a lo indicado en las bases teóricas de cómo las personas se pueden contaminar con solo estar abasteciendo su vehículo de gasolina, se consideró realizar la revisión de esta Norma

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

El marco metodológico de la investigación se refiere a las vías a seguir desde que se inicia el estudio hasta la finalización del mismo.

Balestrini (2006) define el marco metodológico como:

La instancia referida a los métodos, las diversas reglas, registros, técnicas y protocolos con los cuales una teoría y su método calculan las magnitudes de lo real. De allí que se deberán plantear el conjunto de operaciones técnicas que se incorporan en el despliegue de la investigación en el proceso de la obtención de los datos. El fin esencial del marco metodológico es el de situar en el lenguaje de investigación los métodos e instrumentos que se emplearán en el trabajo planteado, desde la ubicación acerca del tipo de estudio y el diseño de investigación, su universo o población, su muestra, los instrumentos y técnicas de recolección de datos, la medición, hasta la codificación, análisis y presentación de los datos. De esta manera, se proporcionará al lector una información detallada sobre cómo se realizará la investigación (Pág. 114).

#### **Tipo de Investigación**

Esta investigación será de tipo descriptiva, la cual busca especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro;

fenómeno que sea sometido a análisis, tal como en este caso, que se evaluarán las alternativas de remediación para el acuífero la guacamaya, municipio Valencia, estado Carabobo con el apoyo del software modelmuse. En este sentido, Silva (2008) considera que la investigación descriptiva es: "caracterizar un objeto de estudio o una situación concreta: sus características y propiedades, interpreta lo que es y describe la situación de las cosas en el presente" (p. 220).

### **Diseño de la Investigación**

En cuanto al diseño de la investigación, Arias (2006) lo define como "...una estrategia general que adopta el investigador como forma de abordar un problema determinado, que permite identificar los pasos que deben seguir para efectuar su estudio". (p. 47)

El diseño de la investigación está planteado bajo la estructura de "No experimental", ya que se observan los hechos tal cual como suceden en la realidad en un lapso determinado, realizando una investigación de campo, ya que los datos cualitativos y cuantitativos hidrogeológicos de los acuíferos se recolectarán en su contexto natural. Según Palella y Martins (2010) consiste, donde parte de los datos son recolectados de campo, y otros son obtenidos a través de documentación, siguiendo lo explicado por Arias, F (2006): La investigación "No experimental puede estar sustentada en una Investigación de Campo":

En cuanto a investigación de Campo, Balestrini (ob.cit),...permite establecer interacción entre los objetos y la realidad de la situación... observar y recolectar los datos en su situación natural, profundiza en los hallazgos encontrados con la aplicación de los instrumentos y proporcionarle al investigador una lectura de la realidad más rica en cuanto al conocimiento de la misma. Los datos obtenidos a partir de la aplicación en la investigación de diseño de campo, son denominados primarios. (p.132)

## **Población y Muestra**

Para Balestrini (2006) se entiende por población "... cualquier conjunto de elementos de los que se quiere conocer o investigar, alguna o algunas de sus características". (p.122)

Balestrini (ob.cit). "La muestra es, en esencia, un subgrupo de la población. Digamos que es un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus características al que llamamos población" (p. 141).

En la presente investigación se consideró una muestra no probabilística e intencional de 7 pozos de una población total de 35 pozos ubicados en la subcuenca, a las cuales se le pueden aplicar los instrumentos que sean diseñados para indagar sobre la problemática que allí se está presentando.

## **Técnicas e Instrumentos de Recolección de la Información**

Es necesario dejar claro que no es lo mismo la técnica que el instrumento de recolección de datos. Brito (2003), plantea que las técnicas

“son las que permiten obtener información de fuentes primarias y secundarias” (p.50). Asimismo, Sabino (2002), define que “un instrumento de recolección de datos es, en un principio, cualquier recurso del que se vale el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información”. (p.143)

De tal manera, una de las técnicas que se utilizará aquí es la revisión documental, que consiste en buscar información bibliográfica o documentos electrónicos en general para sustentar y orientar el fenómeno objeto de estudio. Dicha técnica según Hurtado (2008): "en la cual se recurre a la información escrita, ya sea bajo la forma de datos que pueden ser productos de mediciones hechas por otros, o como textos que en sí mismo constituyen los eventos de estudio" (p. 427).

También, se empleará la técnica de observación directa, la cual Palella y Martins (2010): "directa consiste en el estudio de la situación problemática en el momento mismo de su ocurrencia, mediante el uso de sus sentidos, el resultado de estas observaciones el investigador deberá someterlos a su interpretación y análisis para poder formular el problema planteado" (p. 126). En este sentido, el instrumento que empleará el investigador para anotar las observaciones será una Planilla de Registro, en la cual registrará las características de los pozos y los parámetros determinados en el laboratorio correspondiente al acuífero de La Guacamaya.

Otra herramienta utilizar es el software Modflow para el modelaje de la posible pluma de contaminante, de acuerdo a las concentraciones que se pudieran encontrar en cada uno de los pozos evaluados.

## **Análisis de Datos**

Según lo define el autor Tamayo y Tamayo M. (2012) "...una vez recopilados los datos por los instrumentos diseñados para este fin, es necesario procesarlos, es decir, elaborarlos matemáticamente, ya que la cuantificación y su tratamiento estadístico permitirán llegar a conclusiones". (p.187)

En la presente investigación, los datos obtenidos en campo serán tabulados y luego representados en forma gráfica para evaluar cuál es la alternativa de remediación más conveniente.

## **Procedimientos de la Investigación**

**Describir las características topográficas, geológicas, hidrogeológicas y pozos del Sector La Guacamaya, Municipio Valencia, Estado Carabobo.**

Para obtener estos resultados se utilizaron imágenes del Satelite Alos Palsar las cuales se procesarán en el software ArcGis en su versión 10.0, como también se utilizará la base de datos históricos y litológicos suministrada por el Ministerio de Ecosocialismo y Agua (MINEA).

**Identificar los usos de la tierra en el del Sector La Guacamaya, Municipio Valencia, Estado Carabobo.**

Al igual que en el objetivo anterior, el investigador se apoyó en información que obtendrá al utilizar imágenes del Satelite Alos Palsar, las cuales se procesarán en el software ArcGis en su versión 10.0, además se

respaldó en fuentes secundarias suministradas por el Ministerio de Ecosocialismo y Agua.

**Estimar los parámetros hidráulicos del acuífero del Sector La Guacamaya, Municipio Valencia, Estado Carabobo.**

Para lograr este objetivo se obtendrá apoyo de información que pueda suministrar las imágenes del Satelite Alos Palsar, las mismas se procesarán con el software ArcGis en su versión 10.0 y en adición el MINEA, está comprometido, a través de la solicitud realizada por la tutora de esta investigación, a suministrar datos de la litología de la zona y el comportamiento de los acuíferos. Para estudiar el comportamiento de los pozos y del acuífero se construirá una sonda de medición de niveles estáticos y dinámicos para la obtención de dichos parámetros.

**Determinar los parámetros fisicoquímicos de las fuentes de agua subterráneas.**

Para obtener estos datos se caracterizarán muestras de agua en los pozos de estudio y se utilizarán datos suministrados por el laboratorio Hidrolab Toro.

**Simular la pluma de contaminación para el principal contaminante del acuífero del Sector la Guacamaya con el software ModelMuse.**

Para obtener estos resultados se utilizará la herramienta informática ModFlow a través de la plataforma ModelMuse, donde se calibrará el modelo utilizando datos litológicos suministrados por el Ministerio de Ecosocialismo y Agua.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

El propósito del análisis de resultados es establecer los fundamentos para desarrollar opciones de solución a la contaminación del acuífero del sector la Guacamaya, a través de una técnica de remediación.

**Describir las características topográficas, geológicas, hidrogeológicas y pozos del Sector La Guacamaya, Municipio Valencia, Estado Carabobo.**

#### ***Descripción de las Características Geométricas de la Cuenca***

Para la presente investigación se realizó un análisis del área de estudio, donde se delimita la sub-cuenca del sector La Guacamaya, perteneciente a la cuenca del Lago Valencia en la cual se encuentran los pozos de estudio. Para la delimitación se utilizó la herramienta computacional Arcgis en su versión 10.0, la cual modela la sub – cuenca hidrográfica del estudio tal como se muestra en la figura 15.

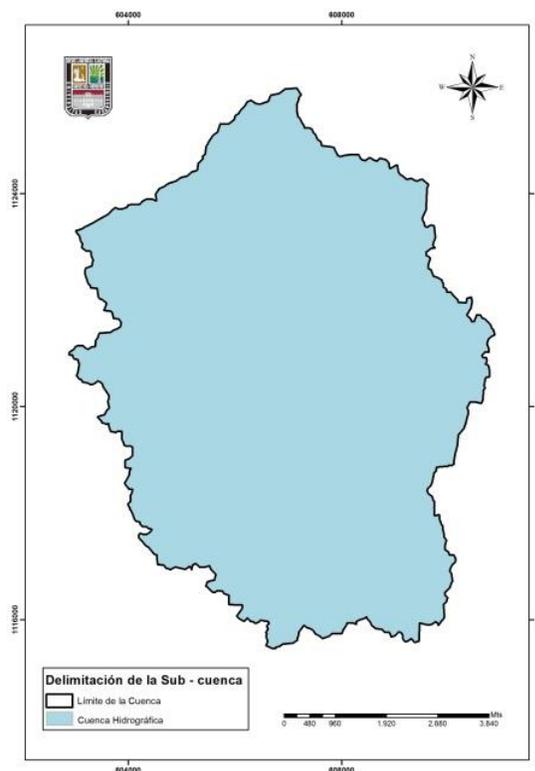


Figura 15. **Sub cuenca hidrográfica sector La Guacamaya.** Nota. Rodríguez (2018)

**Tabla 5.** Características geométricas de la sub cuenca La Guacamaya

<b>Propiedad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
Área	5470	Hectárea (HA)
Perímetro	49,85	Kilómetro (Km)

Nota. Rodríguez (2018)

La sub – cuenca representada en la figura 13 cuenta con un área total de 5470 Hectáreas y un perímetro de 39,68 Kilómetros indicado en la tabla 5.

Para la descripción de las características de la sub - cuenca se realizaron reuniones preliminares con representantes del Ministerio del Poder Popular de Ecosocialismo y Agua (MINEA) con la finalidad de obtener información tanto de los pozos ubicados en la zona de estudio como de pozos aledaños.

Los resultados de la localización de los pozos de agua subterránea en el acuífero de la Guacamaya próximos a la estación de servicio El Prado corresponden a siete pozos identificados en la Figura 16 y Tabla 6:

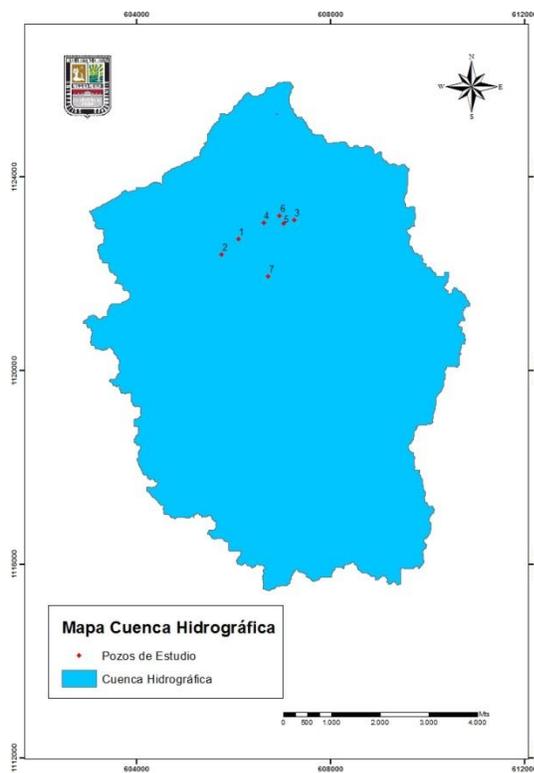


Figura 16. Ubicación de los pozos de estudios. Nota. Rodríguez (2018)

**Tabla 6. Pozos de Estudio**

N°	Pozo	Coordenadas		
		Norte	Este	Cota Terreno (m)
1	CABEL	1.122.727	606.091	492
2	ENCAVA	1.122.410	605.752	475
3	Carnicería los Caobos	1.123.114	607.239	491
4	Cerámicas Carabobo	1.123.057	606.617	408
5	Familia Salas Moreno	1.123.042	607.024	480
6	Estación de Servicio El Prado	1.123.202	606.940	472
7	Unidad Educativa Santa Ana	1.121.957	606.713	464

Nota. Rodríguez (2018)

### **Descripción de las Características Topográficas**

Los resultados de las características topográficas se enfocan en tres aspectos: Elevación del Terreno, Pendientes de terreno y curvas de nivel. Se evidencia en la Figura 17, que la mayor porción de la sub – cuenca y especialmente donde se encuentran ubicados los pozos de estudio, existen pendientes suaves comprendidas entre los 5° a los 15°, dentro de las pendientes suaves las alturas varían entre los 415 y los 445 m.s.n.m. como se demuestra en la figura Elevación. Hacia el sector norte y noroeste de la sub – cuenca las pendientes aumentan ya que es una zona de colinas, donde las alturas varían desde los 446 m.s.n.m. hasta alcanzar alturas máximas de 730 m.s.n.m.

En la figura 18 la topografía del terreno que corresponde a un 63,24% de la sub-cuenca, se encuentra a alturas que van desde los 415 a los 445 m.s.n.m. corroborando de esta forma la información de los mapas de pendientes y elevaciones.

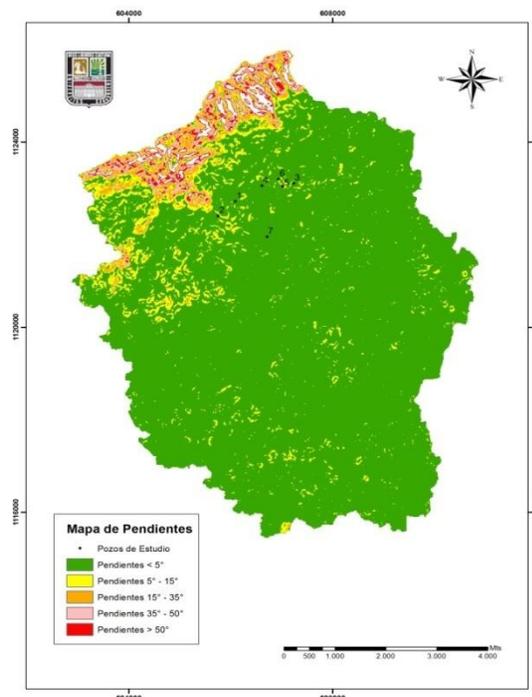


Figura 17. **Mapa de Pendientes.** Nota. Rodríguez (2018)

**Tabla 7. Distribución porcentual de las Pendientes de la Sub Cuenca**

Pendientes	Porcentaje de la Sub Cuenca (%)
<5°	87%
5° - 15°	6,68%
15° - 35°	2,52%
35° - 50°	2,12%
>50°	1,39%

Nota. Rodríguez (2018)

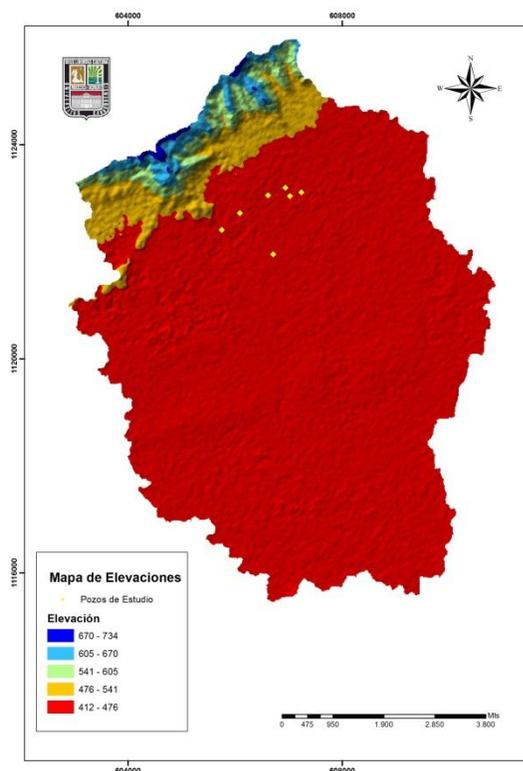


Figura 18. Mapa de Elevación. Nota. Rodríguez (2018)

**Tabla 8. Distribución porcentual de la Elevación en la Sub Cuenca**

Elevación		Hectáreas (Ha)	Porcentaje de la Sub Cuenca (%)
Mínimo	Máximo		
412	476	4771,08	87,22
477	540	378,875	6,93
541	605	173,828	3,18
606	669	124,422	2,27
670	734	22,1563	0,40

Nota. Rodríguez (2018)

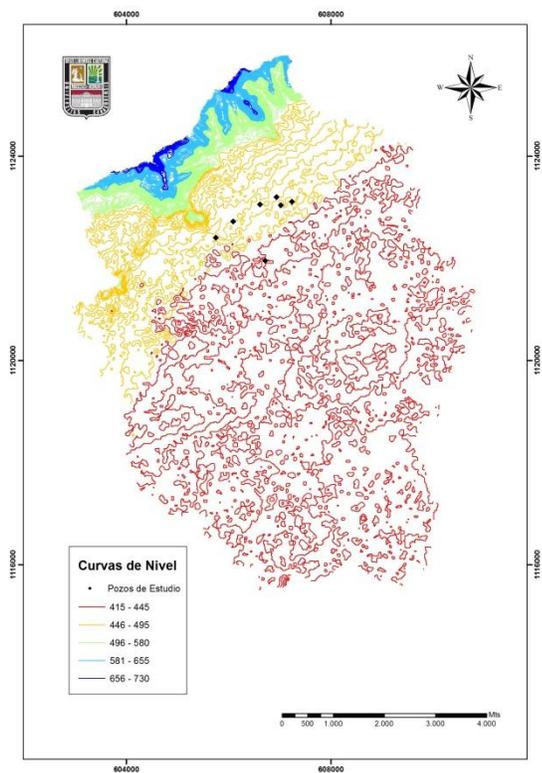


Figura 19. **Curvas de Nivel de la Sub-cuenca La Guacamaya.** Nota. Rodríguez (2018)

**Tabla 9.** *Distribución porcentual de las Curvas de Nivel en la Sub Cuenca*

Cota m.s.n.m.	Porcentaje de la Sub Cuenca (%)
415 – 445	63,24%
446 – 495	20,17%
496 – 580	4,75%
581 – 655	7,08%
656 – 736	4,75%

Nota. Rodríguez (2018)

### **Geomorfología**

La geomorfología de la sub – cuenca está representada como paisaje natural (Ver figura 20). La misma está conformada por colinas, valle / fondo de depresión, planicie de desborde, mesetas y planicies de explayamiento,

donde la mayor proporción las abarcan las altiplanicies que representan el 43% del total de la sub – cuenca.

El paisaje natural geomorfológico de la zona donde se encuentran los pozos de estudio corresponde a un paisaje natural de planicie de explayamiento en un 29,85% del suelo de la sub – cuenca, este tipo de formación geológica se produce por acumulación aluvial a partir del escurrimiento esporádico por varios cauces o cursos inestables que actúan simultáneamente; se forma bajo un clima árido o semiárido. Las planicies son producto de la erosión de las colinas y presentan pendientes entre 1 y 5%.

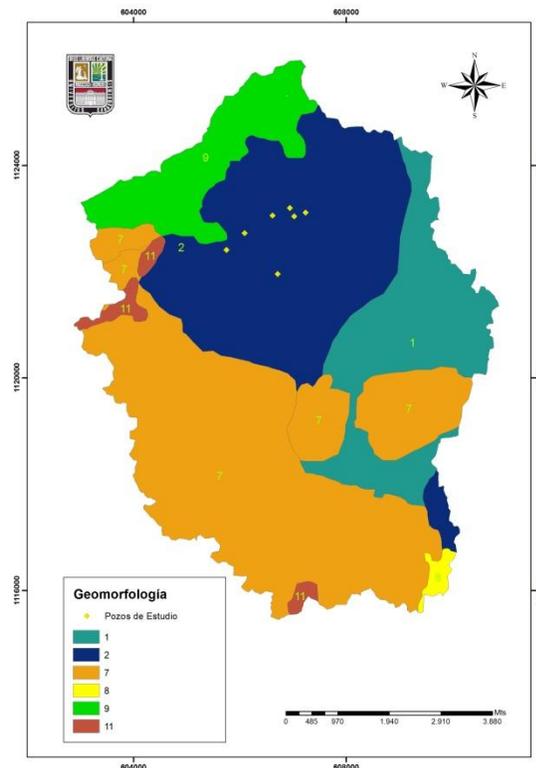


Figura 20. Mapa de Geomorfología. Nota. Rodríguez (2018)

**Tabla 10. Características Geomorfológicas de la Sub Cuenca**

Código	Atributos	Hectáreas (Ha)
1	Planicie de Desborde	856,45
2	Planicie de Explayamiento	1633,25
7	Altiplanicie	2378,81
8	Valle / Fondo de Depresión	35,24
9	Piedemonte / Corredor Depresional Colinado	524,1
11	Colinas	41,2

*Nota.* Rodríguez (2018)

### **Geología**

La sub – cuenca donde se ubican los pozos de estudio cuenta con formaciones del tipo cuaternario aluvial (Qal) que está distribuida en 4701,6 Ha del total de la sub cuenca representada en la figura 21. Para este tipo de formación geológica predominan las llanuras de inundación que están formadas por arena en la base, pasando a lutitas grises, azulosas y amarillentas y terminando con arena fina en la parte superior. A diferentes niveles de la sucesión, se observan paleocanales rellenos de arcillas orgánicas y material turboso.

La segunda formación geológica existente en la cuenca es del tipo antimano (Mt3a) que corresponde a 768,8 Ha del área de la sub – cuenca. En este tipo de formaciones predominan las Calizas de aspecto lenticular, macizas, deformadas con epidoto mica y granates.

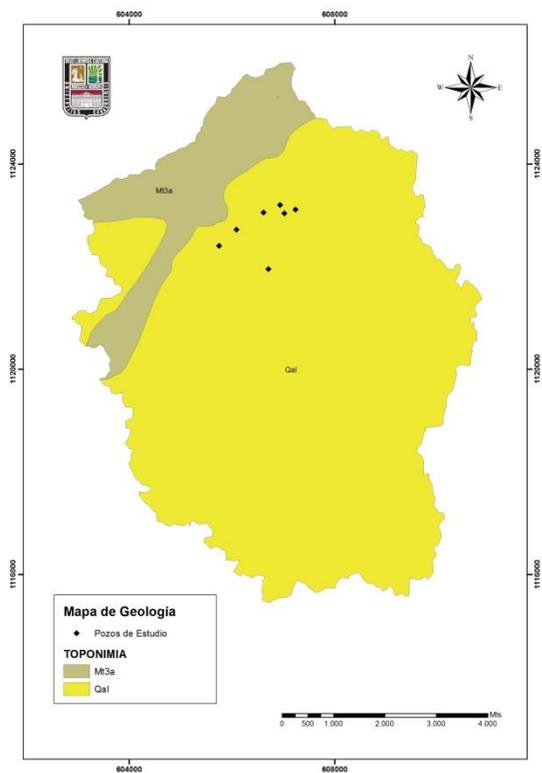


Figura 21. **Mapa de Geología.** Nota. Rodríguez (2018)

**Tabla 11. Características Geológicas de la Sub Cuenca**

Toponimia	Hectáreas (Ha)
Qal	4701,6
Mt3a	768,8

Nota. Rodríguez (2018)

### **Hidrología**

Las redes de drenajes de la sub cuenca en estudio fueron clasificadas en redes del tipo 1, 2 y 3 representadas en la figura 22. Los pozos de estudio se encuentran ubicados en la cabecera de la red hídrica del acuífero del sector la Guacamaya, para tal efecto cualquier contaminante que ingrese al acuífero se transportará en la dirección que se muestra la red hídrica de la figura 22.

Es importante señalar que a partir de la escorrentía superficial se hace una aproximación del comportamiento del acuífero.

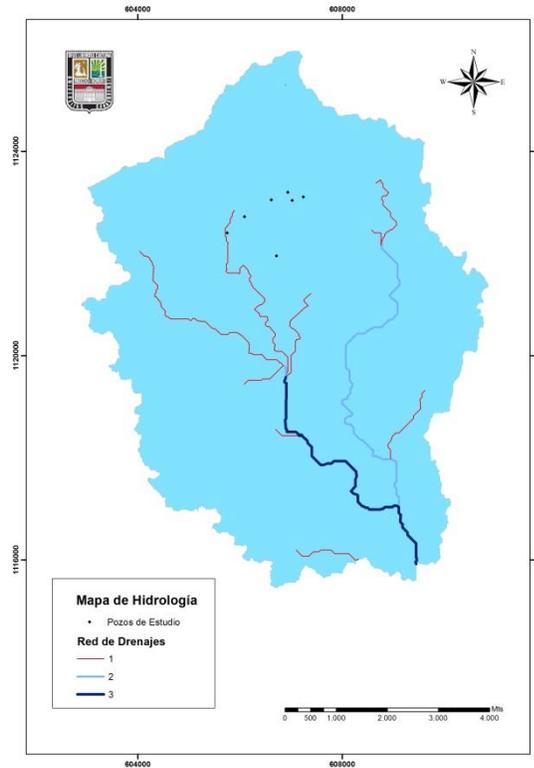


Figura 22. **Mapa de Hidrología.** Nota. Rodríguez (2018)

**Tabla 12. Red Hídrica**

Tipo de Drenaje	Longitud (m)
1	18275,07
2	7512,2
3	5912,7

Nota. Rodríguez (2018)

Los drenajes tipo 1 representan una longitud de flujo de 18275,07 metros correspondientes al 57,65% de la red de drenajes. Los drenajes del tipo 2 tienen una longitud de flujo de 7512,2 metros que equivalen al 23,7% de la red y los del tipo 3 tienen una longitud de 5912,7 metros lo que representa el 18,65% de la red total.

## Litología

Los resultados del análisis de los perfiles litológicos aportan información sobre el comportamiento del acuífero, a tal efecto se tomaron en consideración datos históricos provenientes del MINEA.

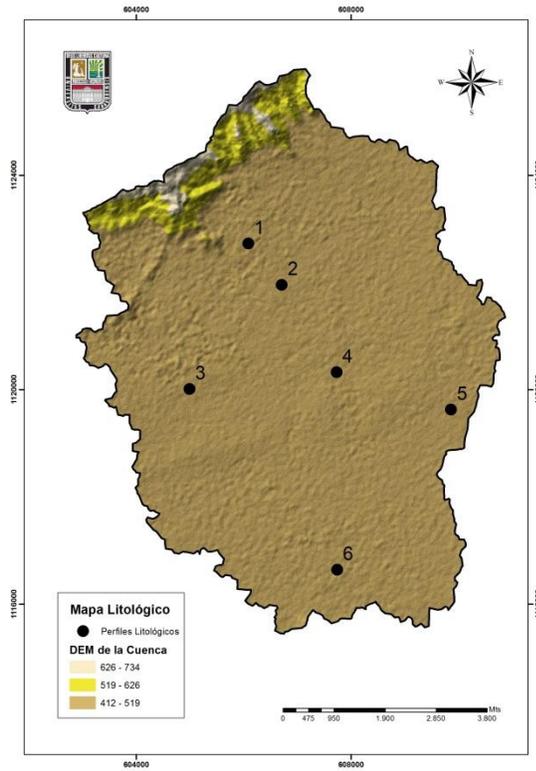


Figura 23. Mapa de Litología. Nota. Rodríguez (2018)

**Tabla 13** Perfiles Litológicos del acuífero del Sector la Guacamaya, Parroquia Miguel Peña, Municipio Valencia Referenciados en la Figura 23

N°	Desde	Hasta	Tipo	N°	Desde	Hasta	Tipo	N°	Desde	Hasta	Tipo
1	0	1,875	CH	2	0	3	CV	3	0	4	CH
1	1,875	6,75	CH	2	3	6	CH	3	4	6	GW
1	6,75	7,5	GC	2	6	36	SC	3	6	18	CH
1	7,5	18,75	CH	2	36	37	SW	3	18	20	SW
1	18,75	43,125	SW	2	37	46	CH	3	20	30	CH
1	43,125	48,75	SW	2	46	47	SW	3	30	32	GW
1	48,75	61,875	SW	2	47	50	CH	3	32	38	CH
1	61,875	66,75	CH	2	50	52	SW	3	38	39	GW
1	66,75	70,125	SW	2	52	53	CH	3	39	45	CH
1	71,25	86,25	SW	2	53	61	SW	3	45	47	SW
				2	61	66	CH	3	47	50	CH
				2	66	67	SW	3	50	52	SW
				2	67	73	CH	3	52	57	CH
				2	73	74	SW	3	57	59	SW
				2	74	75	CH	3	59	64	CH
				2	75	77	SW	3	64	66	GW
				2	77	79	CH	3	66	70	CH
				2	79	83	SW	3	70	72	SW
				2	83	89	CH	3	72	75	CH
				2	89	91	SW	3	75	80	GW
				2	91	94	CH				
				2	94	96	SW				
				2	96	101	CH				
				2	101	103	SW				
				2	103	106	SC				
				2	106	107	SW				
				2	107	110	SC				
				2	110	122	CH				
				2	122	123	SW				
				2	123	127	CH				
				2	127	128	SW				
				2	128	141	SC				
				2	141	145	SW				
				2	145	149	SC				
				2	149	156	SW				
N°	Desde	Hasta	Tipo	N°	Desde	Hasta	Tipo	N°	Desde	Hasta	Tipo
4	0	1	CV	5	0	0,5	CV	6	0	3	SC
4	1	11	CH	5	0,5	26	SM	6	3	9	SW
4	11	28	GW	5	26	70	SW	6	9	18	SW
4	28	36	CH	5	70	98	SM	6	18	21	CH
4	36	58	GW	5	98	105	SW	6	21	27	SW
4	58	67	CH					6	27	30	GW
								6	30	33	SW
								6	33	36	SC
								6	36	48	CH
								6	48	53	CH
								6	53	59	GW

GW: Grava bien graduada, GC: Grava Arcillosa, SW: Arena bien Graduada, SM: Arena Limosa, SC: Arena Arcillosa, CH: Arcilla de Alta Plasticidad, CV: Capa Vegetal.

Nota. Rodríguez (2018)

Los resultados del análisis de los perfiles litológicos indican que se está en presencia de un acuífero confinado ya que cuenta con capas de arcilla (Estratos impermeables) en la parte superior e inferior del acuífero.

**Identificar los usos de la tierra en el del Sector La Guacamaya, Municipio Valencia, Estado Carabobo.**

El Sector La Guacamaya se encuentra ubicado en el Municipio Valencia del Estado Carabobo, el cual limita hacia el sur con el Municipio Pao de San Juan Bautista, al Norte con el Municipio de Naguanagua, al Este con los Municipios de los Guayos y Carlos Arvelo y al Oeste con los Municipios de Libertador y Falcón.

El mencionado sector se destaca principalmente por su actividad productiva ya que empresas importantes del rubro de la cerámica y metalúrgica del país se encuentran en el lugar. Para el estudio se obtuvo la clasificación de los usos de la tierra de la sub cuenca del sector la Guacamaya, Parroquia Miguel Peña, Municipio Valencia, Estado Carabobo representado en la Figura 24:

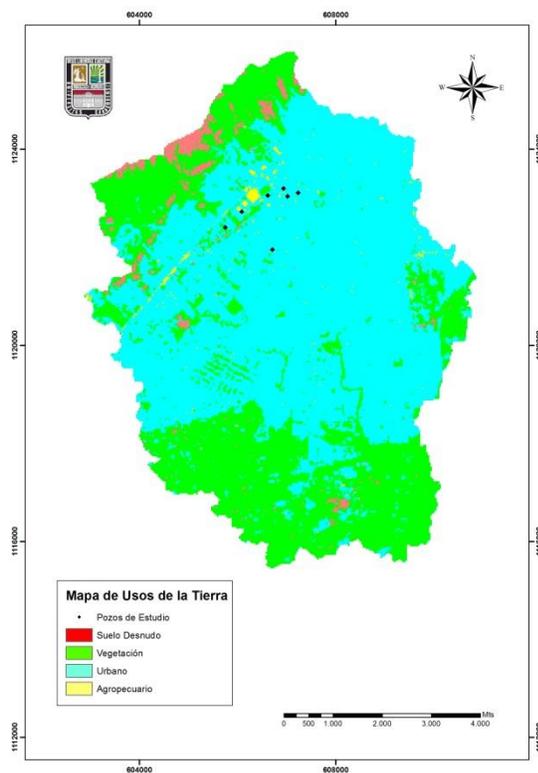


Figura 24. Mapa de Usos de la Tierra. Nota. Rodríguez, (2018)

**Tabla 14.** Tipos de usos del Suelo del Sector la Guacamaya, Parroquia Miguel Peña, Municipio Valencia Referenciados en la Figura 24

Tipo de Uso del Suelo	Área (Ha)	Porcentaje de la Sub Cuenca %
Suelo Desnudo	130,41	2,42
Vegetación	1915,2	35,31
Urbano	3339,57	61,6
Agropecuario	36,45	0,67

Nota. Rodríguez (2018)

De la Tabla 14 se puede obtener los siguientes resultados de la clasificación del uso del suelo:

- a. **Suelo Desnudo:** Representado en el mapa por el color coral constituye el 2,42% correspondiente a 130,41 hectáreas. El suelo

desnudo se distribuye en pequeñas cantidades en toda la sub cuenca, no obstante su concentración mayor se encuentra en las altiplanicies montañosas ubicadas en el sector norte del mapa.

- b. Vegetación:** Representado en el mapa por el color verde constituye el 35,31% de la micro cuenca la Guacamaya lo que corresponde a 1915,2 hectáreas. La vegetación se concentra hacia el sector norte y en su mayor proporción en el sector sur de la micro cuenca, existiendo pequeñas áreas verdes compuestas por parques y pequeñas fincas en el centro.
- c. Urbano:** Representado en el mapa por el color Cian constituye el 61,6% de la sub cuenca la Guacamaya lo que corresponde a 3339,57 Ha, dicho desarrollo urbano se concentra en el centro de la sub cuenca integrado principalmente por casas, oficinas e industrias del sector. En este sector se localizan los pozos objetos de la investigación.
- d. Agropecuario:** Representado por el color amarillo constituye la porción más pequeña del mapa con un 0,67% correspondiente a 36,45 hectáreas de la micro cuenca.

### **Estimar los parámetros hidráulicos del acuífero del Sector La Guacamaya, Municipio Valencia, Estado Carabobo.**

#### ***Niveles Estáticos de pozos***

Los niveles estáticos aportan información sobre la ubicación de la mesa de agua en el subsuelo lo que indica específicamente la profundidad del nivel freático, dicho esto en la Figura 25 se representan una proyección de los niveles estáticos del acuífero del sector la guacamaya, parroquia miguel peña, municipio valencia, estado Carabobo.

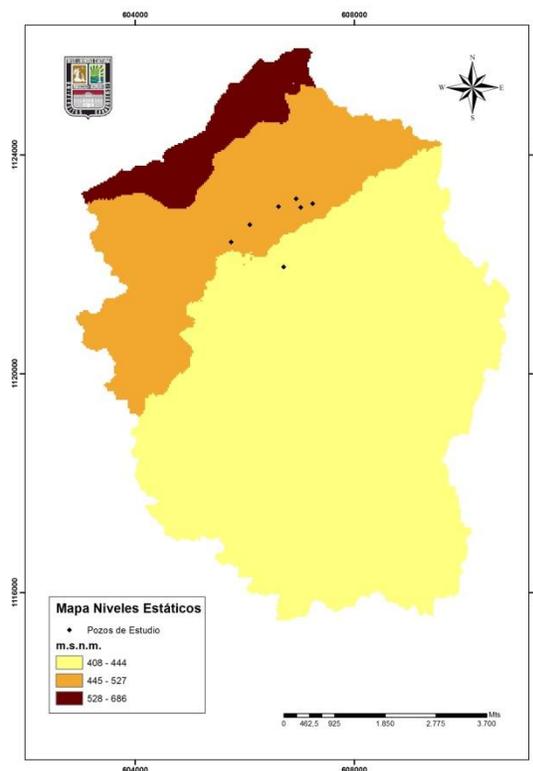


Figura 25. Mapa de Niveles Estáticos. Nota. Rodríguez (2018)

**Tabla 15.** Niveles Estáticos del acuífero del sector la guacamaya, parroquia miguel peña, municipio valencia, estado Carabobo. Referenciados en la Figura 25.

Niveles Estáticos (m.s.n.m.)		Área del Acuífero (Ha)
Mínimo	Máximo	
408	444	4990,76
445	527	283,29
528	686	194,98

Nota. Rodríguez (2018)

El mapa de niveles estáticos de la Figura 25 refleja que en la mayor porción del acuífero los niveles varían entre los 408 a 444 m.s.n.m. correspondiente a 4990,76 Ha. Para el caso de los pozos el 85,7% de ellos se encuentran en una zona donde los niveles estáticos varían entre los 445 a los 527 m.s.n.m.

### ***Niveles Dinámicos de pozos***

Los niveles dinámicos son el abatimiento del nivel estático producido por la extracción de agua del acuífero mediante bombeo. La variable dinámica es un parámetro utilizado para conocer el aprovechamiento del acuífero.

En la Figura 26 se representa una proyección de los niveles estáticos del acuífero del sector la guacamaya, parroquia miguel peña, municipio valencia, estado Carabobo.

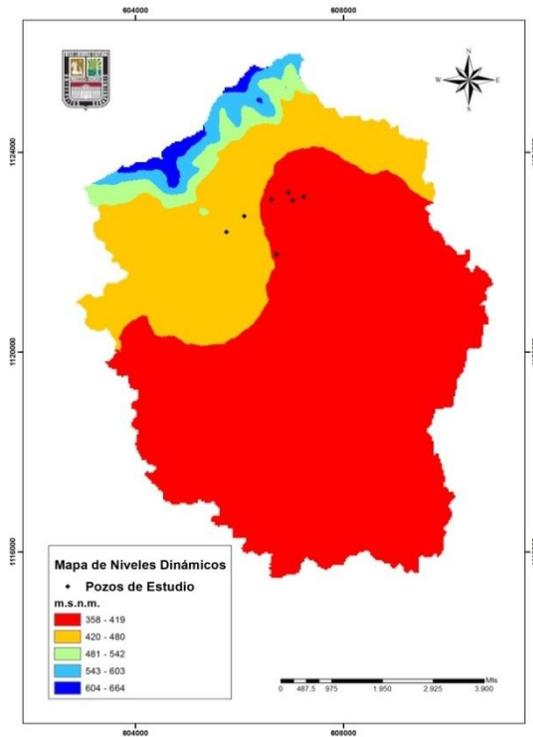


Figura 26. **Mapa de Niveles Dinámicos.** Nota. Rodríguez (2018)

**Tabla 16.** Niveles Dinámicos del acuífero del sector la guacamaya, parroquia miguel peña, municipio valencia, estado Carabobo. Referenciados en la Figura 26.

Niveles Dinámicos (m.s.n.m.)		Área del Acuífero (Ha)
Mínimo	Máximo	
358	419	3774,56
419	480	1290,78
480	541	182,68
541	602	154,86
602	663	65,6

Nota. Rodríguez (2018)

La Tabla 16 evidencia que los pozos se encuentran distribuidos en una zona donde los niveles dinámicos proyectados varían entre los 358 a los 480 m.s.n.m. Esta porción del acuífero abarca 5065,34 Ha que es un 92,6% del total.

### ***Permeabilidad del suelo***

La permeabilidad establece la capacidad que tiene el suelo de dejar pasar un fluido a través de él, señalado esto la permeabilidad proyectada en el acuífero del sector la guacamaya, parroquia miguel peña, municipio valencia del estado Carabobo se representa a continuación en la Figura 27:

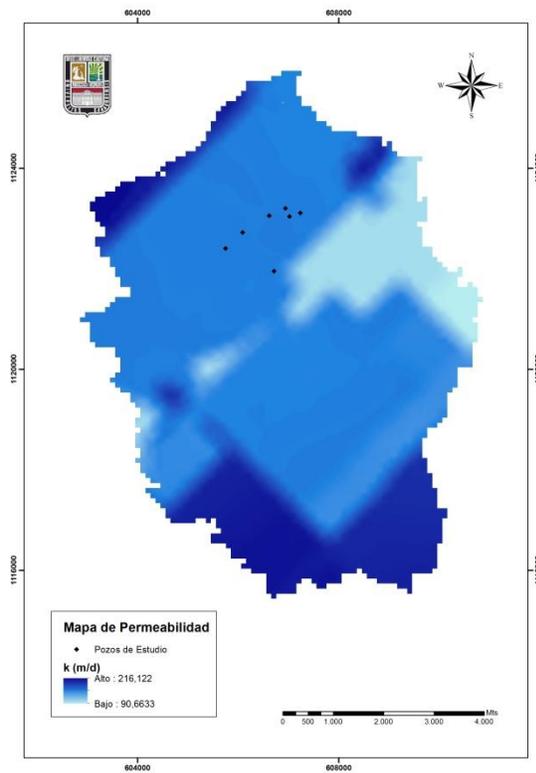


Figura 27. **Mapa de Permeabilidad.** Nota. Rodríguez (2018)

**Tabla 17.** Permeabilidad de la sub-cuenca del sector la guacamaya, parroquia miguel peña, municipio valencia, estado Carabobo. Referenciada en la Figura 27.

Permeabilidad k (m/d)		Área del Acuífero (Ha)
Mínimo	Máximo	
90	116	613
116	138	482
138	153	3154
153	173	320
173	216	906

Nota. Rodríguez (2018)

Los resultados representados en la Tabla 17 apuntan a que la permeabilidad (k) es de 138 a 153 (m/d) en los estratos medios del acuífero donde se encuentran los pozos en estudio, además se visualiza que hacia el sur del acuífero la permeabilidad aumenta hasta alcanzar valores de 216,1

(m/d) lo que significa que tanto el flujo superficial como subterráneo se desplazan en ese sentido.

### ***Porosidad del suelo***

En el suelo de la sub cuenca en estudio la porosidad representa los espacios vacíos en relación al volumen total de suelo, este valor se expresa en porcentaje de porosidad. En la siguiente Figura se refleja la porosidad del suelo perteneciente a la mencionada sub cuenca.

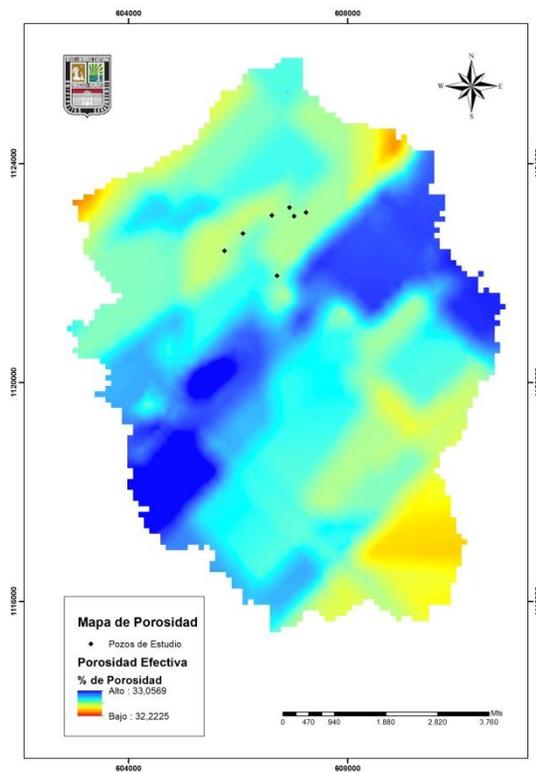


Figura 28. **Mapa de Porosidad.** Nota. Rodríguez (2018)

**Tabla 18.** *Porcentaje de Porosidad de la sub-cuenca del sector la guacamaya, parroquia miguel peña, municipio valencia, estado Carabobo. Referenciada en la Figura 28.*

Porcentaje de Porosidad		Área del Acuífero (Ha)
Mínimo	Máximo	
32,24	32,43	443
32,43	32,64	3249
32,64	32,85	1493
32,84	33,05	299
32,22	32,22	1

*Nota.* Rodríguez (2018)

Los valores de porcentaje de porosidad expresados en la Tabla 18 reflejan que la porosidad de la sub cuenca es prácticamente constante con un valor mínimo de 32,24% y un máximo de 33,05% de porosidad localizado en la zona media de la sub cuenca y representada en color azul dentro del mapa de la Figura 28.

### ***Gradiente Hidráulico***

Los cambios en la profundidad del nivel piezómetro en el suelo que definen la dirección del flujo subterráneo es denominado gradiente hidráulico, el cual se representa en la Figura 29 del sector la guacamaya, parroquia miguel peña, municipio valencia, estado Carabobo.

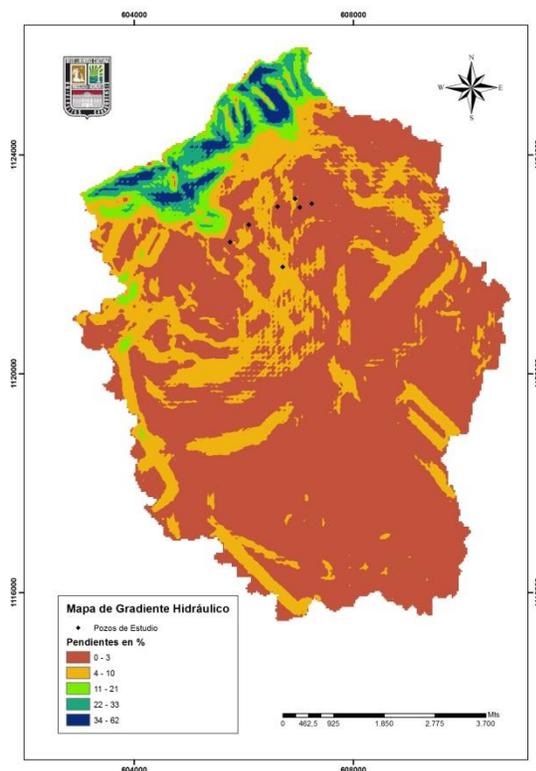


Figura 29. Mapa de Gradiente Hidráulico. Nota. Rodríguez (2018)

**Tabla 19.** Gradiente Hidráulico de la sub-cuenca del sector la guacamaya, parroquia miguel peña, municipio valencia, estado Carabobo. Referenciada en la Figura 29.

Gradiente Hidráulico (%)		Área del Acuífero (Ha)
Mínimo	Máximo	
0	3	3727,65
3,25	9,91	1254,43
9,92	20,43	215,69
20,46	32,32	186,24
32,34	62,44	84,49

Nota. Rodríguez (2018)

Los resultados del mapa de la Figura 29 y representados en la Tabla 19 muestran que el gradiente va desde la cabecera del acuífero donde su flujo subterráneo se desplaza hacia el sur del mismo.

Los pozos de estudio se encuentran en la zona media del acuífero en la cual el gradiente hidráulico puede ir desde el 0% al 10%.

### Transmisividad Hidráulica

La facilidad del agua para circular horizontalmente por una formación geológica es la Transmisividad (T) expresada en  $m^2/día$  y para el acuífero en estudio está representada en la Figura 30.

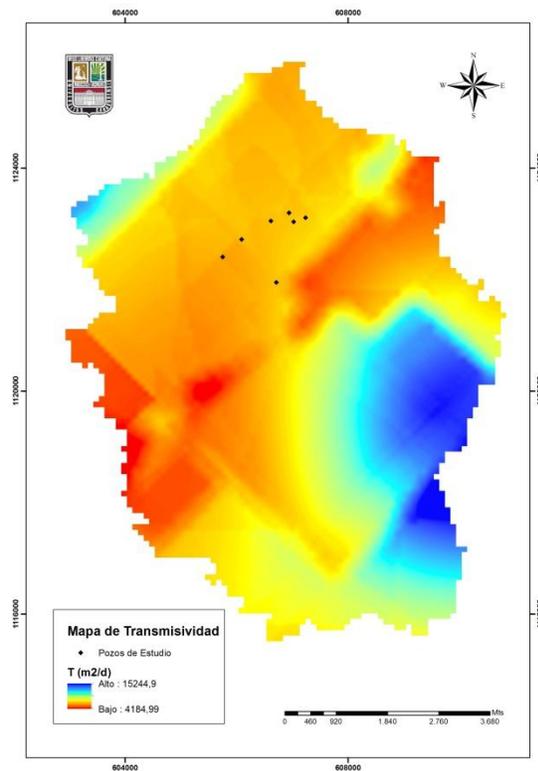


Figura 30. Mapa de Transmisividad. Nota. Rodríguez (2018)

**Tabla 20.** *Transmisividad de la sub-cuenca del sector la guacamaya, parroquia miguel peña, municipio valencia, estado Carabobo. Referenciada en la Figura 30.*

Colores	Transmisividad T(m <sup>2</sup> /d)	
	Mínimo	Máximo
	4184,99	6390,85
	6392,11	7659,18
	7660,86	9385,52
	9388,57	11553,9
	11562,2	15244,9

Nota. Rodríguez (2018)

Con base en el concepto de Transmisividad los valores que se encuentran por sobre los 1000 m<sup>2</sup>/d son considerados como de muy alta Transmisividad, como lo afirma Collazo, P (2012); por lo que el acuífero en estudio se encuentra en esta categoría de acuerdo a los valores citados en la Tabla 20.

**Determinar los parámetros fisicoquímicos de las fuentes de agua subterráneas.**

Para el logro de este objetivo se realizaron las siguientes actividades:

- Contactar al personal del laboratorio en conjunto con personal del MINEA para la toma de muestras.
- Seleccionar los sitios de muestreo en conjunto con personal del MINEA y la Coordinadora del Centro de Investigaciones Hidráulicas y Ambientales (CIHAM UC).
- Planificar la toma de muestras en los sitios seleccionados.
- Realizar la toma de muestras de acuerdo a lo establecido en la Norma Covenin 2709:2002. Procedimiento de Muestreo.
- Entregar las muestras en Hidrolab Toro para su posterior caracterización, y

- Realizar revisión bibliográfica de estudios de muestreos en la estación y/o pozos ubicados en la zona.

La toma de muestras de agua de pozo se realizó el día 26 de Mayo del 2017 en los siguientes pozos:

**Tabla 21.** *Ubicación de los Pozos de Estudio*

Nombre del Pozo	Coordenadas Geográficas (UTM)	
	Norte	Este
<b>P1: E/S El Prado</b>	1123202	606713
<b>P2: Escuela Santa Ana</b>	1121957	606713
<b>P3: Familia Salas Moreno</b>	1123042	607024
<b>P4: Carnicería los Caobos</b>	1123114	607239
<b>P5: ENCAVA</b>	1122410	605752
<b>P6: CABEL</b>	1122727	606091
<b>P7: Cerámicas Carabobo</b>	1123057	606617

*Nota.* Rodríguez (2018)

Una vez cumplidas las actividades señaladas se obtuvieron los siguientes resultados:

**Identificación de la muestra:**

**Muestra N°1:** P1 E/s El Prado

**Muestra N°2:** Escuela Santa Ana

**Fecha de captación:** 26 de Mayo 2017

**Hora de captación:** 10:20 a.m. a 12:50 p.m.

**Fecha de análisis:** 26-05-2017 al 12-06-2017

**Tabla 22. Condiciones Ambientales del Laboratorio. 26 de Mayo 2017**

Parámetro	Unidad	Valor
Temperatura	°C	25
Humedad Relativa	%	39

*Nota.* Datos suministrados por HIDROLAB TORO (2018)

**Tabla 23. Resultados de los Análisis de Laboratorio (Benceno, Tolueno y Xileno). Muestras 1 y 2**

Parámetro	Unidad	Muestra N°1	Muestra N°2	Valor Máximo Aceptable (1)	Método (2)	Límite de Detección
Benceno	µg/L	<0,05	<0,05	10	6200 C	0,05
Tolueno	µg/L	<0,05	<0,05	700	6200 C	0,05
Xileno	µg/L	<0,05	<0,05	500	6200 C	0,05

*Nota.* Datos suministrados por HIDROLAB TORO (2018)

CUMPLE	INCUMPLE
--------	----------

(1) Reglamentado según Gaceta Oficial N° 36.395, N° Sg-018-98 del año 1998, artículo 14

(2) Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater 22 st. Edición of 2012

**Identificación de la muestra:**

**Muestra N°3:** Familia Salas Moreno

**Muestra N°4:** Carnicería Los Caobos

**Tabla 24. Resultados de los Análisis de Laboratorio (Benceno, Tolueno y Xileno). Muestras 3 y 4**

Parámetro	Unidad	Muestra N°3	Muestra N°4	Valor Máximo Aceptable (1)	Método (2)	Límite de Detección
Benceno	µg/L	159223	93112	10	6200 C	0,05
Tolueno	µg/L	5820	1331	700	6200 C	0,05
Xileno	µg/L	<0,05	<0,05	500	6200 C	0,05

Nota. Datos suministrados por HIDROLAB TORO (2018)

CUMPLE	INCUMPLE
--------	----------

(1) Reglamentado según Gaceta Oficial N° 36.395, N° Sg-018-98 del año 1998, artículo 14

(2) Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater 22 st. Edición of 2012

**Identificación de la muestra:**

**Muestra N°1:** P5 ENCAVA

**Muestra N°2:** P6 CABEL

**Muestra N°3:** P7 Cerámicas Carabobo

**Fecha de captación:** 02 de Junio de 2017

**Hora de captación:** 03:03 p.m.

**Fecha de análisis:** 02-06-2017 al 12-06-2017

**Tabla 25. Condiciones Ambientales del Laboratorio. 02 de Junio 2017**

Parámetro	Unidad	Valor
Temperatura	°C	24
Humedad Relativa	%	52

Nota. Datos suministrados por HIDROLAB TORO (2018)

**Tabla 26. Resultados de los Análisis de Laboratorio (Benceno, Tolueno y Xileno). Muestras 1,2 y 3**

Parámetro	Unidad	Muestra N°1	Muestra N°2	Muestra N°3	Valor Máximo Aceptable (1)	Método (2)	Límite de Detección
Benceno	µg/L	17577,6	8755,1	3351,3	10	6200 C	0,05
Tolueno	µg/L	0,18	<0,05	<0,05	700	6200 C	0,05
Xileno	µg/L	<0,05	<0,05	<0,05	500	6200 C	0,05

Nota. Datos suministrados por HIDROLAB TORO (2018)

CUMPLE	INCUMPLE
--------	----------

(1) Reglamentado según Gaceta Oficial N° 36.395, N° Sg-018-98 del año 1998, artículo 14

(2) Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater 22 st. Edición of 2012

**Identificación de la muestra:**

**Muestra N°1:** P1 E/S El Prado

**Muestra N°2:** P2 Escuela Santa Ana

**Muestra N°3:** P3 Familia Salas Moreno

**Muestra N°4:** P4 Carnicería Los Caobos

**Fecha de captación:** 26 de Mayo 2017

**Hora de captación:** 10:20 a.m. a 12:50 p.m.

**Fecha de análisis:** 26-05-2017 al 12-06-2017

**Tabla 27. Condiciones Ambientales del Laboratorio. (Gasolina). 26 Mayo 2017**

Parámetro	Unidad	Valor
Temperatura	°C	24
Humedad Relativa	%	52

Nota. Datos suministrados por HIDROLAB TORO (2018)

**Tabla 28. Resultados de los Análisis de Gasolina. Muestras 1 y 2**

Parámetro	Unidad	Muestra N°1	Muestra N°2	Valor Máximo Aceptable (1)	Método (2)
Gasolina	mg/L	<0,01	<0,01	N.R.	EPA 556,1

*Nota.* Datos suministrados por HIDROLAB TORO (2018)

CUMPLE

INCUMPLE

(1) Reglamentado según Gaceta Oficial N° 36.395, N° Sg-018-98 del año 1998, artículo 14

(2) USEPA

**Tabla 29. Resultados de los Análisis de Gasolina. Muestras 3 y 4**

Parámetro	Unidad	Muestra N°3	Muestra N°4	Valor Máximo Aceptable (1)	Método (2)
Gasolina	mg/L	35840	7539	N.R.	EPA 556,1

*Nota.* Datos suministrados por HIDROLAB TORO (2018)

CUMPLE

INCUMPLE

(1) Reglamentado según Gaceta Oficial N° 36.395, N° Sg-018-98 del año 1998, artículo 14

(2) USEPA

**Identificación de la muestra:**

**Muestra N°1:** P5 ENCAVA

**Muestra N°2:** P6 CABEL

**Muestra N°3:** P7 Cerámicas Carabobo

**Fecha de captación:** 02 de Junio de 2017

**Hora de captación:** 03:03 p.m.

**Fecha de análisis:** 02-06-2017 al 12-06-2017

**Tabla 30. Condiciones Ambientales del Laboratorio. (Gasolina). 02 Junio 2017**

Parámetro	Unidad	Valor
Temperatura	°C	24
Humedad Relativa	%	52

Nota. Datos suministrados por HIDROLAB TORO (2018)

**Tabla 31. Resultados de los Análisis de Gasolina. Muestras 5 y 6**

Parámetro	Unidad	Muestra N°5	Muestra N°6	Muestra N°7	Valor Máximo Aceptable (1)	Método (2)
Gasolina	mg/L	451,3	55,1	115,2	N.R.	EPA 556,1

Nota. Datos suministrados por HIDROLAB TORO (2018)

CUMPLE

INCUMPLE

(1) Reglamentado según Gaceta Oficial N° 36.395, N° Sg-018-98 del año 1998, artículo 14

(2) USEPA

De acuerdo a los parámetros analizados se observó lo que a continuación se detalla:

- a) En las muestras P3 Familia Salas Moreno, P4 Carnicería los Caobos, P5 ENCAVA, P6 Cabel y P7 Cerámicas Carabobo se detectó gasolina, la cual se dispersa en el agua a diferentes concentraciones por las condiciones propias de cada uno de los pozos. Aunque este parámetro no se encuentra reglamentado en la Gaceta Oficial N° 36.395, es totalmente nocivo para la salud.
- b) Con respecto al resto de los análisis de compuestos orgánicos realizados, P3 Familia Salas Moreno, P4 Carnicería los Caobos, P5 ENCAVA, P6 Cabel y P7 Cerámicas Carabobo presentan valores superiores a los límites establecidos en la Gaceta Oficial N° 36.395, Resolución S-018-98, artículo 14, cuadro 4. Por tanto, se consideran

estas aguas en su contenido de compuestos orgánicos, **No aptas para el Consumo Humano.**

- c) En las muestras P1 E/S El Prado y P2 Escuela Santa Ana no se detectó Benceno, Tolueno, Xileno y Gasolina

### **Análisis Histórico de Estudios en la Sector la Guacamaya.**

En noviembre del 2017 la empresa nacional Petróleos de Venezuela emitió un informe en conjunto con la empresa Geohidra Consultores C.A. denominado “Evaluación Ambiental Fase II Para la Determinación de Niveles de Contaminación Por Hidrocarburo Derramado en E/S El Prado – Edo. Carabobo” donde se realizaron pozos de monitoreo y toma de muestras tanto de suelo como del agua subterránea para análisis físico – químicos.

Los pozos perforados para el muestreo se indican a continuación:

**Tabla 32.** *Ubicación de los pozos estudiados por Geohidra Consultores C.A*

Pozo	Coordenadas UTM (Huso 19)		Cota Terreno (m)
	Norte	Este	
<b>PM – 1</b>	1.123.122,13	606.902,76	468,96
<b>PM – 2</b>	1.123.150,40	606.960,88	468,86
<b>PM – 3</b>	1.123.198,13	606.901,51	469,78
<b>PM – 4</b>	1.123.129,32	606.757,68	469,45
<b>PM – 5</b>	1.123.150,54	606.926,85	469,11
<b>PM – 6</b>	1.123.069,25	606.957,79	467,46
<b>PM – 7</b>	1.123.061,02	606.818,83	467,88
<b>PM – 8</b>	1.123.103,04	606.884,54	468,62
<b>PM – 9</b>	1.123.150,05	606.900,70	469,18
<b>PM – 10</b>	1.123.122,91	606.921,90	468,79

<b>PM – 11</b>	1.123.135,37	606.938,93	468,88
<b>PM – 12</b>	1.123.146,43	607.019,46	469,14
<b>PM – 13</b>	1.122.974,89	606.799,21	466,94
<b>PM – 14</b>	1.123.028,02	607.045,40	464,51
<b>PM – 15</b>	1.123.038,46	606.889,20	468,72

Nota. Datos suministrados por MINEA (2018)

### Caracterización química del agua subterránea:

Para el estudio se considerarán sólo los resultados de BTX (Benceno, Tolueno y Xileno) ya que son las variables consideradas en el análisis físico químico anterior:

**Tabla 33.** Análisis Benceno, Tolueno y Xileno Geohidra Consultores C.A.

<b>Pozo</b>	<b>Benceno</b>	<b>Tolueno</b>	<b>Xileno</b>
Norma Sanitaria de Calidad de Agua potable. Gaceta Oficial Venezuela. Nº 36395 Art. 14 (µg/L)	10	700	500
<b>PM – 1</b>	<b>23.945</b>	<b>19.715</b>	<b>3.965</b>
<b>PM – 2</b>	0,067	0,111	0,011
<b>PM – 3</b>	0,178	0,078	0,011
<b>PM – 4</b>	0,090	0,216	0,098
<b>PM – 5</b>	<b>8.200</b>	<b>1.180</b>	580
<b>PM – 6</b>	<b>13.000</b>	110	500
<b>PM – 7</b>	0,686	1,076	0,978
<b>PM – 8</b>	< 5	< 5	< 5
<b>PM – 9</b>	<b>4.582</b>	<b>784</b>	<b>824</b>
<b>PM – 10</b>	<b>36.760</b>	<b>44.850</b>	<b>4.580</b>
<b>PM – 11</b>	<b>30.270</b>	<b>35.900</b>	<b>4.830</b>
<b>PM – 12</b>	< 5	< 5	< 5
<b>PM – 13</b>	< 5	< 5	< 5
<b>PM – 14</b>	< 5	< 5	< 5
<b>PM – 15</b>	< 5	< 5	< 5

Nota. Datos suministrados por MINEA (2018)

**Simular la pluma de contaminación para el principal contaminante del acuífero del Sector la Guacamaya con el software Arcgis 10.0 y ModelMuse.**

Para la simulación de la pluma contaminante el investigador se apoyó en herramientas informáticas y geoestadísticas para la obtención de resultados de concentración y flujo másico específicamente para Benceno, Tolueno, Xileno y Gasolina. La dispersión se muestra en las siguientes Figuras:

Como resultado de la simulación con ModelMuse se pudo conocer que la recarga del acuífero se produce en las partes altas de la cuenca, desplazando su flujo hacia el sur, denotando un comportamiento similar a la escorrentía superficial.

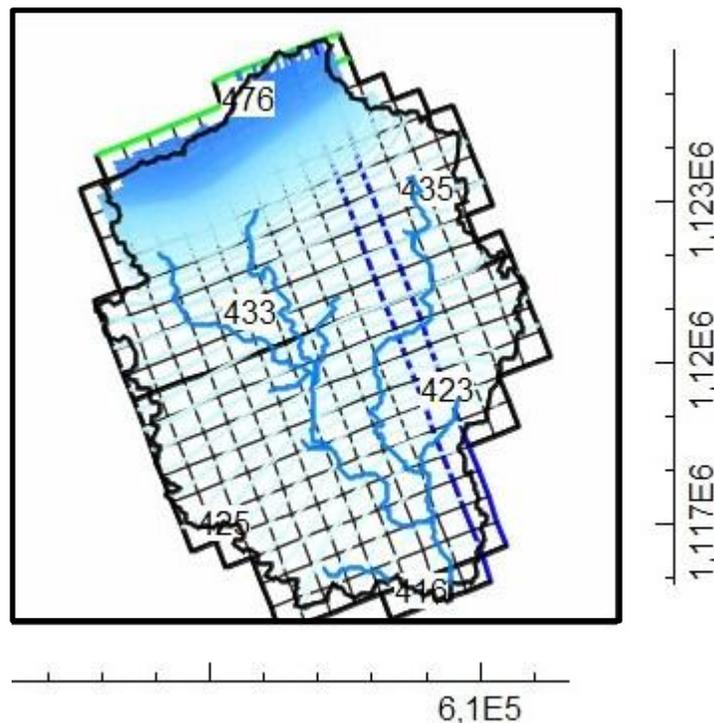


Figura 31. Recarga del Acuífero (Planta). Nota. Rodríguez, (2.018)

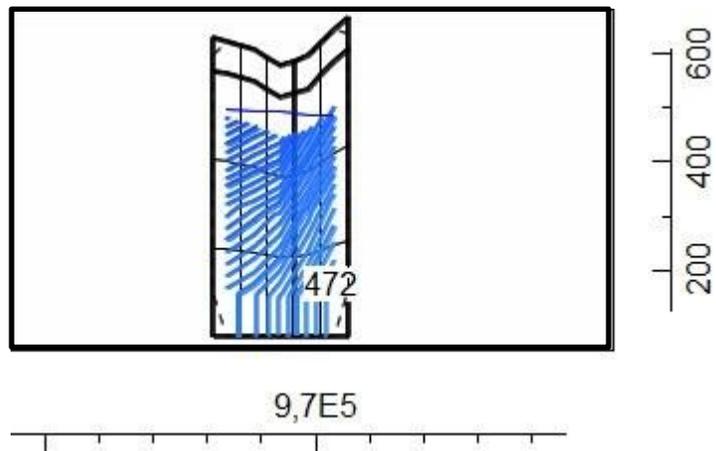


Figura 32. **Recarga del Acuífero (Frontal)**. Nota. Rodríguez, (2.018)

La ubicación del nivel freático del acuífero representado en la Figura 32 que este nivel se encuentra por debajo de los 60 metros de profundidad en la parte más alta de la cuenca.

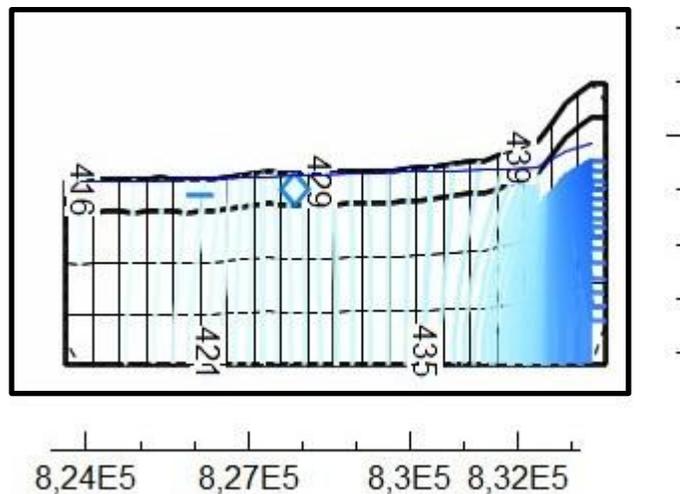


Figura 33. **Recarga del Acuífero (Lateral)**. Nota. Rodríguez, (2.018)

La Figura 33 indica que la recarga del acuífero se ubica en el norte de la sub cuenca (Parte alta) y que para 1200 mm de lámina de precipitación existe una infiltración de 439 mm.

## Benceno

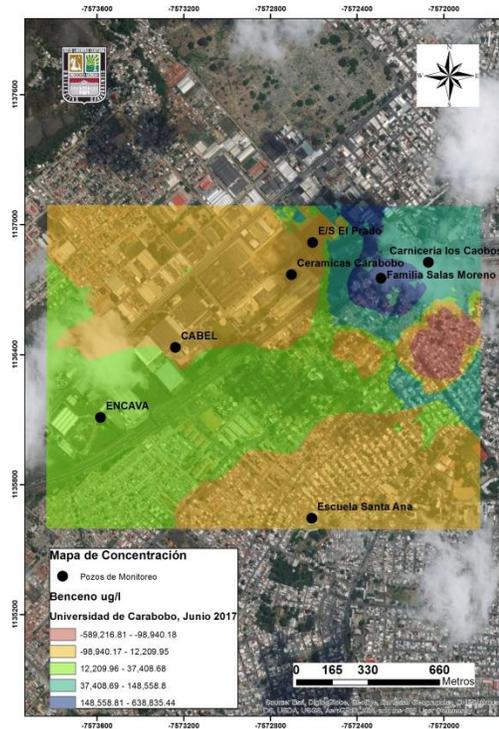


Figura 34. Mapa de Concentración Benceno. Nota. Rodríguez (2018)

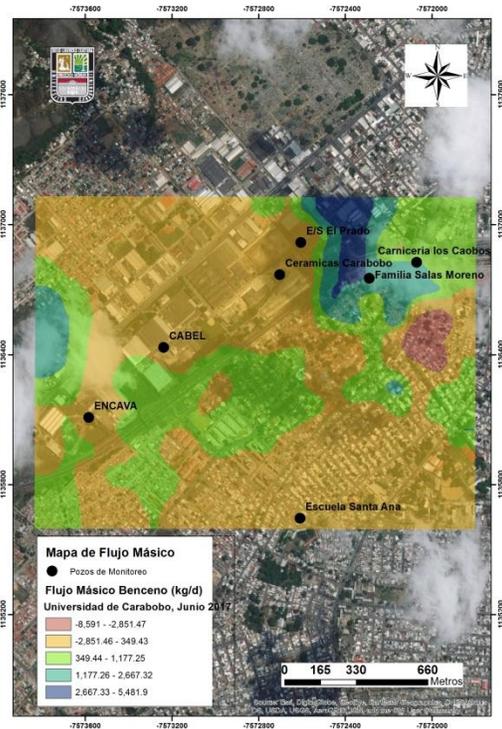


Figura 35. Mapa de Flujo Másico Benceno. Nota. Rodríguez (2018)

Se observa en la Figura 33 que el benceno tiene una mayor concentración en la estación de servicio el Prado, donde su flujo másico representado en la Figura 34 se dispersa hacia el sur del acuífero. En la medida que la pluma del contaminante se extiende, la concentración de este disminuye.

## Tolueno

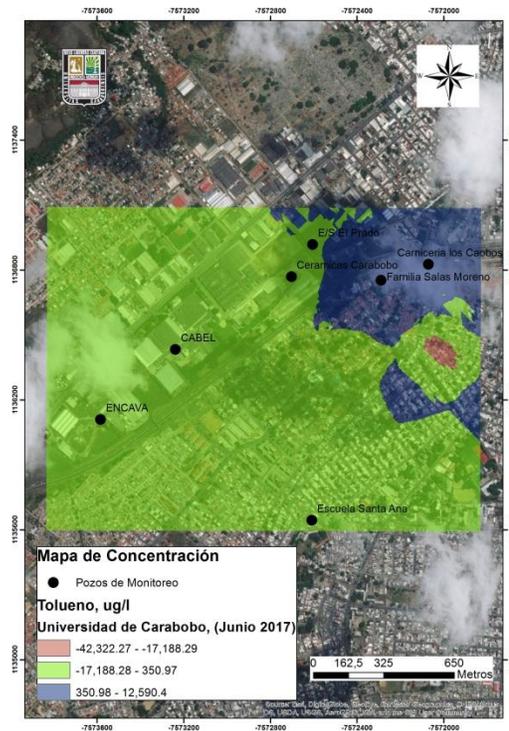


Figura 36. Mapa de Concentración Tolueno. Nota. Rodríguez (2018)

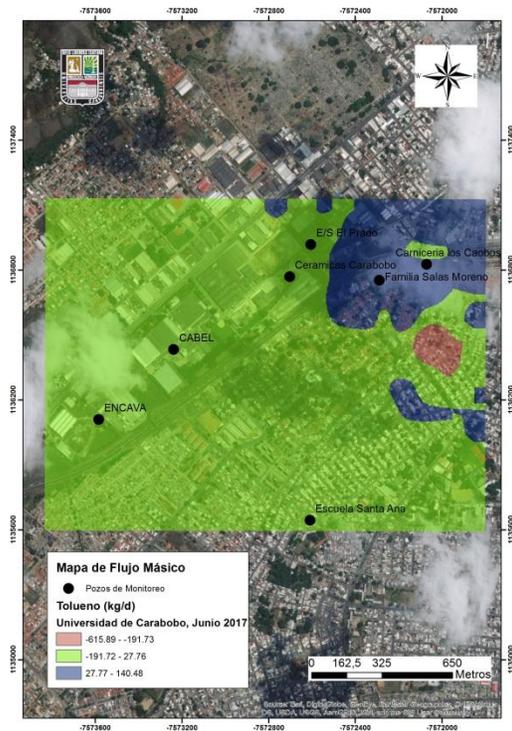


Figura 37. Mapa de Flujo Másico Tolueno. Nota. Rodríguez (2018)

En la Figura 36 se visualiza que la mayor cantidad de Tolueno se concentra en la estación de servicio el prado con valores menores a la concentración de benceno, su desplazamiento en el acuífero alcanza un flujo másico de 140,48 Kg/día.

La paleta de colores representada en ambas Figuras (36 y 37) es más homogénea en el tolueno debido a que este compuesto es menos volátil que el benceno.

## Xileno

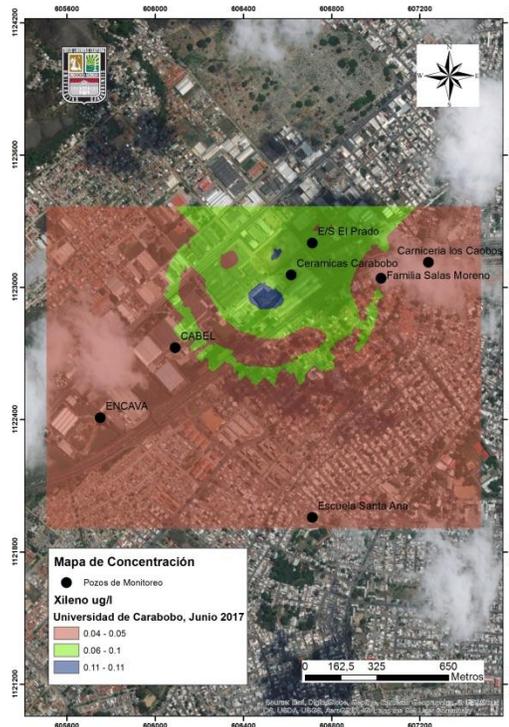


Figura 38. Mapa de Concentración Xileno. Nota. Rodríguez (2018)

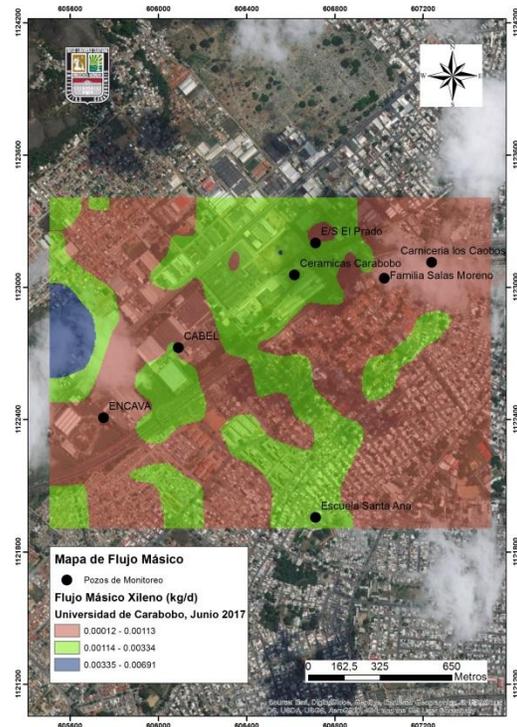


Figura 39. Mapa de Flujo Másico Xileno. Nota. Rodríguez (2018)

Las concentraciones de xileno encontradas en los análisis no superan el valor máximo aceptable de  $500 \mu\text{g/l}$ , establecido en la Gaceta Oficial N° 36.395, no obstante el mapa de concentración (Fig. 38) y flujo másico (Fig. 39) reflejan la dispersión del xileno en el acuífero.

## Gasolina

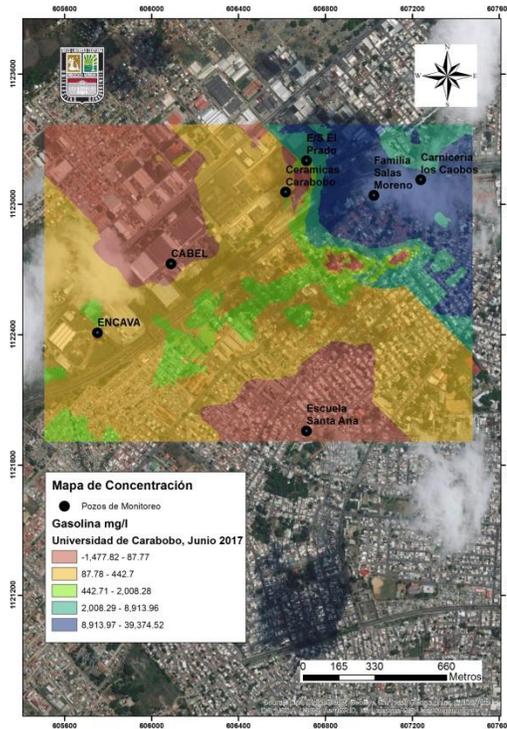


Figura 40. Mapa de Concentración Gasolina. Nota. Rodríguez (2018)

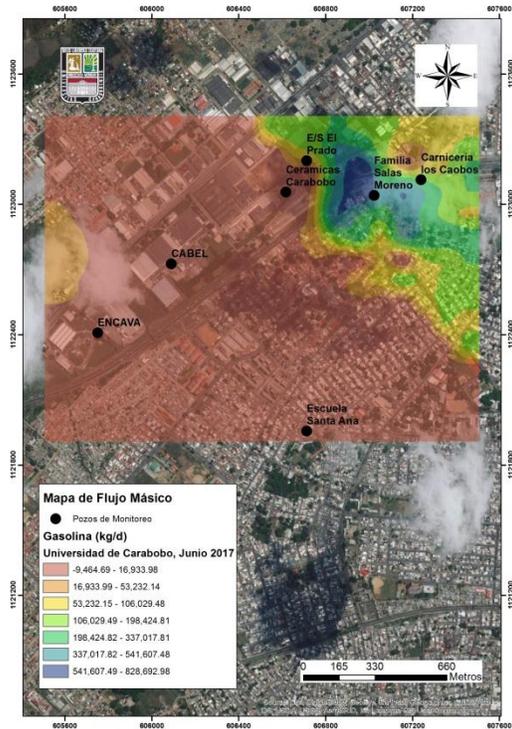


Figura 41. Mapa de Flujo Másico Gasolina. Nota. Rodríguez (2018)

Se evidencia en la Figura 40 que la mayor concentración de gasolina se presenta en la estación de servicio el Prado y la dispersión del su flujo másico representado en la Figura 41 indica que el contaminante se disipa hacia el sur del acuífero.

## **Evaluar Las Alternativas de Remediación Para el Acuífero del Sector la Guacamaya, Parroquia Miguel Peña, Municipio Valencia, Estado Carabobo.**

Cuando se requiere aplicar una alternativa de remediación, es necesario desarrollar una estrategia para estar seguros de que la alternativa seleccionada cumpla con todas las consideraciones tecnológicas, económicas y regulatorias.

Los criterios para la elección de la alternativa más apropiada al sitio deben surgir como consecuencia de estudios ambientales previos y de una valoración de los costos del proyecto. Al iniciar se debe realizar un análisis histórico que no implica muestreos del lugar, luego se realiza la instalación de pozos para la evaluación del estado actual del sub suelo, donde se puede analizar la dispersión de los contaminantes en el área y en sentido vertical. A tal efecto para el acuífero en estudio se evaluaron las siguientes alternativas de remediación:

### **Aspersión de Aire (Air Sparcing)**

La inyección de aire en el suelo es una tecnología emergente de remediación útil en el tratamiento de contaminantes orgánicos volátiles.

Durante la implementación de esta técnica de remediación se inyecta un gas, generalmente aire en la zona de suelo saturado (Acuífero) por debajo del nivel de contaminación más bajo conocido, debido al efecto de flotabilidad, el aire inyectado se elevará hacia la superficie. A medida que el aire entra en contacto con la contaminación, eliminará el contaminante a través de una variedad de mecanismos o ayudará en la degradación in situ. Finalmente, el aire cargado de contaminantes encuentra la zona vadosa, donde a menudo se recolecta usando un sistema de extracción de vapor del suelo y se trata en el sitio. Reddy, K (2006).

## Extracción de Vapores del Suelo

“La extracción de vapores del suelo es el tratamiento innovador que se selecciona con más frecuencia para sitios comprendidos en el Superfund. Es un proceso relativamente sencillo que separa físicamente los contaminantes del suelo”. (EPA, 1996).

La extracción de vapores por sí sola no puede retirar los contaminantes de la zona saturada del sub suelo. En los lugares donde el contaminante se encuentra en la zona saturada es aconsejable utilizar la técnica de aspersión de aire junto con la instalación de un sistema de extracción de vapores.

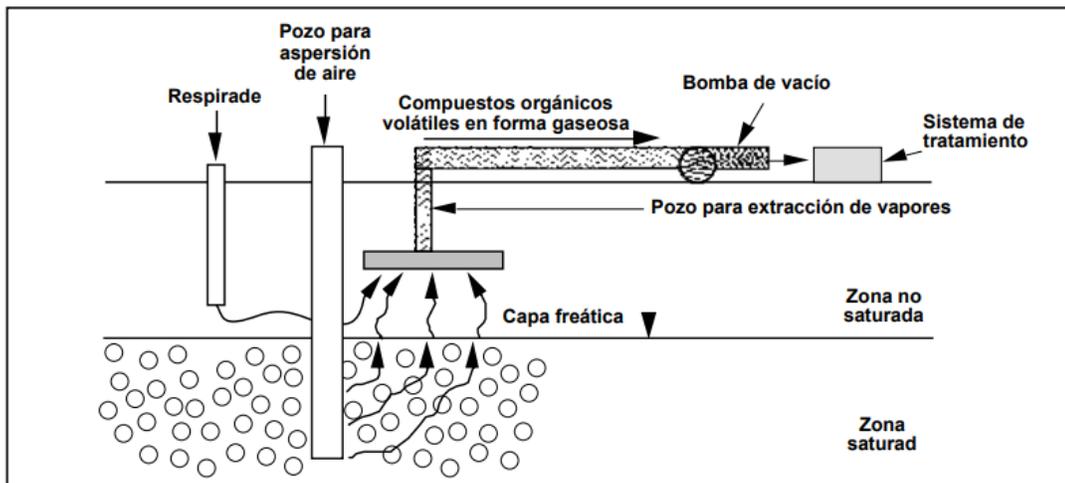


Figura 42. Inyección de Aire y Extracción de Vapores. Nota. EPA 1996

## Barreras Reactivas Permeables

Las barreras reactivas permeables ofrecen un enfoque pasivo para la remediación del agua subterránea. En general, una pared permeable que contiene un material reactivo apropiado se coloca a través del camino de una pluma contaminante. A medida que el agua contaminada pasa a través de la pared, los contaminantes se eliminan o degradan. Al diseñar una pared, no solo se debe elegir un medio reactivo apropiado, sino que las dimensiones de la pared deben diseñarse para asegurar que toda la columna de contaminantes sea interceptada y que se permita un tiempo

suficiente de residencia dentro de la pared para que se realicen las reparaciones. Reddy, K (2006).

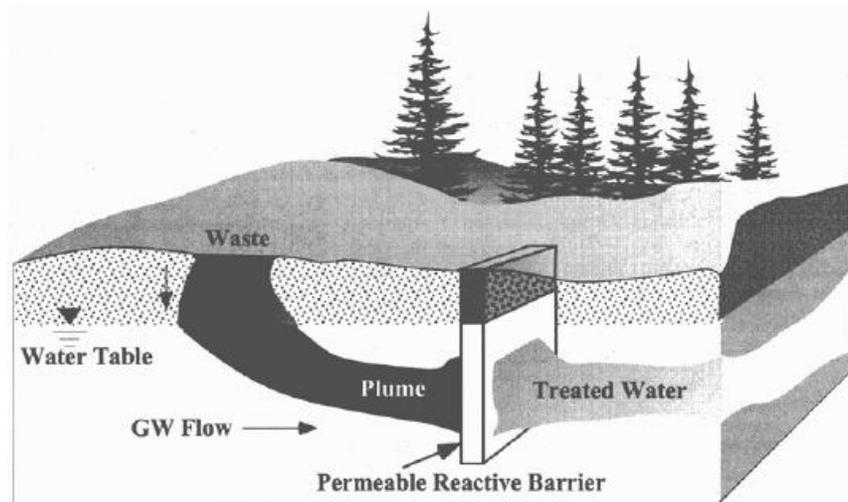


Figura 43. Inyección de Aire y Extracción de Vapores. Nota. Reddy, K (2006).

**Tabla 34. Criterios de Selección de Alternativas de Remediación**

Monitoreo	Tipo de Tecnología	Opciones de Proceso	Descripción	Eficacia	Aplicabilidad	Coste Relativo
Tratamiento	Físico	Remoción de Vapores del Suelo In-Situ	Establece un vacío en la zona no saturada para volatilizar y extraer contaminantes orgánicos del suelo.	Protege los receptores mediante la reducción de la concentración de contaminantes en el subsuelo. Efectivo para la disposición de contaminantes orgánicos de la zona no saturada. Eficacia limitada a medida que la geología del sitio se compone de capa superficial de limo y la arcilla de baja permeabilidad lo que limitaría el radio de influencia de los pozos y puede causar un cortocircuito.	Relativamente fáciles de aplicar usando un equipo fácilmente disponible. El sistema puede necesitar de tratamiento de gases para hacer frente a las emisiones al aire. los líquidos residuales y carbón activado usado pueden requerir un tratamiento adicional	Moderado

Tratamiento	Físico	Aspersión de Aire en el Acuífero	Se inyecta aire en la zona saturada, la que a través de la flotabilidad atrapa el contaminante en burbujas de aire para luego ser extraído del sub suelo.	Protege los receptores mediante la reducción de la concentración de contaminantes en el subsuelo. Efectivo para la disposición de contaminantes orgánicos de la zona saturada.	Relativamente fáciles de aplicar usando un equipo fácilmente disponible. El sistema puede necesitar de tratamiento de gases para hacer frente a las emisiones al aire. los líquidos residuales y carbón activado usado pueden requerir un tratamiento adicional	Moderado
Tratamiento	Químico	Barrera Reactiva Permeable	Se inserta una barrera reactiva permeable de espesor y tamaño adecuado, en la pluma del contaminante para que este reacciones en la barrera y se degrade o elimine.	Protege los receptores mediante la reducción de la concentración de contaminantes en el acuífero. Efectivo para la disposición de contaminantes orgánicos de la zona saturada, no obstante se debe tener conocimiento exacto de la pluma contaminante.	Relativamente fácil de aplicar, pero con materiales poco disponibles.	Moderado

Nota. Rodríguez (2018)

De las alternativas descritas se seleccionaron como tratamiento del acuífero la Aspersión de Aire con la Extracción de vapores, ya que tiene ventajas en su costo, aplicabilidad y eficacia de implementación.

De acuerdo a la ecuación tal (colocar número ecuación balance de masa) se utilizó la herramienta álgebra de mapas para obtener el caudal de aire para la remediación del acuífero.

$$x \left[ \text{Figura Flujo Másico Benceno} \frac{\text{Kg}}{\text{Dia}} \right] = [\text{Qaire}] * 1,204 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \quad \text{Ec. 4.1}$$

De donde:

$$[\text{Qaire}] = \frac{x \left[ \text{Figura Flujo Másico Benceno} \frac{\text{Kg}}{\text{Dia}} \right]}{1,204 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} \quad \text{Ec. 4.2}$$

Resultando el siguiente mapa:

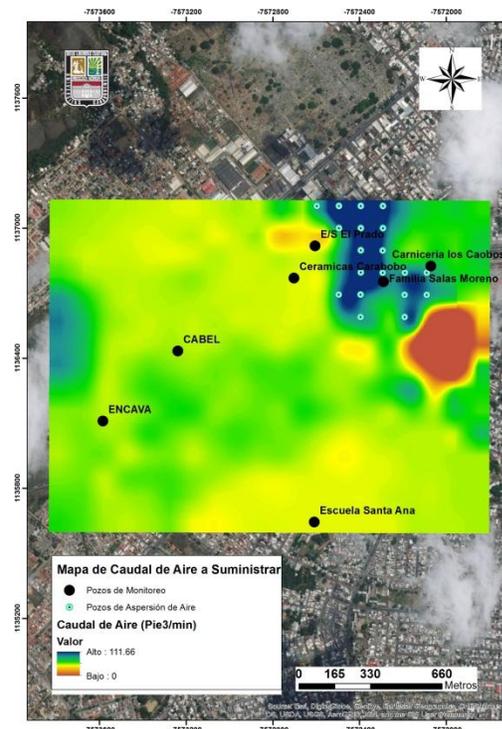


Figura 44. Mapa de Caudal de Aire a Suministrar. Nota. Reddy, K (2006).

Las zonas más contaminadas del acuífero están cercanas a la Estación de Servicio el Prado. Los sectores que necesitan más caudal de aire para su remediación están representados en la Figura 44 por el color azul, asumiendo una distancia de 50 metros entre pozos para la inyección de aire, el resultado es la instalación de 19 pozos.

El caudal máximo necesario de aire a suministrar indicado en la figura 44 es de 111,66 CFM, para los cual es necesario un soplador comercial de aire Modelo 3006 como se puede observar en el anexo A.

Para el cálculo del burbujeo del acuífero se utiliza la ecuación 2.2 y se asumirá un  $K_L a$  de  $0,004 \frac{Kmol}{m^3}$ : de acuerdo a la velocidad del flujo del benceno representada a continuación:

$$\frac{0,004 \left[ \frac{kmol}{s} \right]}{\rho_{\text{Benceno Vapor}} \left[ \frac{kmol}{m^3} \right]} = \frac{0,004 \left[ \frac{kmol}{s} \right]}{3,89 \left[ \frac{kmol}{m^3} \right]} = 1,026 \times 10^{-3} \left[ \frac{kmol}{s} \right]$$

De donde:

$$1,026 \times 10^{-3} \left[ \frac{kmol}{s} \right] \times \frac{1 \text{ ft}^3}{(0,3048 \text{ m})^3} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 2,17 \text{ CFM}$$

Por lo que,

$$Q_{Ext \text{ Vapores}} = 2,17 \text{ CFM}$$

$$\rho_{\text{Crítico Benceno}} = 0,304 \left[ \frac{gr}{mol} \right] \times 10^3 \left[ \frac{ml}{l} \right] \times 10^3 \left[ \frac{l}{m^3} \right] \times \frac{1 \text{ mol}}{78 \text{ gr } C_6H_6} \times \frac{1 \text{ kmol}}{10^3 \text{ mol}} =$$

$$\frac{0,304 \times 10^3 \times 10^3}{78 \times 10^3} = 3,89 \frac{kmol}{m^3}$$

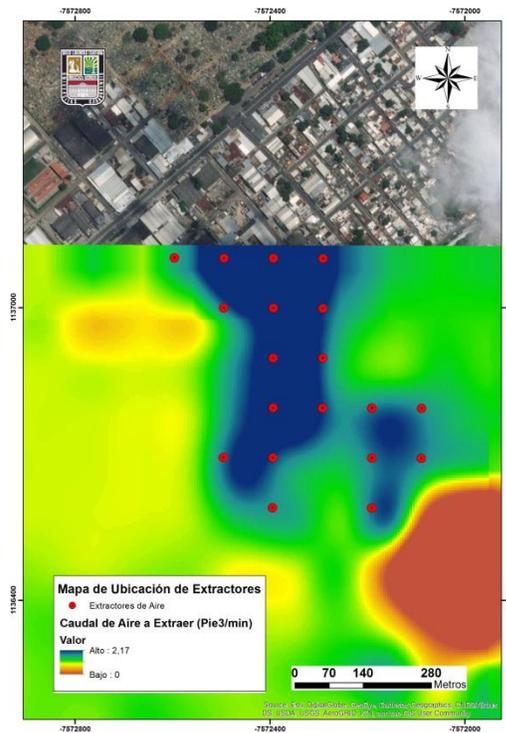


Figura 45. Mapa de Ubicación de Extractores. Nota. Reddy, K (2006).

Tomando como referencia los pozos de aspiración de aire y de acuerdo a la cantidad máxima de caudal de aire a extraer según la Figura 45, se sugiere la utilización de una bomba de vacío Atlas Copco AWS 180 (Ver anexo B)

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **Conclusiones**

La sub cuenca presenta pendientes bajas, con suelos poco permeables y una escorrentía superficial que drena hacia el sur – este de la misma.

Los usos de la tierra del sector La Guacamaya se encuentran en orden decreciente como urbano, vegetación, suelo desnudo y agropecuario.

El acuífero del sector La Guacamaya es confinado y la dirección del flujo subterráneo tiene un comportamiento similar a la escorrentía superficial drenando hacia el sur – este de la sub cuenca.

En 5 de los 7 pozos de bombeo para uso doméstico e industrial monitoreados, el agua contiene compuestos orgánicos volátiles constituidos por Gasolina, Benceno, Tolueno y Xileno, siendo no apta para el consumo humano.

La pluma de los contaminantes se desplaza en dirección sur – este del acuífero en un radio de influencia 800 m disminuyendo su

concentración en la medida que se aleja de la fuente contaminante para junio 2017.

La alternativa de remediación propuesta para el agua subterránea del acuífero del sector La Guacamaya es una combinación entre Aspersión de Aire al acuífero y la Extracción de vapores del subsuelo.

### **Recomendaciones**

De los 7 pozos de la zona en estudio, sólo 2 tenían estudio litológico, por lo que se recomienda recolectar información litológica de un mayor número de pozos del sector, con el propósito de contar con más detalles de las variables suelo y litología.

Se sugiere, en todas las urbanizaciones y empresas aledañas a la Estación de Servicio El Prado, la realización de análisis físico – químicos del agua subterránea del sector La Guacamaya para verificar la potabilidad del agua bajo los criterios de la Gaceta Oficial N° 36.395.

Implementar la técnica de remediación seleccionada en este estudio (Aspersión de aire y extracción de vapores).

Para futuros estudios se recomienda la conceptualización y diseño de la técnica de remediación mencionada en esta investigación.

## BIBLIOGRAFIA

AIDIS, (1998). *Curso latinoamericano de especialización en técnicas de remediación ambiental. Tema 7: Tratamientos Físico – Químico*. Mexico.

Arias, F (2006). *El proyecto de Investigación*. Editorial EPÍSTEME. Caracas. Venezuela p 47

Balestrini, Miriam (2006). *Como se elabora el Proyecto de Investigación para los estudios formulativos o exploratorios, descriptivos, diagnósticos, evaluativos, formulación de hipótesis causales, experimentales y los proyectos factibles*. Servicio Editorial Consultores Asociados BL. Tercera Edición. Caracas, Venezuela.

Bocciolesi, Enrich. (2014). Remediación. [http://dinle.usal.es/searchword.php? valor=Remediaci%C3%B3n](http://dinle.usal.es/searchword.php?valor=Remediaci%C3%B3n).

Brito, J (2003). *Proyecto Factible desde una visión monográfica*

Clay, Charles. (2013). *Diferencia entre aguas subterráneas y acuíferos*. [http://www.ehowenespanol.com/diferencia-aguas-subterraneas-acuifero-info\\_242701/](http://www.ehowenespanol.com/diferencia-aguas-subterraneas-acuifero-info_242701/)

Clescerl, L., Eaton A. y Greenberg, A. *Standard Methods For The Examination of Water ans Wastewater*, Editorial American Public Health Association, 22Ed, 2.012, Maryland, United States of America.

Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, publicada en Gaceta Oficial N° 36860 de fecha 30 de Diciembre de 1999.

Chacaltana, Jorge (2009). Remediación Ambiental. <https://es.scribd.com/doc/35162653/Remediacion-Ambiental>.

Decreto 2.048 sobre Normas para la Ubicación, Construcción, Protección, Operación y Mantenimiento de Pozos Perforados destinados al Abastecimiento de Agua Potable (1997, 24 de septiembre) Gaceta Oficial de la República N° 36.298.

- D'elia, Mónica. (2013). *Conceptos básicos sobre hidrología subterránea* <https://es.slideshare.net/cuencapooopo/conceptos-bsicos-sobre-hidrologa-subternea>.
- EPA (2001). Treatment Technologies for Site Cleanup: Annual Status Report. 10th Edition.
- EPA (2013). Tercer Informe de Revisión Quinquenal del Sitio Superfund Wellfield de Palermo Tumwater, Washington
- Fuentes, Judith. (2010). Fundamentos de transporte y transformación de Contaminantes. Apuntes de clase. Universidad de Carabobo
- Gil, Juan (2011). Recursos Hidrogeológicos <http://gea.ciens.ucv.ve/geoquimi/hidro/wp-content/uploads/2011/07/recursos.pdf>.
- Hengl, Tomislav. (2007). *A Practical Guide to Geostatistical Mapping of Environmental Variables*. European Commision. Italy.
- Hernández y González (1999). Contaminación de acuíferos por estaciones de expendio de combustibles. Universidad nacional de la plata. [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs3.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs3.html) benceno
- Hernández, Sampieri y col (2010). Metodología de la Investigación. México: Mc Graw Hill.
- Hidrolab Toro. (2017). *Informe de Análisis de Compuestos Orgánicos Volátiles y Gasolina*. 26/05/2017 y 02/06/2017.
- Hurtado, J. (2008). Metodología de la investigación: Guía para la comprensión holística de la ciencia. Caracas: Quirón Ediciones.
- Ley Orgánica del Ambiente. Decretada 22 Diciembre 2006 en Gaceta Oficial N° 5.833
- Ley de Aguas. Decretada 02 de Enero 2007 en Gaceta Oficial N° 38.595

Mazari, M. (2007). Impactos ambientales: acuíferos. Instituto Nacional de Ecología, Coyoacán, México D.F., México (<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/35/impactos.html>].

Molineros, JORGE (2005). Hidrogeología. Tipos De Acuíferos [https://www.slideshare.net/EdwinLoisZutaGabriel/tipos-acuiferos?next\\_slideshow=1](https://www.slideshare.net/EdwinLoisZutaGabriel/tipos-acuiferos?next_slideshow=1).

Norma Venezolana COVENIN 589-7 (1979, 11 de diciembre). Código de Práctica para la Construcción de Pozos de Agua. República Bolivariana de Venezuela.

Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable (1998, 13 de febrero) Gaceta Oficial de la República N° 36.395.

Ordoñez, Juan. (2011). FORO PERUANO PARA EL AGUA. Sociedad geográfica de Lima

Ordoñez, Rosa (2012). Remediación Ambiental. <https://es.scribd.com/doc/95373005/Remediación-ambiental>.

Parella y Martins. (2010). Metodología de la Investigación cualitativa. Caracas Venezuela

Sabino, Carlos (2002). El Proyecto de Investigación. Ediciones Panapo, Caracas.

Sánchez, Javier (2014). Ley de Darcy. Dpto. Geología, Universidad de Salamanca (España). <http://hidrologia.usal.es>

Silva, Jose. (2008) Metodología de la Investigación. Elementos Básicos. Caracas: Ediciones CO-BO.

Tamayo y Tamayo, Mario (2012). El proceso de investigación científica. Editorial Limusa, Ciudad de México.

### **Fuentes Electrónica**

Agua Para Un Mundo Sostenible. [http://www.unesco.org/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR2015Facts\\_Figures\\_SPA\\_web.pdf](http://www.unesco.org/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR2015Facts_Figures_SPA_web.pdf)

[https://www.ministeriodesalud.go.cr/gestores\\_en\\_salud/pozoAB-1089/resumen\\_epa-%20informe%20final.pdf](https://www.ministeriodesalud.go.cr/gestores_en_salud/pozoAB-1089/resumen_epa-%20informe%20final.pdf)

<https://ongvitalis.wordpress.com/2012/03/02/la-realidad-de-guarapiche-un-dano-ambiental-irreversible-y-generacional-2/>

<http://www.derechos.org.ve/pw/wp-content/uploads/Contaminaci%C3%B3n-Petrolera.pdf>

<https://es.slideshare.net/Raul4239690/contaminacion-por-hidrocarburos>  
[http://www.ehowenespanol.com/definicion-remediacion-ambiental-hechos\\_352795/](http://www.ehowenespanol.com/definicion-remediacion-ambiental-hechos_352795/)

[www.miliarium.com](http://www.miliarium.com) › Prontuario › Tratamiento de Suelos

<http://hidrologia.usal.es/temas/semiconfinados.pdf>

<http://chilorg.chil.me/download-doc/86199>. JORNADAS TÉCNICAS SOBRE APROVECHAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS PARA RIEGO. Torrejón de Ardoz (Madrid) 2 a 4 de junio, 2009.

<http://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/p/porosity.aspx>

<http://apuntesingenierocivil.blogspot.com/2011/02/permeabilidad-del-suelo.html>

<http://www.ingenierocivilinfo.com/2010/08/conductividad-hidraulica-k.html>.

<https://www.slideshare.net/QsrRO/aguas-subterraneas-72467738>

[https://portal.uah.es/.../T4-Movimiento% 20del%20agua% 20en%20el% 20 subsuelo.pdf](https://portal.uah.es/.../T4-Movimiento%20del%20agua%20en%20el%20subsuelo.pdf)

## ANEXOS A

### Especificaciones de Soplador Comercial

MODEL	RPM	4 PSIG		6 PSIG		8 PSIG		10 PSIG		12 PSIG		15 PSIG	
		CFM	BHP	CFM	BHP	CFM	BHP	CFM	BHP	CFM	BHP	CFM	BHP
3004	2950	94	2.5	85	3.7	78	4.8	72	6.0	66	7.1	—	—
	3550	121	3.1	112	4.5	105	5.9	99	7.3	93	8.7	85	10.8
	4000	141	3.6	133	5.2	125	6.8	119	8.3	113	9.9	105	12.3
3006	2950	146	3.7	133	5.4	123	7.2	114	8.9	105	10.7	—	—
	3550	186	4.6	174	6.7	164	8.8	154	10.9	146	13.0	135	16.1
	4000	217	5.2	205	7.6	194	10.0	185	12.4	177	14.7	165	18.3
4504	1750	131	3.5	117	5.3	104	7.0	94	8.7	84	10.4	—	—
	2950	266	6.4	251	9.2	239	12.1	228	15.0	218	17.9	205	22.2
	4000	383	9.3	369	13.2	356	17.1	346	21.0	336	24.9	323	30.8
4506	1750	199	5.3	178	7.8	160	10.4	144	12.9	130	15.5	—	—
	2950	401	9.2	380	13.6	362	17.9	346	22.2	331	26.5	312	33.0
	4000	577	13.2	556	19.1	538	24.9	522	30.8	508	36.7	489	45.4
4509	1750	310	7.8	281	11.7	256	15.5	235	19.4	215	23.2	—	—
	2950	613	13.6	584	20.0	559	26.5	537	33.0	517	39.5	491	49.2
	4000	877	19.1	848	27.9	823	36.7	802	45.4	782	54.2	755	67.4
4512	1750	427	10.4	390	15.5	360	20.6	333	25.8	309	30.9	—	—
	2950	830	17.9	794	26.5	763	35.2	736	43.8	712	52.5	679	65.4
	4000	1183	24.9	1146	36.7	1116	48.4	1089	60.1	1065	71.8	1032	89.4
4518	1750	681	16.0	636	23.7	596	31.3	565	39.0	—	—	—	—
	2950	1286	28.7	1241	41.7	1203	54.6	1170	67.6	—	—	—	—
	4000	1815	42.1	1770	59.6	1732	77.2	1699	94.8	—	—	—	—
7009	1500	622	15.8	563	23.5	513	31.2	469	38.9	429	46.7	—	—
	1800	799	19.1	740	28.4	690	37.7	646	46.9	606	56.2	552	70.1
	2650	1300	29.3	1241	42.9	1191	56.5	1147	70.2	1108	83.8	1054	104.3
7012	1500	853	21.0	779	31.4	716	41.7	660	52.0	610	62.4	—	—
	1800	1090	25.4	1016	37.8	953	50.2	897	62.6	847	75.0	779	93.6
	2650	1762	38.5	1687	56.8	1624	75.0	1569	93.3	1519	111.5	1451	138.9
7015	1500	1088	26.0	1002	38.8	929	51.6	866	64.5	808	77.3	—	—
	1800	1382	31.4	1296	46.8	1223	62.2	1160	77.5	1102	92.9	1024	116.0
	2650	2215	47.3	2129	69.9	2056	92.6	1993	115.2	1935	137.9	1857	171.8
7018	1500	1322	31.2	1221	46.7	1136	62.1	1061	77.5	993	93.0	902	116.1
	1800	1676	37.7	1575	56.2	1490	74.7	1415	93.2	1347	111.8	1256	139.5
	2650	2679	56.5	2578	83.8	2493	111.1	2418	138.3	2350	165.6	2259	206.5
7023	1500	1709	41.9	1584	61.6	1479	81.4	1386	101.1	1303	120.9	—	—
	1800	2162	51.5	2037	75.2	1932	98.9	1839	122.6	1756	146.3	—	—
	2600	3370	80.8	3245	115.0	3140	149.2	3047	183.5	2964	217.7	—	—
7028	1500	2094	51.4	1944	75.4	1818	99.5	1707	123.6	—	—	—	—
	1800	2646	63.4	2496	92.2	2370	121.1	2259	150.0	—	—	—	—
	2600	4118	100.3	3968	142.0	3842	183.8	3731	225.5	—	—	—	—

## ANEXO B

### ESPECIFICACIONES DE BOMBA DE VACÍO

### TECHNICAL SPECIFICATIONS AWS 180-5500

	AWS 180	AWS 280	AWS 360	AWS 450	AWS 600	AWS 800	AWS 1100	AWS 1300	AWS 1600	AWS 2500	AWS 3300	AWS 5500
<b>50 Hz</b>												
Nominal capacity (m <sup>3</sup> /h)	170	250	325	440	600	725	1100	1200	1500	2460	3000	5400
Ultimate pressure (mbar(a))	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Nominal installed motor (kW)	5.5	75	11	15	18.5	22	37	37	45	75	75	132
Approximate block dimensions (W x D x H) (mm)	638 x 275 x 645	741 x 275 x 645	795 x 275 x 645	807 x 330 x 745	885 x 330 x 745	975 x 430 x 985	1095 x 430 x 985	1131 x 430 x 985	1237 x 570 x 1245	1387 x 570 x 1245	1585 x 870 x 1360	1745 x 1000 x 1570
Dry weight (kg)	141	199	208	299	311	580	650	682	1166	1324	2120	2285
<b>60 Hz</b>												
Nominal capacity (cfm)	118	182	224	309	406	515	736	824	1059	1735	2060	3461
Ultimate pressure (torr)	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Nominal installed motor (hp)	10	15	20	25	30	40	60	60	75	125	125	250
Approximate block dimensions (W x D x H) (inch)	25 x 11 x 25	29 x 11 x 25	31 x 11 x 25	32 x 13 x 29	35 x 13 x 29	38 x 17 x 39	43 x 17 x 39	45 x 17 x 39	49 x 22 x 49	55 x 22 x 49	62 x 34 x 54	69 x 39 x 62
Dry weight (lbs)	311	439	456	659	686	1279	1433	682	1504	2919	4674	5038

# ANEXO C

## CARTA CIHAM UC.



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
CENTRO DE INVESTIGACIONES HIDROLOGICAS Y AMBIENTALES  
(CIHAM-UC)



CIHAM-050-16

Bárbula, 30 de junio de 2016

Ciudadano  
Geog. Lucas Fernández  
Director Estatal de Ecosocialismo y Agua  
Estado Carabobo  
Presente.-

Atención: Ing. MSc. Víctor Carrillo  
Departamento de Gestión Ecosocialista de Aguas

Reciba un cordial saludo, mediante la presente me dirijo a usted para solicitar de su buen oficio el apoyo para la realización del trabajo especial de grado que desarrollará el Ing. Abel Rodríguez, C.I.: 84.599.382 conducente a título de Magister en Ingeniería Ambiental otorgado por la Universidad de Carabobo; siendo asesorado por la Dra. Adriana Márquez, como tutor académico. El Trabajo Especial de Grado se titula:

### “ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DE ALTERNATIVAS DE REMEDIACIÓN PARA EL ACUIFERO DEL SECTOR LA GUACAMAYA, MUNICIPIO VALENCIA, ESTADO CARABOBO”

Así mismo, quiero expresar que deseamos trabajar en equipo con el personal del Ministerio de Ecosocialismo y Agua y la empresa de consultoría ambiental HIDROLAB-TORO C.A. En este sentido; solicitamos que se otorgue autorización para los siguientes aspectos: 1) el Ing. MSc. Víctor Carrillo sea Tutor Empresarial, 2) la empresa HIDROLAB-TORO suministre los registros históricos de calidad de agua subterránea de los pozos con fines de consumo humano e industrial que se encuentran en el sector La Guacamaya, 3) acceso a la base de datos de pozos subterráneos que posea el Ministerio de Ecosocialismo y Aguas, y 4) acompañamiento y guía del personal técnico del Ministerio de Ecosocialismo y Agua para realizar el monitoreo de parámetros físico-químicos en los pozos del acuífero. Cabe destacar que, el CIHAM UC contribuirá con un equipo para medir los niveles de las aguas en los pozos, al menos una vez al mes durante el tiempo que se desarrolle el estudio. Se estima que el estudio abarque un periodo de un año. Uniendo la información de calidad de agua con la derivada de variables hidráulicas será posible estimar el transporte y la transformación de los contaminantes en el acuífero; lo que permitirá proponer alternativas de remediación para el acuífero del Sector La Guacamaya, Municipio Valencia, Estado Carabobo.

Finalmente, una vez concluido el estudio me comprometo a suministrar el documento en texto y presentación en formato digital; contribuyendo al desarrollo del país en el área ecosocialista.

Agradeciendo la atención y apoyo brindado, les saluda

Atentamente,

Adriana Márquez, Ing. MSc. Ph.D.  
C.I. 24.294.007  
Profesor de Ingeniería Civil y Ambiental  
Jefe del Departamento de Ingeniería Ambiental  
Coordinador del Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales (CIHAM-UC)  
Universidad de Carabobo  
Valencia, Venezuela  
Telef. 58-241-8672829/8427929  
Movil 58-414 4165856  
E. Mail: ammarquez@uc.edu.ve; ammarquez@cihamuc.com.ve; adriana@cihamuc.com.ve  
Dirección web: <http://www.cihamuc.com.ve>

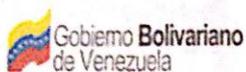


MINISTERIO DEL PODER EJECUTIVO VENEZOLANO	
DIRECCIÓN ESTADAL DE INGENIERÍA Y SERVICIOS DE AGUAS	
REGISTROS	
NOMBRE Y APELLIDO:	Carl Rodríguez
FECHA:	30 de JUNIO 2016
HORA:	
Nº DE CONTROL:	70-1671

Venezuela. Estado Carabobo. Municipio Naguanagua. Av. Universidad. Facultad de Ingeniería. Universidad de Carabobo. Teléfonos: 58-241-8672829

## ANEXO D

# PLANILLA DE INVENTARIO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS



Gobierno Bolivariano de Venezuela | Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas



PLANILLA DE INVENTARIO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

		HOJA CARTOGRAFICA	COORDENADAS		HOJA	G.P.S
IDENTIFICACION	FECHA DE INVENTARIO	UTM.	NORTE	ESTE		
P2	26-05-2017		121957	606313		
ESTADO	MUNICIPIO	ELEVACION: 464 m				
PROPIETARIO	LUGAR O SITIO	TEMPERATURA: _____ m				
Carabobo	Unidad Educativa Santa Ana					

CROQUIS DE UBICACIÓN

FECHA DE CONSTRUCCION:	
COMPANIA:	
DIRECCION:	
TELEFONO:	
N° ORIGINAL:	
N° MODIFICADO:	
FECHA:	
PROFUNDIDAD DEL POZO	150
PERFORADA	DIAMETRO:
ENTURBADA	DIAMETRO:

PERTENECE A LA RED: SI  NO

TIENE PLACA DE IDENTIFICACION: SI  NO

N°: \_\_\_\_\_

ESTADO ACTUAL DEL POZO

ACTIVO:  NO ACTIVO

TIEMPO SIN FUNCIONAR: \_\_\_\_\_

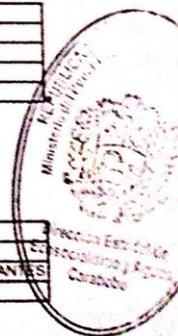
MOTIVO: \_\_\_\_\_

USO DEL AGUA	
INDUSTRIAL	
ABASTECIMIENTO POBLAC	
COMERCIAL	
AGRICOLA	

NIVELES			
ESTATICO	DINAMICO	CAUDAL (l/s)	FECHA
INFORMACION EL CAMPO:	26,20 l/s		26-05-2017
INFORMACION VERBAL:			

UBICACIÓN DE LOS FILTROS					
1		2		3	
DESDE	ANTES	DESDE	ANTES	DESDE	ANTES

MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES (MARN)



PLANILLA DE INVENTARIO DE AGUAS SUBTERRANEAS

IDENTIFICACION		HOJA CARTOGRAFICA	COORDENADAS		HOJA	G.P.S
P5			UTM.	NORTE	ESTE	
02-06-2017				1222440	1605752	
ESTADO	MUNICIPIO	ELEVACION:		475 m		
PROPIETARIO:	LUGAR O SITIO:	TEMPERATURA:		m		
ENCAYA	Dector La Felicidad					

CROQUIS DE UBICACIÓN

FECHA DE CONSTRUCCION:	
COMPAÑIA:	
DIRECCION:	
TELEFONO:	
N° ORIGINAL:	
N° MODIFICADO:	
FECHA:	
PROFUNDIDAD DEL POZO:	
PERFORADA:	DIAMETRO
ENTURBADA:	DIAMETRO

PERTENECE A LA RED: SI:  NO:

TIENE PLACA DE IDENTIFICACION: SI:  NO:

N°: \_\_\_\_\_

ESTADO ACTUAL DEL POZO:

ACTIVO:  NO ACTIVO:

TIEMPO SIN FUNCIONAR: \_\_\_\_\_

MOTIVO: \_\_\_\_\_

USO DEL AGUA	
INDUSTRIAL:	<input type="checkbox"/>
ABASTECIMIENTO POBLAC:	<input checked="" type="checkbox"/>
COMERCIAL:	<input type="checkbox"/>
AGRICOLA:	<input type="checkbox"/>

	NIVELES			FECHA
	ESTATICO	DINAMICO	CAUDAL (l/s)	
INFORMACION EL CAMPO:				
INFORMACION VERBAL:				

UBICACIÓN DE LOS FILTROS					
1		2		3	
DESDE	ANTES	DESDE	ANTES	DESDE	ANTES

MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES (MARN)



PLANILLA DE INVENTARIO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

IDENTIFICACION		HOJA CARTOGRAFICA	COORDENADAS		HOJA	G.P.S
FECHA DE INVENTARIO		UTM	NORTE	ESTE		
ESTADO			340305E	90617		
MUNICIPIO		ELEVACION		408		m
LUGAR O SITIO		TEMPERATURA				m
PROPIETARIO						
DETALLE						

CROQUIS DE UBICACION

FECHA DE CONSTRUCCION	
COMPANIA	
DIRECCION	
TELEFONO	
N° ORIGINAL	
N° MODIFICADO	
FECHA	
PROFUNDIDAD DEL POZO	
PERFORADA	DIAMETRO
ENTURBADA	DIAMETRO

PERTENECE A LA RED: SI  NO

TIENE PLACA DE IDENTIFICACION: SI  NO

N° \_\_\_\_\_

ESTADO ACTUAL DEL POZO

ACTIVO  NO ACTIVO

TIEMPO SIN FUNCIONAR \_\_\_\_\_

MOTIVO: \_\_\_\_\_

USO DEL AGUA	
INDUSTRIAL	<input checked="" type="checkbox"/>
ABASTECIMIENTO POBLAC	<input type="checkbox"/>
COMERCIAL	<input type="checkbox"/>
AGRICOLA	<input type="checkbox"/>

INFORMACION EL CAMPO	NIVELES			FECHA
	ESTATICO	DINAMICO	CAUDAL (l/s)	
INFORMACION VERSAL		4.15 m		02-06-2017

UBICACION DE LOS FILTROS					
1		2		3	
DESDE	ANTES	DESDE	ANTES	DESDE	ANTES

MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES (MARN)



PLANILLA DE INVENTARIO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

IDENTIFICACION	FECHA DE INVENTARIO	HOJA CARTOGRAFICA	COORDENADAS		HOJA	G.P.S
			UTM.	NORTE		
P6	02-04-2017			1122727	606094	
ESTADO: <u>Carabobo</u>	MUNICIPIO: <u>Valencia</u>			ELEVACION:	<u>492</u>	m
PROPIETARIO: <u>CABEL</u>	LUGAR O SITIO: <u>Depto. P. Florida</u>			TEMPERATURA:		m

CROQUIS DE UBICACIÓN

FECHA DE CONSTRUCCION	
COMPANIA:	
DIRECCION:	
TELEFONO:	
N° ORIGINAL:	
N° MODIFICADO:	
FECHA:	
PROFUNDIDAD DEL POZO	
PERFORADA:	DIAMETRO:
ENTURBADA:	DIAMETRO:

PERTENECE A LA RED: SI:  NO:

TIENE PLACA DE IDENTIFICACION: SI:  NO:

N°: \_\_\_\_\_

ESTADO ACTUAL DEL POZO:

ACTIVO:  NO ACTIVO:

TIEMPO SIN FUNCIONAR: \_\_\_\_\_

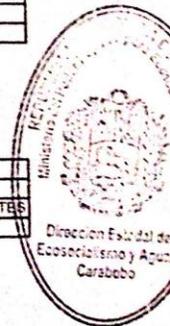
MOTIVO: \_\_\_\_\_

USO DEL AGUA	
INDUSTRIAL:	<input checked="" type="checkbox"/>
ABASTECIMIENTO POBLAC:	<input type="checkbox"/>
COMERCIAL:	<input type="checkbox"/>
AGRICOLA:	<input type="checkbox"/>

	NIVELES			
	ESTATICO	DINAMICO	CAUDAL (l/s)	FECHA
INFORMACION EL CAMPO:				
INFORMACION VERBAL:				

UBICACIÓN DE LOS FILTROS					
1		2		3	
DESDE	ANTES	DESDE	ANTES	DESDE	ANTES

MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES (MARN)



PLANILLA DE INVENTARIO DE AGUAS SUBTERRANEAS

		HOJA CARTOGRAFICA	COORDENADAS		HOJA	GPS
		UTM	NORTE	ESTE		
IDENTIFICACION	FECHA DE INVENTARIO		442314	164230		
PH	2-0-2017					
ESTADO	MUNICIPIO	ELEVACION <u>491</u> m				
PROPIETARIO	LUGAR O SITIO	TEMPERATURA _____ m				

CIRCULO DE UBICACION

FECHA DE CONSTRUCCION	
COMPANIA	
DIRECCION	
TELEFONO	
N° ORIGINAL	
N° MODIFICADO	
FECHA	
PROFUNDIDAD DEL POZO	<u>24</u>
PERFORADA	DIAMETRO
ENTURBADA	DIAMETRO

PERTENECE A LA RED SI:  NO:

TIENE PLACA DE IDENTIFICACION N° SI:  NO:

ESTADO ACTUAL DEL POZO

ACTIVO  NO ACTIVO

TIEMPO SIN FUNCIONAR \_\_\_\_\_

MOTIVO \_\_\_\_\_

USO DEL AGUA	
INDUSTRIAL	
ABASTECIMIENTO POBLAC	
COMERCIAL	
AGRICOLA	

INFORMACION EL CAMPO	NIVELES			FECHA
	ESTATICO	DINAMICO	CALIDAD (mg/l)	
INFORMACION VERBAL				

UBICACION DE LOS FILTROS				
DESDE	ANTES DESDE	2	ANTES DESDE	3

MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES (MARN)



PLANILLA DE INVENTARIO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

IDENTIFICACION	FECHA DE INVENTARIO	HOJA CARTOGRAFICA		COORDENADAS		HOJA	G.P.S
		UTM	NORTE	ESTE			
P-2	26-05-2017		1193042	837024			

ESTADO	MUNICIPIO	ELEVACION	480	m
PROPIETARIO	LUGAR O SITIO	TEMPERATURA		m
Alfonso Torres	Las Fuentes			

CROQUIS DE UBICACIÓN

FECHA DE CONSTRUCCION	
COMPANIA	
DIRECCION	
TELEFONO	
N° ORIGINAL	
N° MODIFICADO	
FECHA	
PROFUNDIDAD DEL POZO	24m
PERFORADA	DIAMETRO
ENTURBADA	DIAMETRO

PERTENECE A LA RED: SI  NO

TIENE PLACA DE IDENTIFICACION: SI  NO

N°: \_\_\_\_\_

ESTADO ACTUAL DEL POZO:

ACTIVO:  NO ACTIVO:

TIEMPO SIN FUNCIONAR: 9 meses

MOTIVO: Falta de agua de pombas y de carbón

USO DEL AGUA	
INDUSTRIAL	
ABASTECIMIENTO POBLAC.	
COMERCIAL	
AGRICOLA	

INFORMACION EL CAMPO	NIVELES			FECHA
	ESTATICO	DINAMICO	CAUDAL (m³)	
INFORMACION VERBAL:	11.40			26-05-2017

UBICACIÓN DE LOS FILTROS					
	1		2		3
DESDE	ANTES	DESDE	ANTES	DESDE	ANTES

MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES (MARN)



**ANEXO E**  
**INFORME HIDROLAB TORO**

## **Hidrolab Toro Consultores, C.A.**

RIE: J-07584620-6

CALIDAD DE AIRE, EMISIONES ATMOSFÉRICAS, DESECHOS PELIGROSOS,  
HIGIENE OCUPACIONAL, AGUAS Y EFLUENTES INDUSTRIALES.  
Registrado en el M.P.P.A. - N° 02-038

Valencia, 27 de Junio del 2017.

Señores:  
**MINISTERIO DEL PODER POPULAR PARA  
ECOSOCIALISMO Y AGUAS (MINEA)**  
Valencia, Edo. Carabobo.

Atn.: Ing. Abel Rodríguez.  
Ref.: MPP-001-FQ-2017.

Estimados Señores:

Nos es grato dirigirnos a ustedes en la oportunidad de reportarles los resultados de los **Análisis de Compuestos Orgánicos Volátiles y Gasolina**, realizados a siete (07) muestras de Aguas Blancas, que se capturaron los días **26 de Mayo y 02 de Junio de 2017** en Valencia, Edo. Carabobo.

### 1. OBSERVACIONES.

#### **1.1. De Campo:**

Las muestras fueron suministradas por el personal técnico del Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo Y Aguas (Minea).

#### **1.2. Laboratorio:**

Los análisis se efectuaron aplicando los **Métodos de Ensayos sin problemas de interferencias.**

**CARACTERIZACIONES, PROYECTOS Y SISTEMAS DE CONTROL AMBIENTAL**

Calle Silva N° 102 - 66 La Candelaria Edif. Hielto El Polo, entre Montes de Oca y Carabobo, Valencia, Edo. Carabobo  
Teléfonos: (0241) 836.02.34 - 831.26.30 - 835.45.61 - 835.55.64 - 836.04.98. Telefax: (0241) 831.29.74  
E-mail: hidrolab@telcel.net.ve - hidrolab@cantv.net



## 2. OPINIONES E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

*Las opiniones e interpretaciones que se indican a continuación se encuentran fuera del alcance de la Acreditación de la Norma ISO/IEC 17025:2005, "Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración", otorgada por la Dirección de Conformidad con Norma de SENCAMER.*

Los resultados son comparados con la Gaceta Oficial N° 36.395, N° Sg 018-98 del 11 de Febrero de 1.998, Capítulo III, artículo 14 sobre las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable del M.S.A.S.

De acuerdo a los parámetros analizados se observo lo que a continuación se detalla:

- a) Las muestras P3 Familia Salas Moreno (UTM. N: 1123042 E: 607024), P4 Carnicería Los Caobos (UTM. N: 1123114 E: 607239), P5 Encava (UTM. N: 1222410 E: 605752), P6 Cabel (UTM. N: 1122727 E: 606091) y P7 Cerámicas Carabobo (UTM. N: 1123057 E: 606617) se detecto Gasolina, la cual se difunde en el agua a diferentes concentraciones por las condiciones propias de cada uno de los pozos. Aunque este parámetro no se encuentra reglamentado en la Gaceta Oficial N° 36.395, es totalmente nocivo para la Salud.
- b) Con respecto al resto de los análisis de compuestos orgánicos realizados a las P3 Familia Salas Moreno (UTM. N: 1123042 E: 607024), P4 Carnicería Los Caobos (UTM. N: 1123114 E: 607239), P5 Encava (UTM. N: 1222410 E: 605752), P6 Cabel (UTM. N: 1122727 E: 606091) y P7 Cerámicas Carabobo (UTM. N: 1123057 E: 606617) presentan valores superiores a los límites establecidos en la Gaceta Oficial N° 36.395, Resolución SG-018-98, artículo 14, cuadro 4. por tanto, se consideran estas aguas, en su contenido de *compuestos orgánicos*, **No Aptas para el Consumo Humano.**
- c) En las muestras P1 E/S El Prado (UTM. N: 1123202 E: 606940) y P2 Escuela Santa Ana (UTM. N: 1121957 E: 606713) no se detectó Benceno, Tolueno, Xileno ni Gasolina.

## 3. ASEGURAMIENTO DE CALIDAD.

Las muestras son analizadas en concordancia con lo establecido en el **Standard Methods**, y la **Norma Internacional ISO/IEC 17025:2005**, analizando al menos el 10% de las muestras por duplicado. En cada corrida



analítica son utilizados materiales de referencia o patrones certificados con trazabilidad, los cuales de acuerdo al Procedimiento de Verificación de Ensayos MP-06-0, deben presentar un error inferior al 10% a fin de garantizar la exactitud y precisión de los ensayos efectuados.

#### 4. BIBLIOGRAFÍA.

1. Arboleda, J. *Teoría y Práctica de la Purificación del Agua*, Editorial Mc Graw Hill, 3 Ed, 2.000, Santa Fe de Bogotá, Colombia.
2. Clesceri, L., Eaton A. y Greenberg, A. *Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater*, Editorial American Public Health Association, 22Ed, 2.012, Maryland, United States of America.
3. Gaceta Oficial de la República de Venezuela 36.395, *Decreto Presidencial SG-018-98*, 1.998, Caracas, Venezuela.
4. Letterman, R., *Calidad y Tratamiento del Agua*, Editorial Mc Graw Hill, 5 Ed, 2.002, Madrid, España.

Sin otro particular a que hacer referencia y quedando a sus gratas ordenes para cualquier aclaratoria adicional, nos suscribimos de Ustedes.

Atentamente,  
Por, HIDROLAB TORO CONSULTORES, C.A.

  
MSc. Miguel Mura V.  
Director Gerente y Técnico.

Este informe no debe ser reproducido total o parcialmente sin una autorización escrita por HIDROLAB TORO CONSULTORES, C.A y MINISTERIO DEL PODER POPULAR PARA ECOSOCIALISMO Y AGUAS (MINEA).

MW/as.

Calle Silva entre Av. Montes de Oca y Carabobo, Edif. Hielo El Polo, Local C, La Candelaria, Valencia -Edo. Carabobo, Venezuela. Telf.: (0241) 831 26 30 - 835 45 61. Fax: (0241) 831 26 74. e-mail: [hidrolab@telcel.net.ve](mailto:hidrolab@telcel.net.ve) / [hidrolab@cantv.net](mailto:hidrolab@cantv.net)

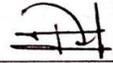
Fecha de Elaboración:  
27 de Junio de 2017

Página 3 de 10



**ANÁLISIS DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES Y  
GASOLINA EN MUESTRAS DE AGUA BLANCA PARA  
EL MINISTERIO DEL PODER POPULAR PARA  
ECOSOCIALISMO Y AGUAS (MINEA)**

**Personal que participó en la elaboración del Informe Técnico**

Participante	Cargo	Responsabilidad	Firma
<b>Miguel Mura V.</b> Magíster en Ingeniería Ambiental.	Director Gerente y Técnico.	Efectúa la aprobación final del informe.	
<b>Omaira Castillo</b> Técnico Medio en Química.	Jefe Dpto. de Agua y Desechos	Revisa e Interpreta los resultados de acuerdo a las normas Técnicas Ambientales	



**TABLA I**  
**PRESERVACIÓN DE LAS MUESTRAS**

DETERMINACIÓN	ENVASE	VOL. MÍNIMO DE MUESTRA (ml)	PRESERVACIÓN	PERÍODO MÁX. DE ALMACENAMIENTO
pH	P,V	200	Analice Inmediatamente.	2 h.
SÓLIDOS	P,V	1000	Refrigerar.	7 días.
DUREZA	P,V	100	Añada HNO <sub>3</sub> a pH<2	6 meses
ALCALINIDAD	P,V	200	Refrigerar.	24 h.
CONDUCTIVIDAD	P,V	500	Refrigerar.	28 días
NITRITOS, NITRATOS	P,V	100	Analice pronto o refrigere	48 h.
CLORURO, FLORURO, SULFATOS	P,V	150	No Requiere	28 días
METALES EN GENERAL	P,V (A)	2000	Para metales disueltos filtre inmediatamente. Añada HNO <sub>3</sub> a pH < 2.	6 meses
COMPUESTOS ORGÁNICOS	Vial ambar	40	Refrigerar.	1 mes
CARBAMATOS	Vial ambar	40	CHIORAC buffer 1,2 mg y 5 mg de tiosulfato de sodio	1 mes
BACTERIOLOGÍA	P,V	250	Refrigerar. Analice de Inmediato	24 h.
TEMPERATURA	P,V	-	Determinar en el sitio de muestreo.	0,5 h.
COLORO RESIDUAL	P,V	500	Analice Inmediatamente.	0,5 h.

(A) = Envase enjuaguado con Ácido Nítrico 1 + 1.

P = Plástico.

V = Vidrio.

+ Refrigerado = Almacenamiento a 4 °C, en la oscuridad.

Calle Silva entre Av. Montes de Oca y Carabobo, Edif. Hielo El Polo, Local C. La Candelaria. Valencia –Edo. Carabobo.  
 Venezuela. Telf.: (0241) 831.26.30 – 835.45.61. Fax: (0241) 831.28.74. e-mail: [hidrolab@telcel.net.ve](mailto:hidrolab@telcel.net.ve) / [hidrolab@cantv.net](mailto:hidrolab@cantv.net)

Fecha de Elaboración:  
 27 de Junio de 2017

Página 5 de 10



COMPONENTES ORGÁNICOS

EMPRESA: Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas (MINEA).

DIRECCIÓN: Valencia, Edo. Carabobo.

I. IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:

Muestra N° 1: P1 E/S El Prado (UTM. N: 1123202 E: 606940).

Muestra N° 2: P2 Escuela Santa Ana (UTM. N: 1121957 E: 606713).

Fecha de captación: 26 de Mayo de 2017

Hora de captación: 10:20 a.m. a 12:50 p.m.

Fecha de análisis: 26-05-2017 al 12-06-2017

II. CONDICIONES AMBIENTALES DEL LABORATORIO.

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
TEMPERATURA	°C	25
HUMEDAD RELATIVA	%	39

III.- RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO.

PARÁMETROS	UNIDAD	MUESTRA N° 1	MUESTRA N° 2	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE (1)	MÉTODO (2)	LÍMITE DE DETECCIÓN
Benceno	µg/L	<0,05	<0,05	10	6200 C	0,05
Tolueno	µg/L	<0,05	<0,05	700	6200 C	0,05
Xileno	µg/L	<0,05	<0,05	500	6200 C	0,05

CUMPLE

INCUMPLE

(1) Reglamentado según Gaceta Oficial N° 36.395, N° Sg-018-98 del año 1.998, artículo 14.

(2) Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater 22 st. Edición of 2 012.

OBSERVACIONES: Estas muestras fueron analizadas sin dilución.

Calle Silva entre Av. Montes de Oca y Carabobo, Edif. Hielo El Polo, Local C. La Candelaria. Valencia –Edo. Carabobo.  
Venezuela. Telf.: (0241) 831.26.30 – 835.45.61. Fax: (0241) 831.28.74. e-mail: [hidrolab@telcel.net.ve](mailto:hidrolab@telcel.net.ve) / [hidrolab@cantv.net](mailto:hidrolab@cantv.net)

Fecha de Elaboración:  
27 de Junio de 2017

Página 6 de 10



**COMPONENTES ORGÁNICOS**

**EMPRESA:** Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas (MINEA).  
**DIRECCIÓN:** Valencia, Edo. Carabobo.

**I. IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:**

**Muestra N° 3:** P3 Familia Salas Moreno (UTM. N: 1123042 E: 607024).  
**Muestra N° 4:** P4 Carnicería Los Caobos (UTM. N: 1123114 E: 607239).

**Fecha de captación:** 26 de Mayo de 2017  
**Hora de captación:** 10:20 a.m. a 12:50 p.m.  
**Fecha de análisis:** 26-05-2017 al 12-06-2017

**II. CONDICIONES AMBIENTALES DEL LABORATORIO.**

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
TEMPERATURA	°C	25
HUMEDAD RELATIVA	%	39

**III.- RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO.**

PARÁMETROS	UNIDAD	MUESTRA N° 3	MUESTRA N° 4	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE (1)	MÉTODO (2)	LÍMITE DE DETECCIÓN
Benceno	µg/L	159223	93112	10	6200 C	0,05
Tolueno	µg/L	5820	1331	700	6200 C	0,05
Xileno	µg/L	<0,05	<0,05	500	6200 C	0,05

CUMPLE

INCUMPLE

(1) Reglamentado según Gaceta Oficial N° 36.395, N° Sg-018-98 del año 1.998, artículo 14.

(2) Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater 22 st. Edición of 2.012.

OBSERVACIONES: Estas muestras fueron analizadas sin dilución.



**COMPONENTES ORGÁNICOS**

**EMPRESA:** Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas (MINEA).

**DIRECCIÓN:** Valencia, Edo. Carabobo.

**I. IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:**

**Muestra N° 1:** P1 E/S El Prado (UTM. N: 1123202 E: 606940).

**Muestra N° 2:** P2 Escuela Santa Ana (UTM. N: 1121957 E: 606713).

**Muestra N° 3:** P3 Familia Salas Moreno (UTM. N: 1123042 E: 607024).

**Muestra N° 4:** P4 Carnicería Los Caobos (UTM. N: 1123114 E: 607239).

**Fecha de captación:** 26 de Mayo de 2017

**Hora de captación:** 10:20 a.m. a 12:50 p.m.

**Fecha de análisis:** 26-05-2017 al 12-06-2017

**II. CONDICIONES AMBIENTALES DEL LABORATORIO.**

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
TEMPERATURA	°C	25
HUMEDAD RELATIVA	%	39

**III.- RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE GASOLINA.**

PARÁMETROS	UNIDAD	MUESTRA N° 1	MUESTRA N° 2	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE (1)	MÉTODO (2)
Gasolina	mg/L	<0,01	<0,01	N.R.	EPA 556.1

PARÁMETROS	UNIDAD	MUESTRA N° 3	MUESTRA N° 4	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE (1)	MÉTODO (2)
Gasolina	mg/L	35840	7539	N.R.	EPA 556.1

Factores de conversión de unidades de concentración:

10000 mg/L = 1 %p/v = 1g/100 mL

**CUMPLE**

**INCUMPLE**

(1) Reglamentado según Gaceta Oficial N° 36.395, N° Sg-018-98 del año 1.998, artículo 14.

(2) USEPA

OBSERVACIONES: Estas muestras fueron analizadas sin dilución.



**COMPONENTES ORGÁNICOS**

EMPRESA: Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas (MINEA).  
DIRECCIÓN: Valencia, Edo. Carabobo.

**I. IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:**

Muestra N° 1: P5 Encava (UTM: N: 1222410 E: 606752).  
Muestra N° 2: P6 Cabel (UTM: N: 1122727 E: 606091).  
Muestra N° 3: P7 Cerámicas Carabobo (UTM: N: 1123057 E: 606617).

Fecha de captación: 02 de Junio de 2017  
Hora de captación: 03:03 p.m.  
Fecha de análisis: 02-06-2017 al 12-06-2017

**II. CONDICIONES AMBIENTALES DEL LABORATORIO.**

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
TEMPERATURA	°C	24
HUMEDAD RELATIVA	%	52

**III.- RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO.**

PARÁMETROS	UNIDAD	MUESTRA N° 1	MUESTRA N° 2	MUESTRA N° 3	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE (1)	MÉTODO (2)	LÍMITE DE DETECCIÓN
Benceno	µg/L	17577,5	8755,1	3351,3	10	6200 C	0,05
Tolueno	µg/L	0,18	<0,05	<0,05	700	6200 C	0,05
Xileno	µg/L	<0,05	<0,05	<0,05	500	6200 C	0,05

CUMPLE

INCUMPLE

(1) Reglamentado según Gaceta Oficial N° 36.395, N° Sg-018-98 del año 1.998, artículo 14.

(2) Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater 22 st. Edición of 2.012.

OBSERVACIONES: Estas muestras fueron analizadas sin dilución.



COMPONENTES ORGÁNICOS

EMPRESA: Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas (MINEA)

DIRECCIÓN: Valencia, Edo. Carabobo.

I. IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:

Muestra N° 1: P5 Encava (UTM. N. 1222410 E. 605752)

Muestra N° 2: P6 Cabel (UTM. N. 1122727 E. 606091).

Muestra N° 3: P7 Cerámicas Carabobo (UTM. N. 1123057 E. 606617).

Fecha de captación: 02 de Junio de 2017

Hora de captación: 03:03 p.m.

Fecha de análisis: 02-06-2017 al 12-06-2017

II. CONDICIONES AMBIENTALES DEL LABORATORIO.

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
TEMPERATURA	°C	24
HUMEDAD RELATIVA	%	52

III.- RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE GASOLINA.

PARÁMETROS	UNIDAD	MUESTRA N° 1	MUESTRA N° 2	MUESTRA N° 3	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE (1)	MÉTODO (2)	LÍMITE DE DETECCIÓN
Gasolina	mg/L	451,3	55,1	115,2	N.R.	EPA 556.1	0,1

CUMPLE

INCUMPLE

(1) Reglamentado según Gaceta Oficial N° 36.395, N° Sg-018-98 del año 1 998, artículo 14.

(2) USEPA

OBSERVACIONES: Estas muestras fueron analizadas sin dilución.



## **ANEXOS**

- ✓ Cadena de Custodia (Registros de Campo)
- ✓ Permisología del Ministerio de Ecosocialismo y Aguas (Ver Página  
Web: [www.hidrolab.com.ve](http://www.hidrolab.com.ve))
- ✓ Certificados de Calibración (Ver Página Web: [www.hidrolab.com.ve](http://www.hidrolab.com.ve))
- ✓ Acreditación del Laboratorio bajo la Norma ISO 17025:2005 (Dicha  
Acreditación Aplica solo para los Parámetros en ella Indicados.)  
(Ver Página Web: [www.hidrolab.com.ve](http://www.hidrolab.com.ve))

**HIDROLAB TORO CONSULTORES, C.A.**

EMPRESA: MINEA - UC  
 CIUDAD: Valencia, estado Carabobo  
 RECAUDADO POR: Abel Rodriguez

# 28908

COTIZACION Ref. N°

**REGISTRO DE CADENA DE CUSTODIA**

FECHA: 26/05/2017. PÁG. 01 DE 02

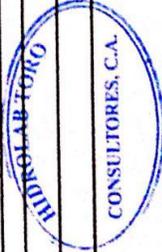
C O D I G O	MUESTRA DE CAMPO ID.	TIPO DE CAPTACION		H O R A	N° DE ENVASES	PARAMETROS	PRESERVACION
		COMP.	SIMP.				
01	P1. E/S El Prado		<input checked="" type="checkbox"/>	10:20	01	BTX	Envase plástico 250 mL + refrigeración + papel aluminio
	UTM N: 1123202						
	E: 606940		<input checked="" type="checkbox"/>	11:00	01		Envase plástico 250 mL + refrigeración + papel aluminio
02	P2. Escuela Santa Ana						
	UTM N: 1121957						
	E: 606713		<input checked="" type="checkbox"/>	11:00	01		Envase plástico 250 mL + refrigeración + papel aluminio
03	P3. Familia Sals Moreno		<input checked="" type="checkbox"/>				
	UTM N: 1123042						
	E: 607024						

REQUERIDO POR: Abel Rodriguez      FECHA: 26/05/2017      HORA: 1:30 p.m.

SOLO PARA USO DEL LABORATORIO

RECIBIDO EN EL LAB. POR: Ely Diaz      FECHA: 26/05/17      HORA:      TEMP. °C      SELLO #      CONDICIÓN DE RECEPCIÓN

OBSERVACIONES:



RCL-01-1  
 FE: 12/01/99  
 FU: 21/11/94/02  
 N° REV: 2



**HIDROLAB TORO CONSULTORES, C.A.**

EMPRESA: MINEA - UJC  
 CIUDAD: Nolencia, Es-tado Carabobo  
 RECAUDADO POR: Abel Rodríguez

COTIZACIÓN Ref. N° \_\_\_\_\_  
**REGISTRO DE CADENA DE CUSTODIA**

FECHA: 02 / 06 / 17 . PÁG. \_\_\_\_\_ DE \_\_\_\_\_

# 28915

C O D I G O	MUESTRA DE CAMPO I.D.	TIPO DE CAPTACIÓN		H O R A	N° DE ENVASES	PARÁMETROS					PRESERVACIÓN	
		COMP.	SIMP.			BTX Vegetal						
01	P5		✓		01	X						Envase plástico 250 ml + refrigeración + papel aluminio
	ENCENA											
	UTH: N: 1222410											
	E: 605 352											
02	P6		✓		01	X						Envase plástico 250 ml + refrigeración + papel aluminio
	CABEL											
	UTH: N: 1122727											
	E: 606 091											
03	P7		✓		01	X						Envase plástico 250 ml + refrigeración + papel aluminio
	Terminación Carabobo											
	UTH: N: 1123057											
	E: 606 017											

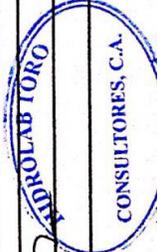
REQUERIDO POR: \_\_\_\_\_ FECHA: 02-06-17 HORA: 3:03 pm

**SOLO PARA USO DEL LABORATORIO**

RECIBIDO EN EL LAB. POR: Ey Díaz FECHA: 02/06/17 HORA: 03:10 p.m. SELLO # \_\_\_\_\_ TEMP °C \_\_\_\_\_

CONDICIÓN DE RECEPCIÓN: \_\_\_\_\_

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_



RCL-01-1

FE: 12/01/09  
 FUR: 13/06/02  
 N REV: 2

**ANEXO F**  
**RESUMEN FOTOGRÁFICO DE TRABAJO DE CAMPO**

