

EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE REMEDIACIÓN PARA EL ACUÍFERO LA GUACAMAYA, MUNICIPIO VALENCIA, ESTADO CARABOBO USANDO LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL MODEL MUSE.

Abel A. Rodríguez S. Ingeniero,
Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental,
Universidad de Carabobo, Venezuela.

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.

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 Aspersion 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.

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 sub cuenca, 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 Satélite 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.

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.

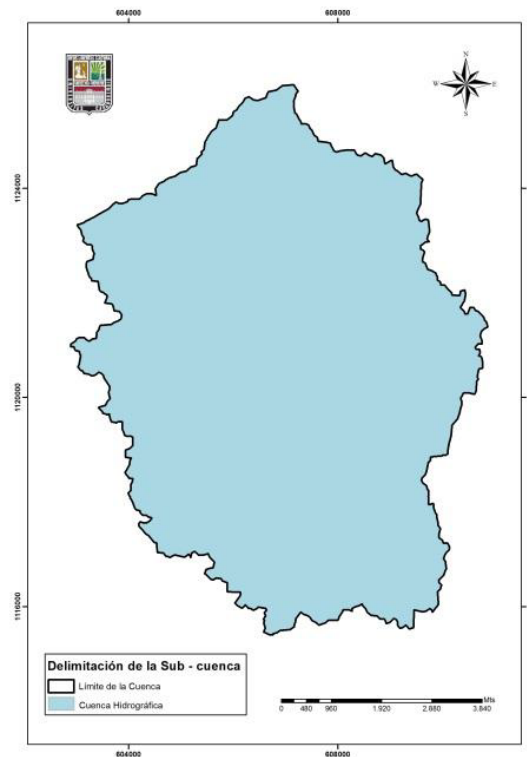


Figura 15. Sub cuenca hidrográfica sector La Guacamaya. Nota. Rodríguez (2018)

Tabla 5. Características geométricas de la sub cuenca La Guacamaya

Propiedad	Cantidad	Unidad
Área	5470	Hectárea (HA)
Perímetro	49,85	Kilómetros (Km)

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:

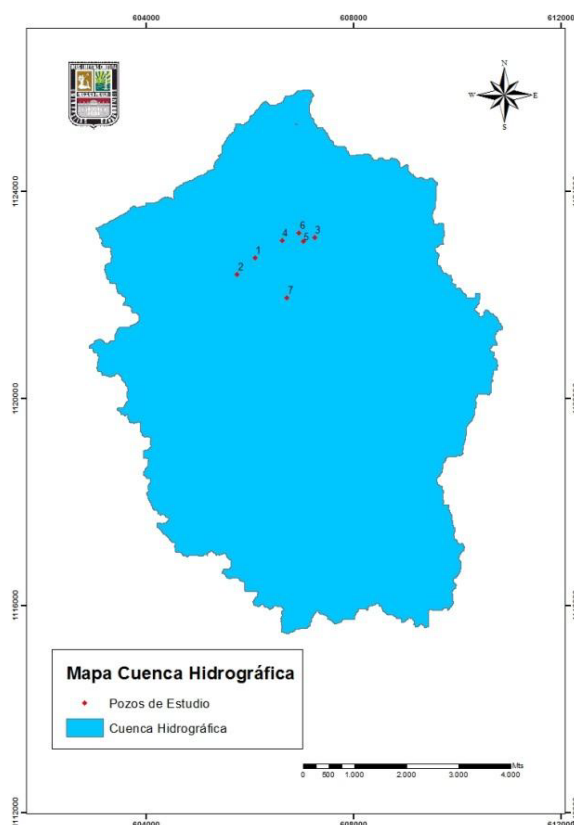


Figura 16. Ubicación de los pozos de estudios. Nota. Rodríguez (2018).

Tabla 6

N°	Pozo	Norte Este	(m)	Cota Terreno
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.

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.

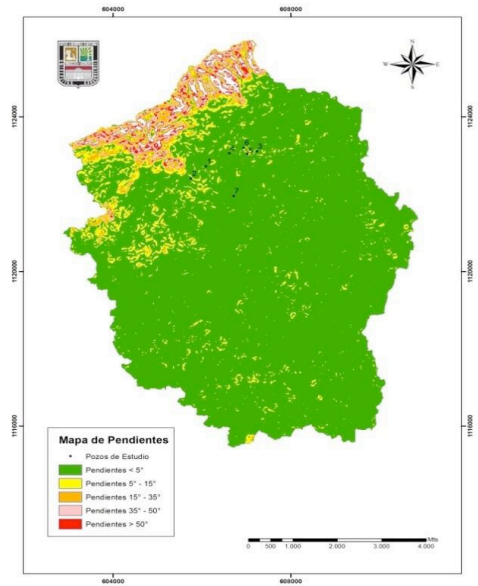


Figura 17. Mapa de Pendientes. Nota. Rodríguez (2018)

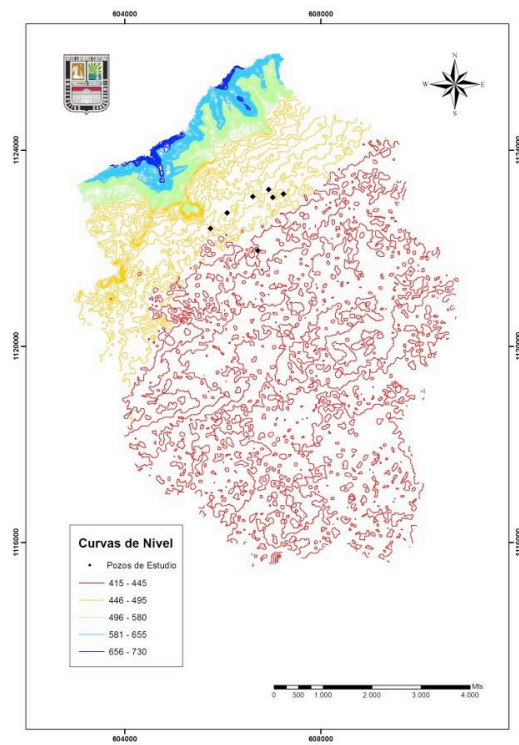


Figura 18. Curvas de Nivel de la Sub-cuenca La Guacamaya. Nota. Rodríguez (2018)

Tabla 7. *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 19.

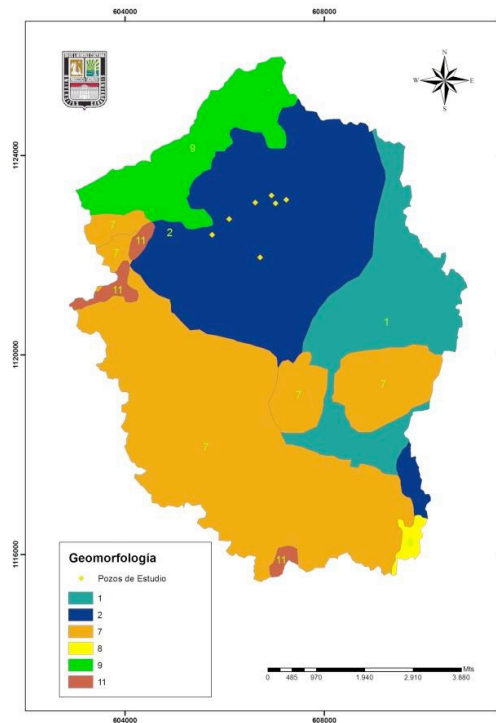


Figura 19. Mapa de Geomorfología. Nota. Rodríguez (2018)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

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 Aspersion 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 (Aspersion 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. México.

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>.

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/

Clescerl, 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 América.

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/Remediación-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/cuencapooop/conceptos-bsicos-sobre-hidrologa-subterránea>.

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 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.

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 Bolivariana de Venezuela. 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 Electrónicas

Agua Para Un Mundo Sostenible. 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://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/
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-subterraneeas-72467738>

<https://portal.uah.es/.../T4-Movimiento%20del%20agua%20en%20el%20subsuelo.pdf>