

Caracterización hidrogeológica del acuífero aluvial ubicado entre las quebradas Chacaíto y Sebucán, región noreste del Valle de Caracas

Karleydi G. V. Salcedo Soto*¹ y Laura Torres Rondón²

¹ *Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela*

² *Instituto de Ciencias de la Tierra. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela*

* kgvss1@gmail.com

RESUMEN

Las aguas subterráneas constituyen una alternativa viable para poder abastecer a la ciudad de Caracas frente a fuertes sequías y actividades antrópicas que puedan afectar el suministro de agua aportada por los embalses, además son menos propensas a la contaminación y, con una buena gestión, se puede garantizar una explotación controlada. Sin embargo, para poder utilizar este recurso como posible solución es necesario caracterizar hidrogeológicamente la zona de interés, a través de la elaboración de un modelo hidrogeológico conceptual, que permita aportar un mayor entendimiento del movimiento y flujo del agua subterránea. Para ello se escogió la zona ubicada entre las Quebradas Chacaíto y Sebucán, una de las zonas más pobladas y susceptibles de la ciudad de Caracas. Para lograr esta investigación se dividió la metodología en tres fases: 1) se elaboró una base de datos en las áreas de hidrogeología, geología, geografía, geofísica, geomorfología, geotecnia y geoquímica, gracias al aporte de bibliografía de diversos entes; 2) se interpretaron los datos con el fin de caracterizar el acuífero; y 3) se realizó la integración hidrogeológica en un modelo conceptual y numérico 3D. La metodología permitió establecer la configuración de las capas que componen el acuífero, en donde se intercalan estratos acuíferos con acuitardos. La evaluación de los datos químicos permitió determinar, en inicio, un patrón de flujo orientado en dirección noroeste-sureste, con dos zonas de recarga: una principal asociada al sistema de fallas del Ávila; y una secundaria ubicada en el Parque Generalísimo Francisco de Miranda. Asimismo, el análisis químico permitió ver una posible zona de infiltración de aguas residuales que contaminan el acuífero en la zona de El Pedregal. El modelo numérico realizado a partir del modelo hidrogeológico conceptual permitió observar que el aporte a través del sistema de fallas debe ser aproximadamente 3,15 veces mayor que el aportado por las infiltraciones producto de las precipitaciones. El modelo numérico se considera una buena aproximación de la realidad del acuífero de la zona de estudio pudiéndose utilizar como base para futuros trabajos.

Palabras Clave: *Hidrogeología, Acuíferos, Distrito Capital, Quebrada Sebucán, Quebrada Chacaíto*

ABSTRACT

Groundwater is a viable alternative to supply cities in face of severe droughts and anthropogenic activities that may affect the water supply provided by the reservoirs of superficial water, they are

also less susceptible to contamination and, with a good management, can be guarantee under controlled exploitation. However, in order to use this resource as a possible solution, it is necessary to characterize hydrogeologically the area of interest, through the elaboration of a conceptual hydrogeological model, which allows providing a greater understanding of groundwater flow. For this study, the area is located between the Chacaíto and Sebuacán brooks, one of the most populated and susceptible areas of the city of Caracas, was chosen. To achieve this research, the methodology was divided into three phases: 1) a hydrogeology, geology, geography, geophysics, geomorphology, geotechnics and geochemistry database was prepared; 2) the data were interpreted in order to characterize the aquifer; and 3) the hydrogeological integration was carried out in a 3D conceptual and numerical model. The methodology allowed establishing the configuration of the layers of the aquifer, which are configured of aquifer layers interspersed with aquitards. The evaluation of the chemical data made it possible to determine, initially, a northwest-southeast flow pattern, with two recharge zones: a main one associated with the Ávila fault system; and a secondary zone located in the Parque Generalísimo Francisco de Miranda. Also, the chemical analysis allowed seeing a possible area of infiltration of wastewater that contaminates the aquifer in the area of El Pedregal (northwest). The numerical model was made based on the conceptual hydrogeological model, and it allowed observing a contribution through the fault system approximately 3.15 times greater than precipitations. The numerical model is considered a good approximation of the aquifer reality of the study area and can be used as a base for future works.

Keywords: *Hydrogeology, Aquifer, Distrito Capital, Quebara Sebuacán, Quebrada Chacaíto*

INTRODUCCIÓN

Las aguas subterráneas representan un 30,7 %, dentro del porcentaje total del agua dulce disponible en el planeta, mucho más del que presentan las aguas superficiales (Shiklomanov, 1.999). La misma se encuentra dentro de formaciones geológicas llamadas acuíferos, quienes a su vez se recargan gracias a los procesos involucrados en el ciclo hidrológico.

El Valle de Caracas, al ser una región densamente poblada que continúa en ascenso, presenta dificultades en el acceso al agua, además los fuertes períodos de sequía deterioran la calidad y cantidad de las aguas de los embalses que surten a la ciudad, en conjunto también por la falta de mantenimiento de los mismos. No obstante, para poder contar con las aguas subterráneas como posible solución en el abastecimiento de agua, se requiere caracterizar el acuífero que las contenga, es decir, conocer sus propiedades, su funcionamiento y la capacidad que tenga para proveer a una determinada población (Sahuquillo, 2.009), de lo contrario puede provocar una posible sobreexplotación.

Es por ello que se propuso construir un modelo hidrogeológico conceptual y numérico en 3D que permita comprender el funcionamiento del acuífero aluvial del Valle de Caracas entre las quebradas Chacaíto y Sebuacán, con el fin de utilizarlo como base para futuros proyectos hidrogeológicos.

METODOLOGÍA

El trabajo se realizó en tres fases: 1) se elaboró una base de datos en las áreas de hidrogeología, geología, geografía, geofísica, geomorfología, geotecnia y geoquímica, con el fin de tener información suficiente sobre la configuración del acuífero del Valle de Caracas, así como, identificar los procesos que rigen su funcionamiento; esta recopilación se realizó gracias al aporte de diversos entes.

2) la segunda fase consistió en la caracterización del acuífero, en donde se interpretaron los datos recopilados; el cual a su vez, se realizó en dos etapas: una para caracterizar litológica y estructuralmente el acuífero, y otra para establecer las zonas de recarga y descarga, además de la dirección principal del flujo subterráneo, a través de la interpretación geoquímica de los iones mayoritarios calcio (Ca^{2+}), potasio (K^+), magnesio (Mg^{2+}), sodio (Na^+), cloruro (Cl^-), bicarbonato (HCO_3^-), sulfato (SO_4^{2-}) y nitrato (NO_3^-); además de los parámetros físico-químicos (conductividad eléctrica y pH). Los programas utilizados para la caracterización del acuífero tanto litológica como hidrodinamicamente, fueron el programa Surfer 10, de la compañía Golden Software Inc, y el programa QGIS o Quantum GIS versión 2.18.2 un sistema de información geográfico de código libre. La identificación de las posibles fuentes de contaminación también es un factor importante que se tomó en cuenta en la interpretación de datos químicos.

3) En la tercera fase se realizó la integración hidrogeológica en un modelo conceptual, de manera que una vez desarrollado se procedió a construir el numérico 3D mediante el software ModelMuse versión 3.9, el cual es una interfaz gráfica de usuario del Servicio Geológico de los Estados Unidos para MODFLOW-2005 que es un programa basado en el método de diferencias finitas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estructura Geológica del Acuífero

La caracterización litológico-estructural fue realizada para poder establecer la configuración del acuífero. Para ello, se utilizaron como diversos estudios geológicos y geofísicos realizado por FUNVISIS, (1.978, en Sánchez, J; 2.001), Katak (2.001), Rodríguez, (2.009), entre otros. El análisis de los trabajos mencionados, permitió describir la litología presente, estableciendo un total de 9 capas: limo arenoso, arenas limosas, guijarros y bloques intercaladas con arenas, facies de arenas, arcillas arenosas, facies de arcillas y limos, guijarros y bloques intercalados con lentes de limos y arcillas, depósito sedimentario sólido, depósito metamórfico.

Las capas presentan una tendencia uniforme, subhorizontal y explayada, producto de los aludes torrenciales que han afectado al Valle (Singer, 1.977). Esos aluviones son formados por intercalaciones de sedimentos finos y gruesos, mal escogidos, y se encuentran sobre un basamento ígneo-metamórfico (Figura 1). La cuenca presenta una forma cónica cuyo espesor máximo es de 340 m aproximadamente en la zona de Los Palos Grandes, confirmado por numerosos trabajos (Weston Geophysical Engineers, 1.969; Sánchez, 2.001; Moncada, 2.005;

entre otros).

Una vez comprendida la estructura interna y los límites del acuífero, se procedió a clasificar las capas de sedimentos según los parámetros hidrogeológicos establecidos. Esa clasificación permitió considerar que el sistema se compone de dos tipos de acuíferos: un acuífero somero de comportamiento semiconfinado compuesto por las facies de guijarros intercaladas con las facies de arenas; y un acuífero profundo de comportamiento confinado compuesto por las facies de guijarros intercaladas con las arcillas limosas-arenosas con peñones de gneis. Ambos acuíferos están separados por un acuitardo compuesto por intercalaciones de arcillas arenosas y lentes de limo (Figura 1).

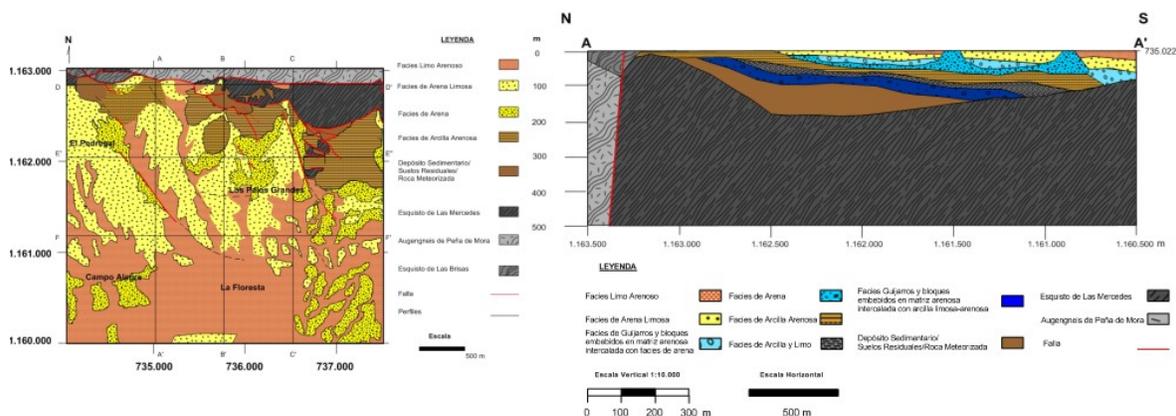


Figura 1. Capa en superficie (izquierda); Perfil norte-sur A-A' de la zona de estudio (derecha)

Análisis Químico

Los trabajos recopilados no presentaron datos como niveles de aguas, profundidad del filtro y/o bomba captante, características generales de los pozos u otro dato necesario para evaluar la evolución u orientación del flujo subterráneo. Sin embargo, a pesar de la falta de información de niveles de agua, se recopilaron los datos químicos tomados del análisis hidrogeoquímico que realizó Bolívar en el 2.004 en todo el Valle de Caracas.

Las aguas de la zona de estudio presentan facies bicarbonatadas cálcicas, debido a la composición de los sedimentos que componen el área, y su asociación con las rocas (esquistos, gneis, dolomías, calizas, etc.), las cuales presentan una concentración alta de HCO_3^- y Ca^{2+} .

En general, las concentraciones bicarbonato (HCO_3^-) aumentan en dirección sureste. De igual manera, lo hacen las concentraciones de Cl^- , Mg^{2+} y Na^+ (Figura 2). Esta particularidad puede ser asociado a las lluvias, debido a que las mismas provienen probablemente por la evaporación del Mar Caribe, en donde, se generan nubes con composición clorurada-sódica, que se desplazan en el parque "Generalísimo Francisco de Miranda" en donde se presentan las mayores concentraciones de estos iones.

Una concentración importante de iones de NO_3^- , SO_4^{2-} y Cl^- se acumula hacia el noroeste, en donde se ubican las localidades de El Pedregal, La Castellana, Country Club, etc (Figura 2). Este grupo de iones se asocia generalmente a fuentes antrópicas, por lo que se puede considerar que esta zona se encuentra aportando agua contaminada al acuífero, es decir, es una zona de recarga antrópica, a través del aporte de viejas redes de distribución de tuberías de aguas servidas, las cuales podrían estar contribuyendo a la alimentación al sistema desde los años 50 a través de posibles fugas. De igual manera, se observa que las concentraciones del NO_3^- y SO_4^{2-} disminuyen hacia el sureste, lo que significa que se van probablemente diluyendo a medida que tienen mayor interacción con el agua aún cuando sean indicadores de contaminación.

Se podría sugerir entonces, debido al comportamiento de las especies químicas en las aguas subterráneas, que la orientación del flujo, en esta zona de estudio, es noroeste-sureste.

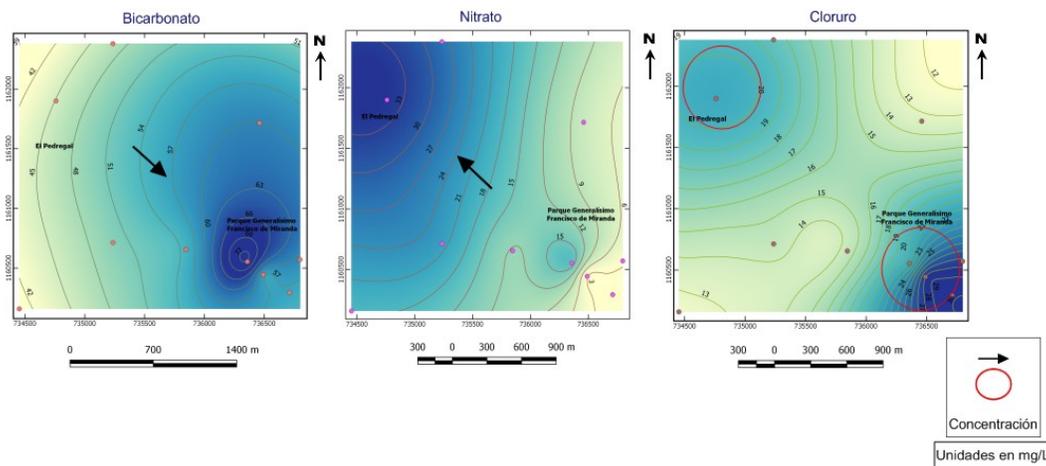


Figura 2. Mapas de distribución química

Modelo Conceptual

La integración de todos los datos permitió construir el modelo conceptual (Figura 3), en el cual se sugiere que el sistema de fallas Tacagua-Ávila está alimentando al sistema de acuíferos, el cual probablemente está canalizando el agua proveniente de las quebradas del Waraira Repano (Ávila).

Esto es debido a que el Valle de Caracas se encuentra muy urbanizado y está impermeable casi en su totalidad, y la única forma de que el acuífero está recargando es a través de las quebradas del Waraira Repano y de áreas verdes como el parque “Generalísimo Francisco de Miranda” o el Country Club, gracias a las precipitaciones. Por otra parte, es importante resaltar que la orientación noroeste-sureste, reflejada en los mapas de distribución de concentraciones, puede ser debido a un mayor aporte de la quebrada Chacaíto, ubicada hacia el noroeste de la zona de estudio, la cual tiene un patrón dendrítico, mientras que la quebrada Sebucán tiene un patrón paralelo, sugiriendo, de esta manera, un mayor aporte de agua desde el noroeste que desde el noreste.

Estos resultados ponen de manifiesto las conclusiones de Riobueno en 1.995, de atribuirle como principal fuente de recarga al acuífero, a las quebradas proveniente de la montaña, mientras que las precipitaciones tienen un segundo orden de importancia.

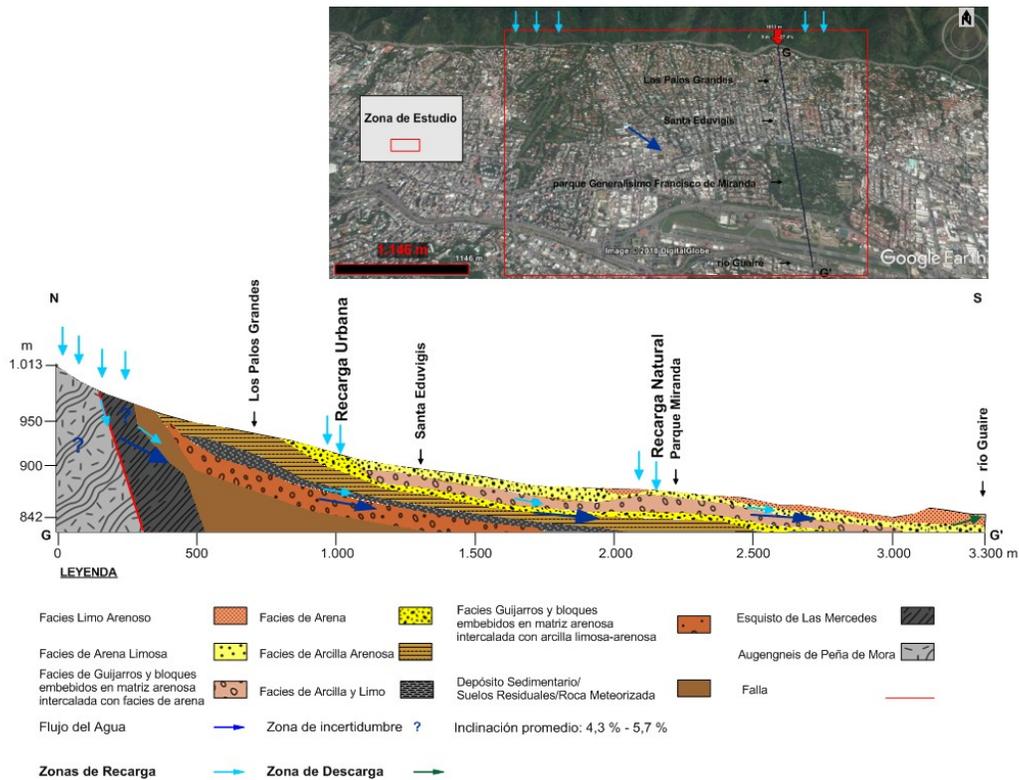


Figura 3. Modelo Hidrogeológico Conceptual 2D de la zona de estudio

Modelo Numérico

Una vez desarrollado el modelo conceptual, se procedió a construir el modelo numérico. El modelo que se construyó es estático, es decir, que las entradas y salidas del sistema, además de los niveles de agua no tienen variaciones en el tiempo.

Para construir el modelo primero se estableció la geometría del acuífero, con sus capas respectivas y los espesores correspondientes, para así, establecer los límites del acuífero en una vista de planta. La generación de la grilla quedó establecida en 98 columnas y 88 filas, donde cada celda definida calcula los niveles de agua y el gradiente hidráulico generados a partir de los datos suministrados.

En el segundo paso se introdujeron los parámetros hidrogeológicos ya establecidos y las condiciones de borde, en donde se situaron los espesores de las capas. En cuanto a las condiciones de borde, el modelo conceptual dejó en evidencia que las entradas de agua al sistema, se generan en la zona del Parque al sureste, y el sistema de fallas del Ávila al norte, ya que éste canaliza las aguas de las quebradas de la montaña.

El tercer paso consistió en realizar la calibración respectiva, es decir, llevar el modelo lo más aproximado a la realidad. Para lo cual, fue necesario corregir algunos datos, entre ellos, establecer una recarga de la falla 3,15 veces mayor que la del Parque. Es importante aclarar que el dato suministrado a la falla es asumido, ya que no se realizó un balance hídrico porque no era objetivo del trabajo. Al final la discrepancia resultó en un 0,11 % lo cual indica que el modelo funciona con los parámetros introducidos.

El último paso fue la simulación, en donde se pudo visualizar la carga hidráulica en 2D y 3D (Figura 4). Se observa que el modelo refleja un movimiento del flujo subterráneo del noroeste al sureste simulado, en el que la falla (representada por una línea roja) es la que aporta mayor alimentación al sistema aproximadamente 3,15 veces más que la aportada a través de las precipitaciones en el área del Parque (representado por un cuadro azul). Asimismo, se pueden observar las influencias de ambas recargas, en el que el modelo simula lo mostrado a través de los mapas de distribución de las especies químicas.

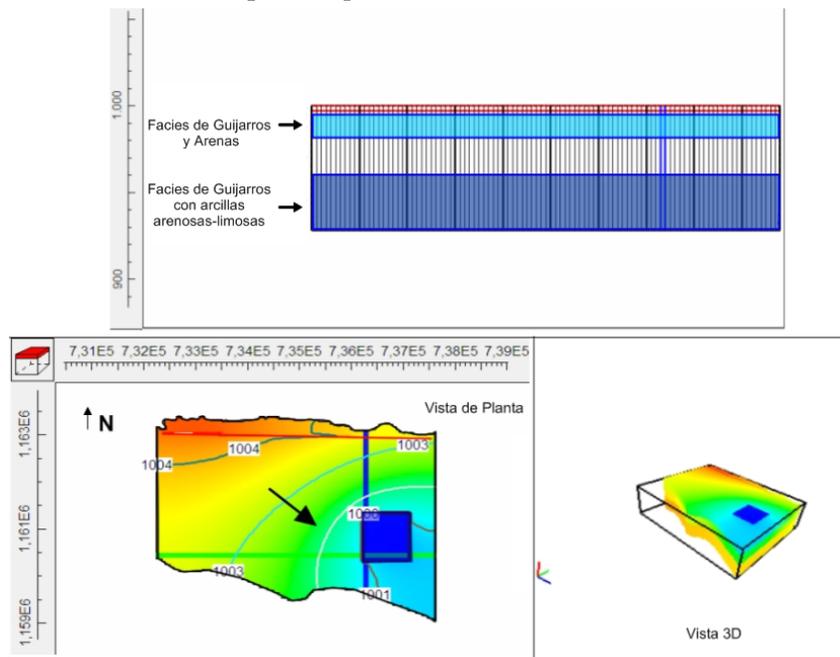


Figura 4. Capas del Acuífero (arriba); simulación (abajo).

CONCLUSIONES

La zona de estudio está conformada por un sistema de acuíferos, compuestos de facies de arenas, peñones de gneis y esquistos, guijarros y bloques, intercalados con acuitardos de facies de arcillas arenosas y lentes de limo.

Las capas del acuífero aluvial presentan una tendencia uniforme, subhorizontal y explayada con una inclinación al sur de la zona de estudio, producto principalmente de los aludes torrenciales que han acontecido al Valle y que han colmatado al mismo desde su formación.

El parque “Generalísimo Francisco de Miranda” constituye una zona de recarga de aguas meteóricas, ya que al no tener mucha intervención humana hace que conserve su carácter natural. Debido a las concentraciones de los iones NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} hacia el noroeste, en donde se ubican las localidades de El Pedregal, La Castellana, Country Club, etc., se evidencia un foco de contaminación antrópica proveniente muy probablemente del aporte de aguas residuales al sistema por medio de fugas de tuberías de aguas servidas.

El análisis químico permitió establecer la dirección del flujo, el cual tiene una orientación noroeste-sureste, y permite demostrar que la anisotropía y heterogeneidad del terreno podría estar influenciando el patrón de flujos. Se sugiere que el sistema de acuíferos se recarga de las quebradas de la vertiente oeste del “Waraira Repano”, las cuales fluyen al sistema de fallas y, éste, a su vez, alimenta al sistema de acuíferos.

El modelo numérico realizado permitió observar que el aporte a través del sistema de fallas debe ser aproximadamente 3,15 veces mayor que el aportado por las precipitaciones a través de la recarga en el parque.

REFERENCIAS

- [1] Aguerrevere, P. (1.949). Informe preliminar sobre las condiciones de agua del subsuelo en el valle de Caracas. Inédito. Ministerio de Fomento
- [2] Aranguren, C e Itriago, H. (1.972). Variación del nivel freático en el Valle de Caracas. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- [3] Bolívar, V. (2.004). *Caracterización geoquímica de las aguas subterráneas de la región norcentral del valle de Caracas, Venezuela*. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- [4] Dallmus, K y Thoms, H. (1.952). *Geología e hidrología de la parte oriental del Valle de Caracas*. Inédito. Instituto Nacional de Obras Sanitarias (INOS). Caracas pp 23.
- [5] Kantik, P. (2.001). Espesores de los Sedimentos y Principales Unidades Geológicas del Valle de Caracas. International Workshop Study on Countermeasures for Earthquake Disaster in Caracas (1.999 – 2.001), Caracas, Venezuela, Serie Técnica N° 01-2001, FUNVISIS, 99-104.
- [6] Klindt, P. (1.941). *Contribución al estudio de las aguas subterráneas en Caracas*. Inédito. Ministerio de Minas e Hidrocarburos, pp 12.
- [7] Oropeza, J y Zambrano, A. (2.007). *Elaboración de una base de datos de geología urbana para fines de microzonificación sísmica para la ciudad de Caracas*. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- [8] Riobueno, M. (1.995). *Posibilidades de aprovechamiento de las aguas subterráneas del Valle de Caracas, como fuente alterna de abastecimiento industrial y comercial*. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- [9] Rodríguez, S. (2.009). *Estudio y caracterización hidrogeológica del subsuelo de la línea 5 del Metro de Caracas, Estación Bello Campo*. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- [10] Sánchez R, J. (2.001). *Modelaje gravimétrico del basamento de la cuenca de Los Palos Grandes*. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela, Caracas.