

[TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL DEL SISTEMA ACUÍFERO DE
LA CIUDAD UNIVERSITARIA DE CARACAS**

Presentado ante la Ilustre

Universidad Central de Venezuela, por

la **Br. Sulbarán C. Bianca L.**

C.I 21.555.371

Para optar al título de Ingeniero Geólogo

Caracas, enero de 2021

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL DEL SISTEMA ACUÍFERO DE LA CIUDAD UNIVERSITARIA DE CARACAS

TUTORA ACADEMICA: Prof. Laura Torres

Trabajo Especial de Grado

presentado ante la Ilustre

Universidad Central de Venezuela, por

la **Br. Sulbarán C. Bianca L.**

C.I 21.555.371

Para optar al título de Ingeniero Geólogo

Caracas, enero de 2021

Caracas, enero de 2021

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Geología, Minas y Geofísica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la Bachiller Bianca Lucía Sulbarán Castejón, titulado:

**“MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL DEL SISTEMA
ACUÍFERO DE LA CIUDAD UNIVERSITARIA DE CARACAS”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero de Geólogo, sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran **APROBADO**.



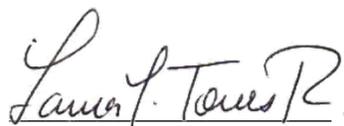
Prof. Ramón Montero

Jurado Principal



Prof. Crisanto Silva

Jurado Principal



Profa. Laura Torres

Tutora Académica

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Central de Venezuela (UCV) y a sus profesores por haberme dado tanto y formarme profesionalmente

A toda mi familia, en especial a mis padres por todo el esfuerzo y el apoyo incondicional para lograr esta meta

A mi tutora, la profesora Laura Torres, por el tiempo dedicado, su guía, apoyo y formación a lo largo de esta etapa

Al personal de Mantenimiento de la UCV, en especial al Ing. Oswaldo Panté, al Ing. Maikel Ordaz y al Tec. Jean Carlos por su apoyo logístico en todo momento durante el periodo de mediciones de este trabajo de investigación

Al Ing. Fernando DeCarli, por su apoyo constante y por la sonda proporcionada para las mediciones, lo cual hizo posible una de las partes fundamentales de esta investigación

Al Ing. José Marañón por su apoyo incondicional y ayudarme a llegar a la meta

A todas las demás personas, compañeros y profesores que de una manera u otra me ayudaron a lo largo de este camino

Sulbarán C, Bianca L.

MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL DEL SISTEMA ACUÍFERO DE LA CIUDAD UNIVERSITARIA DE CARACAS

Tutor Académico: Prof. Laura Torres

T.E.G. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología,

Minas y Geofísica. Año 2020.

Resumen

Se realizó una caracterización y un modelo hidrogeológico conceptual del comportamiento hidrodinámico del acuífero aluvial de la Ciudad Universitaria de Caracas. Para ello, fue necesario caracterizar los límites y la estructura interna del acuífero a través de la elaboración de una base de datos a partir de una recopilación bibliográfica y la posterior realización de cortes geológicos, lo cual permitió establecer las características de la depositación de sedimentos en el área. También se determinaron las características hidrogeológicas a través de pruebas de recuperación y se estudió su comportamiento hidrodinámico actual a través del seguimiento de la superficie piezométrica, en varios puntos dentro del campus. Por último, se realizó la integración geológica e hidrogeológica para generar un modelo hidrogeológico conceptual del acuífero, produciendo un mapa y un corte, en los cuales se pudo establecer que los procesos que actuaron para la depositación de los sedimentos de la zona fueron una alternancia de episodios fluviales provenientes de los ríos Guaire y Valle, así como el aporte aluvial de sedimentos desde las colinas circundantes, generando una depositación espesa, heterogénea intercalada, estando las capas de grava acuíferas hacia el oeste de la cuenca. Se estableció que el sistema acuífero se recarga por la influencia de las precipitaciones en la zona y la dirección de flujo del agua subterránea va desde el suroeste hacia el noreste, descargando, aparentemente, dirección al río Guaire. De igual manera se estableció que el acuífero presenta dos comportamientos distintos, libre hacia el centro de la zona acuífera, presentándose una conexión hídrica en esta y semiconfinado hacia los bordes, no estando tan evidente aquí esta conexión.

Palabras claves: Hidrogeología, Acuífero, Ciudad Universitaria, Río Guaire, caracterización hidrogeológica, aluvial, modelo conceptual, prueba de recuperación, seguimiento piezométrico

ÍNDICE GENERAL

CAPITULO I	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Planteamiento del problema	2
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo General	2
1.3.2 Objetivos específicos	2
1.4 Ubicación de la zona de estudio	3
1.5 Justificación	5
1.6 Antecedentes	5
1.7 Antecedentes Nacionales	6
1.8 Antecedentes internacionales	8
CAPÍTULO II	11
MARCO TEÓRICO	11
GEOLOGÍA REGIONAL	21
2.1 Marco tectónico	21
2.1.1 Napa de Caracas	23
2.1.2 Marco litológico Napa de Caracas	24
2.1.3 Sedimentos cuaternarios en el campus universitario	26
CAPÍTULO III	29
METODOLOGÍA	29
3.1 Fase I: Recopilación de datos	30
3.2 Fase II: Caracterización geológica	32
3.3 Fase III: Caracterización hidrogeológica	34
3.4 Fase IV: Modelo conceptual	41
CAPÍTULO 4	42
RESULTADOS Y ANÁLISIS	42
4.1 Base de datos	42
4.2 Caracterización geológica	42
4.3 Caracterización hidrogeológica	62
4.3.1 Ensayo de recuperación	63
4.3.2 Medición y análisis del nivel piezométrico	68
4.4 Modelo hidrogeológico conceptual	80
CONCLUSIONES	88
RECOMENDACIONES	90
BIBLIOGRAFÍA	91
ANEXOS	96

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Fig. 1: Ubicación de la zona de estudio. 1. Posición relativa respecto a Venezuela (arriba a la izquierda) y posición relativa respecto a La Gran Caracas. 2. Delimitación de la zona. Imágenes tomadas de Esri Venezuela (2019) y Editadas en ArcGIS 10.3</i>	4
<i>Fig. 2: Ciclo hidrológico (BRASSINGTON, 2017)</i>	12
<i>Fig. 3: Corte esquemático de un acuífero libre y uno confinado. (KARAMOUZ, et al., 2011)</i>	14
<i>Fig. 4: Relación entre la conductividad hidráulica y el espesor en la transmisividad (SANCHEZ, 2017)</i>	15
<i>Fig. 5: Red de flujo que esquematiza el flujo subterráneo natural en una región de conductividad hidráulica homogénea (SÁNCHEZ, 2017)</i>	17
<i>Fig. 6: Configuración típica de un pozo de bombeo (KARAMOUZ et al., 2011)</i>	18
<i>Fig. 7: Configuración de pozos y representación del cono de abatimiento generado por la extracción de la bomba sumergible (Modificado de TUINHOF, 2006)</i>	19
<i>Fig. 8: Modelo hidrogeológico conceptual 2D del acuífero aluvial ubicado entre las quebradas Chacaíto y Sebuacán, región noreste del valle de caracas. (SALCEDO, 2018)</i>	20
<i>Fig. 9: Contexto tectónico general de la placa del Caribe y todas sus interacciones con las placas Circundantes (GRANJA, 2005)</i>	21
<i>Fig. 10: Mapa geológico del norte de Venezuela. NC: Napa de la Costa; NA: Napa del Ávila; NCCS: Napa de Caracas; NC-T: Napa Caucaagua- EL Tinaco; NLH: Napa de Loma de Hierro; NVC: Napa de Villa de Cura. Modificado de HACKLEY et al. (2005). (URBANI, et al., 2005)</i>	23
<i>Fig. 11: Sección generalizada de la Cordillera de la Costa en el meridiano de Caracas. Adaptado de STEPHAN et al. (1980) (URBANI, 2012)</i>	24
<i>Fig. 12: Mapa de Unidades Cuaternarias en la UCV y alrededores. Tomado de OROPEZA & ZAMBRANO (2007)</i>	27
<i>Fig. 13: Esquema general de las fases de trabajo</i>	29
<i>Fig. 14: Modelo de recta de recuperación. Tomado de VILLANUEVA & IGLESIAS (1984)</i>	35
<i>Fig. 15: Foto de la sonda utilizada en las mediciones</i>	38
<i>Fig. 16: Ejemplo referencial de la configuración de un encofrado de un pozo.</i>	39
<i>Fig. 17: Medición del nivel piezométrico en el pozo UCV-002</i>	40
<i>Fig. 18: Histograma piezométrico vs. curva de precipitación. Tomado de ALLOCA et al. (2005)</i>	41
<i>Fig. 19: Mapa Topográfico UCV con curvas cada 4 metros</i>	43
<i>Fig. 20: Superficie de elevación UCV</i>	44
<i>Fig. 21: Sinclinal del Cementerio dentro de la Ciudad de Caracas. Tomado de Levi, 1964.</i>	46
<i>Fig. 22: Mapa Isópaco de Basamento. Modificado de GONZÁLEZ (2011)</i>	47
<i>Fig. 23: Ubicación de perfiles geológicos realizados en la UCV</i>	48
<i>Fig. 24: Perfiles Geológicos A1, A2, A3 y A4</i>	50

Fig. 25: Perfiles geológicos A5, A6 y A7	52
Fig. 26: Perfiles geológicos B1 y B2	54
Fig. 27: Perfil geológico C1	55
Fig. 28: Mapa de Unidades Cuaternarias en la UCV. Modificado de SINGER et al. (2007)	56
Fig. 29: Columnas litológicas de los pozos UCV-001, UCV-002 y UCV-003	58
Fig. 30: Mapa de distribución de sedimentos interpretados	60
Fig. 31: Gráfico descensos residuales generado a partir del ensayo de recuperación	65
Fig. 32: Pozos y piezómetros utilizados para monitoreo del nivel piezométrico en la UCV	69
Fig. 33: Curvas piezométricas de V4, UCV-002, UCV-001, P1 y UCV-003	72
Fig. 34: Precipitación mensual del 2019 registrada por la estación UCV	74
Fig. 35: Curva de niveles piezométricos vs. Hidrograma de precipitación del 2019 de la UCV	75
Fig. 36 Mapa Hidrogeológica de Caracas. Modificado del Mapa Hidrogeológico de Venezuela (Tomado del Ministerio de Minas e Hidrocarburos, 1972	78
Fig. 37 Gradiente Hidráulico del acuífero de la UCV	79
Fig. 38 Mapa del Modelo Hidrogeológico conceptual del acuífero de la UCV	84
Fig. 39 Leyenda del Mapa del Modelo Hidrogeológico Conceptual del acuífero de la UCV	85
Fig. 40 Corte del Modelo Hidrogeológico conceptual del acuífero de la UCV	86
Fig. 41 Leyenda y mapa de ubicación del corte del Modelo Hidrogeológico Conceptual del acuífero de la UCV	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Recopilación bibliográfica dentro del campus	31
Tabla 2: Valores de transmisividad referenciales. Tomado de CUSTODIO & LLAMAS (1983)	36
Tabla 3: Valores promedios de conductividad hidráulica. Tomado de CODUTO (1999)	37
Tabla 4: Condiciones previas para prueba de recuperación	64
Tabla 5: Fluctuaciones límite de niveles estáticos medidos	70

CAPITULO I

1.1 Generalidades

El agua potable es un recurso fundamental para el desarrollo de las actividades diarias de cualquier ciudad. En Venezuela, casi toda la región capital es abastecida por tuberías provenientes de un sistema de acueductos de agua potable, llamado Sistema de Producción Tuy, el cual presenta tres fases que distribuyen agua principalmente desde los Embalses Camatagua y Taguaza. Hoy en día, la ciudad de Caracas presenta problemas con la distribución y abastecimiento de este recurso, siendo afectados los distintos sectores de ella por cortes programados y fortuitos de agua. Es por ello, que es necesario emplear recursos alternativos para lograr un abastecimiento eficiente y suficiente a la ciudad, y la Ciudad Universitaria no está exenta de eso.

El agua subterránea es uno de los mayores reservorios de agua fresca en el mundo (MAIDMENT, 1993), incluso más que el agua superficial de lagos y ríos. Sin embargo, se distribuye mayormente el agua superficial para consumo por ser más fácil de encontrar y ser más rápida su distribución (FETTER, 1994). No obstante, el uso del agua subterránea se debe realizar a través de una gestión eficiente del recurso a fin de abastecer, no solo a la población actual, sino también, garantizar el mismo a las futuras generaciones.

Administrar adecuadamente el agua subterránea en una zona determinada, requiere una representación modelada del sistema hídrico subterráneo. En hidrogeología un modelo hidrogeológico conceptual, permite comprender el comportamiento de los sistemas de flujo y describir sus condiciones actuales. Este modelo permite estudiar el acuífero y sus límites, ya que, según RUSHTON (2003), aunque éste ocupe solo unos pocos kilómetros cuadrados, la respuesta del sistema puede verse influenciada por cientos, incluso miles, de kilómetros más allá del acuífero. La ventaja de realizar este tipo de modelos, según FETTER (1994), es que a través de una representación menos compleja de la realidad es posible conocer el funcionamiento general del sistema.

1.2 Planteamiento del problema

La buena gestión de un acuífero depende del conocimiento que se tenga de sus características y propiedades. Para ello es necesario estudiarlo de manera que se obtenga una estimación precisa de los recursos disponibles en el subsuelo y convertir un recurso desconocido en un recurso accesible. Luego, para utilizarlo a largo plazo debe existir una planificación adecuada para garantizar la disponibilidad continua del suministro de agua, y, de esta manera, un aprovechamiento sustentable.

La Ciudad Universitaria de Caracas cuenta con un acuífero provisto de, al menos, cuatro pozos. Sin embargo, aunque hay información suficiente de distintas índoles, no existe un modelo conceptual que permita conocer los parámetros del acuífero y la configuración interna del mismo.

Actualmente, a pesar de que algunos de los pozos del campus se encuentran en proceso de rehabilitación para poder satisfacer las necesidades de la población que hace vida en la Ciudad Universitaria, no existe ningún modelo conceptual que ayude a gestionar el recurso adecuadamente, y así preservar el acuífero en el tiempo.

Para contribuir con una eficiente gestión del recurso en la Ciudad Universitaria de Caracas se plantean los siguientes objetivos:

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Generar un modelo hidrogeológico conceptual 2D del comportamiento hidrodinámico del acuífero aluvial ubicado en la Ciudad Universitaria de Caracas.

1.3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar los límites y la estructura interna del acuífero a través de la revisión bibliográfica de trabajos geológicos y geofísicos previos
- Determinar las características hidrogeológicas del acuífero a través de pruebas de recuperación
- Estudiar el comportamiento hidrodinámico actual del acuífero aluvial a través del seguimiento de la superficie piezométrica

- Construir un modelo hidrogeológico conceptual 2D del acuífero aluvial de la Ciudad Universitaria de Caracas

1.4 Ubicación de la zona de estudio

La zona de estudio está ubicada al norte de Venezuela, en el Municipio Libertador, hacia la zona sur del Valle de Caracas, específicamente en la Parroquia San Pedro (Figura 1). Abarca una extensión total de 2.025.300 m². Se encuentra comprendida en la intersección de dos de los ríos principales de Caracas. Hacia el norte de la zona de estudio se encuentra el cauce del río Guaire que lleva una dirección predominante oeste-este. Hacia el sureste, adyacente a la zona de estudio se encuentra el río Valle con una dirección de cauce predominantemente suroeste-noreste.

El área de estudio presenta cinco vías de acceso, de las cuales tres de ellas son las más utilizadas. La primera es la entrada de la Puerta Tamanaco por la cual es posible acceder desde plaza Venezuela hacia el norte de las instalaciones universitarias. La segunda es la entrada de la avenida Minerva en las adyacencias del sector Los Símbolos. La tercera entrada se encuentra en Las Tres Gracias, la cuarta es la puerta de la Facultad de Ciencias a la cual se accede también por la avenida Minerva y la quinta es la puerta del Hospital Clínico Universitario la cual se accede a través del Paseo Los Ilustres.

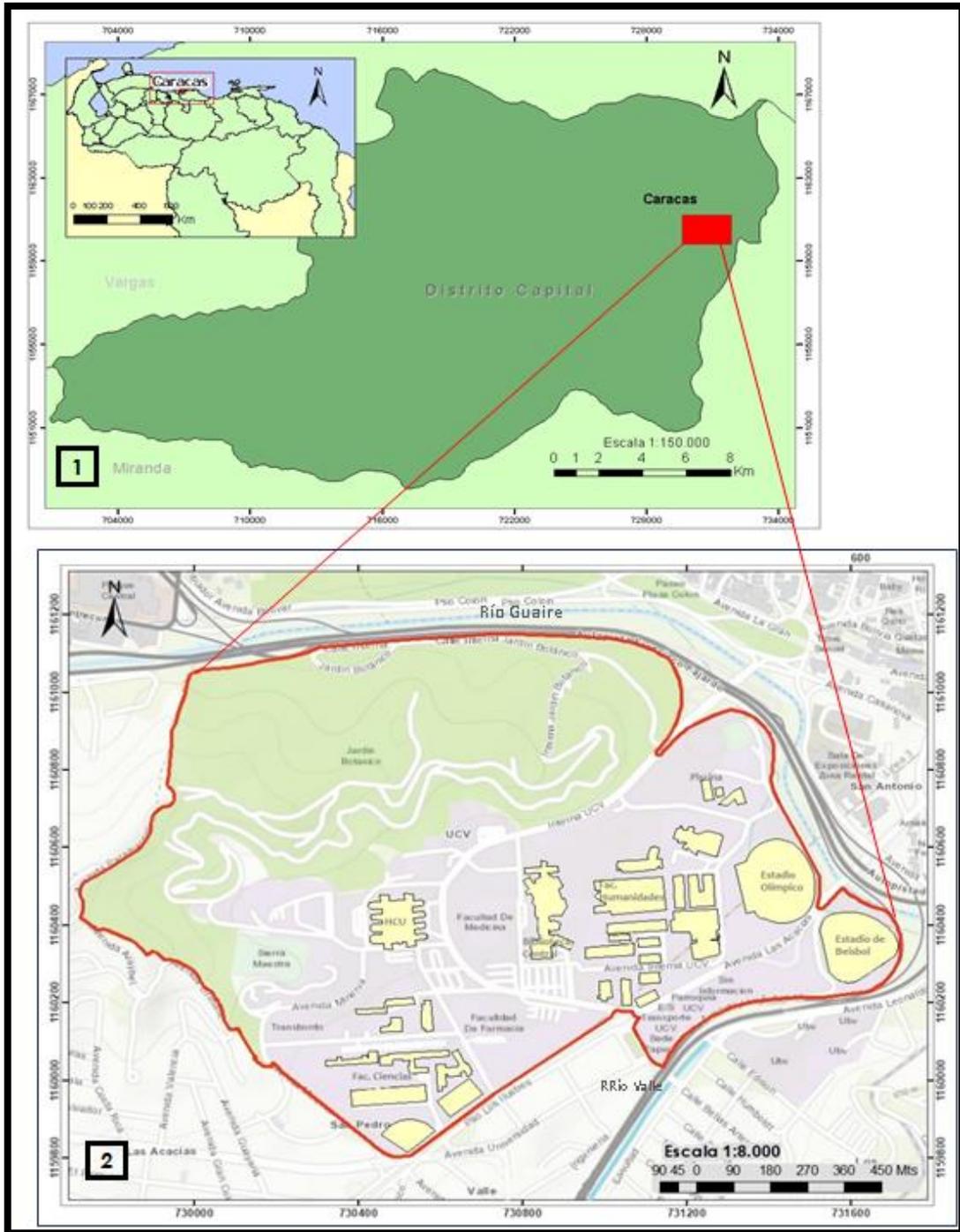


Fig. 1: Ubicación de la zona de estudio. 1. Posición relativa respecto a Venezuela (arriba a la izquierda) y posición relativa respecto a La Gran Caracas. 2. Delimitación de la zona. Imágenes tomadas de Esri Venezuela (2019) y Editadas en ArcGIS 10.3

1.5 Justificación

La Universidad Central de Venezuela presta servicio en diversas áreas a la comunidad, entre las cuales se encuentran la Facultad de Odontología y el Hospital Clínico Universitario, servicios especialmente sensibles a la escasez de agua. El agua en estas infraestructuras no llega de manera regular, sino ciertos días a la semana, lo cual representa una problemática para este tipo de instalaciones puesto que deben de mantener una limpieza rigurosa, tomando en cuenta que reciben a un gran flujo de personas diario, donde, la mayoría de estos, son pacientes. Debido a los servicios públicos prestados, la higiene y la limpieza deben ser factores fundamentales en las actividades diarias de las instalaciones.

Debido a esta problemática, el agua subterránea del Campus Universitario representa la mejor opción para solucionar el problema de abastecimiento. No obstante, para poder aprovechar este recurso, primero es necesario la realización de un modelo conceptual que permita conocer los parámetros hidrogeológicos del acuífero y así saber cuánta agua se podría extraer, a través de la integración e interpretación de diferentes tipos de datos.

1.6 Antecedentes

En esta sección se presentan distintos trabajos de investigación y publicaciones científicas tanto nacionales como internacionales. En el caso de los antecedentes nacionales, se tomaron 2 trabajos geológicos-geotécnicos realizados en el área de estudio, los cuales sirven como base de este estudio, y, 2 trabajos en los cuales el objeto de estudio y la metodología es similar a la de esta investigación. En el caso de los antecedentes internacionales, se reflejan trabajos a escala global, los cuales presentan similitud con la visión y objetivos de este trabajo.

1.7 Antecedentes Nacionales

- ACERO & DOMÍNGUEZ (2005), generaron una caracterización geológica-geotécnica de la Ciudad Universitaria de Caracas, a través de la elaboración de 6 mapas temáticos y 5 perfiles geotécnicos del área. Para esta tarea recopilaron información de los registros de las perforaciones realizadas al momento de la construcción de las distintas edificaciones del campus, ubicado en el archivo histórico de la universidad en la Casa Ibarra dentro del recinto universitario. Adicionalmente, complementaron la información geológica con un recorrido de campo en donde registraron 17 afloramientos, el cual les permitió comprobar que la mineralogía de la roca en la zona está caracterizada principalmente por esquisto calcáreo–cuarzoso–micáceo. De igual manera, a través de análisis de fotografías aéreas de diferentes años, pudieron evaluar la hidrografía de la Ciudad Universitaria de Caracas, estableciendo que el río Guaire no ha sufrido grandes cambios en su trayectoria original, mientras que en el río Valle, si sufrió una modificación durante su canalización, debido a una rectificación del cauce. Como conclusión geotécnica, afirmaron que en el campus predominaba el material denso–semiduro y rígido caracterizado por arcillas de baja plasticidad arenosas s(CL) y arenas con alto contenido de finos de baja plasticidad, existiendo un manto de meteorización en los sedimentos en sus primeros 10 metros de profundidad.

- GONZALEZ (2014), realizó una caracterización geotécnica de La Ciudad Universitaria de Caracas a partir de los resultados obtenidos luego de aplicar distintos métodos geofísicos someros (30 perfiles de sísmica de refracción, 33 perfiles de ondas superficiales, 29 sondeos eléctricos verticales tipo Schlumberger y 18 calicatas eléctricas tipo Wenner) y la recopilación de los datos de estudios geotécnicos y geológicos realizados en La Ciudad Universitaria en la década de los 40's, además de datos geofísicos pertenecientes al Departamento de Geofísica de la Facultad de Ingeniería de la UCV; logró correlacionar toda la información para estimar parámetros geotécnicos del área de estudio. Como resultados obtuvo que los espesores de sedimentos del suelo son más delgados hacia el norte y más espesos hacia el sur, variando de 0 m a 65 m; además evidenció la presencia de un paleocanal hacia el centro del campus en donde drenaban los pequeños afluentes provenientes del sector de Sierra Maestra.

- UGHI (2014), realizó una caracterización geofísica a través de 27 sondeos eléctricos verticales (SEV), entre el Instituto Nacional de Investigaciones Agronómicas y la Facultad de Agronomía del núcleo de Maracay de la Universidad Central de Venezuela. Se estableció como objetivo comprobar la presencia de un sistema de acuíferos, y determinar, de existir, su extensión, profundidad y capacidad de aprovechamiento. De igual manera, buscó correlacionar su estratigrafía con sistemas de recargas asociados al Lago de Valencia. Como resultados, mediante el procesamiento de datos se generaron 5 mapas de resistividad construidos para igual número de estratos geoelectrónicos que abarcan distintos rangos de profundidades definidos arbitrariamente, y se interpretó que éstos presentan una gran complejidad granulométrica. Así mismo, se estableció que las zonas sur y sureste son las más propicias para la prospección de aguas subterráneas y que la recarga del sistema de acuíferos proviene desde el norte debido a escorrentía e infiltración superficial de los afluentes y ríos intramontanos y, desde la vertiente sur, a través del flujo de agua originado desde la infiltración del lago de Valencia.

- SALCEDO (2018), a través de una recopilación bibliográfica e interpretación de datos recolectados por otros autores y entes, logró integrar la hidrogeología, geología, geografía, geofísica, geomorfología, geotecnia y geoquímica, en una base de datos para caracterizar y realizar un modelo conceptual del acuífero aluvial ubicado entre las quebradas Chacaíto y Sebucán, específicamente entre el Municipio Chacao y el parque Generalísimo Francisco de Miranda, en el estado Miranda. Este estudio permitió un mayor entendimiento de la zona y sus recursos, se establecieron las posibles zonas de recarga y descarga, se interpretó el flujo, y las fuentes de contaminación del área. También se generó un modelo numérico a partir del modelo conceptual que se acerca mucho a la realidad del acuífero, el cual se propone como aporte para trabajos futuros de esta índole en el área.

1.8 Antecedentes internacionales

- **ÁLVAREZ & ROMERO (2010)**, realizaron una caracterización hidrogeológica en la localidad de Sayá, en la Península de Santa Elena, en Ecuador. Esta zona se abastece principalmente de albardas y de unos pocos pozos de agua subterránea. Este estudio se realizó debido a la necesidad de la población y de las actividades agrícolas de la zona de abastecimiento de agua potable. El objetivo fue determinar las características hidrogeológicas del área. Para ello se definieron las unidades geológicas, se analizó la evolución temporal de los niveles piezométricos durante un año, se analizó la conductividad eléctrica y así se definió el comportamiento hidrogeológico en el sector. Este estudio generó mapas temáticos geológicos e hidrogeológicos, gráficos de precipitaciones y de evolución de los niveles piezométricos en el tiempo, mapa piezométrico de la zona de estudio y de conductividades. Se concluyó que el acuífero presenta dos unidades litológicas principales, una de sedimentos de arena y otra de roca consolidada de arenisca. De igual manera, se estableció la dirección del flujo subterráneo, el cual va desde noroeste a suroeste y se realizaron estudios de conductividad eléctrica, los cuales permitieron conocer la salinidad del agua, clasificándola como agua salobre.

- **SINGHAL & GOYAL (2011)**, desarrollaron un modelo conceptual de flujo de las aguas subterráneas para el área de Pali, India. Este trabajo se apoya de manera extensiva en un Sistema de Información Geográfico (GIS) para procesar, preliminarmente, todos los datos geológicos e hidrológicos. La metodología utilizada, se propone como alternativa de uso regular que provee mejores herramientas para la construcción de un modelo conceptual que permita abordar los problemas del modelado de agua subterránea de una manera más eficiente. Los pasos de la metodología propuesta por los autores son: la preparación del modelo conceptual, establecer y conocer el área de estudio y las condiciones específicas de sus límites, la creación de una base de datos en un Sistema de Información Geográfico (GIS) y, por último, el desarrollo de un modelo de flujo basado en un modelo conceptual del agua subterránea. Para la zona lograron concluir, aplicando la metodología, que el principal aporte del acuífero es el río Bandi, el cual está seco en la mayor parte del año, excepto en época de monzones. El mismo enriquece hidráulicamente a un aluvión que ocupa alrededor del 60% del área de estudio. Sin embargo, el flujo del agua del río se ve

altamente afectado por la contaminación de las industrias y de la ciudad de Pali. Generaron además como resultado final un mapa de las condiciones de los límites del acuífero, un mapa hidrogeológico del área de estudio, un mapa de elevación topográfica de la zona y una superficie que representara la litología de la zona.

- GASTMANS *et al.* (2012) realizaron un modelo hidrogeológico conceptual regional del Sistema Acuífero Guaraní, el cual se extiende por los territorios de Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay, siendo así un acuífero transfronterizo de gran magnitud. Este estudio se realizó con el fin de utilizarlo como herramienta común entre los países y las distintas legislaciones para poder gestionar de manera eficiente el suministro de agua potable para la población que vive en su área de ocurrencia y evitar su sobreexplotación, especialmente en las zonas en donde el mismo es confinado. Para ello se generó una base de datos de los distintos pozos existentes con datos hidráulicos y geológicos, se realizaron muestreo de las aguas subterráneas, así como levantamientos geológicos y geofísicos a lo largo de su extensión y se realizó una caracterización petrográfica de las arenas constituyentes del sistema. Se concluyó, que el acuífero es continuo, y está constituido por rocas sedimentarias arenosas de las cuencas del Paraná y Chacoparanense comprendidas entre la discordancia permo-eotriásica y los derrames basálticos del Cretácico Inferior. El flujo de las aguas subterráneas es de Norte a Sur y varias estructuras geológicas regionales, como el Arco de Ponta Grossa y la Dorsal Asunción – Río Grande, influyen directamente en las condiciones de flujo.

- GUMA *et al.* (2018), realizaron una caracterización hidrogeológica del graben de Albertina en Uganda, África, a través de geofísica de superficie y ensayos hidráulicos. Para tal fin, se analizaron en conjunto niveles de agua subterránea y pluviosidad de dos piezómetros en el lago Albert desde marzo de 2015 hasta marzo de 2017, lo que proporcionó información de la variación en el tiempo de la recarga, el almacenamiento y la descarga del agua subterránea. Como métodos geofísicos, se realizaron estudios y se obtuvieron datos de resistividad eléctrica del suelo para identificar posibles acuíferos. Estas observaciones fueron respaldadas por registros litológicos y datos de pruebas hidráulicas. Interpretando los resultados de los estudios, los autores definieron una dirección de flujo

subterráneo, la forma y los límites del acuífero y las propiedades hidráulicas del mismo, lo que permitió como producto final, realizar un modelo conceptual estableciendo que existen dos ambientes en el sistema de acuíferos; el primero transmisivo, de sedimentos no consolidados, con espesor de 27m y un ambiente más profundo localizado en un basamento granulítico de espesor 28m.

CAPÍTULO II

Este capítulo se divide en dos secciones fundamentales, la primera, la cual lleva por título marco teórico, contiene los fundamentos conceptuales para el desarrollo de la investigación, mientras que la segunda parte lleva por nombre marco geológico, el cual, describe los aspectos fundamentales a nivel geológico de la zona, comenzando desde el estudio a escala regional hasta llegar a la descripción de la geología presente en el área de estudio.

MARCO TEÓRICO

Los estudios hidrogeológicos del agua subterránea son necesarios para realizar una gestión efectiva del recurso y su preservación a futuro. Para realizarlos, es necesario basarse en fundamentos teóricos que sustentan una investigación de esta índole. Los mismos van a permitir el entendimiento de todos los aspectos relacionados al flujo, como su movimiento, variabilidad, ocurrencia y su interacción con el agua superficial. Para ello, es necesario entender una serie de conceptos que van desde lo más básico, como podría ser explicar las distintas formas en como fluye el agua en nuestro planeta, hasta conceptos técnicos y fórmulas relacionados con los parámetros hidrogeológicos del acuífero. A continuación, se presenta una explicación teórica de los mismos:

El agua es un recurso único que nos proporciona la naturaleza y es vital para cada uno de los seres humanos. El agua subterránea representa en volumen una fuente importante de este recurso, estando de tercer lugar luego del hielo polar y los océanos por lo que es una excelente opción como medio alternativo de fuente de agua potable. Ella es una parte importante del **ciclo hidrológico** (Figura 2), un complejo sistema que hace circular el agua a través de la tierra. Este ciclo comienza al ser evaporada el agua de los océanos debido a la energía solar para luego condensarse y formar grandes masas de nubes que bajo condiciones atmosféricas particulares precipitan en forma de lluvia, parte de la cual cae sobre la tierra generando en muchos casos corrientes de agua tales como ríos, que eventualmente regresan al océano para repetir este ciclo. También pueden quedarse en el continente en forma de lagos y pozos, o percolar a través del suelo para quedar almacenada como agua subterránea y parte de ella ser transpirada por las plantas para llegar de nuevo a la atmósfera (BRASSINGTON, 2017).

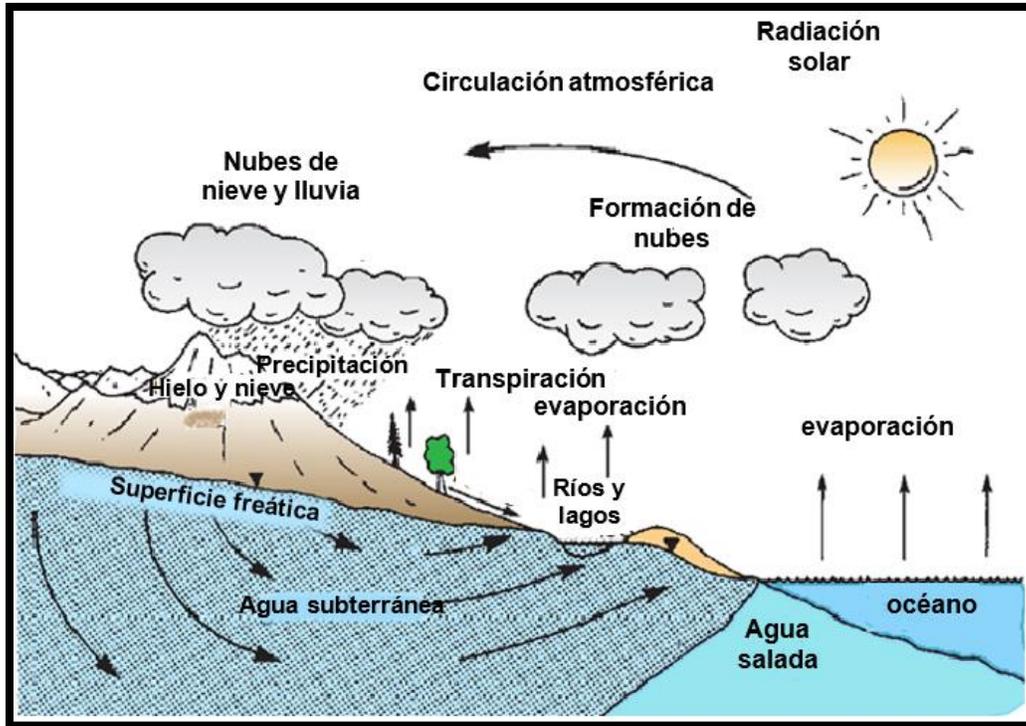


Fig. 2: Ciclo hidrológico (BRASSINGTON, 2017)

Al infiltrarse el agua en el suelo, dependiendo de la composición del mismo, si es **permeable** o **impermeable**, el agua realiza distintos recorridos. En zonas donde el terreno es permeable, el agua tiende a escurrirse casi de manera vertical, pudiendo formar parte del acuífero que se encuentre debajo de la superficie (BATEMAN, 2007).

El término **acuífero**, según HEATH (1987), es acuñado a una unidad o formación geológica la cual está en la capacidad de almacenar y transmitir agua en una cantidad considerable. Esta cualidad, de acuerdo con TANG et al. (2016), ocurre en muchos tipos de formaciones geológicas, como, por ejemplo, las arenas y gravas no consolidadas, las cuales son típicos depósitos de aguas subterráneas. Las rocas muy fracturadas, como, por ejemplo, granitos o basamentos metamórficos, también podrían resultar buenos almacenadores y transmisores de agua, al igual que las litologías kársticas.

En adición al término acuífero, SANCHEZ (2017), presenta otras terminologías al resto de las formaciones geológicas, según el comportamiento hidráulico de sus litologías. El autor establece que las formaciones geológicas que contienen agua de manera considerable, pero no permiten que circule el fluido a través de ella, son los **acuicludos**. Un

ejemplo de ellos son las arcillas y los limos. Por su parte, establece que los **acuitardos**, son aquellas litologías las cuales contienen buena cantidad de agua, pero que circula a través del material con dificultad, como es el caso de las arenas arcillosas, areniscas, rocas compactas con alteración o con fracturas moderadas. Por último, el término **acuífugo**, lo adjudica a aquellas formaciones geológicas que no contienen agua porque el material no permite que circule a través de él, como, por ejemplo, un granito o un esquisto inalterado. Todas estas litologías mencionadas pueden rodear o presentarse infra o subyacente a las formaciones acuíferas.

La propiedad de la roca o sedimento que hace que un acuífero pueda almacenar agua es la **porosidad**, la cual se define como la fracción de espacios vacíos que contiene un material sólido respecto al volumen total (TODD, 2004). Al hablar de esta propiedad, intuitivamente se piensa en un material detrítico, como unas arenas. Este tipo de porosidad se conoce como **porosidad intergranular**. Pero, las rocas compactas también pueden contener agua en su interior en fisuras (fracturas, discontinuidades o esfuerzos tectónicos); la misma se conoce como **porosidad por fisuración**. Igualmente, la porosidad también se clasifica en **primaria**, cuando resulta al originarse la formación geológica y, **secundaria**, cuando se produce por cualquier proceso posterior (SANCHEZ, 2017). Sin embargo, si los espacios vacíos que representan la porosidad se llenan de agua, pero no pueden fluir a través del material, igualmente no podría utilizarse; esta propiedad se conoce como **permeabilidad** (TODD, 2004). Para que un acuífero exista, las dos propiedades deben estar presente de manera considerable.

Cuando el acuífero se satura de agua y, tanto sobre y debajo de él, se encuentra una capa o estrato impermeable se dice que es un **acuífero confinado**, generando que en esta zona exista una presión mayor a la presión atmosférica. En cambio, si sobre el acuífero se encuentra una capa permeable, o éste se encuentra directamente en contacto con la superficie, el nivel de agua del mismo llamado **superficie freática** puede fluctuar y se le da el nombre de **acuífero libre**. Si el acuífero limita en alguno de sus bordes con un estrato semipermeable, el nombre que se le da es **acuífero semiconfinado** (HEATH, 1987) (Figura 3).

Existe un término diferente a la superficie freática que también hace referencia al nivel de agua en un acuífero, este término se conoce como **superficie piezométrica** y, según KARAMOUZ *et al.* (2011), representa el valor estático de una superficie a la cual subiría el nivel del agua, si estuviese libre. Para los acuíferos libres, esta superficie generalmente corresponde con la superficie freática, mientras que, para los acuíferos confinados, la superficie piezométrica es la unión de todos los puntos que alcanza el nivel de agua dentro de las perforaciones o pozos (Figura 3).

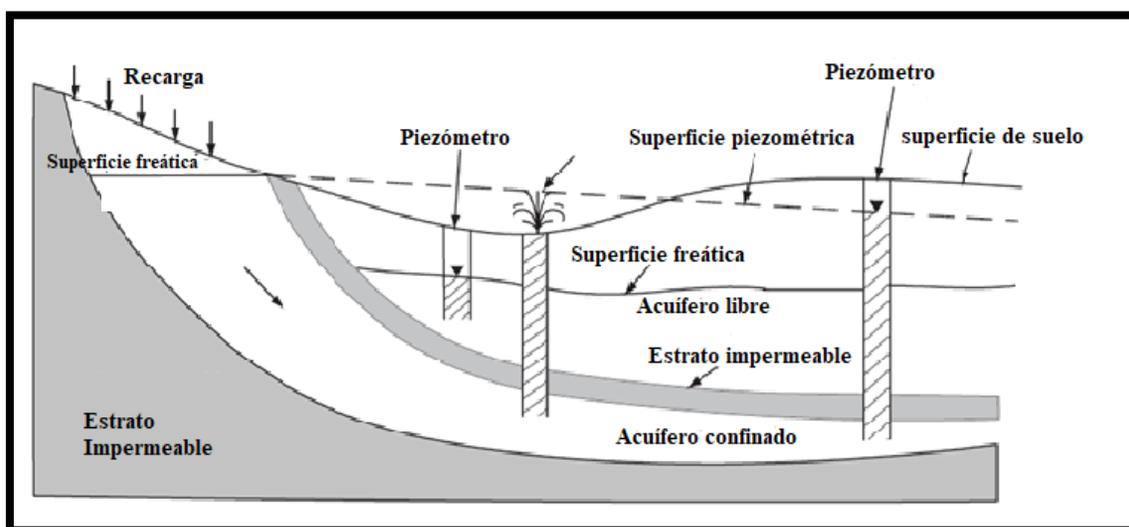


Fig. 3: Corte esquemático de un acuífero libre y uno confinado. (KARAMOUZ, et al., 2011)

El agua subterránea posee propiedades hidráulicas que le dan al estudio una orientación cuantitativa. La primera vez que estas propiedades fueron estudiadas fue en 1954 en un experimento realizado por el Ingeniero Francés Henry Darcy. A partir de los resultados de este experimento, logró establecer una ley, que hoy en día lleva su nombre (**Ley de Darcy**). Darcy determinó que el agua subterránea siempre fluye desde un nivel de mayor altura, llamada **zona de recarga**, hasta un nivel de menor altura, llamada **zona de descarga**. La pendiente generada entre la diferencia de estas dos alturas se conoce como **gradiente hidráulico**. Luego generó una ecuación que relaciona la menor velocidad de flujo (Q) con el área de la sección transversal del acuífero (A) y el gradiente hidráulico (h/l) (BRASSINGTON, 2017):

$$-Q = kA \frac{h}{l}$$

Donde l es el recorrido horizontal del flujo y h es el recorrido vertical del flujo.

En la Ley de Darcy, se refleja la **conductividad hidráulica (k)**, la cual, según RUSHTON (2003), es una función de la viscosidad dinámica del agua, es decir, el volumen de agua que fluye a través de una sección de área transversal en una unidad de tiempo determinada. En algunos casos puede referirse a este término como permeabilidad.

Otra propiedad que se estudia es la **Transmisividad**, la cual es una medida de la cantidad de agua que puede fluir horizontalmente en un acuífero, influyendo en esta medida la altura del grosor saturado del acuífero en un gradiente hidráulico de 1 (HEATH, 1987). Este parámetro permite conocer la facilidad del agua para circular horizontalmente por una formación geológica, siendo este no más que la relación de la conductividad hidráulica y el espesor del acuífero (SANCHEZ,2017). La figura a continuación proporciona un ejemplo de características hidrogeológicas distintas, pero que generan el mismo caudal (Figura 4).

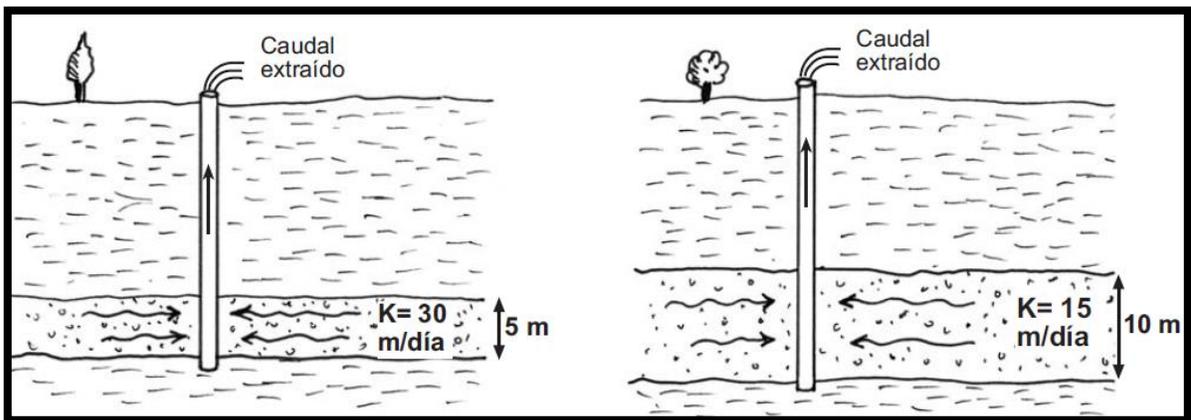


Fig. 4: Relación entre la conductividad hidráulica y el espesor en la transmisividad (SANCHEZ, 2017)

La conductividad hidráulica del agua subterránea permite su movimiento en los espacios porosos de los suelos o rocas. De acuerdo con el tamaño, la forma y la conectividad de los espacios vacíos en los materiales, se pueden formar líneas de corrientes complicadas y tortuosas. Las direcciones de flujo y las velocidades del agua subterránea a lo largo del acuífero son diferentes. En el centro del espacio vacío el agua fluye más rápido, mientras que en los lugares que el agua entra en contacto con las partículas de la roca, se mueve lentamente (TANG *et al.*, 2016).

Sin embargo, el movimiento del flujo subterráneo es realmente lento en comparación con cualquier flujo de agua en superficie, y debido a la proporcionalidad de la cantidad de agua en movimiento y su gradiente, el flujo de la mayoría de las aguas subterráneas es laminar. El mismo es el resultado de la recarga, ya sea producto de la lluvia, escorrentía, o debido a la interacción del agua subterránea con el agua superficial. Debido a los diferentes factores de recarga en un acuífero, las trayectorias de flujo usualmente son complejas con componente tanto vertical como horizontal, y depende mucho de la composición de los estratos a través de los cuales se moviliza. Otro factor que podría afectar el flujo es la variación estacional climática en el área, cambiando el nivel de la superficie freática o la saturación (RUSHTON, 2003).

Desde el punto de vista de la teoría y la práctica, existen grandes dificultades en el estudio de las circunstancias específicas de flujo. Por lo tanto, se propone un modelo de flujo hipotético para reemplazar la acción de flujo real. Primero, la tortuosidad del flujo de agua se desprecia, estableciendo solo una dirección principal. Segundo, se considera que el agua subterránea fluye a través de toda la sección transversal sin esqueletos de partículas, lo que se conoce como **filtración**. El flujo de agua subterránea a través de los suelos a menudo se puede describir mediante una **red de flujo**. Para condiciones específicas, las **líneas de flujo** y las **líneas equipotenciales** se pueden representar en dos dimensiones para formar una red de flujo. Los dos conjuntos de líneas forman un patrón ortogonal. (TANG *et al.*, 2016) (Figura 5).

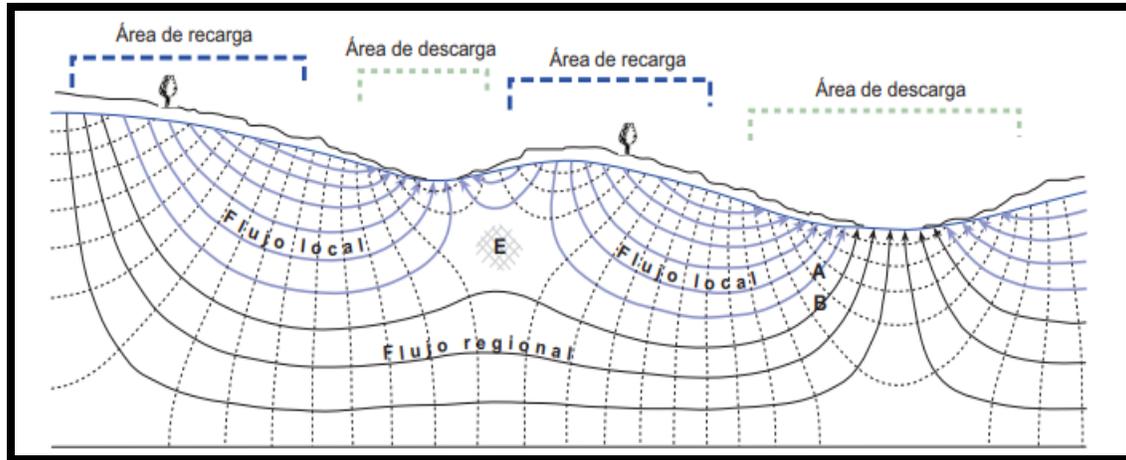


Fig. 5: Red de flujo que esquematiza el flujo subterráneo natural en una región de conductividad hidráulica homogénea (SÁNCHEZ, 2017)

Es posible obtener propiedades hidráulicas en los acuíferos a través **de ensayos de bombeo y ensayos de recuperación**, los cuales son pruebas diseñadas para obtener algún valor hidráulico en función a algunos otros parámetros que ya se conocían. Teóricamente, estos ensayos parten del principio de que la diferencia de agua que entra y sale por las caras de un cubo poroso ideal, más las entradas de agua exteriores al sistema, tiene que ser igual a la variación del almacenamiento, es decir a lo que se llena o vacía dicho cubo (VILLANUEVA & IGLESIAS, 1984). Según CASTAÑEDA (2019), estos métodos estiman el funcionamiento, capacidad y la zona de influencia de la extracción de agua mediante un pozo, además de determinar las características de un acuífero (el almacenamiento, la transmisividad, la extensión y posibles conexiones con fuentes superficiales), asimismo explica que una prueba de bombeo consiste en el bombeo de agua desde un pozo en reposo, normalmente a caudal constante y en la medición de cambios en los niveles de agua (descensos) en puntos de observación cercanos. Por otra parte, VILLANUEVA & IGLESIAS (1984), establecen que los métodos de recuperación por su parte, consisten en interpretar ensayos en base a los datos que se obtienen en el propio pozo, una vez que éste detiene su extracción de agua. A partir de la parada del bombeo, los niveles de agua en el pozo empiezan a subir hasta recuperar total o parcialmente el nivel inicial. En base a esta prueba, se suele calcular la transmisividad del pozo, a partir de valores conocidos como el caudal constante que genera la bomba encendida en un tiempo

determinado y los valores obtenidos en el ensayo. Partiendo de la transmisividad es posible calcular el resto de las propiedades hidráulicas. De manera general un pozo de bombeo presenta la siguiente configuración (Figura 6):

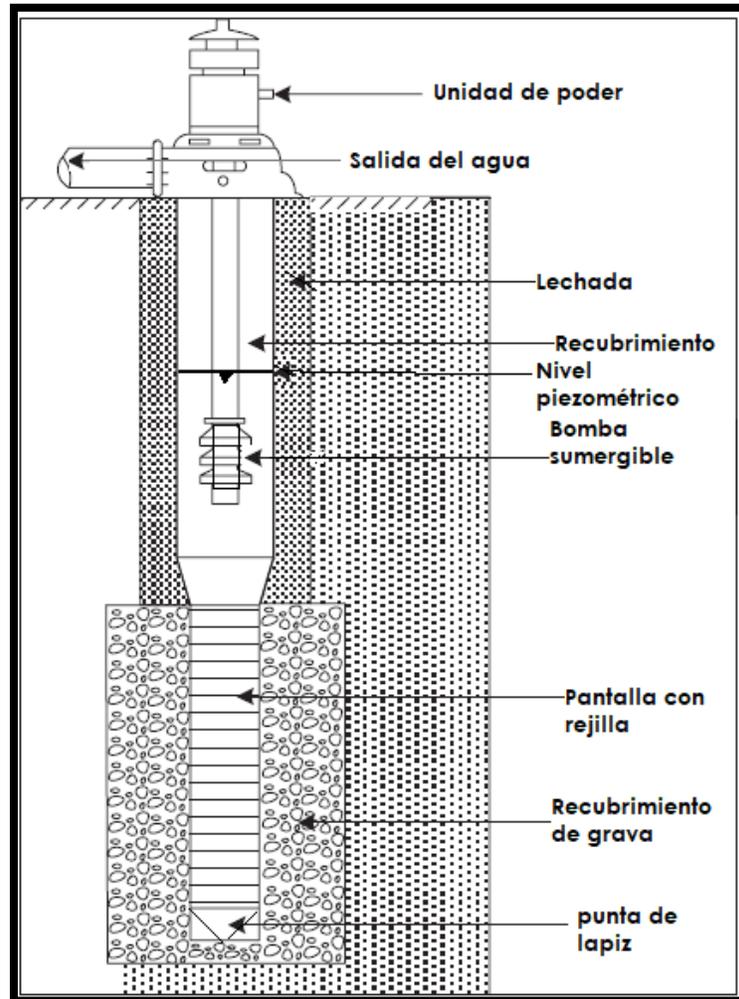


Fig. 6: Configuración típica de un pozo de bombeo (KARAMOUZ et al., 2011)

Para lograr una gestión eficaz del agua subterránea es necesario monitorear constantemente la respuesta del acuífero, controlar los impactos de la extracción del fluido y la calidad del mismo. Para tal fin, es necesario obtener datos hidrológicos a lo largo del tiempo, los cuales se recolectan a través de piezómetros. Un **piezómetro** es un pozo consagrado y aplicado únicamente al monitoreo, por lo que su diseño y ubicación en el acuífero debe establecerse, de tal manera, que sea capaz de detectar los posibles cambios del flujo (Figura 7). Si se planea explotar el acuífero, se realiza un pozo de producción (o

pozo de extracción) del cual se obtienen datos al momento de la perforación, los cuales no pueden obtenerse si se intentasen tomar posteriormente, y representan la información de partida en el control de la explotación. Esto es debido a que, una vez que el pozo esté en operación, se genera un **cono de abatimiento** y además la calidad del agua puede variar con el bombeo debido a que puede provenir de diferentes lugares del acuífero (TUINHOF *et al*, 2006) (Figura 7).

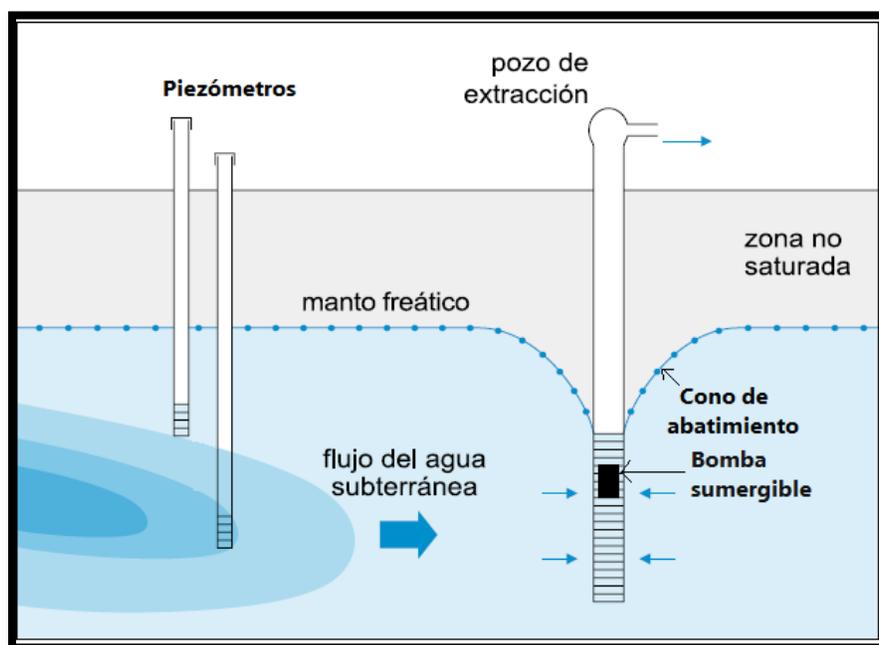


Fig. 7: Configuración de pozos y representación del cono de abatimiento generado por la extracción de la bomba sumergible (Modificado de TUINHOF, 2006)

En el monitoreo del agua subterránea, es posible registrar 2 tipos de datos. El primero de ellos es el **nivel estático** del pozo o piezómetro, el cual es la profundidad del agua subterránea medida desde la superficie o un nivel de referencia en condiciones naturales, es decir, sin perturbación ni influencia de extracción. Si por su parte, hay bombas hidráulicas funcionando en el acuífero, la medición que se obtiene es el **nivel dinámico**, el cual es la profundidad del agua subterránea medida desde la superficie o un nivel de referencia, siendo la carga hidráulica, en este caso, la que se encuentra en equilibrio durante el periodo de extracción (MINISTERIO DE AGRICULTURA DE PERÚ, 2016)

Luego de evaluar las propiedades hidráulicas de un sistema acuífero, para un estudio completo, y así entender el funcionamiento o comportamiento del mismo, es necesaria la realización de un **modelo conceptual**; el cual es una descripción cualitativa simplificada del sistema físico. Un modelo conceptual puede incluir la descripción de los acuíferos que integran el sistema, los límites de los mismos y sus condiciones, los regímenes del flujo, las fuentes de agua, las zonas de carga y de descarga, y las direcciones del flujo subterráneo (TODD & MAYS, 2004) (Figura 8).

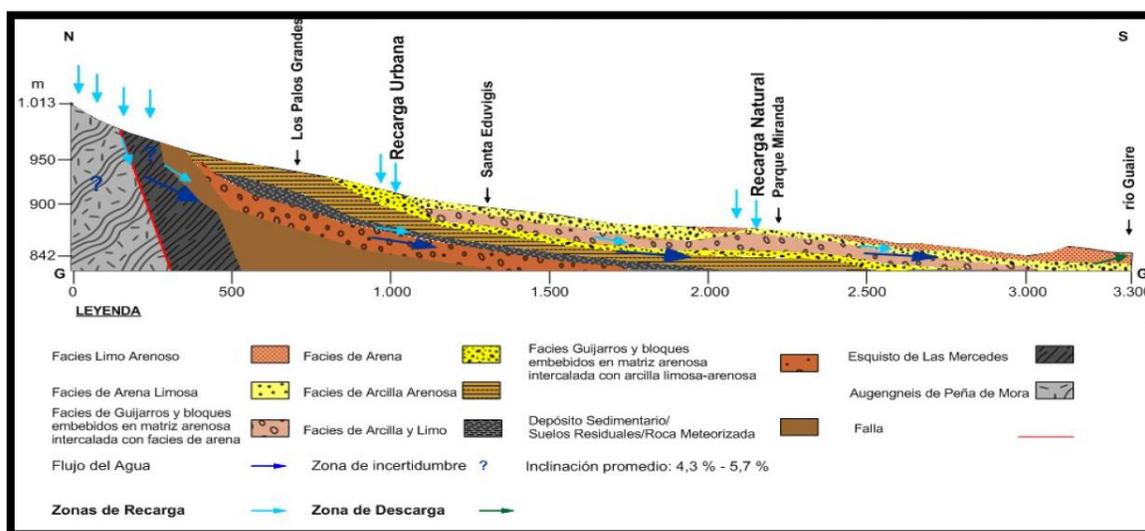


Fig. 8: Modelo hidrogeológico conceptual 2D del acuífero aluvial ubicado entre las quebradas Chacaíto y Sebucán, región noreste del valle de Caracas. (SALCEDO, 2018)

Un modelo conceptual requiere suposiciones simplificadas porque una reconstrucción completa del sistema encontrado en campo no es factible, ya que rara vez hay datos suficientes para describir al sistema con detalles. Sin embargo, debe mantener la capacidad de representar debidamente los elementos físicos del comportamiento hidrológico (SPITZ Y MORENO, 1996).

Para la realización de un modelo conceptual, y cuando se estudia un acuífero, una gran cantidad de información puede ser recolectada. Utilizar los **Sistemas de Información Geográfica (SIG)**, permite almacenar, guardar y mostrar múltiples capas de información en una topografía determinada (FETTER, 1994). Según VÉLEZ (1996), los Sistemas de Información Geográfica son un tipo de base de datos que destaca por su capacidad de

manejar información espacialmente referenciada y por capacidad de representarla gráficamente. Este sistema de datos permite procesar, almacenar, analizar y producir información de tipo espacial, esto los hace ideales para almacenar y procesar los datos para la realización del modelo conceptual.

GEOLOGÍA REGIONAL

2.1 Marco tectónico

El área de estudio se encuentra en el Valle de Caracas, al centro-norte de Venezuela. Es una zona comprendida dentro del área de deformación de entre 250 y 500 km originada por la colisión entre la Placa del Caribe con la Suramericana, teniendo la Placa Caribe una dirección de movimiento relativa al este y la Suramericana hacia el oeste (Figura 9).

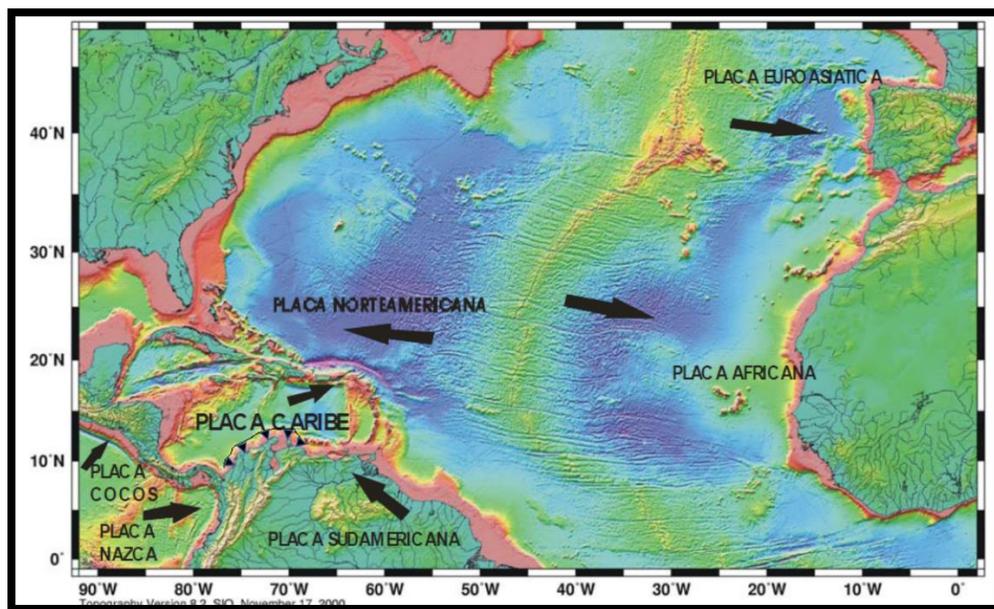


Fig. 9: Contexto tectónico general de la placa del Caribe y todas sus interacciones con las placas Circundantes (GRANJA, 2005)

Esta zona de deformación al centro-norte de Venezuela, conocida como la Cordillera de la Costa, se ha estudiado ampliamente. Muchos autores han dividido el área, generado clasificaciones y complementado y modificando éstas a lo largo de los años. La clasificación más reciente y aceptada para la división del área es la plasmada por URBANI & RODRIGUEZ (2004), en donde se actualizó la nomenclatura de las unidades de rocas

ígneo – metamórficas de la Cordillera de la Costa, según las normas de unidades litodémicas.

URBANI & RODRIGUEZ (2004) dividen la Cordillera de Costa, de manera geográfica, en dos grandes grupos de napas, delimitados por un conjunto de valles intramontanos controlados por el sistema de fallas de La Victoria (Figura 10); a saber:

- Napas de la Serranía del Litoral (hacia el norte del sistema de fallas)
- Napas de la Serranía del Interior (hacia el sur del sistema de fallas)

A continuación, se nombran de norte a sur las napas correspondientes por grupo,

Napas de la Serranía del Litoral:

- Napa Costera - Margarita
- Napa del Ávila
- Napa de Caracas

Napas de la Serranía del Interior:

- Napa Caucagua - El Tinaco
- Napa Loma de Hierro
- Napa Villa de Cura

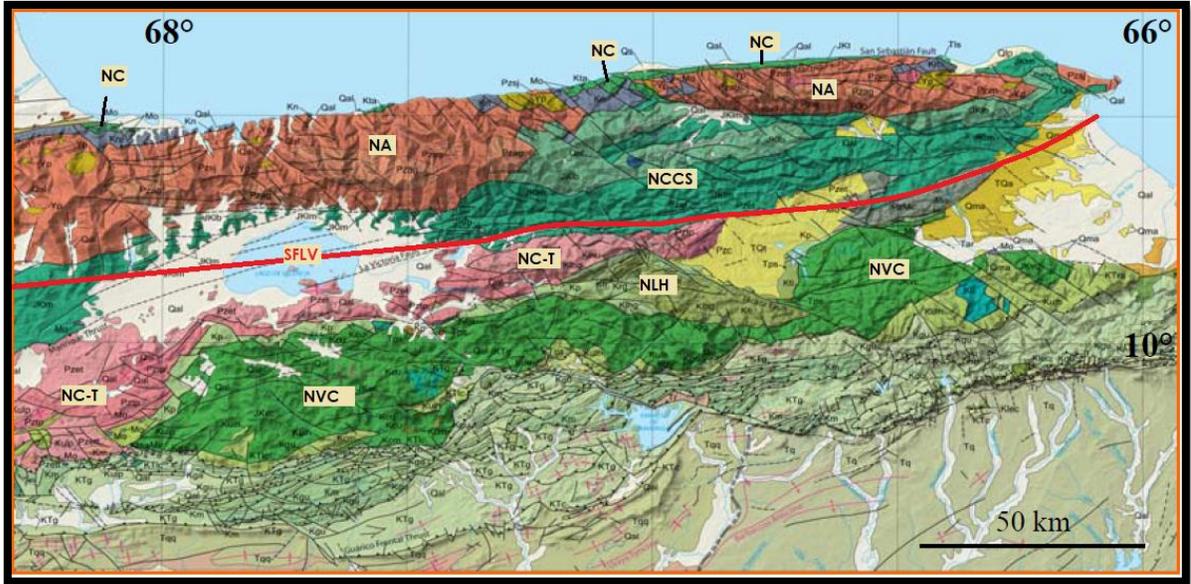


Fig. 10: Mapa geológico del norte de Venezuela. NC: Napa de la Costa; NA: Napa del Ávila; NCCS: Napa de Caracas; NC-T: Napa Caucaagua- EL Tinaco; NLH: Napa de Loma de Hierro; NVC: Napa de Villa de Cura. Modificado de HACKLEY et al. (2005).

(URBANI, et al., 2005)

Dentro de esta clasificación regional de la Cordillera de la Costa, la zona de estudio está ubicada en la Napa de Caracas, de la cual serán ampliadas sus características a continuación.

2.1.1 Napa de Caracas

TALUKDAR & LOUREIRO (1982), interpretan que la configuración actual de la Napa de Caracas ha sido el resultado de 4 fases de plegamiento, el primero de ellos no presenta evidencia, se le da una interpretación teórica, el segundo definido por un conjunto de pliegues predominantemente isoclinales y con sus planos axiales en la misma dirección que a la foliación. La tercera fase se caracterizó por pliegues abiertos y la cuarta y última fase, se define por variaciones en los buzamientos de la foliación lo que se podría interpretar como un gran plegamiento.

STEPHAN (1982), realiza también una representación e interpretación de las posiciones actuales de las fajas. Donde, para la sección que corresponde al área de las napas

de Caracas y el Ávila, debido a un régimen de relevo transpresivo, generó un fuerte movimiento vertical a las rocas (representado como una flecha, Figura 11).

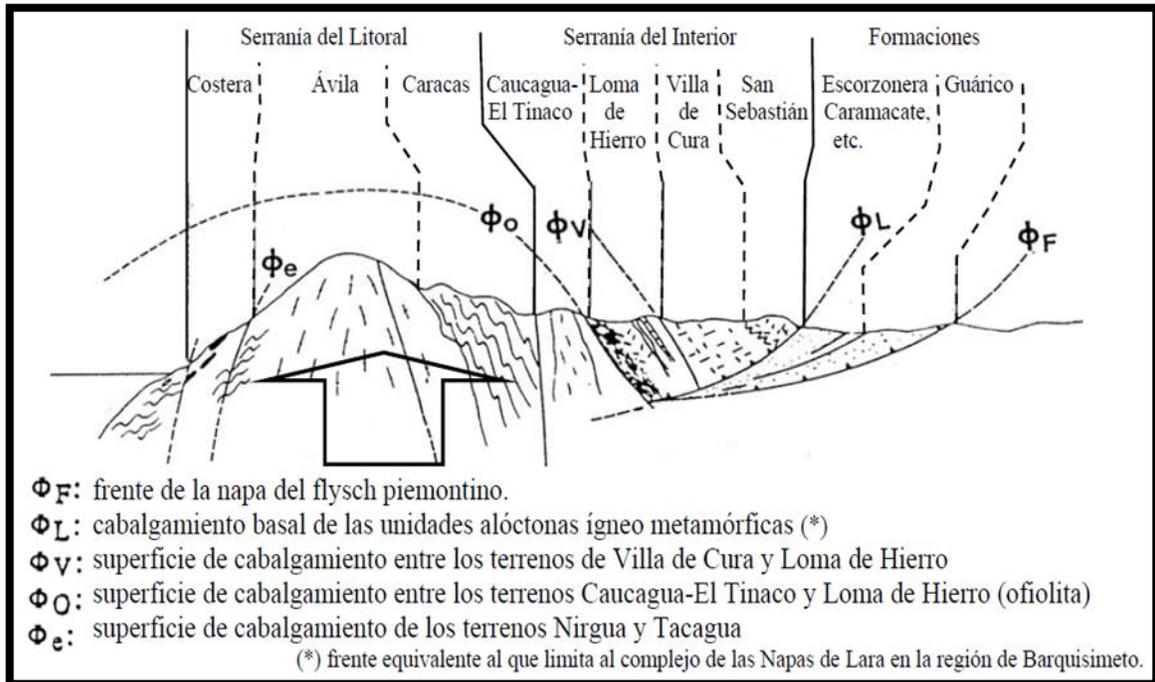


Fig. 11: Sección generalizada de la Cordillera de la Costa en el meridiano de Caracas.

Adaptado de STEPHAN et al. (1980) (URBANI, 2012)

2.1.2 Marco litológico Napa de Caracas

Debido a que la zona de estudio se encuentra en la Napa de Caracas como se mencionó en el apartado anterior, es conveniente mencionar que de acuerdo con URBANI (2000), la Napa de Caracas corresponde mayoritariamente a la Asociación Metasedimentaria de Caracas, la cual está constituida por tres unidades litodémicas principales, Las Brisas, Las Mercedes y Chuspita, todas de bajo grado metamórfico. El área de estudio se encuentra específicamente en Las Mercedes. La zona de estudio se encuentra en la unidad litodémica de Las Mercedes, característica por sus esquistos.

- Esquisto Las Mercedes

De acuerdo con URBANI & RODRÍGUEZ (2004), el litodemo de Las Mercedes es la unidad geológica más extensa de toda la Cordillera de la Costa. Se establece que la edad de los sedimentos premetamórficos es Cretácico Temprano debido a los escasos fósiles hallados.

DENGO (1951) establece características petrológicas de las rocas de la Cordillera de la Costa y propone que el litodemo fue producto de un metamorfismo dinamotermal, con deformaciones ocurridas bajo presiones dirigidas tangencialmente, acompañadas probablemente por intrusiones de material granítico y granodiorítico. Además, sugiere que el protolito fue una sucesión de rocas, que consistía de sedimentos arenáceos, calcáreos y pelíticos y de rocas ígneas basálticas que, posteriormente, fueron transformadas durante el metamorfismo en gneises, esquistos, mármoles y anfibolitas.

La litología principal de la unidad corresponde a un esquisto/filita cuarzo-moscovítico-calcítico-grafitoso, que se intercala con niveles carbonáticos (mármol) de espesores variables. Las rocas presentan una buena foliación, con un tamaño de grano que va de fino a medio, el color característico es gris muy oscuro a negro cuando están muy frescas y pasan a colores blancos o rojizos-violáceos, al avanzar la meteorización. Su mineralogía promedio es de cuarzo, moscovita, calcita, grafito y en menor proporción, clorita, opacos (hematita y pirita), epidoto y ocasionalmente albita (WEHRMANN, 1972). Los niveles de mármol son de color gris azulado, cuya mineralogía es mayormente calcita y escasa dolomita. Entre los minerales accesorios están el cuarzo, moscovita, grafito y opacos (óxidos de hierro, pirita). Se han encontrado otras litologías como metaconglomerado, esquisto clorítico y el mármol tiene una mineralogía mayormente calcítica.

El Esquisto Las Mercedes es el basamento geológico del Campus de La Universidad Central de Venezuela, donde posteriormente se depositaron sedimentos Cuaternarios, principalmente aluviones (GONZÁLEZ, 2014).

2.1.3 Sedimentos cuaternarios en el campus universitario

La cobertura de sedimentos del área, es característica de un ambiente fluvial continental (GALAVÍS, 1983). KANKAK (2012) establece que un buen aporte de los sedimentos depositados en La Ciudad Universitaria de Caracas, fue la acción del río Guaire hacia el norte. UGHI (2011), señala que este proceso sedimentario dejó en la zona depósitos de arena fina con espesores que van de 0m a 10m intercaladas con estratos de arcilla o arcilla limosa, en forma de láminas o cuñas, con espesores de varios metros. De igual manera, el autor afirma que, embebidas entre estos estratos, se encuentran estructuras en forma de lentes constituidos por arenas finas, arenas limosas y arenas con grava que suelen ser idóneos para la depositación de agua subterránea.

Por otra parte, SINGER et al (2007), describe que el campus está constituido por depósitos lacustres de tipo limo-arcillosos provenientes de la obturación de los ríos Guaire y Valle, y por una planicie aluvial de descarga y de inundación de los mismos ríos en el sector de Plaza Venezuela.

Los autores también señalan que la sucesión de estos sedimentos varvados alcanza espesores de 6 a 15 metros. El tope y la base aparentes del material lacustre no parecen definir un horizonte continuo de sedimentación lacustre, sino más bien ambientes erráticos locales ubicados en sitios de confinamiento aluvial de los ríos Guaire y Valle. De igual manera, también consideran que el suroeste del campus era la zona de confluencia de los ríos Guaire y Valle, y que era un amplio sector de represamiento y ahogamiento aluvial (Figura 12).

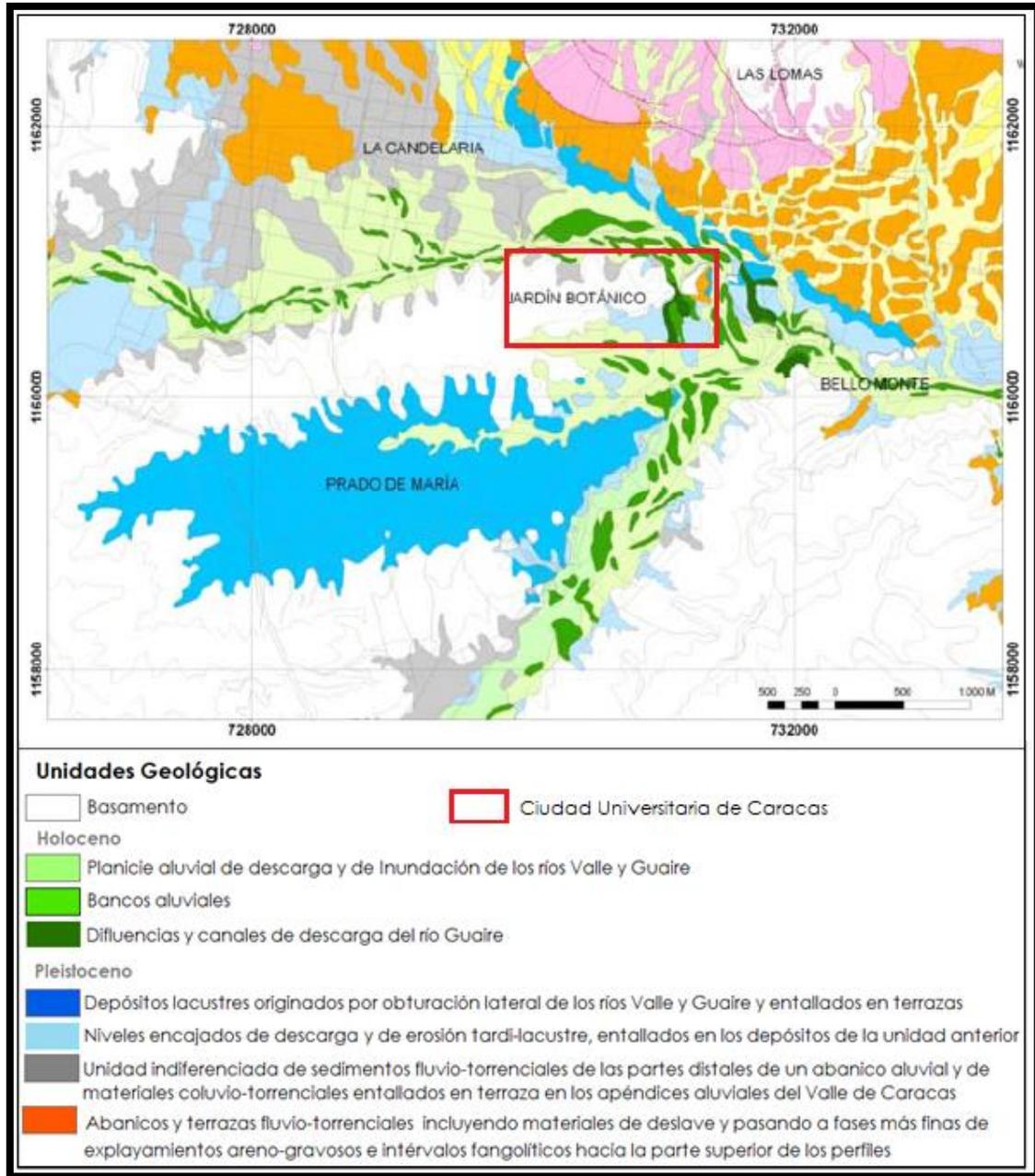


Fig. 12: Mapa de Unidades Cuaternarias en la UCV y alrededores. Tomado de OROPEZA & ZAMBRANO (2007)

La composición y procesos sedimentarios reflejan que el sistema hidrogeológico que se encuentra en la Ciudad Universitaria de Caracas es bastante complejo desde el punto de vista estratigráfico, ya que es posible la presencia de diferentes tipos de acuíferos coexistiendo en la misma área (GALAVÍS, 1983).

ACERO & DOMINGUEZ (2005), determinaron que la Ciudad Universitaria de Caracas está compuesta principalmente por sedimentos aluviales de litología heterogénea gracias a que la depositación hacia el sur fue producto de la actividad fluvial del río Valle, en periodos de inundaciones de la zona. Establecen igualmente, una amplia presencia de coluvión, representada como una matriz arcillosa fina, suelta y heterogénea, producto de derrubios de gravedad hacia el noreste del área, próximo a la penillanura al pie del Jardín Botánico. Por último, describen que, de manera general, dominan los limos y las arenas aluviales; pero el aporte de material de mayor tamaño (gravas presentes en la zona) son producto de depositación de las rañas (depósitos continentales en régimen de sistemas de abanicos aluviales). La distribución de los depósitos de rañas y coluviones en el área va de sureste a noroeste, estando al sureste la unidad de grava, yendo en transición grano decreciente hacia el noroeste donde termina en la unidad de arcillas. En general, los sedimentos de la cuenca se encuentran distribuidos en dicha orientación, encontrándose los gruesos hacia el centro de la misma y los finos hacia los bordes.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

La investigación que se desarrolló es principalmente de tipo descriptiva. Una investigación descriptiva según SAMPIERI (2014), busca especificar las propiedades y las características del tema de investigación. Así mismo, pretende medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren. Sin embargo, en ciertos puntos también resulta una investigación de tipo explicativa, ya que trata de interpretar la relación e influencia de ciertos fenómenos físicos, explicando la razón de su ocurrencia y relacionándola con algunas otras variables (SAMPIERI, 2014).

Es conveniente establecer que el objeto de estudio de esta investigación es el acuífero aluvial de La Ciudad Universitaria de Caracas, y la investigación tiene como fin entender el funcionamiento del acuífero a través del conocimiento e integración de los parámetros hidrogeológicos de la zona.

Para llegar a desarrollar el modelo conceptual en esta investigación, se establecieron cuatro fases de trabajo (Figura 13):



Fig. 13: Esquema general de las fases de trabajo

3.1 Fase I: Recopilación de datos

En esta primera fase de la investigación se recolectó toda la información pertinente de estudios y trabajos previos realizados en La Ciudad Universitaria de Caracas. Posteriormente, fue necesario construir una base de datos en donde se almacenaron todos los datos de interés necesarios para el futuro desarrollo de la investigación.

De acuerdo con TODD & MAYS (2004), se deben recopilar los siguientes datos para la gestión de aguas subterráneas:

- Datos topográficos: se utilizan para localizar e identificar pozos y piezómetros, medir niveles de superficie freática y piezométrica y cartografiar datos del área.
- Datos geológicos: Se utilizan para modelar las interacciones del agua superficial y subterránea basadas en los mapas geológicos.
- Datos hidrológicos y meteorológicos: Se utilizan para modelar los elementos del ciclo hidrológico. Entre estos datos están los ciclos de las precipitaciones, humedad del suelo, evaporación y transpiración, temperatura, uso del suelo, demanda de agua, almacenamiento en superficie, almacenamiento de agua subterránea, datos de entrada y salida de superficie y subsuelo. El propósito principal de la recolección de datos hidrológicos es la evaluación de la conservación hidrológica en un acuífero.
- Datos adicionales: datos de estudios geofísicos, de suelo e hidrogeoquímicos. En el caso de los geofísicos se utilizan para esclarecer las características hidrogeológicas de la zona, además de determinar los parámetros hidrogeológicos a partir de las propiedades geoelectricas del área. Los datos de estudios de suelo se utilizan para conocer las propiedades y características geomecánicas del suelo y los datos de estudios hidrogeoquímicos para conocer las propiedades del agua presente, sus componentes, y su nivel de contaminación, de existirlo.

En el caso de esta investigación fue posible recolectar información de carácter geográfico, geológico, geofísico, climático e hidrogeológico. Para tal fin, se visitaron diversos entes dentro del campus, los cuales se listan a continuación, conjuntamente con la información recolectada de cada uno (Tabla 1). Por su parte, no fue posible recolectar información acerca de la evaporación o evotranspiración en la zona, por lo cual no se tomaron en consideración estos parámetros para la evaluación del sistema acuífero.

Tabla 1: Recopilación bibliográfica dentro del campus

Ente o Institución visitada	Ubicación	Información obtenida
Biblioteca Dr. Virgil D. Winkler	Escuela de Geología, Minas y Geofísica	Trabajos Previos
Biblioteca de Ingeniería Civil		
Departamento de Ingeniería Geodésica	Edificio de Ingeniería Sanitaria	Mapas, Ortoimágenes, Conversión de Sistemas de Coordenadas
Departamento de Ingeniería Hidrometeorológica		Registros climáticos de la estación meteorológica
Dirección de mantenimiento	Piso 12 de la Biblioteca Central/ Oficina en Carpintería UCV	Ubicación y estado actual de los pozos y piezómetros (Recolección a través de entrevistas informales al personal)

Toda la información geográfica disponible en los trabajos previos presentaba los datos en coordenadas locales Loma Quintana. Para poder trabajar con un sistema de coordenadas actual y global que permitiera un mejor manejo e integración de la información, fue necesario transformar los datos al sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM), con la ayuda de un Software desarrollado por el Ing. Ruy Pereira, perteneciente al personal docente del Departamento de Geodesia.

Por último, en esta primera fase, se ubicaron todos los pozos y piezómetros existentes en el campus, se completó la información que faltaba de cada uno de ellos en el trabajo de OBREGÓN (2004) y se generó una tabla con la ubicación corregida de cada uno en coordenadas UTM, el estado de los mismos, alguna observación adicional según fuese el caso y registro gráfico. Luego, para los pozos utilizados en esta investigación, se elaboraron fichas con todos los datos recolectados de cada uno de ellos. Las configuraciones litológicas y de diseño de tubería plasmados fueron digitalizados con el software STRATER 5, a partir de la información proporcionada del trabajo de PÉREZ (2004), a los cuales también se le agregó nueva información como características y dimensiones de los encofrados, sus coordenadas UTM de ubicación y la nomenclatura utilizada en este trabajo para la información litológica, la cual será explicada posteriormente. Los datos técnicos de los pozos UCV-001, UCV-002 y UCV-003, pueden encontrarse en las fichas técnicas

originales de los pozos presentadas en el trabajo de PÉREZ (2004), puesto que el resto de los pozos o piezómetros no cuentan con esta información registrada.

3.2 Fase II: Caracterización geológica

En esta fase se estudiaron y se describieron los rasgos característicos de la litología de la zona a partir de los datos recopilados en la fase anterior. Se estableció un significado geológico de la depositación de los estratos utilizando como base teórica los trabajos previos del área realizados por DENGGO (1951), quien estudió la geología estructural del Valle de Caracas; SINGER et al. (2007), quien estudio el Cuaternario del Valle de Caracas; ACERO & DOMINGUEZ (2004), quienes estudiaron los sedimentos y roca del campus universitario; y UGHI (2011), quien realizó estudios geofísicos en el Jardín Botánico para caracterizar posibles acuíferos. Fue necesaria en esta etapa la utilización del software ArcGIS 10.3 para la elaboración de mapas temáticos; STRATER 5 para la elaboración de las columnas y cortes geológicos; y Global Mapper para acceder a los modelos de elevación digital ASTER de la Nasa.

Para conocer el relieve y los límites del área, el primer producto que se generó en esta etapa fue un mapa topográfico a partir de un modelo de elevación digital. Resultó necesaria su realización, debido a que los mapas existentes de la zona estaban cubiertos por las edificaciones y las curvas de nivel eran muy espaciadas, gracias a la homogeneidad de gran parte del Campus Universitario. Las curvas de nivel generadas presentan un espaciamiento de 4 metros entre ellas, por resultar una distancia adecuada para detectar con mayor facilidad cualquier variación leve del terreno. A partir del mapa topográfico, se generó una superficie de elevación de la zona con el objetivo de tener una mejor apreciación visual de las variaciones en la topografía.

Al momento de las distintas construcciones de las edificaciones del campus, se fueron realizando una serie de perforaciones sectorizadas para tales fines. Las mismas quedaron registradas en el archivo histórico de la universidad, ubicado en la Casa Ibarra, dentro del recinto universitario. ACERO & DOMINGUEZ (2004) recopilaron los registros en una base de datos y escogieron 75 de ellos para hacer perfiles geotécnicos. GONZALEZ (2012), generó a partir de las perforaciones que tocaban roca, un mapa de basamento geotécnico. En esta investigación se utilizó este producto, para conocer la profundidad de

basamento a lo largo de la zona, y consecuentemente la profundidad de los sedimentos sobre éste.

A partir de los registros de perforaciones escogidos por ACERO & DOMINGUEZ (2004), se trazaron 10 nuevos perfiles con el objetivo de conocer la disposición de los sedimentos en el subsuelo y su relación lateral a lo largo del área. Su interpretación es fundamental para entender la configuración geológica del acuífero, puesto que es la base del estudio hidrogeológico. No se utilizaron los realizados por los autores mencionados, debido a que ellos presentaron perfiles geotécnicos, adaptando la litología según la compacidad y la consistencia de los materiales.

Los 10 perfiles se trazaron de norte a sur, y según las direcciones que llevan se clasificaron en 3 grupos (A, B y C); se distribuyen de la siguiente manera:

- Grupo A: compuesto por 4 perfiles y llevan dirección aproximada este-oeste
- Grupo B: compuesto por 2 perfiles y llevan dirección aproximada N45E
- Grupo C: compuesto por 1 perfil y lleva una dirección aproximada norte-sur

Las perforaciones utilizadas en los perfiles generados presentan un cambio en la nomenclatura de la litología definida por ACERO & DOMINGUEZ (2004); en este caso, se homogenizó la clasificación geotécnica, dejando una clasificación de sedimentos simplificada que se ajusta a la interpretación en función de la hidrogeología, cuyo fin es, únicamente, encontrar los estratos permeables, posibles almacenadores de agua, así como conocer de manera general la composición litológica de la zona. Seguidamente se describió y evaluó la información litológica a profundidad de los pozos, la cual únicamente se encontraba disponible para los pozos UCV-001, UCV-002, y UCV-003.

Buscando explicar el origen de los sedimentos descritos en los perfiles y columnas, a partir del mapa de los Sedimentos Cuaternarios del Valle de Caracas realizado por SINGER et al. (2007), se digitalizaron los sedimentos únicamente en la Ciudad Universitaria en un nuevo mapa y se interpretaron los procesos geológicos de depositación de la zona. Con esta interpretación más la generada anteriormente en los perfiles se elaboró como producto final

un mapa de distribución de las gravas a lo largo del campus, el cual se interpretó y se buscó establecer el posible origen del material de interés.

3.3 Fase III: Caracterización hidrogeológica

En esta fase se identificaron las unidades hidrogeológicas en base a las relaciones geológicas y geomorfológicas. Esto permitió identificar las capas acuíferas, y, de ellas, se identificaron las que aportan agua al sistema de pozos y la geometría de las mismas.

De igual manera, se calcularon y definieron las propiedades hidráulicas del acuífero. Para ello se recurrió a la base de datos creada, y a su vez se realizó una prueba de recuperación. Este ensayo es muy útil para comprobar el grado de conexión del pozo con el acuífero. La propiedad a calcular con este proceso es la transmisividad.

En una prueba de bombeo es necesario contar con otro punto de observación (piezómetro) cercano al pozo; debido a que en el campus no se contaba con este requisito, se eligió el método de recuperación sobre el de bombeo. El ensayo se realizó en el pozo UCV-002 de Ingeniería. Los materiales para su ejecución fueron una sonda graduada, una planilla de registro y un cronómetro.

La metodología para la realización del ensayo de recuperación se detalla a continuación:

Se apagó la bomba del pozo, la cual estuvo encendida un tiempo “ t ” conocido y se procedió a contar el tiempo con el cronómetro. Seguidamente, se empezó a tomar el nivel de recuperación “ d_r ” (conocido también como descenso residual) del acuífero con la sonda graduada desde el minuto cero, en un intervalo de tiempo logarítmico definido previamente. En las primeras horas se realizaron mediciones muy frecuentes, y luego empezaron a ser más espaciadas, dependiendo siempre de la velocidad de recuperación del pozo, estableciendo intervalos de variaciones de nivel significativas. Se registró cada medición en una planilla. Este proceso se realizó a lo largo de 2 días. El primer día durante 6 horas con 10 minutos, y 5 horas el segundo día.

Con los valores plasmados en la planilla se generó un gráfico semilogarítmico, el cual tiene como eje horizontal la escala logarítmica y corresponde al tiempo. El eje vertical

corresponde al nivel de recuperación (ascenso del agua en el pozo). A continuación, se muestra un ejemplo del tipo de gráfica generada (Figura 14).

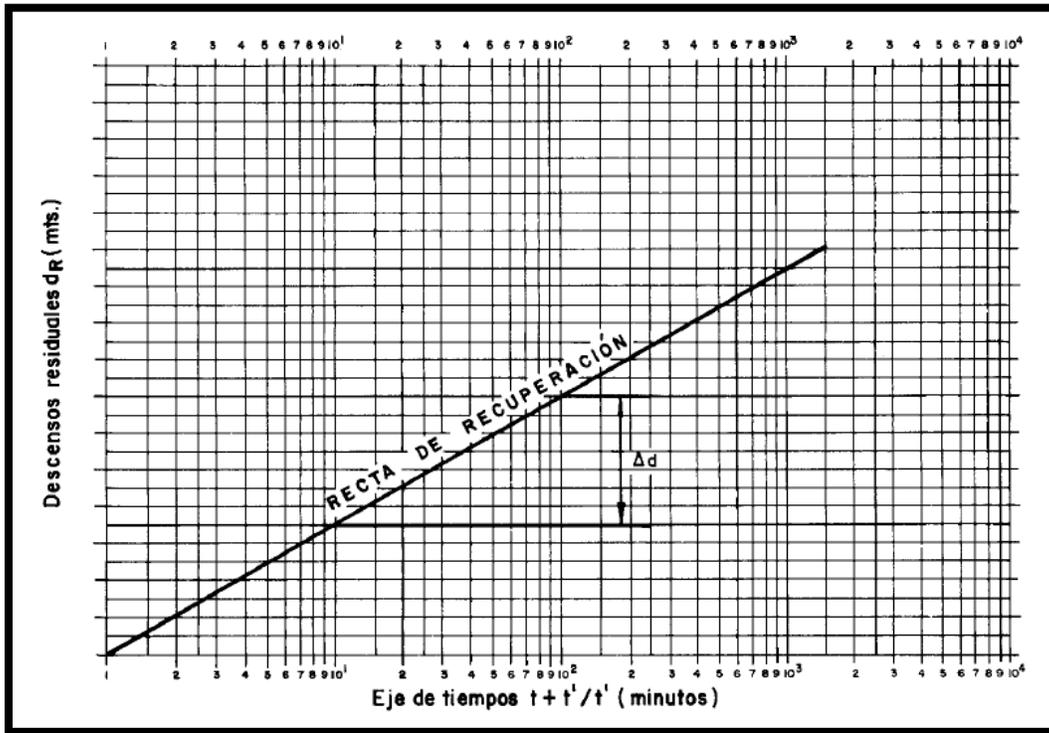


Fig. 14: Modelo de recta de recuperación. Tomado de VILLANUEVA & IGLESIAS (1984)

Mientras más cerca la recta corte el origen de coordenadas, más acercada a la realidad estará la gráfica. Los tiempos plasmados en la recta son una relación del tiempo “t” durante el que estuvo encendida la bomba y los intervalos de tiempo “t’” durante los cuales se tomaron los registros del nivel de los descensos residuales. La misma está dada por:

$$\frac{t+t'}{t'} \text{ [minutos]}$$

Tal como muestra el ejemplo, de esta función afín, se buscó obtener la diferencia de alturas en un ciclo logarítmico. Este dato se introdujo en la fórmula a continuación propuesta por Cooper y Jacob en 1946 para obtener la transmisividad:

$$T = 0,183 \times \frac{Q}{\Delta d}$$

Donde:

T= Transmisividad [metros²/días]

Q= Caudal de bombeo constante [metros³/días]

Δd = diferencia de alturas en recta de recuperación de un ciclo logarítmico [metros]

El caudal del pozo fue calculado por Ingeniería CAU C.A. durante el proceso de reactivación del pozo en agosto de 2019.

Una vez obtenida la transmisividad, se evaluó en función a una tabla con valores referenciales (Tabla 2), y se interpretó el resultado.

Tabla 2: Valores de transmisividad referenciales. Tomado de CUSTODIO & LLAMAS (1983)

Clasificación de terrenos según su transmisividad ($m^2/día$)					
<i>Tomado de CUSTODIO & LLAMAS (1983)</i>					
Transmisividad	1	10	100	1000	
Calificación	Impermeable	Poco permeable	Algo Permeable	Permeable	Muy permeable
Calificación del acuífero	Sin acuífero	Acuífero muy pobre	Acuífero pobre	Acuífero de regular a bueno	Acuífero excelente
Tipo de materiales	Arcilla compacta	Limo arenoso	Arena fina	Arena limpia	Grava limpia
	Pizarra	Limo	Arena limosa	Grava y arena	Dolomías, calizas muy fracturadas
	Granito	Arcilla limosa	Caliza poco fracturada	Arena fina	
			Basalto	Caliza Fracturada	

A partir de la transmisividad lineal se calculó la conductividad hidráulica (k), despejando la fórmula de transmisividad que genera la definición del concepto (propuesta por primera vez por Theis en 1935):

$$T = k \times b$$

Donde:

T= Transmisividad [metros²/días]

k= Conductividad Hidráulica [metro/día]

b=Espesor del acuífero [metros]

El valor obtenido se comparó con una tabla referencial (Tabla 3). Para esto fue necesario convertir las unidades obtenidas a centímetros/segundos.

Tabla 3: Valores promedios de conductividad hidráulica. Tomado de CODUTO (1999)

Tipo de suelo	Conductividad hidráulica (cm/s)
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

Terminar de caracterizar hidrogeológicamente el acuífero, implicaba conocer la superficie piezométrica en la zona. Para ello, fue necesario escoger puntos de observación en el campus y realizarle un seguimiento del nivel piezométrico.

Se realizaron las siguientes tareas:

- Localizar los pozos y piezómetros a lo largo del Campus Universitario
- Realizar un registro fotográfico actualizado de los pozos para su ubicación a futuro
- Evaluar el estado y actividad de los pozos y piezómetros existentes
- Definir los piezómetros y pozos más adecuados para hacer seguimiento de nivel piezométrico, estático o dinámico según sea el caso. Tomando los que se encuentren en un lugar accesible, y estén en las mejores condiciones.

- Conocer las características y configuración de los pozos y piezómetros (profundidad, rejilla, caudales, entre otros)
- Registrar, una vez por semana, el nivel piezométrico, estático o dinámico de los pozos o piezómetros escogidos
- Transformar las mediciones a la altura de la columna de agua con respecto al nivel del mar

Para el registro del nivel piezométrico se utilizó una sonda graduada (Figura 15). Se monitorearon los puntos una vez a la semana, por un lapso de 5 meses, con el fin de evaluar las fluctuaciones del flujo de agua. Esta tarea fue posible gracias a la ayuda y colaboración del personal de la Dirección de Mantenimiento de la UCV, quienes amablemente prestaban las llaves y compañía para la supervisión de los pozos y piezómetros. Por su parte, la sonda utilizada, le pertenecía al Ing. Fernando DeCarli, profesor del Departamento de Hidrometeorología, la cual tiene una longitud de 70 metros. La marca de la misma es Sebra Hydrometrie y el modelo era D-8950 Kaufbeuren.



Fig. 15: Foto de la sonda utilizada en las mediciones

Se presenta en los resultados los puntos escogidos para el monitoreo piezométrico y la configuración de los pozos, la cual se utilizó para poder llevar las mediciones de los niveles de agua con respecto al suelo. Para ello, fue necesario medir la distancia desde la boca del pozo al terreno, ya que no es la misma en todos los puntos y la cota del terreno también

varía. Esta distancia no se podía obtener en todos los puntos directamente, sino que debió tomarse midiendo las dimensiones del encofrado y luego hacer cálculos sencillos para encontrarla. La Figura 16, muestra un ejemplo referencial de la configuración de un encofrado. En este ejemplo la distancia del nivel de agua con respecto al terreno se obtendría restándole a la distancia “a”, la distancia “b” y la distancia “c”, para obtener la distancia “d”. Luego, a la medición del nivel estático obtenida desde la boca del pozo, se le suma esta distancia “d” para obtener el registro con respecto al terreno.

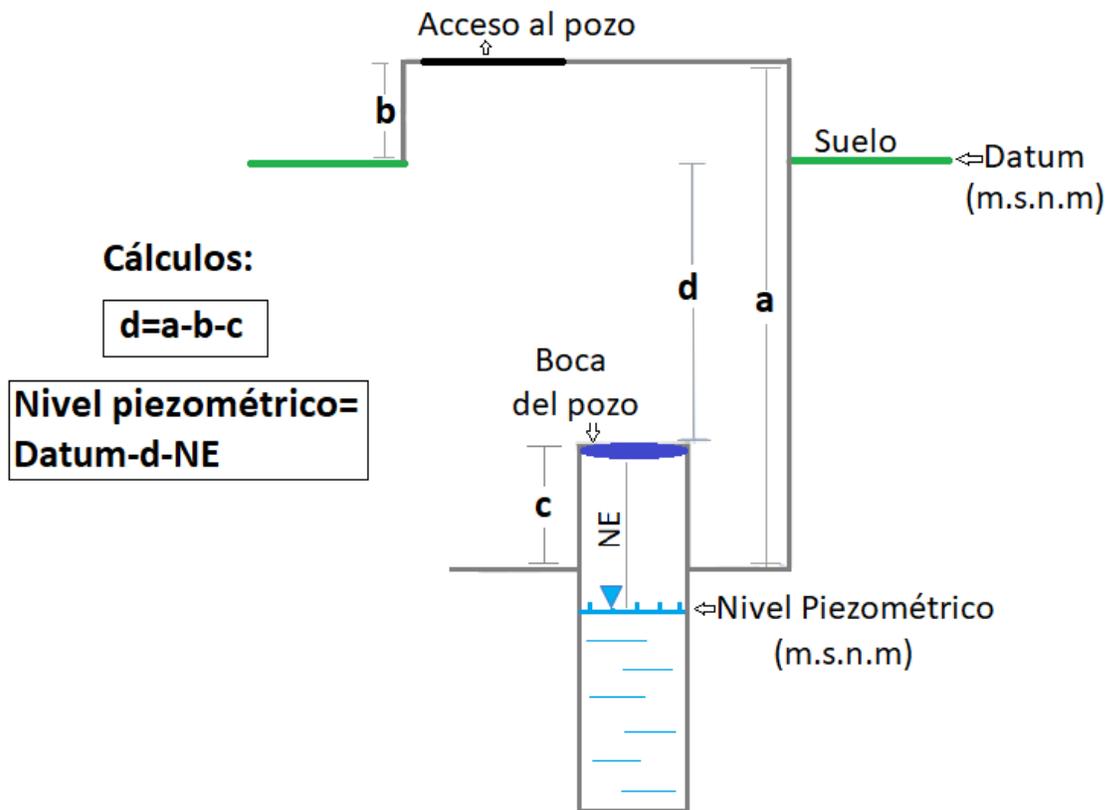


Fig. 16: Ejemplo referencial de la configuración de un encofrado de un pozo.

En el caso particular de la universidad, se tomó el nivel piezométrico de un solo piezómetro, debido a que los demás se encontraban obstruidos. El resto de los niveles se tomaron en 4 pozos de agua, de los cuales 1 estaba en funcionamiento y el resto desincorporados desde hacía muchos años, por lo que cumplieron la función de piezómetros. Para la medición de los niveles fue necesario ingresar al interior del encofrado o cabina e ingresar la sonda por la boca del pozo. La medición se obtenía cuando el sensor

en la punta de la sonda tocaba el agua, haciendo que el dispositivo prendiera una luz (Figura 17).



Fig. 17: Medición del nivel piezométrico en el pozo UCV-002

El nivel piezométrico no es estático, sus fluctuaciones van a depender de las estaciones del año en las que se midan, si es época de lluvia o de sequía. Por lo que las variaciones temporales del nivel del agua en los puntos escogidos, permitieron conocer el grado de influencia de la precipitación en la elevación del nivel del agua subterránea, ya que varía con las circunstancias meteorológicas de las que dependen la recarga de los acuíferos. Para ello, luego de medir el nivel se debió llevar las medidas que estaban referenciadas a la cota del terreno, ahora a un mismo nivel de referencia, el cual fue el nivel del mar. Para este análisis fue necesario la elaboración de un histograma por punto de medición, en donde el eje horizontal representa el tiempo transcurrido en días y el eje vertical representa la variación de la altura del nivel estático del agua con respecto al nivel del mar. Evaluar entonces el efecto de las circunstancias meteorológicas, significó superponer al histograma generado otro gráfico el cual tiene como eje horizontal igualmente el tiempo, pero el eje vertical sería la precipitación (Figura 18).

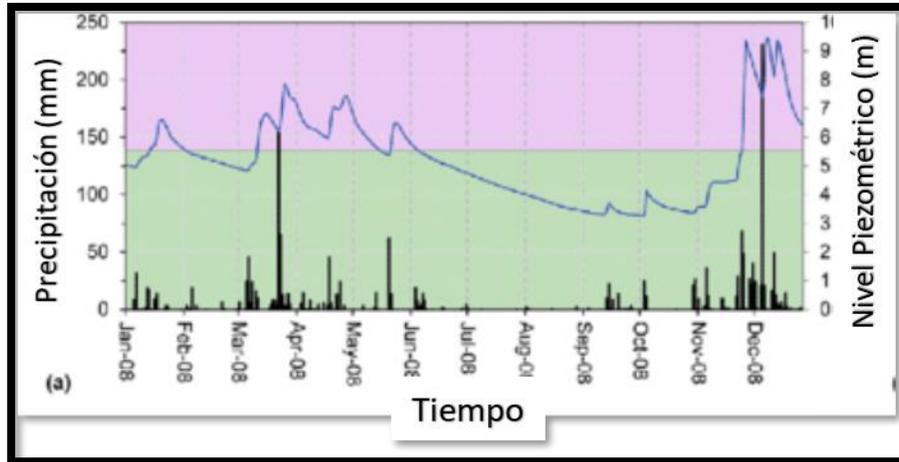


Fig. 18: Histograma piezométrico vs. curva de precipitación. Tomado de ALLOCA et al. (2005)

Se utilizaron los registros de precipitación de la estación meteorológica UCV, los cuales fueron proporcionados por el Departamento de Hidrometeorología de la Escuela de Ingeniería Civil. A partir de la interpretación de este gráfico para cada pozo, pudo relacionarse la influencia de la precipitación de la zona con las recargas y descargas del acuífero en la zona.

3.4 Fase IV: Modelo conceptual

Esta fase consistió en integrar y sintetizar las dos fases anteriores con el fin de presentar una descripción simplificada del sistema hidrogeológico, lo que permitió una comprensión clara del funcionamiento de las aguas subterráneas en el campus de la Ciudad Universitaria. Es importante tener en cuenta, tal y como afirma PEREA (2017), que, un modelo conceptual no reproduce la realidad, sólo permite realizar estimaciones o análisis comparativos de comportamientos posibles.

El modelo no fue más que una representación gráfica simplificada de la integración de las fases anteriores. En ella se plasmaron las posibles zonas de recarga y descarga del acuífero, la zona del acuífero, la dirección de flujo subterráneo, los pozos presentes en el acuífero, los caudales actuales e históricos, así como la transmisividad y conductividad hidráulica calculada.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Base de datos

Se realizó una recopilación de la información fundamental necesaria para establecer las condiciones iniciales y configuración del acuífero a través de revisiones bibliográficas exhaustivas de diferentes fuentes que incluyeron trabajos de investigación, artículos científicos, libros, registros históricos y revisión de imágenes satelitales. Esto permitió la realización de una base de datos donde, dentro de la información disponible, se lograron recolectar datos de índole: geográfico, geológico, geofísico y climático (Anexo 1.A).

La ortoimagen del área de estudio proporcionada por el Departamento de Geodesia de la UCV se usó como referencia y mapa base de ubicación en esta investigación.

Se presenta como parte de la base de datos una tabla con el registro del estado y la ubicación de cada uno de los pozos existentes en el campus, la cual se generó con datos previos, y complementada con información obtenida en un recorrido de campo (Anexo 1.B). Los pozos que presenta el ID resaltado en color amarillo, representan aquellos con los que se trabajaron en esta investigación.

De los pozos utilizados en esta investigación se realizaron fichas descriptivas de cada uno de ellos por separado (Anexo 1.C); pero únicamente las fichas de los pozos UCV-001, UCV-002 y UCV-003 respectivamente, construidos en 1996, son los que presentan registro litológico y de la configuración de su tubería, por ser los únicos que contaban con algún tipo de registro, del resto de los pozos no fue posible encontrar documentación alguna.

4.2 Caracterización geológica

En un sistema acuífero es necesario conocer el relieve de la zona en donde se encuentra, debido a que es un factor que contribuye en el establecimiento de sus posibles límites. Es por ello que la interpretación de estructuras morfológicas y topográficas es necesaria. Se presenta entonces un mapa topográfico de la Ciudad Universitaria, con las curvas de nivel y los cauces de los ríos que delimitan el área de estudio (Figura 19).

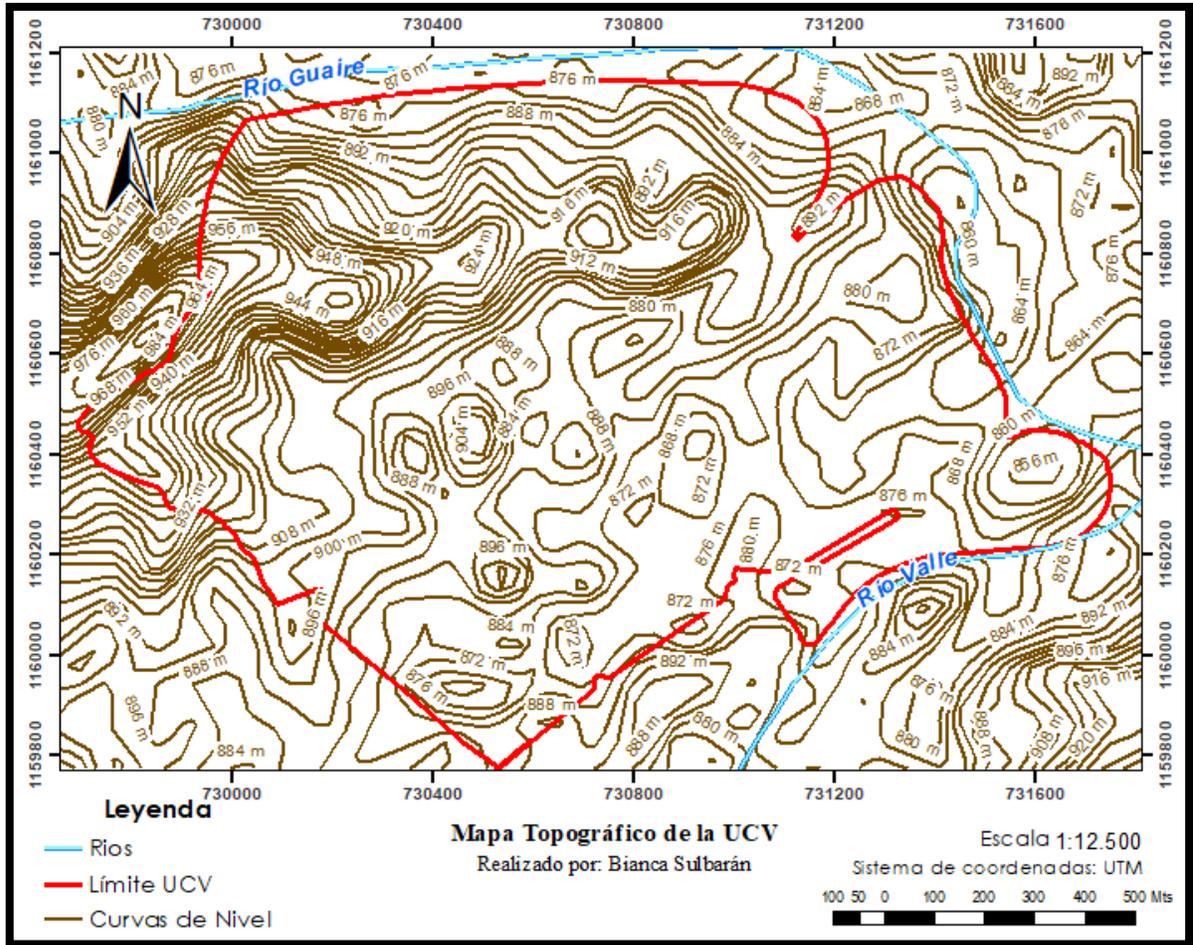


Fig. 19: Mapa Topográfico UCV con curvas cada 4 metros

El segmento del Río Valle, aproximadamente desde la coordenada 731200E hacia el noreste hasta confluir con el Río Guaire, está interpretado de acuerdo a las fotografías aéreas de 1953 de la Ciudad Universitaria que muestran ACERO & DOMINGUEZ (2004). Tuvo que interpretarse este segmento a partir de estas fotos antiguas debido a que en la actualidad este río se encuentra embaulado. Por lo que, de acuerdo al drenaje marcado por los autores en su calco de interpretación, se trazó en los mapas generados en esta investigación el segmento del río Valle, que confluye con el río Guaire.

Igualmente se presenta una superficie de elevación del campus con el fin de obtener una evaluación visual más sencilla de la topografía (Figura 20).

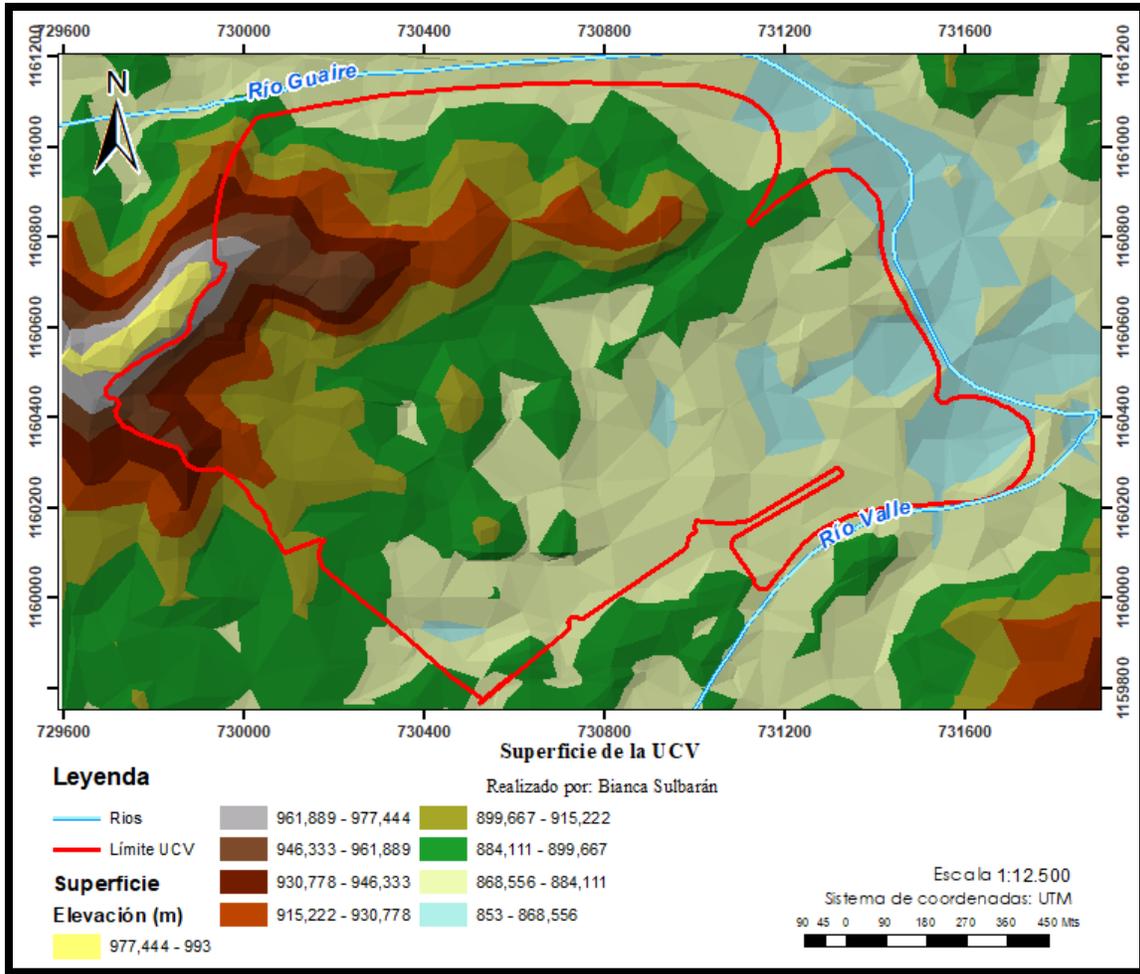


Fig. 20: Superficie de elevación UCV

El área presenta dos unidades topográficas diferenciables, con una variación de cota máxima de 100 metros. Al noroeste se evidencia una colina correspondiente al área de Sierra Maestra y del Jardín Botánico la cual exhibe una dirección aproximada N45E. La segunda unidad es una planicie, que ocupa el resto del campus, donde la menor altura se encuentra hacia el este, y corresponde a la confluencia de los cauces de los ríos que delimitan la zona. UGHI (2011) establece las pendientes de la colina entre 13 y 15% y la considera una separación física entre el Jardín Botánico y el resto del campus. Estos mapas evidencian claramente que La Ciudad Universitaria de Caracas está delimitada por los cauces del Río Guaire hacia el norte y hacia el este, el Río Valle hacia el sureste y por la colina del Jardín Botánico hacia el noroeste, siendo cada una de estas estructuras fuente de

sedimentos para la planicie que conforma el campus. Las colinas de Bello Monte al sureste del campus pudieron haber sido también una fuente de sedimentos.

Es posible clasificar el área del Campus Universitario como una cuenca sedimentaria de origen estructural tectónico. Para ello, DENGO (1951), afirma que el Esquisto Las Mercedes se encuentra al fondo del sinclinal plegado y fallado del Cementerio, el cual formó una depresión drenada en el Rincón de El Valle, que corresponde a un sinclinal erosionado diferencialmente quedando expuesta la roca dura (esquisto Las Mercedes), en forma de herradura rocosa. Este sinclinal, por su condición de enclave natural en la zona, así como su ubicación fue importante en la depositación aluvial y lacustre dentro del Campus Universitario de la UCV (CASTILLO & RAMOS, 2011) (Figura 21). Además, la existencia de pliegues en la roca aflorante, así como pequeñas fallas o evidencias de ellas, registradas por ACERO & DOMINGUEZ (2004), en su recorrido de campo, permiten afirmar que la zona fue tectónicamente activa. En los perfiles que se presentan a continuación se evidencia que el esquisto del basamento rocoso se encuentra fracturado las primeras decenas de metros, lo que igualmente es evidencia de la actividad tectónica.

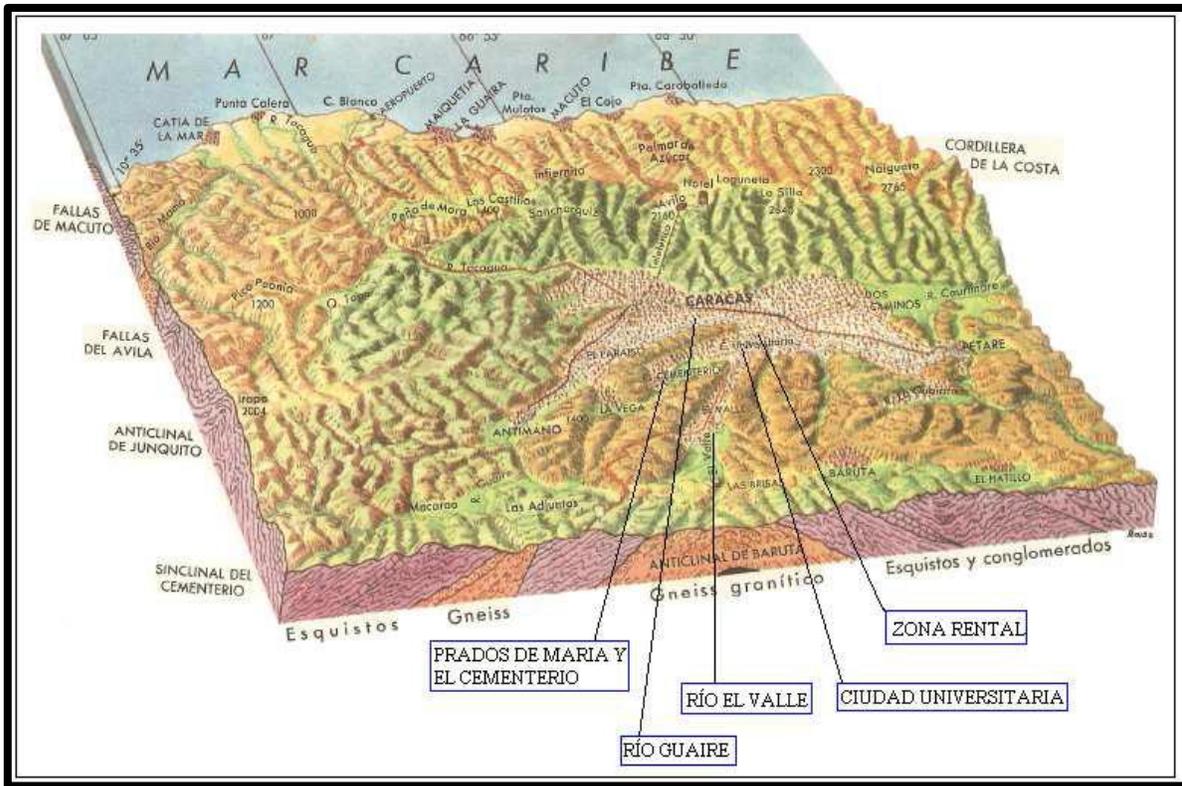


Fig. 21: Sinclinal del Cementerio dentro de la Ciudad de Caracas. Tomado de Levi, 1964.

ACERO & DOMINGUEZ (2004), recopilaron los registros de perforación del campus universitario en una base de datos. En ellos se evidencia que 41 perforaciones llegaron a la roca. GÓNZALEZ (2012), realizó a partir de estos datos un mapa de basamento geotécnico (Figura 22).

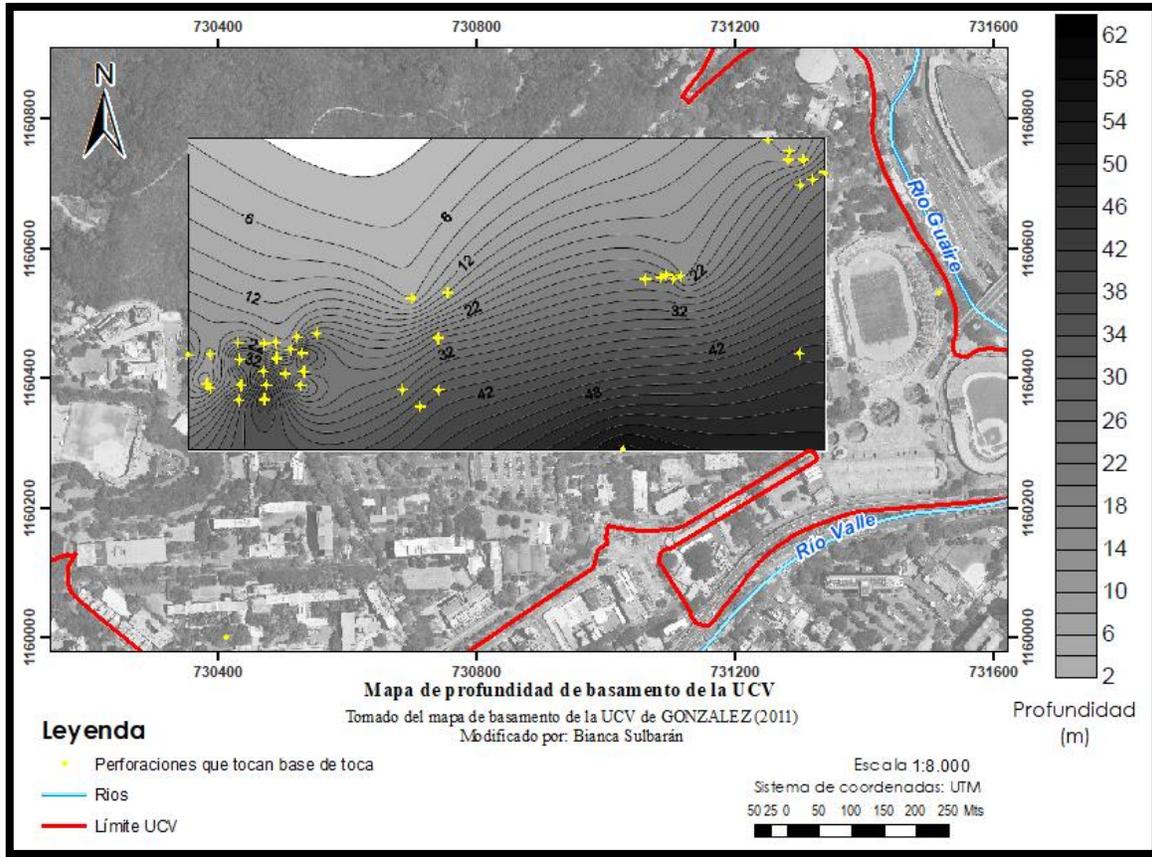


Fig. 22: Mapa Isópaco de Basamento. Modificado de GONZÁLEZ (2011)

Así como lo confirman los autores mencionados y lo refleja el mapa, el basamento se encuentra entre los 2 metros y los 60 metros de profundidad, en donde hacia el noroeste se presenta más somero y se profundiza hacia el sureste, coincidiendo así con las variaciones en la topografía que se aprecian en las figuras 19 y 20, en las cuales igualmente se presentan las mayores elevaciones hacia el noroeste y las menores hacia el sureste del Campus Universitario. Un basamento somero, consecuentemente significa un menor espesor de sedimentos, correspondiendo geográficamente a la zona al pie del Jardín Botánico, lugar donde se encuentra aflorando el Esquisto Las Mercedes (roca basamento del área). A partir de esta zona, la pendiente de la roca de basamento aumenta hacia el sur, profundizándose hasta llegar a los 60 metros, aproximadamente, al sureste de La Ciudad

Se realizaron 10 perfiles geológicos utilizando algunos de los registros de las perforaciones hechas en el campus, con el fin de evaluar la distribución de los sedimentos a

lo largo del área de estudio. A continuación, se presenta su ubicación y las perforaciones utilizadas en cada uno (Figura 23).

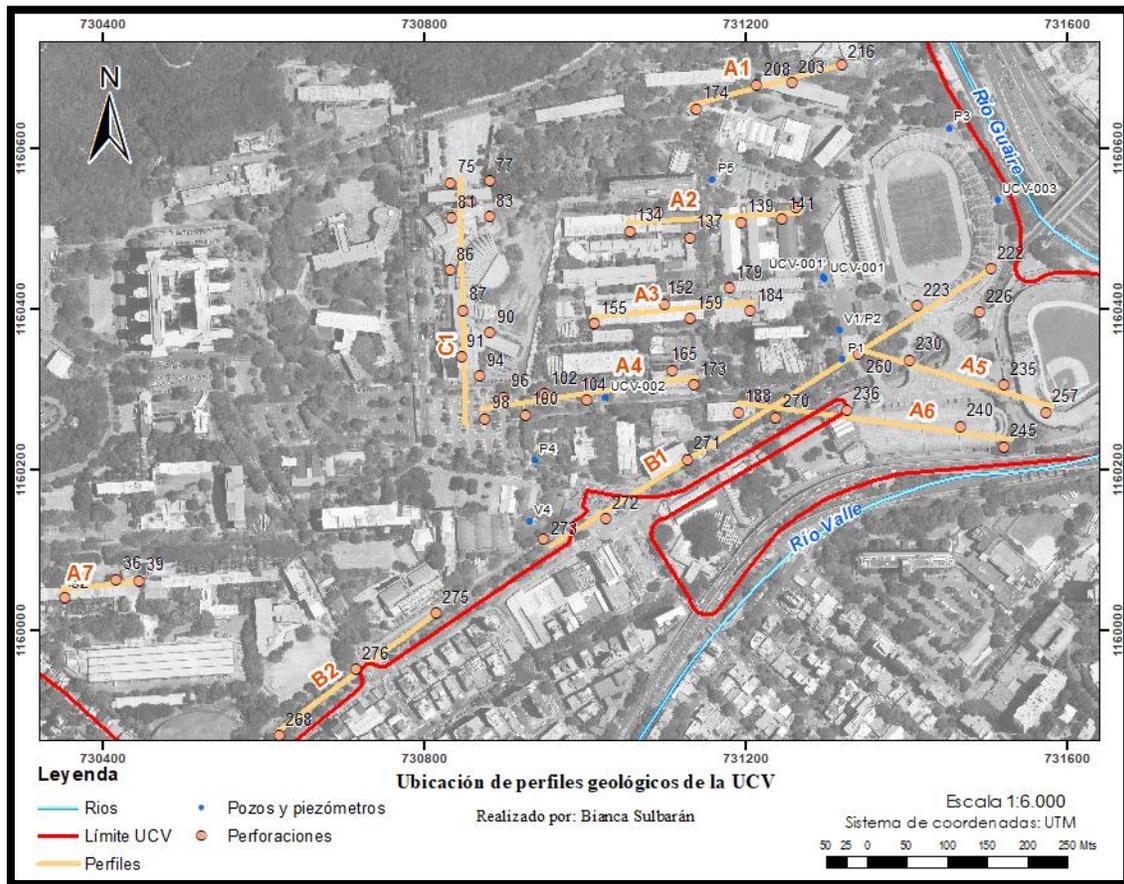


Fig. 23: Ubicación de perfiles geológicos realizados en la UCV

Se presentan los perfiles comenzando de norte a sur, desde el grupo A hasta el grupo C y se establece una pequeña descripción geométrica local de cada uno. Las imágenes de los perfiles presentadas a continuación se agruparon según la semejanza en la dirección que lleva cada uno de ellos (Figuras 24, 25, 26 y 27). Las tablas a partir de los cuales se realizaron estos perfiles se presentan en los Anexos 2.A y 2.B.

- **Perfil A1:** se encuentra hacia el noreste de las edificaciones del campus y tiene una longitud de 191,8 metros. La mayor profundidad es de 30 metros y corresponde a la perforación #216 la cual toca la roca de basamento a los 27 metros; el resto de ellas no supera los 12 metros. Domina la arena limosa, la cual presenta algunos niveles gravosos. El más espeso de estos se encuentra a la mayor profundidad de sedimento registrada antes de

llegar al basamento, entre los 21 y los 27 metros. Se registran igualmente dos lentes de grava someros, ubicados antes de los 6m de profundidad.

- **Perfil A2:** se localiza al sur de A1, tiene una longitud de 209,4 metros y sus perforaciones son someras; alcanzan una profundidad de 16 metros. Domina la arcilla arenosa, sin embargo, está presente en alto porcentaje estratos de arena limosa las cuales se engrosan y adelgazan lateralmente, siendo más delgados hacia el este y más gruesos hacia el oeste, estos presentan delgados niveles de grava arenosa limosa y la arcilla presenta delgados niveles de grava arcillosa con arena.

- **Perfil A3:** se localiza al sur de A2, tiene una longitud de 228,9 metros y sus perforaciones son someras; alcanzan una profundidad de 15 metros. Domina la arcilla, presentando hacia el oeste, arena en su composición. Se registran igualmente unos lentes de arena limosa, presentando grava en la base el más somero de estos lentes, a una profundidad de 2 metros hacia el este del perfil. Hacia el este de este segmento se evidencian unos lentes de grava limosa, que se asemeja con la grava encontrada en el perfil anterior, y la arena gravosa del perfil A1.

- **Perfil A4:** se localiza al sur de A3, tiene una longitud de 294,2 metros y sus perforaciones son someras, alcanzando los 16 metros, excepto la perforación UCV-002, el cual llega a una profundidad de 72 metros por ser un pozo de agua subterránea. Domina la arcilla en los sedimentos someros, la cual contiene arena al acercarse a la perforación UCV-002. Sin embargo, también se evidencia la presencia de arena limosa la cual se engrosa en la perforación UCV-002; esta tiene niveles de grava. A profundidad no es posible realizar una correlación lateral de sedimentos, pero se evidencia en la perforación UCV-002 que dominan los espesores de los estratos de grava, que se intercalan con arena limosa. El basamento esquistoso se encuentra fracturado los primeros 8 metros.

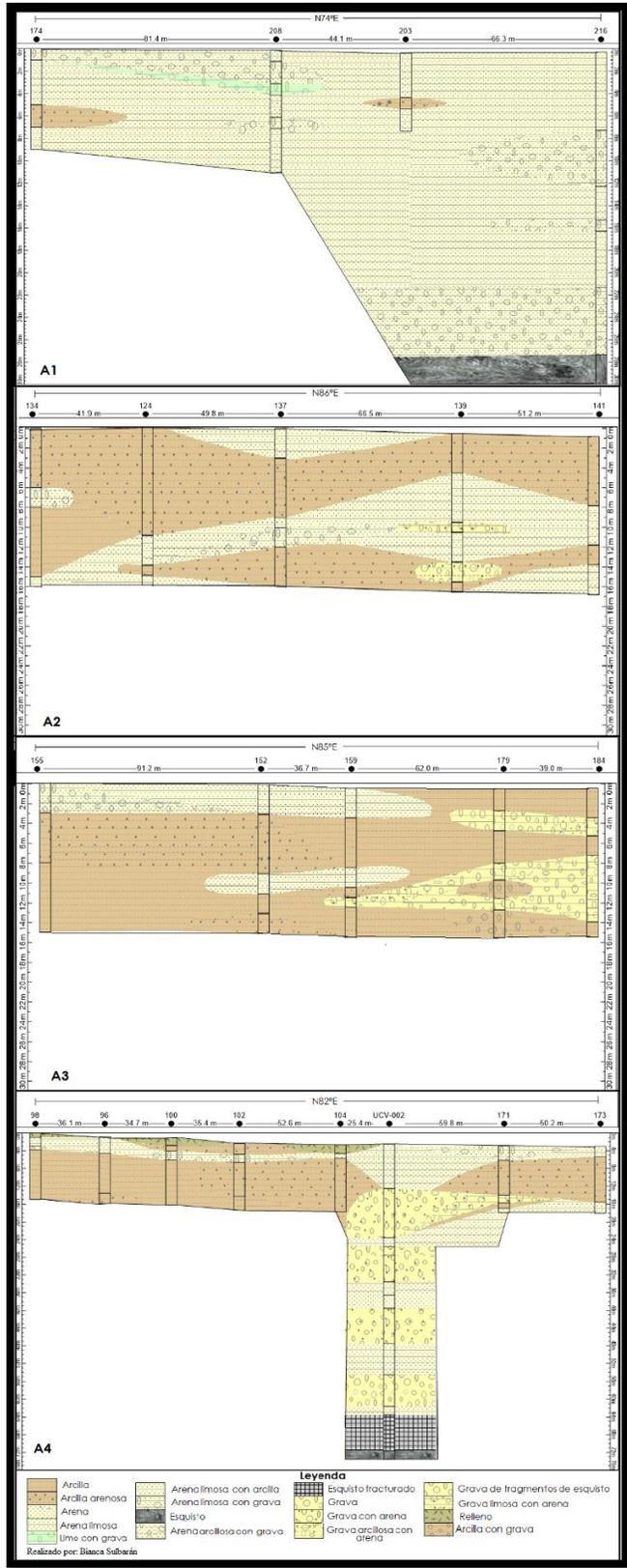


Fig. 24:Perfiles Geológicos A1, A2, A3 y A4

- **Perfil A5:** se encuentra hacia el este de la zona de estudio, y tiene una longitud de 247,2 metros. La mayor profundidad es de 30 metros y corresponde a la perforación #230, el resto de ellas no supera los 20 metros. Presenta una distribución de sedimentos muy heterogénea y las capas se engrosan y adelgazan a lo largo de su extensión sin dirección preferencial. Domina la arena, siendo limosa, hacia el oeste y arcillosa hacia el este. Ésta presenta bastantes niveles con contenido de grava. La litología intercalada a la ya mencionada es la arcilla. Hacia el oeste se presenta un lente de espesor importante de grava limosa con arena, aproximadamente de 8 metros, a una profundidad de 10 metros.
- **Perfila A6:** se encuentra hacia el sur de A5 y tiene una longitud de 339,5 metros. La mayor profundidad es de 30 metros, el resto de ellas presenta profundidades cercanas a esta, excepto la perforación #188, la cual solo exhibe 7 metros de profundidad. Presenta una distribución de sedimentos muy heterogénea. En todas las litologías se presentan niveles con contenido de grava, y en los estratos más profundos estos presentan un espesor significativo, ocupando hasta 7 metros de espesor en la arena que comienza a los 26 metros de profundidad, el cual se extiende lateralmente en un segmento bastante amplio. Domina la arcilla, comúnmente con contenido de arena. La otra litología presente es arena, a veces limosa, a veces arcillosa, la cual se presenta en forma de gruesos lentes. Aparecen en este segmento dos lentes de grava delgados hacia los extremos a una profundidad de 26 metros hacia el este y 21 metros hacia el oeste.
- **Perfil A7:** se encuentra hacia el oeste de las edificaciones del campus, tiene una longitud de 97,1 metros y sus perforaciones son someras; alcanzan una profundidad de 13 metros. Está dominado únicamente por arcillas, con niveles con contenido de arena, de grava o ambas. Hacia el este se evidencia un pequeño lente de arena arcillosa.

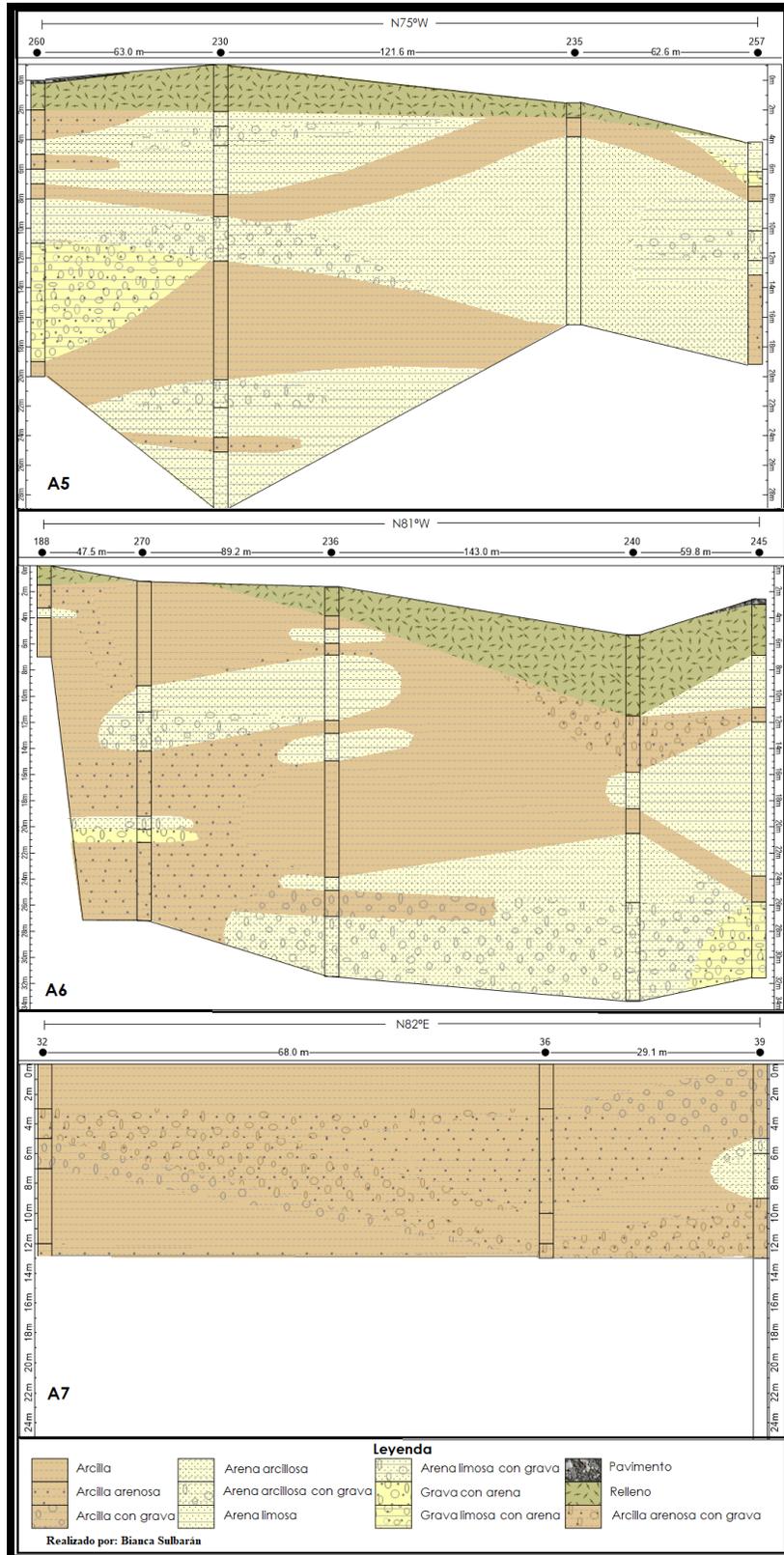


Fig. 25: Perfiles geológicos A5, A6 y A7

- **Perfil B1:** se encuentra hacia el oeste de A5, hacia el este de la zona de estudio, y tiene una longitud de 699 metros. La mayor profundidad es de 30 metros, el resto de ellas presenta profundidades cercanas a esta, excepto la perforación #260, la cual solo exhibe 20 metros de profundidad. Presenta una distribución de sedimentos muy heterogénea. Domina la arcilla sobre la cual se encuentran lentes de arena limosa. La arcilla circundante a los lentes de grava, presenta arena en su composición. Se evidencia un lente de grava limosa con arena muy delgado hacia el este y más grueso hacia el oeste. Los lentes de arena limosa exhiben niveles con grava en su composición.
- **Perfil B2:** se encuentra hacia el suroeste de B1 y tiene una longitud de 248 metros. La mayor profundidad es de 28 metros, el resto de ellas presenta profundidades cercanas a esta, y la menor profundidad corresponde a la perforación más al oeste que alcanza los 20 metros. Domina la arcilla, la cual presenta escasos niveles delgados de contenido de arena. En la base de la arcilla se presentan unos lentes de arena limosa con continuidad lateral, los cuales presentan grava en casi toda su extensión.

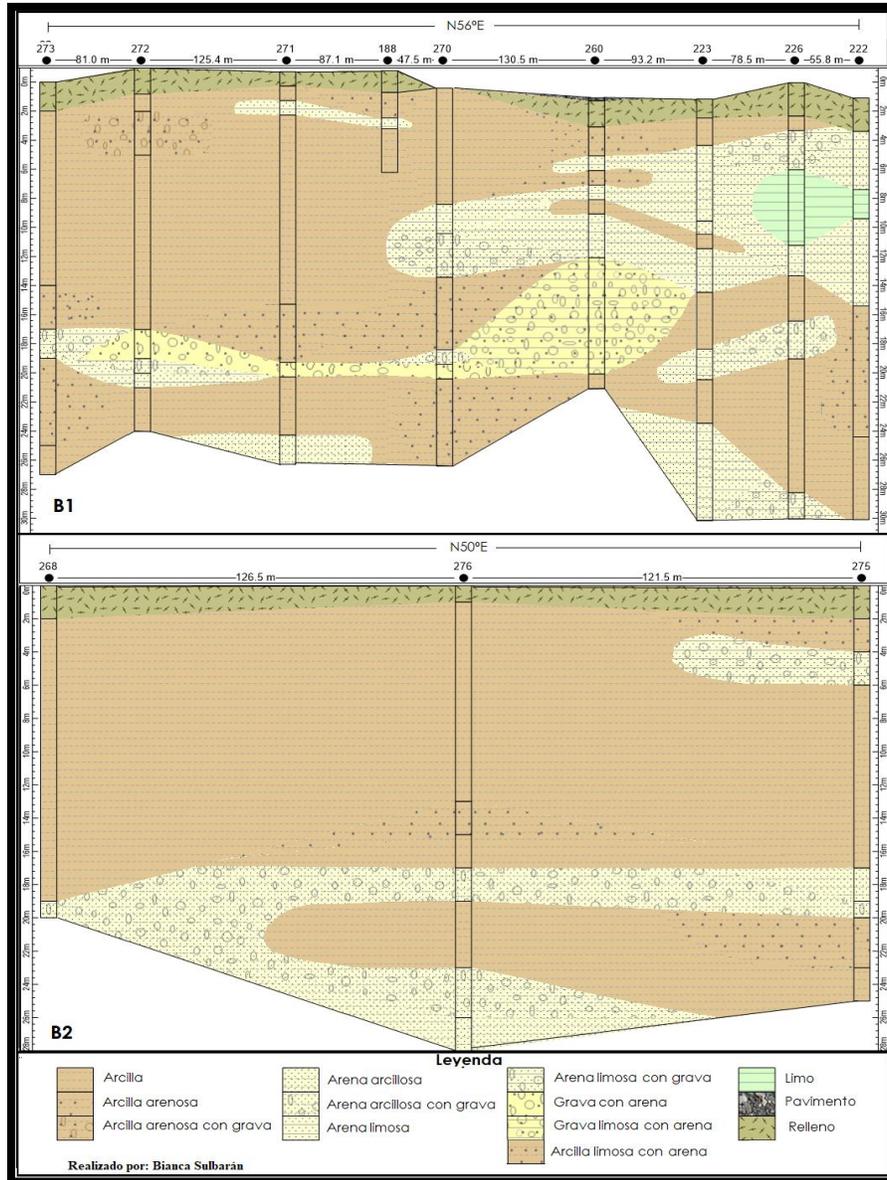


Fig. 26: Perfiles geológicos B1 y B2

- Perfil C1:** se encuentra hacia el oeste de A3 y tiene una longitud de 275,3 metros. Todos los perfiles tienen una profundidad de 28 metros. Domina la arcilla, la cual presenta en algunos niveles contenido de arena. Hacia el oeste de este segmento de presentan unos delgados lentes de arena limosa.

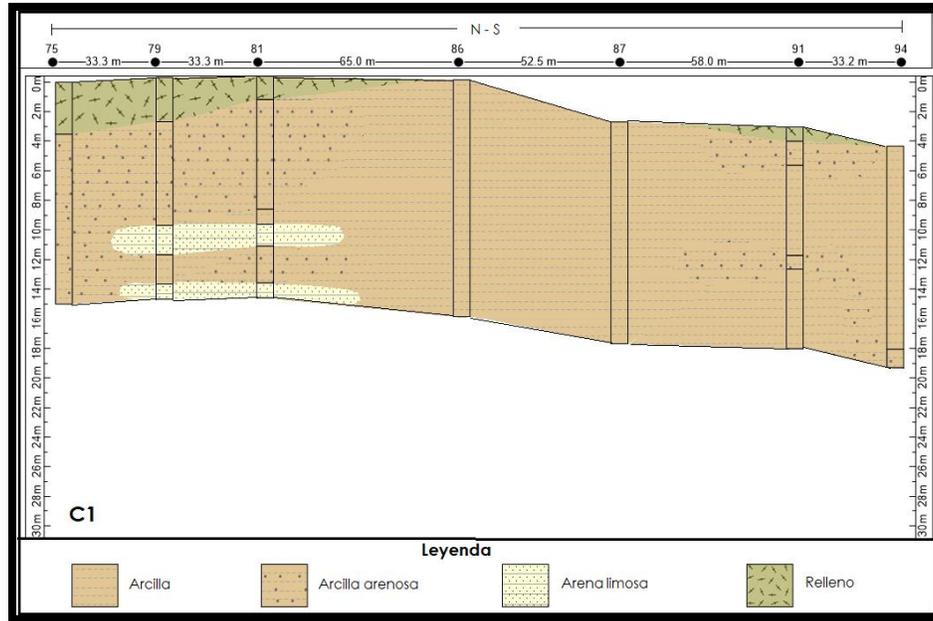


Fig. 27: Perfil geológico C1

Las profundidades máximas de los perfiles rondan entre los 15 y 30 metros. Esto se debe a que las perforaciones hechas en su momento tenían un interés de carácter geotécnico para la construcción de las edificaciones, y no un carácter hidrogeológico. De manera general, la depositación de sedimentos es heterogénea, excepto hacia el norte y el oeste donde claramente domina la litología arcillosa, muchas veces con niveles de grava dentro de su composición. Hacia el centro de la zona de estudio se evidencia una intercalación de arenas limosas y arcillas sin dominar de manera importante una sobre la otra. Hacia el sureste dominan las arenas limosas presentando abundantes niveles con contenido de grava a distintas profundidades en su composición. Por su parte, los mayores espesores de las capas de grava se encuentran hacia el sureste del Campus Universitario. ACERO & DOMINGUEZ (2004), generaron a partir de los ensayos granulométricos registrados de las perforaciones, un mapa de distribución de sedimentos hasta una profundidad aproximada de 20 metros, donde definieron 4 tipos de suelo según el tamaño de partícula dominante: suelo gravoso, suelo arenoso, suelo limoso y suelo arcilloso, y, delimitan su distribución en función a su preponderancia, la cual coincide geográficamente con la mencionada en esta investigación, estando las gravas al suroeste del campus. Por lo que, la depositación de los sedimentos aproximadamente hasta los 20 metros de profundidad, de manera general, se

establece de la siguiente manera: menor tamaño de grano hacia el noroeste y aumenta el tamaño de los sedimentos que dominan el área hacia el este.

La heterogeneidad de la depositación de estratos se debe a que influyeron varios procesos sedimentarios. Para explicarlos, además de las evidencias litológicas de los perfiles, se tomaron las Unidades Cuaternarias de la zona a partir de la cartografía de los sedimentos del Valle de Caracas realizada por de Singer et al. (2007), y se presentan en un mapa con la incorporación de los perfiles y sus respectivas perforaciones (Figura 28).

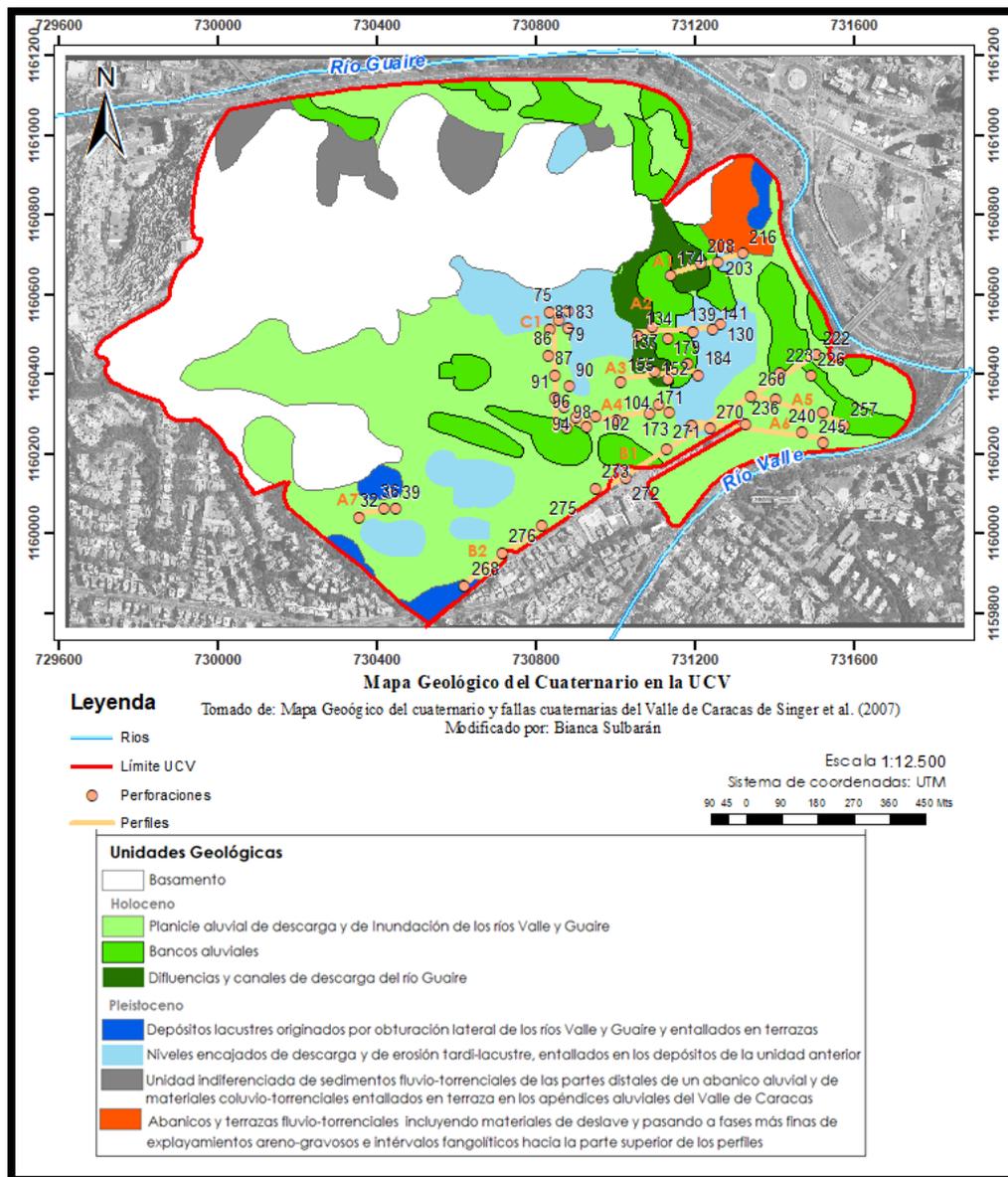


Fig. 28: Mapa de Unidades Cuaternarias en la UCV. Modificado de SINGER et al. (2007)

Es evidente que los procesos de sedimentación fueron altamente dinámicos y cíclicos ocasionados principalmente por la acción y confluencia de los ríos Guaire y Valle, además del aporte de sedimentos desde zonas aledañas de mayor altura. Es importante resaltar que este mapa de unidades cuaternarias se cartografió en relación a las evidencias someras encontradas, que no superan una profundidad de 20 metros.

La litología con presencia de distintos tamaños de grano en su composición, como, por ejemplo, la arcilla arenosa con niveles de grava son producto de deslaves y explayamientos de material, los cuales según SINGER et al. (2007), son de origen fluvio-torrencial o coluvio-torrencial. A lo largo del centro-este de la Ciudad Universitaria de Caracas puede apreciarse la depositación de unos bancos aluviales, los cuales dejaron acumulación inestable de material predominantemente grueso.

Los sedimentos más jóvenes de grano fino (arcillas someras plasmadas en los cortes) dominan gran parte del área, y constituyen una planicie de inundación. La misma cubre unidades anteriores y es producto de la sumersión de la zona por represamiento de los drenajes, los cuales según SINGER et al. (2007), se deben al estrangulamiento y ensanchamiento lateral del cauce ocasionado por el aporte de gran volumen de material proveniente del Ávila que irrumpió velozmente en el río Guaire.

Los niveles gravosos y arenosos de las arcillas hacia el noroeste (visibles en los perfiles A7, B2 y C1) son producto de sedimentos coluvio-torrenciales provenientes de la colina del Jardín Botánico, tal como lo afirma ACERO & DOMINGUEZ (2004).

Es conveniente evaluar igualmente, la configuración litológica de los pozos (Anexo 2.C), puesto que, dan a conocer los sedimentos de ese segmento en profundidad y los estratos presentes que podrían estar almacenando el agua subterránea. La ubicación de los mismos dentro del campus puede observarse en la Figura 23. A continuación, se presenta una pequeña descripción de la evolución litológica de los únicos 3 pozos con registro litológico (Figura 29).

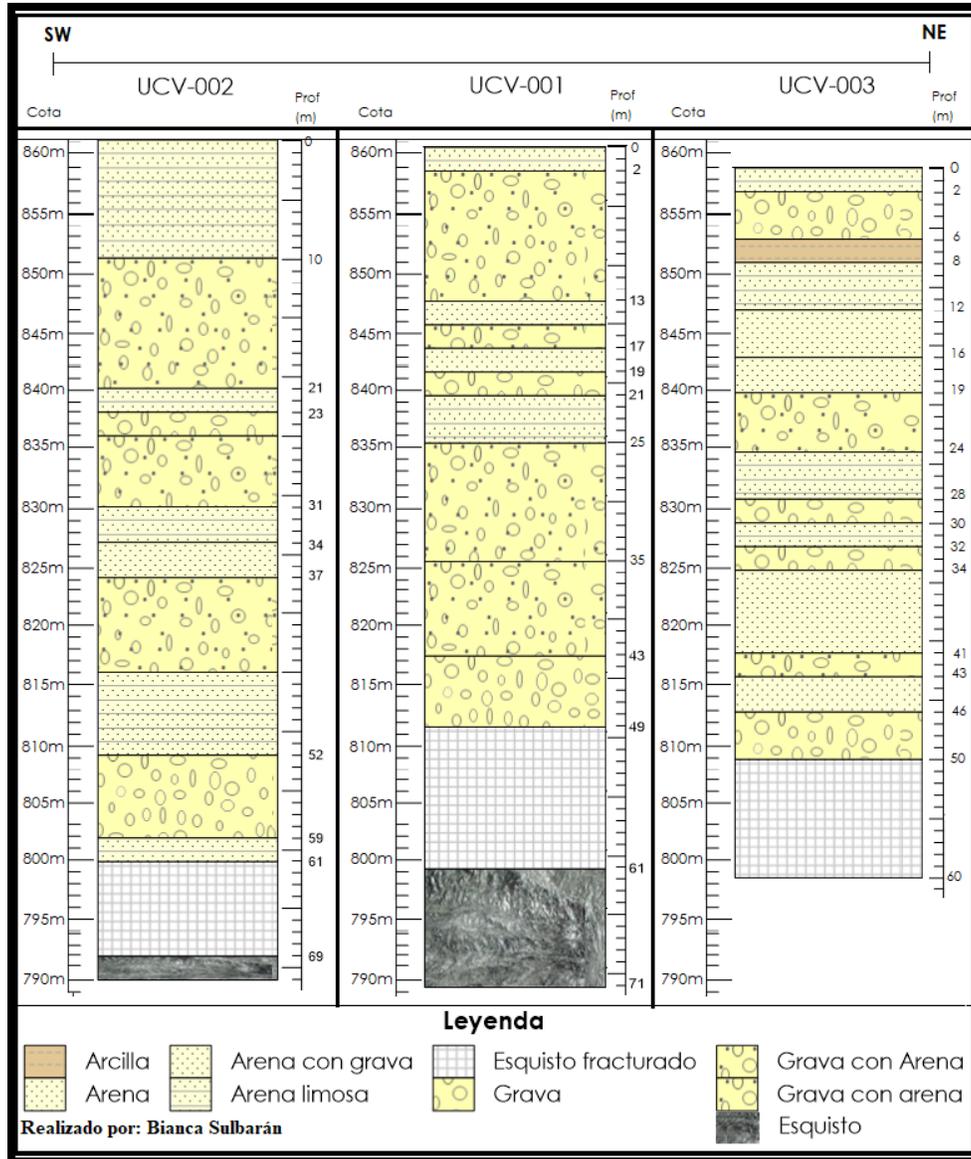


Fig. 29: Columnas litológicas de los pozos UCV-001, UCV-002 y UCV-003

Los 3 pozos con registro se encuentran distribuidos en una diagonal hacia el sureste del campus, con dirección suroeste-noreste, que empieza con el pozo UCV-002 ubicado en el jardín del balancín de petróleo de la Facultad de Ingeniería, luego pasa por UCV-001 en el estacionamiento de la Facultad de Arquitectura y llega a UCV-003, el cual se encuentra en el lindero del Estadio Olímpico Universitario que da a la autopista. En esta orientación es posible observar que, hacia el noroeste, el basamento cuenta con un espesor de 8 metros de esquisto fracturado. Luego en el centro, aumenta a 12 metros el espesor de esquisto fracturado y, en UCV-003, presenta igualmente un amplio espesor de roca fracturada de 10

metros, sin embargo, no se podría afirmar que sea su espesor total debido a que la perforación no tocó la roca de basamento inalterada. Con respecto a la distribución de sedimentos en la diagonal expuesta, se puede apreciar que hacia el suroeste se presenta a profundidad en UCV-002, una intercalación de arena limosa con grava, en donde domina la grava con amplios estratos que van desde los 7 metros hasta los 11 metros de espesor. La arena limosa, por su parte, se presenta en estratos delgados a excepción del más somero que tiene 10 metros de espesor. Hacia el centro del área estudiada, en UCV-001, los estratos de grava ahora dominan en espesores y en ocurrencia, estando los estratos de arena limosa únicamente en capas someras y presentando pequeños espesores. Sin embargo, casi todas las capas de grava presentan en su composición contenido de arena. Hacia el noreste de la zona evaluada, en UCV-003, cambia la distribución de los sedimentos, aumentando el contenido de finos en relación a los 2 pozos anteriores, presentándose una intercalación de espesores delgados y relativamente iguales de arena, arena limosa y grava, a excepción de una capa de arena a los 34 metros que presenta un mayor espesor. Hacia este extremo la grava se exhibe en casi todos los niveles sin contenido de arena u otro material de menor granulometría.

Es posible establecer entonces, que la litología en profundidad hacia el sureste del campus, como lo muestran las columnas de los pozos, está dominada por una granulometría gruesa, preponderando las gravas sobre los otros tamaños de grano, la cual se presenta en amplios espesores. Importante notar igualmente que, en todas las columnas, se encuentra un gran espesor del esquisto de basamento fracturado antes de llegar a la roca fresca, siendo más amplio hacia el centro de la zona.

Como producto final de la caracterización geológica del Campus Universitario, se generó un mapa con la distribución de las gravas a lo largo del campus, y con la dirección probable de procedencia de los distintos tipos de sedimentos (Figura 30).

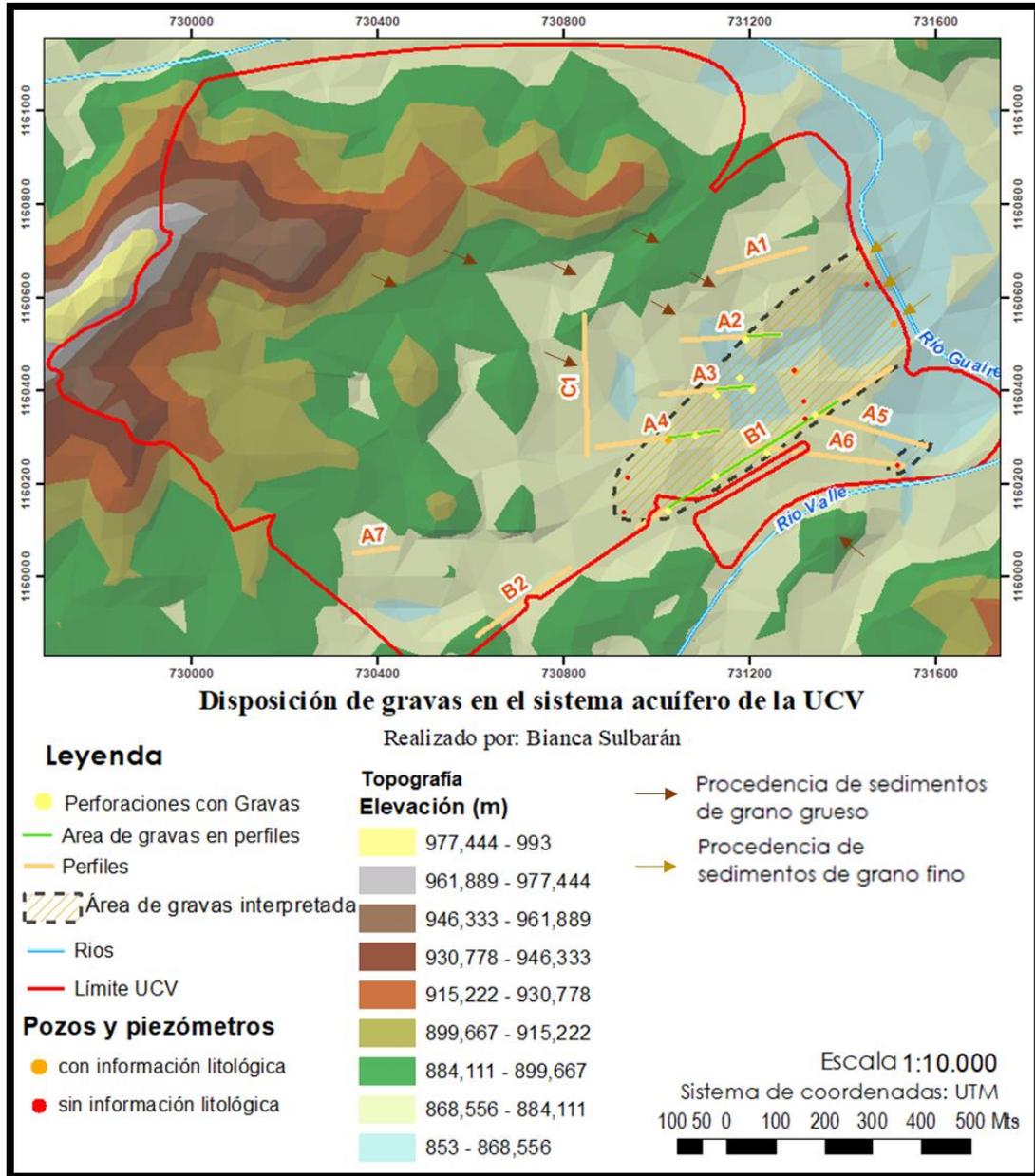


Fig. 30: Mapa de distribución de sedimentos interpretados

Para la elaboración de esta interpretación se utilizó la ubicación de las gravas de las perforaciones presentes en los perfiles, además de todos los pozos y piezómetros dentro del campus, que, aunque sólo 3 presentan registro litológico, es posible asumir que en el resto de las perforaciones con fines hidrogeológicos también se encuentran presentes estratos de grava. Por su parte, la Figura 22, muestra que el basamento se profundiza hacia el sureste, estando las gravas en las partes más profundas del mismo. El área de gravas interpretado

puede considerarse como una subcuenca, y, tal y como lo presentan las columnas de los pozos UCV-001, UCV-002 y UCV-003, así como los segmentos hacia el este de los perfiles A2, A3, A4, y la totalidad del perfil B1, presenta una intercalación de sedimentos de distintos tamaños, siendo en profundidad una intercalación de grava y gravas arenosas, con arenas y arenas limosas, y, mostrando en profundidades someras también presencia de arcillas. Esta variación litológica puede interpretarse de acuerdo a los recursos presentados en esta sección, como sedimentos depositados en diferentes periodos y mediante procesos distintos. Prueba de ello es que los sedimentos de grano grueso están separados entre sí por algunas capas de los sedimentos más finos, lo cual puede ser explicado por una alternancia de episodios aluviales (gravas y arenas), con episodios fluviales (arenas y limos), depositándose cada uno de estos en forma de lenguas o explayamientos. Según la distribución de las gravas (Figura 30) y tal y como también lo establece ACERO & DOMINGUEZ (2004), los elementos de grano grueso es muy probable que hayan sido heredados de depósitos continentales en régimen de sistemas de abanicos aluviales, y de los coluviones (flechas marrones oscuras). Se encuentran los mayores espesores de estas gravas hacia el centro de la subcuenca, dominando estos en UCV-001 y en UCV-002, y disminuyendo los espesores de sedimentos de grano grueso hacia UCV-003, lo que pudiese indicar que hacia UCV-001 es la zona más proximal del abanico y hacia UCV-003 se encontraría la parte más distal del mismo. Por su parte, tal como lo afirma SINGER et al. (2007), las intercalaciones de material de grano fino son ambientes erráticos locales ubicados en sitios de confinamiento aluvial de los ríos Guaire y Valle, es decir, episodios de inundación o de explayamientos provenientes de los ríos o su confluencia (flechas ocres).

4.3 Caracterización hidrogeológica

En el apartado anterior se caracterizó el subsuelo de la Ciudad Universitaria, encontrándose que existen unas capas de grava que abarcan el este y el sureste de la zona como lo indica la Figura 30. Por otra parte, al observar la configuración de los pozos UCV-001, UCV-002 y UCV-003 en las fichas técnicas (Anexo 1.C, para ubicación ver figura 23 o figura 32), se encuentra que las rejillas de la zona de captación de los pozos están ubicadas, en parte, en los sedimentos de grano grueso, por lo tanto, uno de los materiales que aportan agua a los pozos construidos son las gravas; principalmente las que no presentan otro tipo de material en su composición, es decir, las más limpias.

De igual manera, en la base de los pozos se puede observar que el esquisto fracturado, de amplio espesor (entre los 8 y 12 metros), es claramente una capa acuífera. Este presenta una porosidad y permeabilidad secundaria, por ser sus fracturas de origen tectónico y/o producto de meteorización. Sin embargo, la información que se logró obtener del mismo fue muy poca, únicamente se presenta la descripción en las fichas técnicas de los pozos con registro litológico (UCV-001, UCV-002 y UCV-003), y la interpretación de la configuración del basamento en un sector de la zona de estudio donde las perforaciones históricas realizadas en el campus tocaron roca (Figura 22). Es por ello, que el mismo se presenta poco caracterizado en este trabajo, pero, es considerado igualmente una formación acuífera importante que aporta agua al sistema.

El acuífero de la Ciudad Universitaria podría considerarse entonces como una unidad hidrogeológica conformada por estas dos litologías, la grava y el esquisto fracturado. De acuerdo a la configuración de los estratos de grava en los perfiles y pozos (Figura 24, 25, 26 y 27), se podría establecer como un acuífero multicapas que descansa sobre un acuífero de esquisto fracturado.

En la parte más somera de sistema acuífero, tal como se presentó en la caracterización geológica, las capas de grava se encuentran más separadas, debido a que dominaban eventos de inundación y explayamiento de los ríos, depositando capas compuestas de limos arenosos y arcillas; constituyendo, de esta manera, capas de acuitardos entre las capas permeables de grava. En cambio, hacia la base del sistema acuífero, aumenta la cantidad y los espesores de las capas de grava. Esta variación en los ciclos de los procesos de

deposición, generó las configuraciones heterogéneas de los estratos, permitiendo que el sistema acuífero, a lo largo de su extensión, presente distintas características.

Por una parte, hacia el oeste de la zona de estudio, las capas de grava se encuentran separadas de la superficie por un mayor espesor de sedimentos finos (UCV-002), comportándose, probablemente, como un acuífero semiconfinado. Por otra parte, hacia el centro-este de la zona de estudio, donde se encuentran ubicados los pozos UCV-001 y UCV-003, respectivamente, la configuración de la litología permite inferir un mayor contacto del acuífero con la superficie, comportándose hacia esta zona como un acuífero libre.

Por último, es de notar que las rejillas de los pozos captan el agua de las capas acuíferas profundas, siendo la más somera, la del pozo UCV-003 (a 17 metros de profundidad). La profundidad de inicio de las rejillas se implementa como protección contra la contaminación superficial del agua subterránea en el momento de la captación.

4.3.1 Ensayo de recuperación

Para conocer las propiedades del sistema acuífero profundo fue necesario realizar un ensayo de recuperación a finales de enero de 2020, el cual se ejecutó en el pozo UCV-002, localizado en el jardín sur del edificio de la Escuela de Química, Petróleo y Geología de la Facultad de Ingeniería. A partir de esta prueba se calculó el valor de transmisividad. Como primer paso, se necesitaban conocer las condiciones del pozo previas al ensayo (Tabla 4) como, el nivel dinámico presente justo antes de iniciar la prueba, es decir, antes de apagar la bomba, la presión y el caudal de descarga del pozo, el tiempo en que la bomba permaneció encendida antes de realizar la prueba, la hora de inicio de la prueba y el último nivel estático registrado en el pozo. Algunos de estos valores se obtuvieron de la base de datos (Anexo 1.A), otros de la Dirección de Mantenimiento y otros de la empresa Ingeniería CAU C.A.

Tabla 4: Condiciones previas para prueba de recuperación

Condiciones previas	Caudal (Q):	146,88	m ³ /día
	Nivel de bombeo:	41,64	m
	Presión de descarga:	65	psi
	Tiempo bomba prendida (t):	11100	min
	Hora de inicio de la prueba:	10:50	am
	Nivel estático:	7,67	m

El caudal, calculado por Ingeniería CAU C.A en agosto de 2019, originalmente se encontraba en L/s, con un valor de 1,7 L/s. Este es notablemente menor que el registrado al momento de su activación en 1996, el cual fue de 5,5 L/s (PÉREZ, 2004). El cambio en los caudales puede deberse a que los pozos estuvieron desincorporados, y fuera de servicio, muchos años, tiempo durante el cual se fueron sedimentando partículas en el fondo debido a la ausencia absoluta de mantenimiento. Según un perfil de video realizado por el INAMEH en abril de 2019, el pozo UCV-002, no presentaba problemas estructurales en las rejillas, más la sedimentación en él tenía un espesor aproximado de 5 metros. Aunque para su reactivación en agosto de 2019 el mismo fue limpiado con inyección de aire, puede que todavía faltara remoción de sedimentos, cubriendo buena parte del esquistos, pudiendo ser esta la causa del menor rendimiento.

La tabla de registro del ensayo de bombeo se presenta en el Anexo 3.A. Luego, con los pares de puntos $(\frac{t+t'}{t'}, d_r)$, se realizó la gráfica de la recta de recuperación, en escala semi-logarítmica (Figura 31).

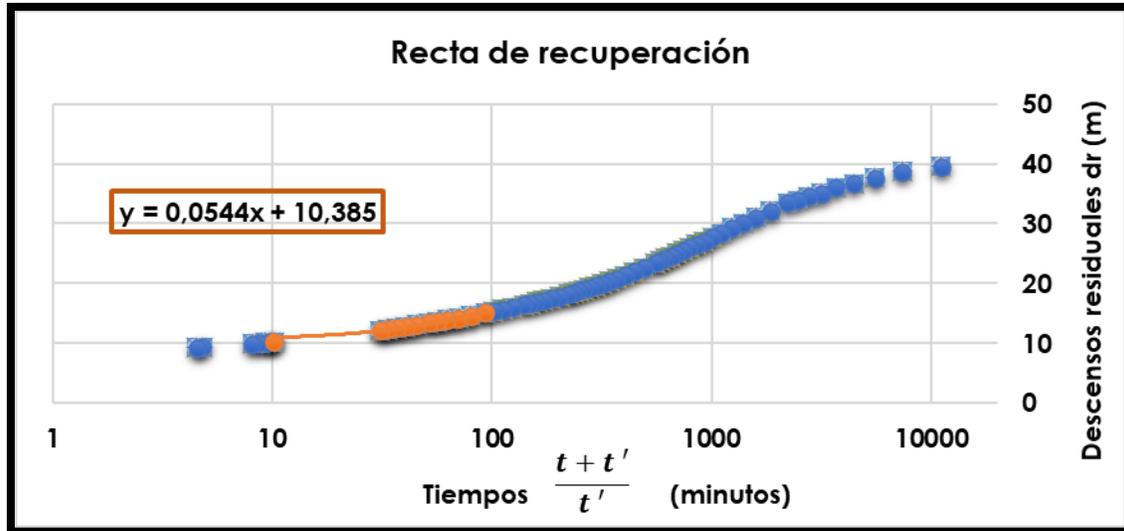


Fig. 31: Gráfico descensos residuales generado a partir del ensayo de recuperación

De la gráfica generada se seleccionó el último ciclo logarítmico (segmento anaranjado) tal como lo sugiere la metodología de VILLANUEVA & IGLESIAS (1984), del cual se calculó la siguiente ecuación de la recta:

$$y = 0,0544x + 10,385$$

A partir de la ecuación presentada, se calcularon los valores de los límites verticales tanto inferior (y_1) como superior (y_2) del segmento, utilizando los valores de los límites horizontales, tanto inferior ($x_1 = 10$ minutos), como superior ($x_2 = 100$ minutos) del ciclo escogido, obteniendo, por lo tanto:

$$y_1 = 0,0544(10) + 10,385$$

$$y_1 = 10,929 \text{ metros}$$

y consecuentemente,

$$y_2 = 0,0544(100) + 10,385$$

$$y_2 = 15,825 \text{ metros}$$

Restando ambas se obtuvo la diferencia de alturas del ciclo logarítmico:

$$\Delta d = y_2 - y_1 = 15,825 - 10,929$$

$$\Delta d = 4,896 \text{ metros}$$

Esta diferencia, además del caudal (Q) reflejado en la tabla 4, fue necesaria para poder calcular la transmisividad:

$$T = 0,183 \times \frac{Q}{\Delta d} = 0,183 \times \frac{146,88}{4,896}$$
$$\mathbf{T = 5,49 \text{ (m}^2\text{/día)}}$$

A través del valor de transmisividad obtenido, y considerando un espesor aproximado de las capas acuíferas igual a 45 m, mediante los espesores reflejados en la ficha descriptiva del pozo, se calculó el valor de conductividad hidráulica:

$$K = \frac{T}{b} = \frac{5,49}{45}$$
$$\mathbf{K = 0,122 \text{ (m/día)}}$$
$$\mathbf{K = 1,41 \times 10^{-4} \text{ (cm/s)}}$$

Tanto la transmisividad como la conductividad hidráulica calculada previamente resultaron en valores mucho más bajos de lo que se esperaban, según las tablas de referencia plasmadas en la metodología (Tablas 2 y 3).

Si, por otra parte, se usa únicamente el espesor de las capas acuíferas que tienen asociadas las rejillas del pozo (15 metros), para calcular la conductividad hidráulica, y, además, se asume que, de este espesor, solo la mitad del esquisto fracturado (4 metros) podría estar aportando fluidos; los resultados serían los siguientes:

$$K = \frac{T}{b} = \frac{5,49}{19}$$
$$\mathbf{K = 0,29 \text{ (m/día)}}$$
$$\mathbf{K = 3,356 \times 10^{-4} \text{ (cm/s)}}$$

Para ambos resultados, al compararlos con las tablas referenciales (Tablas 2 y 3), clasifican el sistema como un acuífero muy pobre, poco permeable, compuesto de limo arenoso o arena arcillosa. Evidentemente, estos resultados no coinciden con lo observado en la composición litológica de los mismos, ni con los valores que se pudieran esperar según sus características. Esto puede deberse a varias razones, la primera de ellas es la continuidad lateral del acuífero, ya que, según la disposición de las gravas (Figura 30), el

pozo UCV-002 se encuentra en un borde del área delimitada (ver figura 30). Es decir, que es el límite de la capa de grava, puesto que la misma se trunca y no continúa lateralmente hacia el norte o hacia el oeste en este punto. Cabe destacar que, históricamente, este pozo siempre presentó un menor rendimiento frente a los pozos ubicados al este. Al momento de su activación se registró un caudal de 5,5 l/s mientras que UCV-001 y UCV-003, presentaron rendimientos de 16,67 l/s y 11 l/s, respectivamente.

Otra razón importante es que el ensayo de recuperación, a diferencia del de bombeo, sirve, principalmente, para evaluar el grado de conexión del pozo con el acuífero (VILLANUEVA & IGLESIAS, 1984), por lo que, los valores bajos, no esperados, podrían estar indicando un grado importante de desconexión entre el pozo y el acuífero. Es necesario tener en cuenta que durante muchos años el pozo fue abandonado, hasta el punto de desincorporarlo y sellarlo, generando, de esta manera, la sedimentación en la base del mismo. Por otra parte, puede que la grava filtrante del pozo no tenga el mismo efecto, se haya deteriorado, se haya compactado, y obstruido parcialmente, generando la disminución de su permeabilidad debido al uso prolongado que tuvo el pozo antes de su desincorporación. Las consecuencias de lo anteriormente dicho pueden estarse reflejando en el rendimiento del pozo, que ahora presenta un caudal de 1,7 l/s.

Por otra parte, al observar la gráfica generada a partir del ensayo de recuperación se puede apreciar que la recta no pasa por el origen (Figura 31), sino que al extenderla cortaría el eje vertical. Según VILLANUEVA & IGLESIAS (1984), esto quiere decir que los niveles del acuífero no se han recuperado cuando ha transcurrido un tiempo suficientemente largo desde que se detuvo el bombeo. Los autores lo adjudican a que el acuífero se ha vaciado a consecuencia del volumen de agua que se ha extraído durante el bombeo, y, por lo tanto, no se puede considerar que el acuífero presente gran extensión. Así pues, esta pudiese ser otra razón que pudiese explicar la disminución del rendimiento observado.

Para demostrar lo expuesto, si se realizaran exactamente los mismos cálculos, pero ahora utilizando el caudal histórico (5,5 litros/segundo), la transmisividad sería la siguiente:

$$\mathbf{T= 17,923 \text{ (m}^2\text{/día)}}$$

$$\mathbf{K= 0,398 \text{ (m/día)}}$$

$$\mathbf{K = 4,61 \times 10^{-4} \text{ (cm/s)}}$$

Estos valores ahora representan a un acuífero más permeable que el anterior, compuesto de sedimentos como arena o arena limosa, lo cual evidencia que, aunque todavía no están resultando en los valores esperados, aumentan significativamente sólo cambiando el valor al caudal histórico del acuífero, por tanto, demuestra que las condiciones del pozo han disminuido, reduciendo, a su vez, su rendimiento y eficiencia.

Por su parte, el pozo UCV-001' presenta un caudal menor al histórico. Al momento de su activación se obtuvo un caudal de 12,5 l/s para un nivel de bombeo de 16 metros, mientras que el caudal obtenido en 1996 para la activación del pozo UCV-001 fue de 16,67 l/s para un nivel de bombeo de 25,02 m. Aunque no se tienen datos de la bomba utilizada en la activación de UCV-001' en 2019, se podría asumir que este cambio en los caudales es debido a que las características de las bombas son distintas. Antiguamente era un mayor caudal, pero también un mayor nivel dinámico lo cual podría atribuírsele a que la bomba era de mayor potencia que la que se encuentra actualmente en UCV-001'.

4.3.2 Medición y análisis del nivel piezométrico

De todos los pozos y piezómetros presentes en el campus, se escogieron 6 puntos para el monitoreo del nivel piezométrico (resaltados en amarillo en el Anexo 1.B), debido a que eran los únicos con accesibilidad y condiciones (no se encontraban obstruidos) para poder realizar las mediciones. Luego, en septiembre de 2019, durante el desarrollo de esta investigación, la empresa Ingeniería CAU, C.A. realizó la perforación de un nuevo pozo (UCV-001'), al cual también se le pudieron tomar algunas mediciones. Sin embargo, de estos 7 puntos de observación posibles (Figura 32), sólo 4 pudieron ser utilizados para realizar el seguimiento de los niveles estáticos de manera continua, en los demás, se realizaron unos pocos registros cuando las condiciones estuvieron dadas para ello (se pudieron apagar las bombas, o se pudo acceder, ya que tenían accesibilidad limitada). Todas las mediciones se documentaron en el Anexo 3.B.

De los 7 puntos (Figura 32), 5 de ellos son pozos, de los cuales únicamente 2 se encontraban activos, y corresponden a UCV-002 (Facultad de Ingeniería) y UCV-001', ubicado en el estacionamiento de la Facultad de Arquitectura. De los pozos V4, UCV-001 y UCV-003, se tomaron registros piezométricos ininterrumpidos; los mismos se ubican en el área de Carpintería, el estacionamiento de la Facultad de Arquitectura (al lado del pozo

activo UCV-001') y detrás del Estadio Olímpico de la UCV, respectivamente. Los otros 2 puntos corresponden, por una parte, al piezómetro P4 ubicado en la zona verde detrás del galpón perteneciente a la Facultad de Derecho, y, por otra parte, al aljibe P1, construido por el Metro de Caracas y ubicado adyacente a la puerta peatonal de la Plaza Simón Bolívar de Los Estadios (detrás de la Facultad de Arquitectura). La profundidad del aljibe P1 es menor a la de los otros pozos evaluados. Cabe resaltar, que el piezómetro y el aljibe son los únicos que no contaban con un encofrado, pudiendo acceder a ellos libremente. De ellos, solo se pudo tomar una medición constante a largo del tiempo estipulado al aljibe P1, puesto que P4 colapsó luego de la primera medición realizada.

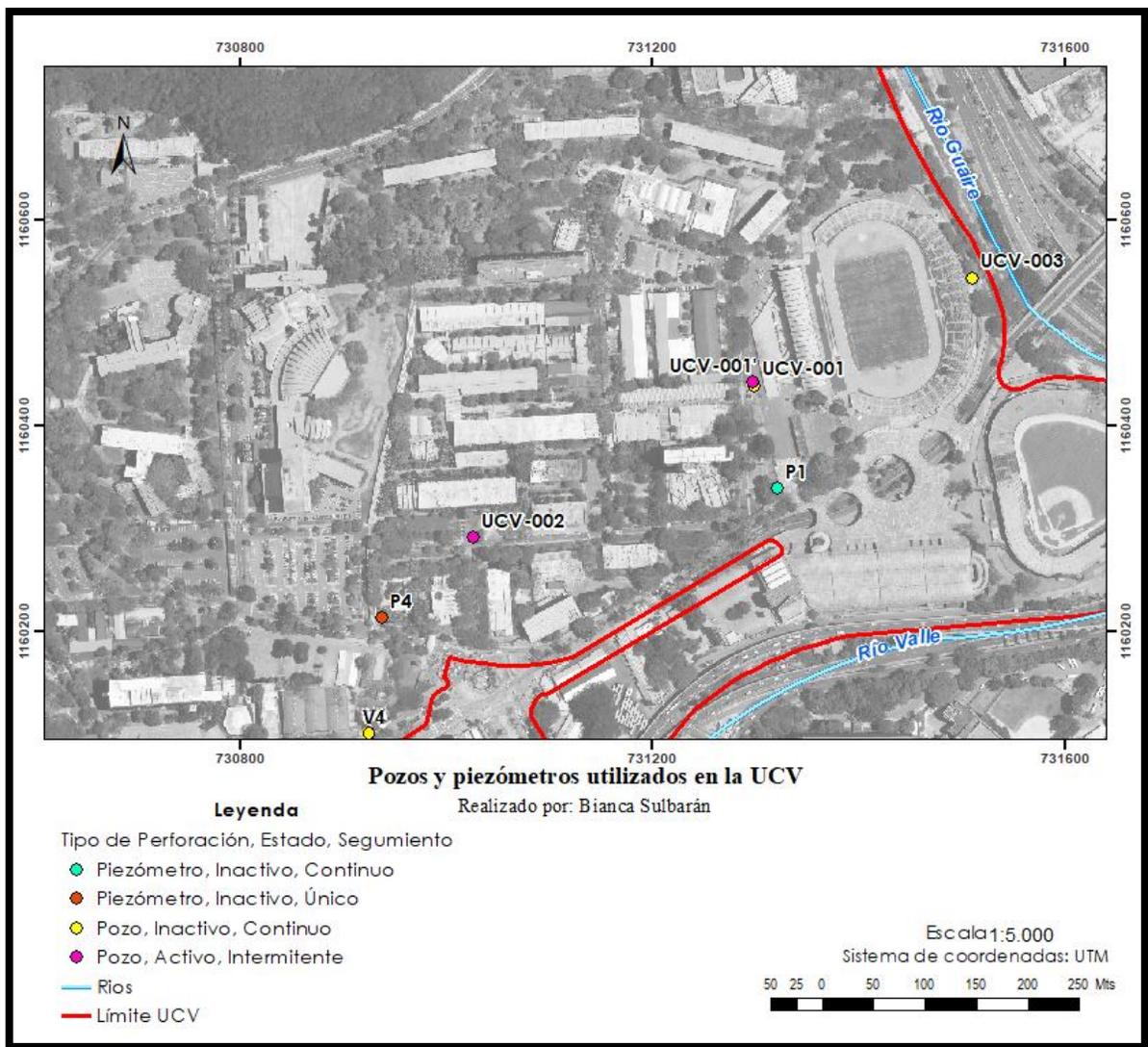


Fig. 32: Pozos y piezómetros utilizados para monitoreo del nivel piezométrico en la UCV

El monitoreo de los puntos comenzó el 14 de agosto de 2019, se realizaba todos los miércoles, y culminó el 11 de diciembre del mismo año; debido a que el personal de la Dirección de Mantenimiento detendría sus actividades por un poco más de un mes a razón de las vacaciones colectivas. Los puntos de observación medidos fueron UCV-001, UCV-003, P1, V4 y, eventualmente, UCV-002.

Las mediciones obtenidas con la sonda de los niveles estáticos de los pozos, debieron ser llevadas al mismo nivel de referencia (el nivel medio del mar), a través del procedimiento explicado en la metodología, a partir de las configuraciones de cada encofrado de pozo (Anexo 1.C).

A lo largo de 4 meses de registro, el nivel estático de cada pozo osciló a diferentes alturas con respecto al nivel del mar. A continuación, se presentan los valores mínimos y máximos del nivel estático presentado por punto y su variación máxima (Tabla 5).

Tabla 5: Fluctuaciones límite de niveles estáticos medidos

Pozo	Cota del terreno	Nivel estático más profundo registrado	Fecha	Nivel Estático mas somero registrado	Fecha	Desnivel entre niveles estáticos límites
	msnm	msnm		msnm		m
V4	864	854,7	27/11/2019	855,3	18/9/2019	0,6
UCV-002	861,071	849,911	25/9/2019	851,541	18/9/2019	1,63
P1	862	853,84	27/11/2019	854,47	14/8/2019	0,63
UCV-001	860,625	849,05	30/10/2019	851,96	14/8/2019	2,91
UCV-003	859,086	849,086	4/12/2019	850,176	18/9/2019	1,09

Las mediciones continuas de los niveles piezométricos de los puntos de observación permitieron generar, de cada uno de ellos, curvas piezométricas para el análisis de su comportamiento (Figura 33). Las mismas se presentan en el gráfico, ordenadas de acuerdo a la ubicación de los pozos, desplazándose de suroeste a noreste.

En general, todos los puntos registraron los valores más altos de los niveles piezométricos (es decir, los más someros), al empezar a tomar las mediciones, y, luego los valores fueron disminuyendo progresivamente.

Un caso particular se presentó en el pozo UCV-002, ya que no se observa la misma continuidad en las mediciones que el resto, debido a que su bomba se encontraba

encendida, además de tener el acceso restringido. El efecto del bombeo puede observarse en las primeras 3 mediciones (agosto 2019). Luego, en septiembre, el personal de la Dirección de Mantenimiento de la UCV apagaba la bomba 3 días antes de la medición para poder realizarla, por lo que éstas se realizaban durante el periodo de recuperación del pozo, efecto que se evidenció en la curva resultando en un cambio abrupto en las alturas de los niveles. La curva piezométrica en el segmento de las mediciones registradas en el periodo de recuperación, se asemeja mucho al nivel estático del pozo contiguo UCV-001 (Figura 33).

En la figura 33 puede apreciarse que los niveles más someros del agua subterránea en todos los puntos se registraron entre mediados del mes de agosto y mediados del mes de octubre, mientras que, los niveles más profundos se registraron entre los últimos días de octubre y los primeros días de diciembre. De igual manera, se observa que para los pozos V4, UCV-001 y UCV-003 las curvas se mantienen estables durante agosto y principios de octubre, luego presentan un descenso, al inicio más abrupto, y luego progresivo, hasta aproximadamente inicios de diciembre, donde se observa un aumento de niveles piezométricos que puede prolongarse hasta finales de enero 2020 (fecha en la que se realizó el ensayo de recuperación del pozo UCV-002). La tendencia de los niveles medidos en el aljibe P1, es completamente distinta a las demás curvas. Esta pareciera descender progresivamente durante todo el periodo de mediciones, y subir abruptamente en el último par de registros, es decir, finales de noviembre inicios de diciembre 2019.

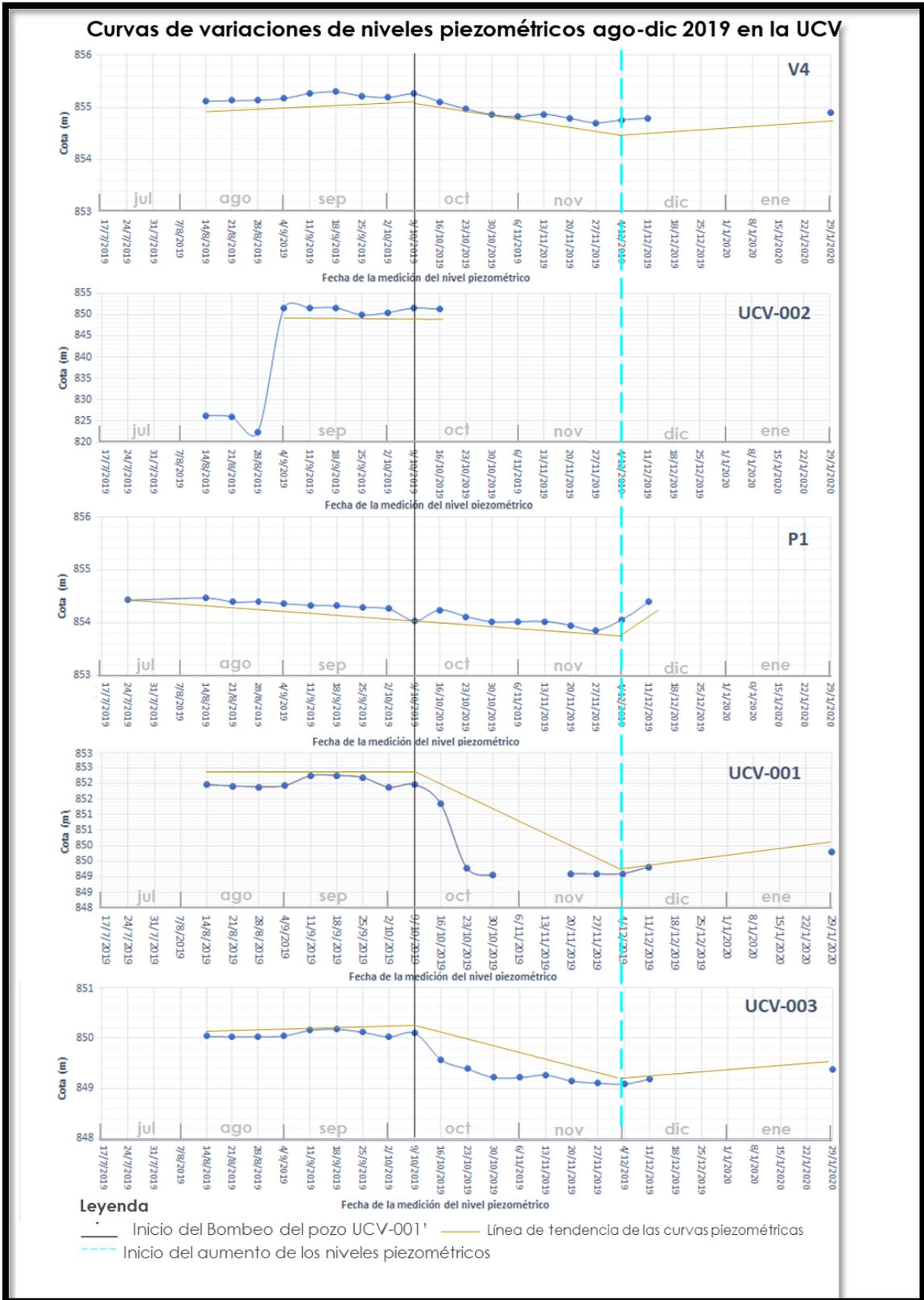


Fig. 33: Curvas piezométricas de V4, UCV-002, UCV-001, P1 y UCV-003

El descenso observado en los registros a principios del mes de octubre 2019 coincide con la activación del nuevo pozo UCV-001'. El pozo que presentó el descenso más abrupto fue el UCV-001 debido a su cercanía, puesto que se encuentra a un par de metros de separación. El descenso de los otros pozos fue menos abrupto. En cuanto a efectos del bombeo, el pozo UCV-003 presentó una mayor variación. El aljibe P1 presentó únicamente un descenso puntual considerable la semana de la activación de la bomba, pero se recupera muy pronto, siguiendo un comportamiento diferente al resto, en descenso continuo durante todo el periodo de medición. Por último, en el pozo V4, aunque es el pozo más alejado, igualmente se observa una tendencia de disminución en sus valores a partir del inicio de bombeo mencionado, pero la influencia es menor. Por otra parte, en las dos mediciones realizadas para esas fechas en el pozo UCV-002 no se observó ninguna reacción evidente.

La reacción de los niveles piezométricos registrados, frente al inicio del bombeo del pozo UCV-001', puede estar indicando que existe una conexión hídrica entre varios puntos del acuífero, es decir, que las capas de grava que componen dicho acuífero están conectadas entre sí. De igual manera, se puede evidenciar que, debido a la misma conexión, el acuífero presenta un efecto de "vaciado" del agua contenida en el mismo por efecto del bombeo.

El pozo UCV-002, por su parte, pareciera no tener una conexión tan evidente con el resto de los puntos, ya que, ni siquiera, durante las primeras semanas de medición (agosto 2019), en donde se midieron niveles dinámicos del pozo, los demás puntos de observación registraron efectos de dicho bombeo. Este hecho también puede atribuírsele a que para el momento en que se empezaron a tomar las mediciones, este pozo tendría al menos un par de meses encendido. Puede que en ese tiempo el sistema acuífero habría logrado retomar su equilibrio, por lo que no se reflejaban ya cambios en los niveles piezométricos en los demás pozos producto del bombeo de este pozo.

Por otro lado, se registró, en todos los puntos medidos de forma continua, que existe un aumento de los niveles piezométricos entre finales de noviembre e inicios de diciembre, y que puede prolongarse hasta finales de enero. Esto a pesar del continuo funcionamiento del pozo UCV-001'. El comportamiento antes descrito podría estar indicando que, en primer lugar, el efecto de vaciado, debido al bombeo, ya no afectaba el acuífero, es decir, que el sistema pudiese estar equilibrado; y, en segundo lugar, el sistema estaba experimentando un

periodo de recarga, por esta razón, todos los puntos de observación reflejan el aumento de niveles.

A fin de determinar la fuente de la posible recarga registrada, se procedió a evaluar los datos pluviométricos registrados por el Departamento de Hidrometeorología de la UCV, medidos por el Pluviómetro de Cántaro, localizado dentro del campus universitario (Figura 34). A través de los mismos se pudo conocer que el periodo de lluvias del año 2019 estuvo comprendido entre los meses de mayo y noviembre, siendo octubre el mes con mayores precipitaciones en la zona (Anexo 3.C). Los meses de monitoreo corresponden a un período principalmente de lluvias.

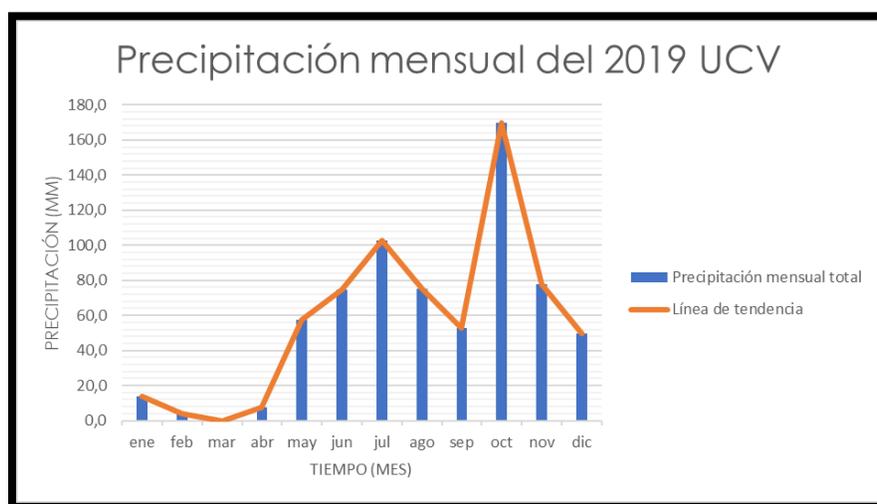


Fig. 34: Precipitación mensual del 2019 registrada por la estación UCV

Para evaluar la posible influencia de la precipitación en el agua subterránea de la zona, se presentan los gráficos de niveles piezométricos superpuestos con los datos de precipitación (Figura 35). La precipitación a lo largo del año 2019 se calculó de forma semanal, tomando en cuenta la semana desde el jueves hasta el miércoles, para que coincidiera con la toma de las medidas del nivel de los puntos.

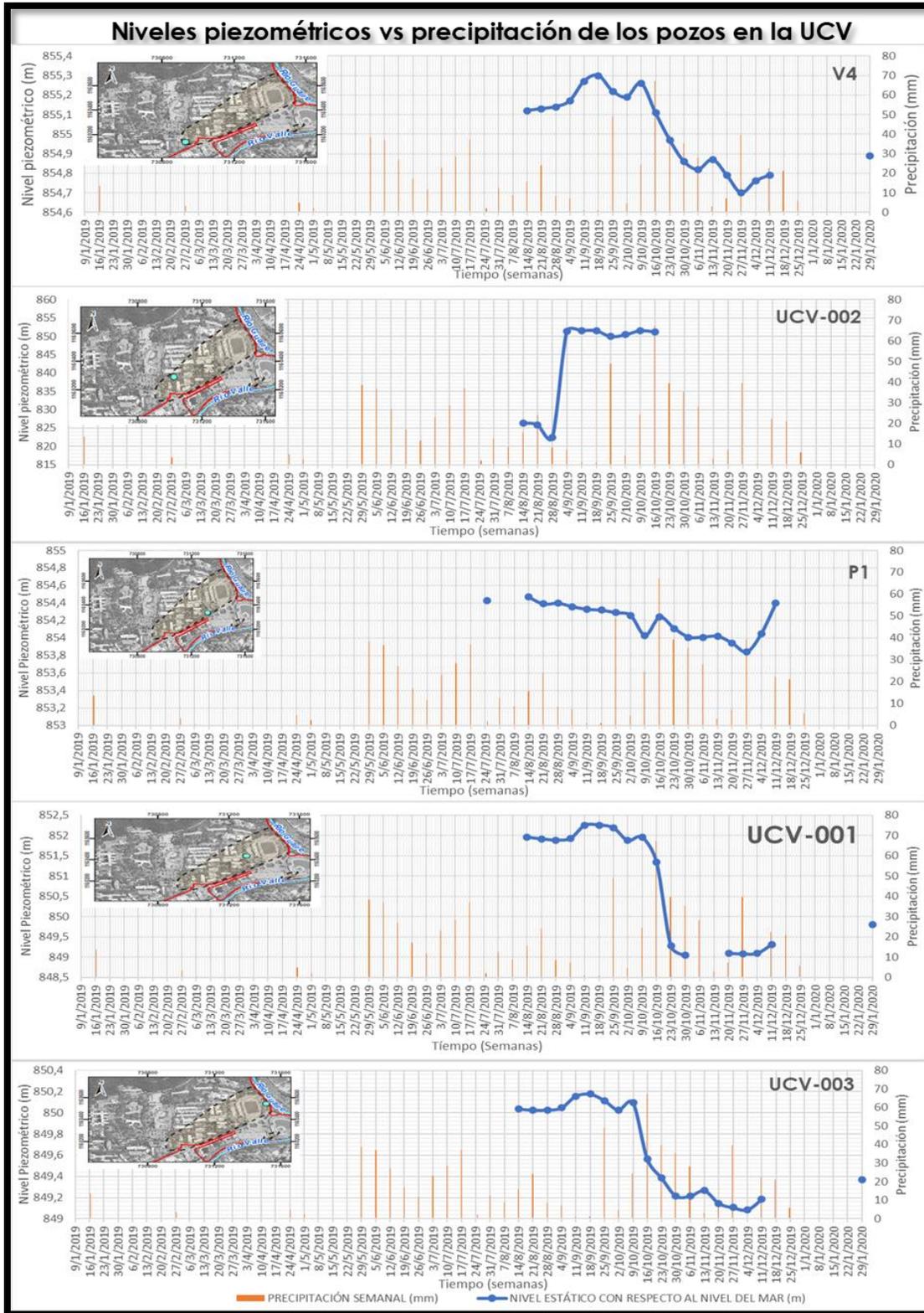


Fig. 35: Curva de niveles piezométricos vs. Hidrograma de precipitación del 2019 de la

UCV

Al comparar las precipitaciones semanales registradas en la UCV en el año 2019 con las tendencias de las curvas que se han venido analizando, se puede observar que, de manera general, las curvas se mantienen estables, sin presentar ninguna fluctuación o cambio frente a las pocas precipitaciones registradas. Luego, a partir de mediados de octubre, las curvas registran el descenso, debido al bombeo, hasta finales de noviembre, siendo este período, el mayor período de precipitación del año. Finalmente, para diciembre, las curvas tienen tendencia a subir nuevamente, aun cuando las lluvias se volvían más escasas.

Las curvas registran un ascenso general a partir de finales del mes de noviembre, por lo que pareciera evidenciarse en los gráficos, que las precipitaciones podrían tener una influencia en la recarga del acuífero con un desfase de dos meses (relacionadas con las lluvias de septiembre y octubre). De igual manera, si se evalúan los datos de precipitación entre el 29 de mayo y el 17 de julio, puede observarse que dos meses después, entre inicios de septiembre y mediados de octubre, las curvas piezométricas en los distintos puntos presentan un aumento de niveles, un pequeño descenso y un aumento nuevamente. Hay que tener en cuenta que el inicio de las actividades de bombeo del pozo UCV-001', en la semana del 09 de octubre, afectó los comportamientos naturales del agua subterránea a partir de esa fecha.

La curva del piezómetro P1, sin embargo, difiere del resto, observándose un descenso continuo en sus niveles piezométricos, hasta el aumento general de finales de noviembre. Esto podría indicar que no se vio afectado por las primeras precipitaciones, mientras que, si se observó un cambio relacionado, probablemente, con las últimas precipitaciones.

De manera general podría establecerse entonces que las precipitaciones de mayor intensidad registradas pudieron haber influido, a largo plazo, en la recarga del acuífero, infiltrándose y fluyendo por los sedimentos permeables en un lapso de dos meses hasta llegar a las capas acuíferas. Sin embargo, debido a la litología heterogénea de la zona compuesta por depósitos erráticos de distintos tipos de sedimentos (interdigitándose depósitos permeables, con impermeables y semipermeables), es probable que para los periodos de lluvias de menor intensidades la recarga no se haya visto reflejada de manera tan evidente en todos los puntos de observación debido, probablemente, al recorrido

tortuoso del agua subterránea a lo largo de algunos de estos sedimentos para poder llegar a las capas acuíferas. Igualmente, un factor de posible entorpecimiento en la recarga que es conveniente considerar son las edificaciones cercanas y sobre las capas acuíferas, puesto que la zona de estudio está altamente urbanizada, dejando áreas verdes, desprovistas de construcciones reducidas, a partir de las cuales se infiltra el agua superficial en el sistema.

Sería conveniente considerar, tal vez, otras fuentes de recarga secundarias, aparte de las precipitaciones, como, por ejemplo, la infiltración de agua a través de las rocas fracturadas y sedimentos provenientes de la Fila del Jardín Botánico y Sierra Maestra ubicada al norte del campus, que probablemente pudieron haber fluido por las capas permeables que rellenan la cuenca.

En general, la recarga del agua subterránea pareciera tener un aporte proveniente de las precipitaciones, y probablemente también, pueda tener influencia el agua que procede del flanco de las montañas hacia el noroeste del campus, en la zona de Sierra Maestra y el Jardín Botánico. No se está considerando la recarga desde los ríos Guaire y Valle debido a que ambos se encuentran embaulados en la zona.

A continuación, del Mapa Hidrogeológico de Venezuela del Ministerio de Minas e Hidrocarburos, se tomó el área de Caracas y se plasmó en la Figura 36 (MINISTERIO DE MINAS E HIDROCARBUROS, 1972). En él se puede observar las aguas tanto superficiales como subterráneas en la ciudad fluyen en dirección al río Guaire. Igualmente, al reflejar los niveles piezométricos someros y profundos de los pozos V4, UCV-001, UCV-002 y UCV-003 (Figura 37), se observa que la dirección de flujo del agua subterránea dentro del acuífero de La Ciudad Universitaria se dirige desde el suroeste hacia el noreste, descargando, aparentemente, dirección al río Guaire, la cual también corresponde a la zona de menor cota dentro del campus. Por lo que, podría establecerse que el agua descarga naturalmente hacia el centro de las líneas de flujo del acuífero aluvial del Valle de Caracas (dirección al río Guaire).

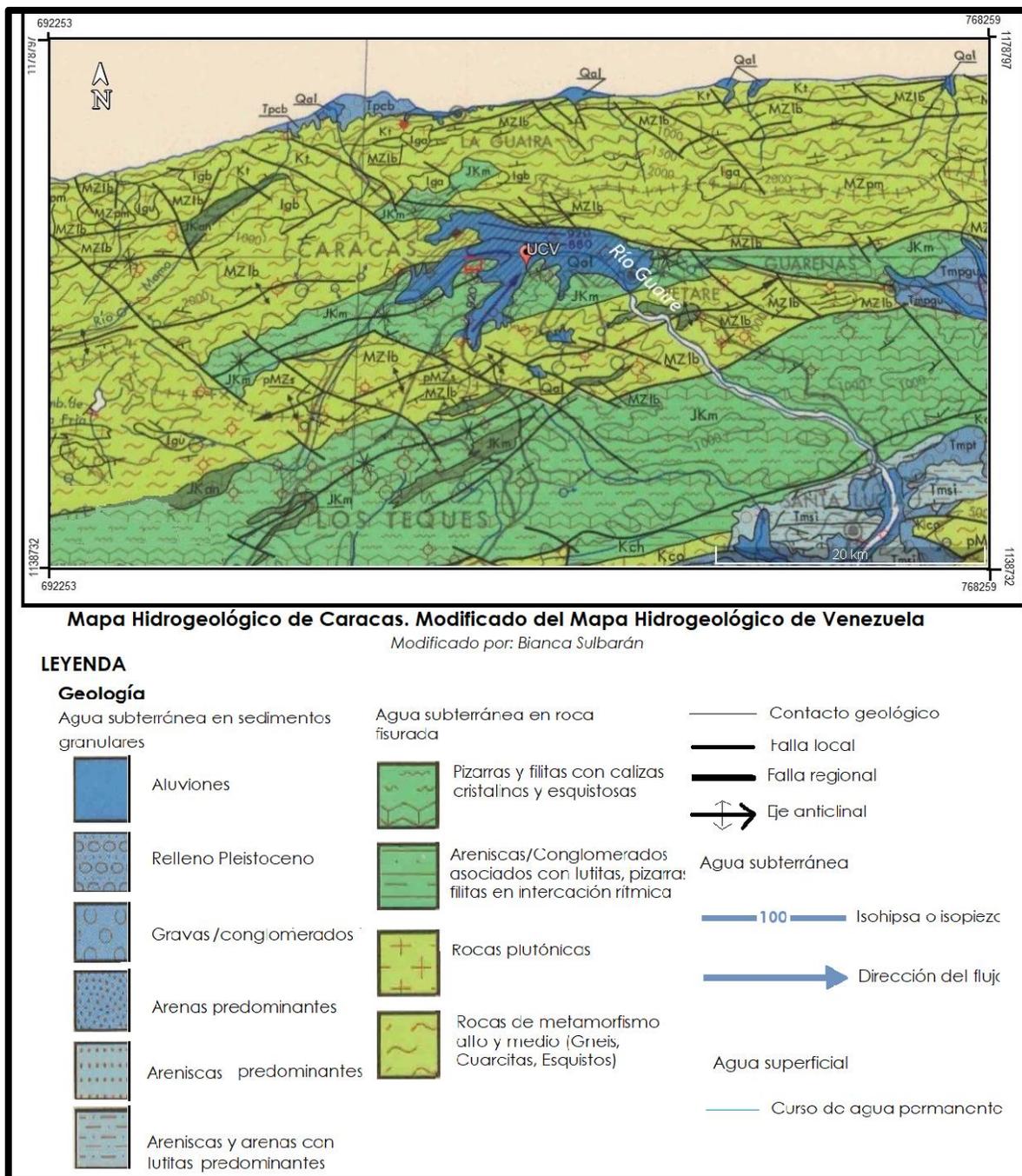


Fig. 36 Mapa Hidrogeológica de Caracas. Modificado del Mapa Hidrogeológico de Venezuela (Tomado del Ministerio de Minas e Hidrocarburos, 1972)

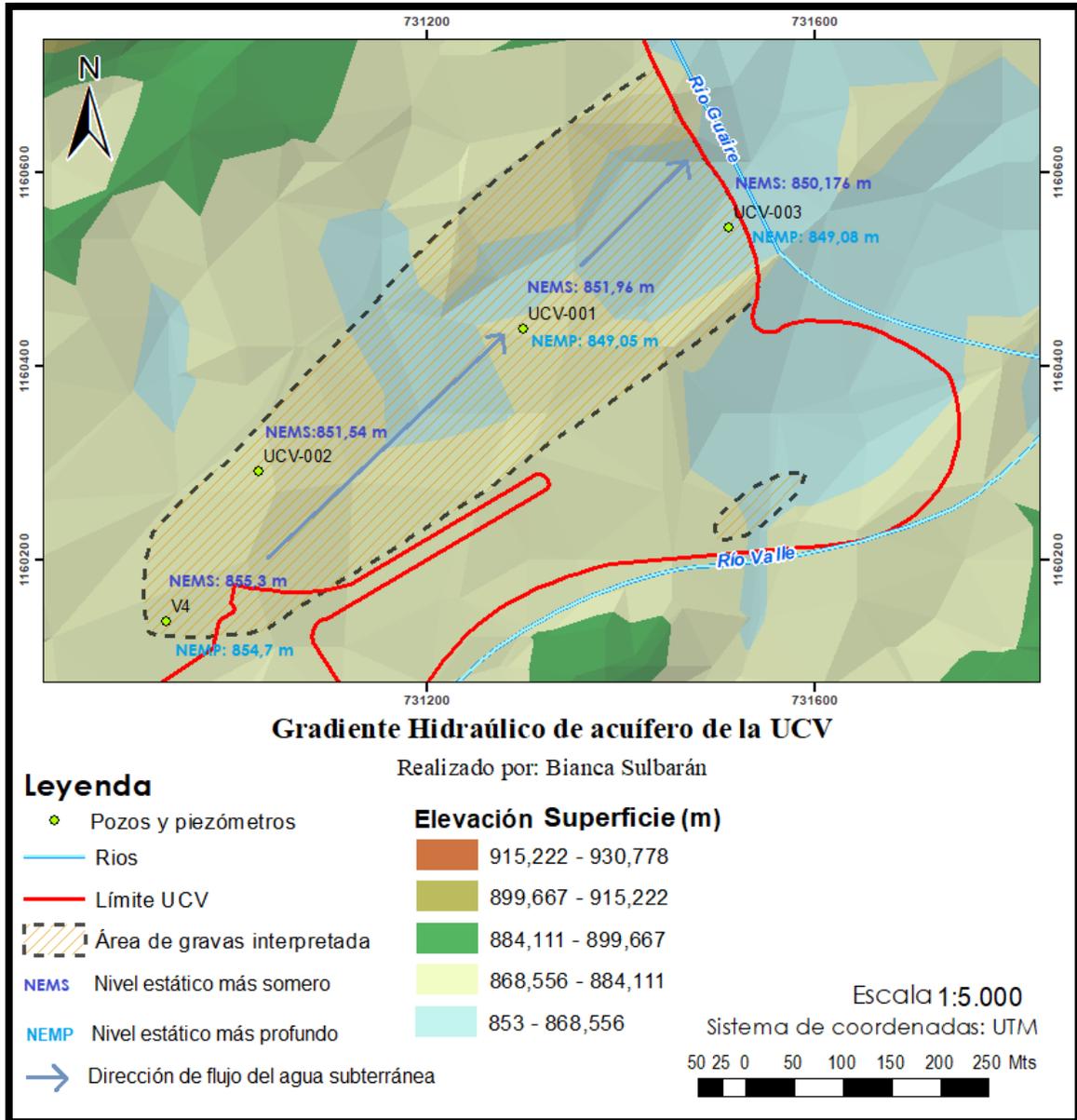


Fig. 37 Gradiente Hidráulico del acuífero de la UCV

4.4 Modelo hidrogeológico conceptual

El modelo hidrogeológico conceptual se realizó luego de sintetizar la información geológica, geofísica, posibles límites permeables e impermeables y el marco hidrológico, lo cual fue obtenido a lo largo de este trabajo de investigación en las 3 fases anteriores.

El acuífero de la Ciudad Universitaria se encuentra en una cuenca de origen tectónico-estructural originada por el Sinclinal Plegado y fallado del Cementerio, el cual expone como basamento rocoso al Esquisto Las Mercedes debido a la erosión diferencial, presentando hacia el tope un amplio espesor de roca fracturada. Esta estructura de acuerdo con CASTILLO & RAMOS (2011), resultó un enclave natural para la acumulación de sedimentos depositados en diferentes periodos, los cuales descansan sobre el basamento fracturado y son producto de distintos procesos.

En el caso de la zona de estudio, el sistema se encuentra delimitado tanto de manera física como hídrica por el río Guaire hacia el norte y hacia el este, el río Valle hacia el sureste, la colina del Jardín Botánico y Sierra Maestra hacia el noroeste y las colinas de Bello Monte hacia el sureste. Dentro de esta área los procesos que actuaron para la depositación de los sedimentos fueron una alternancia de episodios fluviales provenientes de los ríos Guaire y Valle, así como el aporte aluvial de sedimentos desde las colinas circundantes mencionadas, generando una depositación espesa, heterogénea de intercalación de sedimentos de distinta granulometría que se encuentran, a su vez, interdigitados entre sí. Hacia la zona más profunda de la cuenca al sureste del campus, cerca de la confluencia de los ríos Guaire y Valle, se encuentra la mayor cantidad de sedimentos de granulometría gruesa, formando una subcuenca, en donde predominan las gravas sobre los otros tamaños de grano. Este conjunto de sedimentos, así como una parte del esquisto fracturado, representan las capas acuíferas del sistema y podrían considerarse entonces como una unidad hidrogeológica conformada por estas dos litologías, siendo un acuífero multicapas (gravas) que descansa sobre un acuífero de esquisto fracturado.

Las gravas están separadas entre sí por algunas capas de sedimentos más finos, lo cual puede ser explicado por la alternancia mencionada de episodios aluviales (gravas y arenas), con episodios fluviales (arenas, limos y arcillas limoarenosas), depositándose cada uno de estos en forma de lenguas o explayamientos. Según la distribución de las gravas, y

tal y como también lo establece ACERO & DOMINGUEZ (2004), los elementos de grano grueso es muy probable que hayan sido heredados de depósitos continentales en régimen de sistemas de abanicos aluviales provenientes de las colinas circundantes (Jardín Botánico, Sierra Maestra y las Colinas de Bello Monte). Esto se menciona ya que las capas con mayores espesores de estas gravas se encuentran hacia el centro de la subcuenca (hacia los pozos UCV-001 y UCV-002), y disminuyen los espesores de los estratos de sedimentos de grano grueso hacia el noreste (hacia el pozo UCV-003), considerándose que la zona más proximal del abanico podría encontrarse hacia el pozo UCV-001 y hacia UCV-003 se encontraría la parte más distal del mismo.

Por su parte, los sedimentos que se encuentran en el resto de la Ciudad Universitaria, son predominantemente de grano fino y muy heterogéneos. En general son alternancia de arenas limosas, arcillas limo arenosas y limos. Los elementos más gruesos y limpios de estas alternancias, por ejemplo, las arenas al noreste de la zona, fueron productos de bancos aluviales depositados por brazos anteriores del río Guaire, y, los sedimentos predominantemente arcillosos al oeste del campus fueron producto de una planicie de inundación originada de la sumersión de la zona por represamiento de los drenajes, los cuales se deben al estrangulamiento y ensanchamiento lateral del cauce de los ríos Valle y Guaire, ocasionado por el aporte de gran volumen de material proveniente del Ávila (SINGER et al., 2007).

Hacia el oeste de la subcuenca, las capas de grava presentan suprayacentes un amplio espesor de sedimentos de grano fino (UCV-002), comportándose, probablemente, como un acuífero semiconfinado. En cambio, hacia el centro-este, donde se encuentran ubicados los pozos UCV-001 y UCV-003, respectivamente, la configuración de la litología permite inferir un mayor contacto del acuífero con la superficie, comportándose como un acuífero libre.

De acuerdo con los análisis de las curvas piezométricas realizadas de registros tomados en los puntos de observación, existe una conexión hídrica entre varios puntos del acuífero (V4, UCV-001, UCV-003), debido a que todos los puntos se vieron afectados por el inicio del bombeo de UCV-001' (presentaron un efecto de vaciado), mientras que con UCV-002 y P1 no se pudo establecer esta relación. De igual manera, según la interpretación

de los gráficos, poco después de que iniciara el bombeo (aproximadamente luego de dos semanas), el sistema pudo estar nuevamente en equilibrio, dejando de descender drásticamente los niveles estáticos y nivelándose nuevamente al comportamiento normal que había estado registrando el pozo antes del bombeo. Este hecho podría ser un indicativo de una buena transmisividad en el acuífero. Por otra parte, el ensayo de recuperación realizado en UCV-002 permitió observar que existe probablemente un cierto grado de desconexión del pozo con el resto del acuífero debido a su ubicación en el borde de la subcuenca de gravas, puesto que la misma se trunca y no continúa lateralmente hacia el norte o hacia el oeste en este punto, además del deterioro del pozo y el exceso de sedimentos en el fondo por su desuso, arrojando una transmisividad de $T=5,49 \text{ m}^2/\text{día}$ y una conductividad hidráulica de $K= 3,36 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$. Estas mismas razones pudieron generar que el caudal actual de este pozo sea menor al histórico, siendo actualmente de 1,7 l/s, mientras que para 1996 el mismo era de 5,5 l/s, es decir su caudal disminuyó un alrededor de un 70%. Por su parte, el caudal actual del pozo UCV-001 presenta también una disminución con respecto al histórico. Para 1996 el mismo arrojó un valor de 16,67 l/s para un nivel dinámico de 25,02 m, mientras que el pozo UCV-001' construido en 2019 en el mismo lugar arrojó un caudal de 12,5 l/s para un nivel dinámico de 16 m, esto podría suponerse que se debe a que la bomba actual utilizada para este pozo es de menor capacidad que la que se encontraba en UCV-001 para 1996. Sin embargo, se nota un descenso de apenas 25% de rendimiento de caudal, con respecto al UCV-002.

El mayor aumento de niveles piezométricos que afectó a todos los pozos estuvo a finales de diciembre hasta finales de enero, los cuales podrían deberse al mayor período de lluvia en la zona ocurrido en octubre. Por lo tanto, podría considerarse que las precipitaciones influyen en la recarga del sistema acuífero del campus UCV con un lapso de desfase de aproximadamente dos meses. Igualmente, probablemente también podría considerarse otro método de recarga como es la infiltración de agua a través de las rocas aflorantes fracturadas y sedimentos de la Fila de Sierra Maestra y el Jardín Botánico y fluyendo por las capas permeables que rellenan la cuenca, sin embargo, esta hipótesis necesitaría de análisis posteriores. No obstante, es conveniente resaltar que esta hipótesis de recarga alternativa coincide con la dirección de flujo del agua subterránea dentro del acuífero de La Ciudad Universitaria que se dirige desde el suroeste hacia el noreste,

descargando, aparentemente, dirección al río Guaire, el cual se encuentra a su vez en la parte más baja del acuífero del Valle de Caracas.

A continuación, se presenta un mapa en el cual se representa de manera simplificada el comportamiento del acuífero aluvial del Campus Universitario de la UCV descrito previamente (Figura 38 y 39).

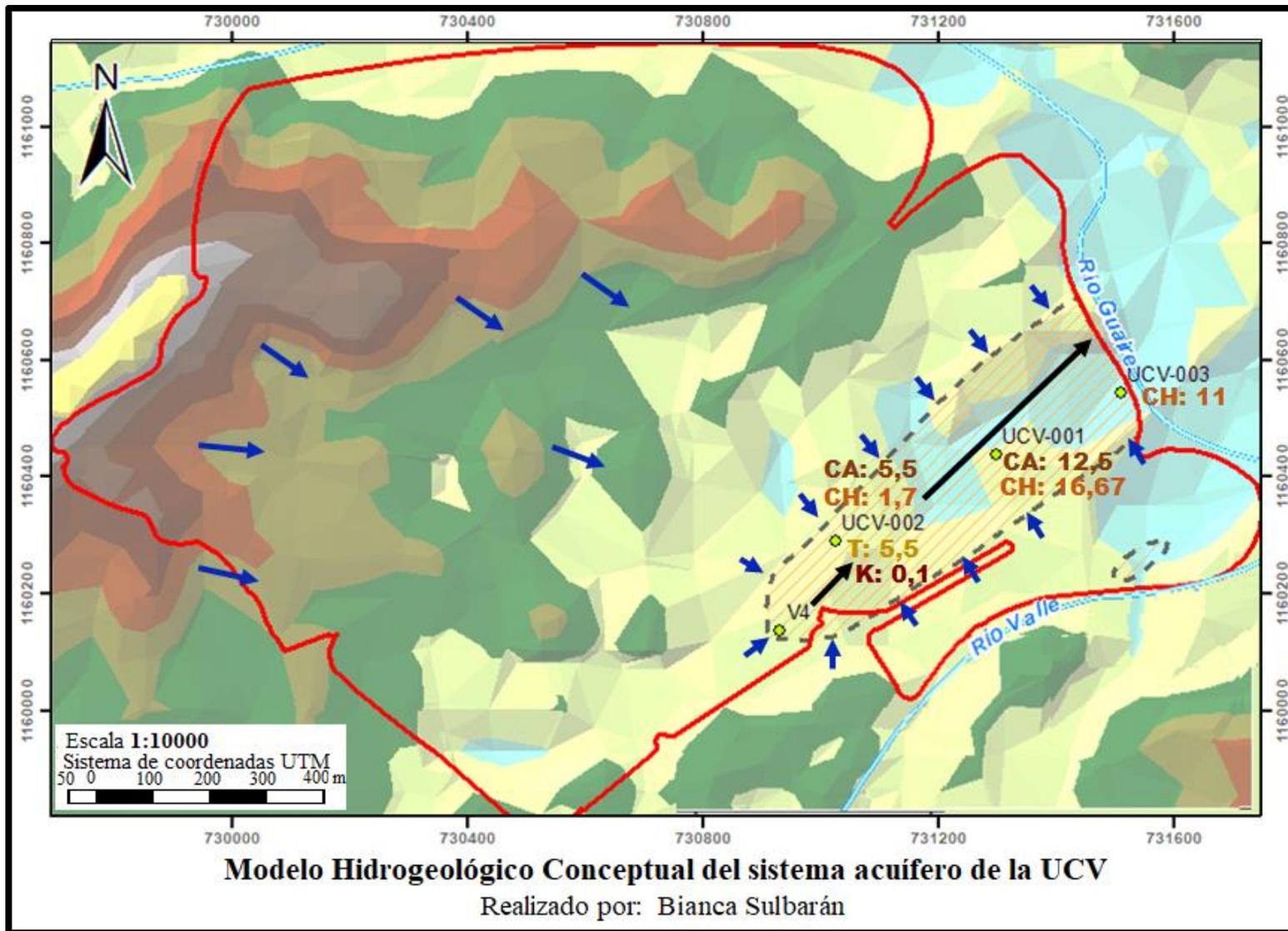


Fig. 38 Mapa del Modelo Hidrogeológico conceptual del acuífero de la UCV

Modelo Hidrogeológico Conceptual del sistema acuífero de la UCV

Realizado por: Bianca Sulbarán

Leyenda

 Límite UCV

 Área de gravas interpretada

 Ríos

 Pozos y piezómetros

 Dirección de flujo del agua subterránea

 Vías de alimentación del acuífero

CA Caudal actual (l/s)

CH Caudal Histórico (l/s)

T Transmisividad Hidráulica calculada (m²/d)

K Conductividad Hidráulica calculada (m/d)

Elevación (m)

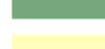
	977,4 - 993
	961,8 - 977,4
	946,3 - 961,8
	930,7 - 946,3
	915,2 - 930,7
	899,6 - 915,2
	884,1 - 899,6
	868,5 - 884,1
	853 - 868,5

Fig. 39 Leyenda del Mapa del Modelo Hidrogeológico Conceptual del acuífero de la UCV

Como producto final se presenta un corte, el cual supone ser otra representación gráfica, pero con distinta perspectiva del comportamiento del acuífero aluvial del Campus Universitario de la UCV descrito previamente (Figura 40 y 41).

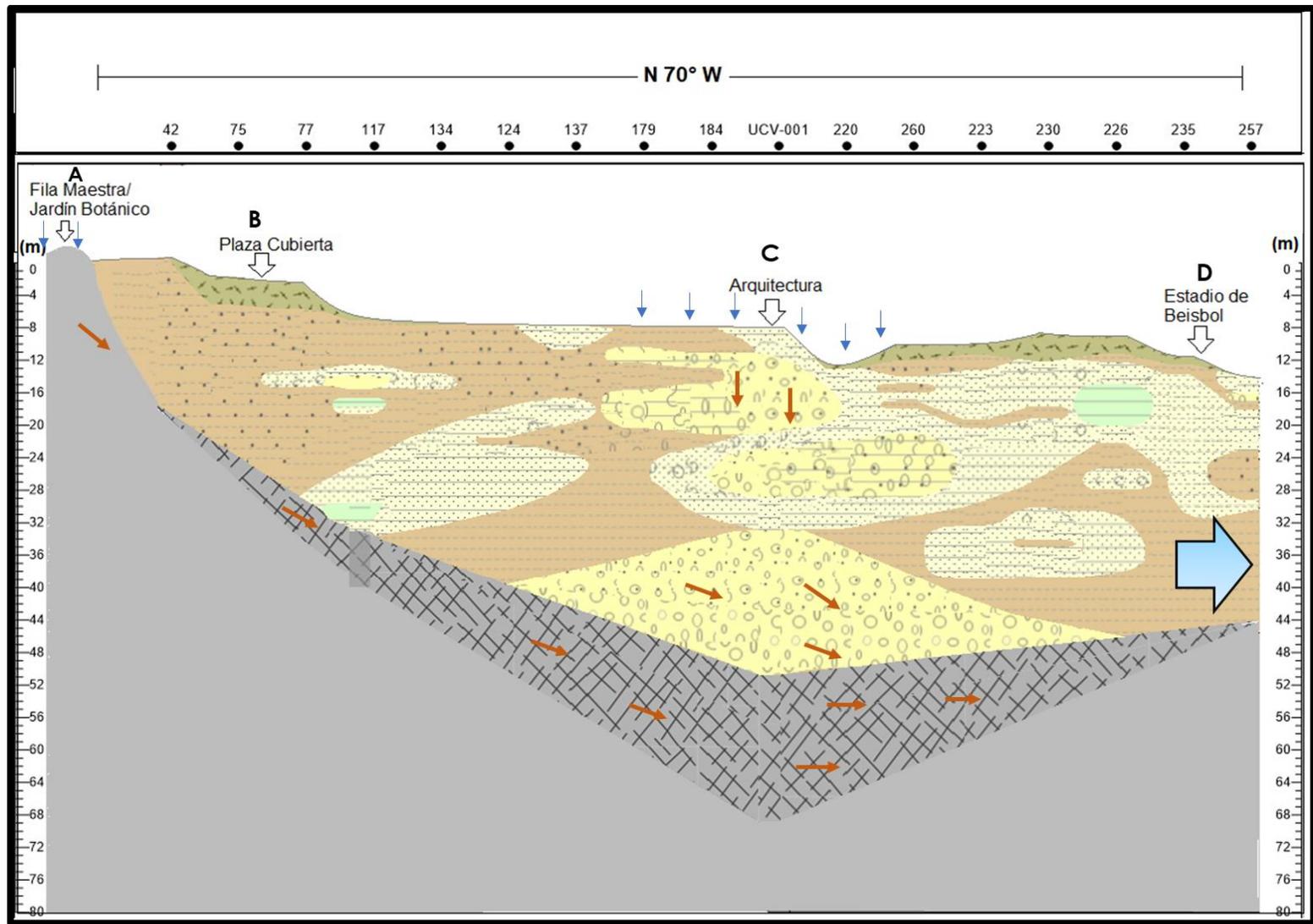


Fig. 40 Corte del Modelo Hidrogeológico conceptual del acuífero de la UCV

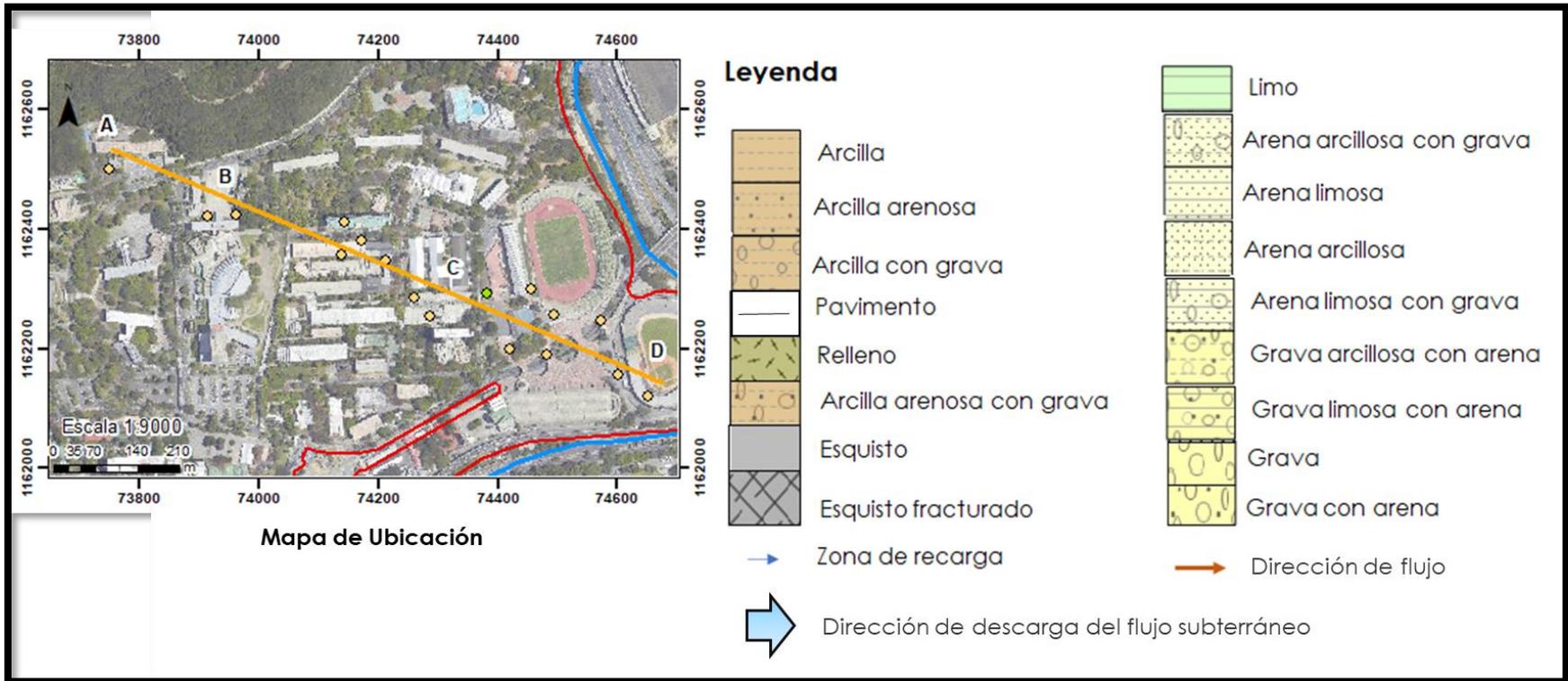


Fig. 41 Leyenda y mapa de ubicación del corte del Modelo Hidrogeológico Conceptual del acuífero de la UCV

CONCLUSIONES

- De acuerdo a los datos calculados en el pozo UCV-002, la calidad del acuífero, en términos de las propiedades hidráulicas pareciera no ser la más óptima debido a su bajo caudal, poca transmisividad y conductividad. Sin embargo, se atribuyen estos valores a las condiciones del pozo en el que se calcularon los datos (UCV-002), pudiendo esperarse según las características geológicas y los datos históricos una mejor calidad de acuífero que la reflejada en los datos calculados. Sin embargo, el pozo con el mejor rendimiento, y con un caudal suficiente para surtir agua a los diferentes entes de la CUC es el pozo UCV-001’.
- El pozo UCV-002 podría estar presentando cierto grado de desconexión con el acuífero, además de estar en el límite del mismo, a lo que se le atribuyen los valores tan bajos de transmisividad y conductividad hidráulica calculada.
- El sistema acuífero (cuyas capas acuíferas presentan una orientación SO-NE) pareciera estar presentando dos comportamientos distintos. Hacia el centro, según la configuración de la litología, el acuífero multicapas podría estar en contacto con la superficie, comportándose hacia esta zona como un acuífero libre, mientras que, hacia los bordes, debido al amplio espesor de sedimentos de grano fino hacia el tope de la secuencia estratigráfica, pareciera estar comportándose como semiconfinado.
- Existe una conexión hídrica entre varios puntos del acuífero (V4, UCV-001, UCV-003), es decir, que las capas de grava de estas zonas están conectadas entre sí. Sin embargo, hay otras zonas (P1 y UCV-002) que no presentan esta conexión tan evidente, pudiendo atribuírsele a la disposición heterogénea de los estratos, producto de distintos procesos y periodos de depositación.
- Podría considerarse que la recarga del acuífero es a través de la infiltración de agua de lluvia con un desfase de aproximadamente dos meses y podría considerarse igualmente posiblemente otro método de recarga la infiltración de agua a través de la roca fracturada de la Fila de Sierra Maestra y el Jardín Botánico al noroeste del Campus Universitario.
- El rendimiento actual de los pozos supone ser menor que el histórico en los dos puntos de bombeo (UCV-001’ y UCV-002). La diferencia entre los caudales históricos y los actuales podría atribuírsele a las condiciones de los pozos, más que a las características del acuífero en sí, lo que se explica en cada uno de los dos pozos por separado. En el caso de UCV-001’ podría deberse a que la bomba actual pareciera ser de menor potencia que la

utilizada históricamente. Por su parte, la disminución en el caudal de UCV-002 podría atribuírsele a un deterioro en los elementos del pozo como a sedimentación de fondo.

RECOMENDACIONES

- Realizar un seguimiento piezométrico por un período de tiempo más prolongado que abarque tanto períodos de sequía como períodos de lluvia y estudiar con detenimiento el comportamiento de los niveles piezométricos en UCV-002 para establecer si tiene o no una conexión con el resto de los pozos.
- Realizar estudios geofísicos (como Sondeos Eléctricos Verticales, Magnetismo, Potencial Espontáneo, entre otros) para comprobar disposición de las capas en el acuífero del campus, y configuración real del basamento.
- Estudiar la morfología de los sedimentos de la zona a través de la comparación de los granos con cartas visuales y análisis estadísticos para comprobar la suposición del origen de los sedimentos.
- Realizar una evaluación de los pozos desincorporados dentro del campus y de la calidad de sus aguas para evaluar si es factible recuperar e integrar los mismos a la red hídrica del Campus Universitario y realizar mantenimiento de los pozos activos de manera anual.
- Realizar pruebas de bombeo en el pozo UCV-001, para observar su comportamiento y sus características hidrogeológicas.
- Realizar estudios geofísicos con métodos eléctricos en varios momentos durante la época de lluvia y los meses posteriores al mismo, a fin de conocer o estimar la capacidad de recarga del acuífero.
- Estudiar, a través de un seguimiento en el tiempo, las características físico-químicas y químicas del agua subterránea con el propósito de observar el comportamiento asociado a las épocas de lluvia y sequía.
- Estudiar y agregar al modelo conceptual realizado el posible efecto de la evaporación y la evotranspiración
- Estudiar la influencia del Metro de Caracas en el comportamiento de las aguas subterráneas en el campus

BIBLIOGRAFÍA

ACERO M. & DOMÍNGUEZ, J. 2005. *Estudio geológico – geotécnico y evaluación de las condiciones del terreno que constituye el campus de la Ciudad Universitaria de Caracas (CUC)*. UCV-G. Trabajo Especial de Grado, inédito, 2, 13, 50-57, 90 p.

ALLOCCA, VINCENZO & DE VITA, PANTALEONE & MANNA, FERDINANDO & NIMMO, JOHN. 2015. *Groundwater recharge assessment at local and episodic scale in a soil mantled perched karst aquifer in southern Italy*. Journal of Hydrology. Italy.

ÁLVAREZ, F & ROMERO, P. 2010. Caracterización Hidrogeológica de la localidad de Sayá. Ecuador. Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Escuela Superior Politécnica del Litoral.

BATEMAN, A. 2007. *Hidrología básica y aplicada*. España: Grupo de investigación en transporte de sedimentos. 2 p.

BRASSINGTON, R. 2017. *Field Hydrogeology*. UK: Wiley Blackwell. 11, 12, 32 p.

CASTAÑEDA, M. 2019. Ejecución de pruebas de bombeo. Perú: Wood PLC. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/333058783_Ejecucion_de_Pruebas_de_Bombeo

CASTILLO & RAMOS. 2011. *Estudio geológico de la microzona sísmica del Campus Universitario de la UCV y el rincón de el Valle, el Cementerio, en la Ciudad de Caracas*. UCV-G. Trabajo Especial de Grado, inédito, 58-69, 73, p

CODUTO, D. 1999. *Geotechnical Engineering: Principles and Practices* Pearson Editorial. California State Polytechnic University, Pomona

CUSTODIO, E. & LLAMAS M.R. 1976. *Hidrología subterránea*. Ediciones Omega. Barcelona. 2 Vol: 1-2350 (2ª. edic. 1985).

DENGO G. 1951. *Geología de la región de Caracas*. Bol. Geol., Caracas, 1(1): 39 - 115. Versión en inglés: Geology of the Caracas region, Venezuela. Geol. Soc. Amer. Bull., 64(1): 7-40, 1953.

FETTER, C. W., 1994. *Applied Hydrogeology*, 3rd Edition. Macmillan College Publishing Company, New York, 691 pp.

GALAVÍS, L., 1983. *Estudio de suelo, Tramo Plaza Venezuela – Los Símbolos, Línea III del Metro de Caracas*. Informe técnico de Oficina de Suelos C.A., Caracas, 111 pp.

GASTMANS, D., VEROSLAVSKY, G., KIANG CHANG, H., CAETANO-CHANG, M. R. Y NOGUEIRA PRESSINOTTI, M. M., 2012. Modelo hidrogeológico conceptual del Sistema Acuífero Guaraní (SAG): una herramienta para la gestión. *Boletín Geológico y Minero*, 123 (3): 249-265

GONZALEZ, J. 2014. Estimación De Vp, Vs y espesores sedimentarios empleando refracción sísmica en La Ciudad Universitaria de Caracas. *Geos (UCV, Carcas)*. 46(1):35-43

GRANJA, J. 2005. Geodinámica del borde noreste de la Placa Caribe. España: Universidad Complutense de Madrid. Disponible en: https://eprints.ucm.es/5870/1/GEODIN%C3%81MICA_DEL_BORDE_NE_DE_LA_PLACA_CARIBE.pdf

GUMA, B., OWOR, M. & MUWANGA, A. 2018. Hydrogeological characteristics of the Albertine Graben, Uganda: Evidence from surface geophysics and hydraulic testing. *Journal of African Earth Sciences*, disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2018.11.008>.

HEATH, R.1987. *Basic Groundwater Hydrology*. U.S. Geological Survey Water-supply Paper 2220, 1987, 84 pp. Disponible en: <http://pubs.er.usgs.gov/pubs/wsp/wsp2220>

KANTAK, P., 2001. *Sediment thickness, an east – west cross section, shallow seismic velocities, and microtremor measurements in the Caracas Valley*. Caracas, Venezuela. 268 pp.

KARAMOUZ, M., AHMADI, A. & AKHBARI, M. 2011. *Groundwater Hydrology*. U.S: CRC Press. 31, 32 p.

LEVI, M. 1964. *Venezuela y sus recursos*. Ediciones Cultural Venezolana S.A, Caracas, Venezuela, 699p.

- MAIDMEN, D. 1993. *Handbook of Hydrology*. US: McGraw-Hill
- MENÉNDEZ, A. 1966. Tectónica de la parte central de las montañas occidentales del Caribe, Venezuela. *Boletín Geología*, Caracas 8(15): 116-139.
- MINISTERIO DE MINAS E HIDROCARBUROS. 1972. *Mapa Hidrogeológico de Venezuela. Escala 1:500000*. Dirección de geología, división de hidrogeología, 1972
- OBREGON, V. 2004. *Diseño de un plan de mediciones para el seguimiento del flujo de las aguas subterráneas en La Ciudad Universitaria de Caracas*. Caracas: Trabajo Especial de Grado, UCV.
- OROPEZA & ZAMBRANO. 2007. *Elaboración de una base de datos de geología urbana para fines de microzonificación sísmica para la ciudad de Caracas*. Caracas: Trabajo Especial de Grado, UCV.
- PEREA, D. 2017. *Metodología para la definición de un modelo conceptual hidrogeológico*. México: Trabajo Especial de Grado, ESIA.
- PÉREZ, J. 2004. *Suministro de agua para la Ciudad Universitaria*. Caracas: UCV.
- RUSHTON, K. 2003. *Groundwater Hydrology*. UK: Wiley. 11 p.
- SALCEDO, K. 2018. *Caracterización hidrogeológica del acuífero aluvial ubicado entre las quebradas Chacaíto y Sebucán, región noreste del Valle de Caracas*. UCV-G. Trabajo Especial de Grado, inédito, 3, 12, 36 p.
- SALOMÓN, M. 2010. Estudio hidrológico del sector circundante a las fosas de acceso y estaciones de la línea dos del Metro Los Teques, tramo San Antonio- El Tambor, Municipio Guaicaipuro, Carrizal y Los Salias, Estado Miranda. UCV-G. Trabajo Especial de Grado, inédito.
- SANCHÉZ, F. 2017. Hidráulica subterránea: Principios básicos. España: Universidad de Salamanca. Disponible en: http://hidrologia.usal.es/temas/Hidraulica_Subt.pdf
- SINGER, A., ZAMBRANO, A., OROPEZA, J. TAGLIAFERRO, M. 2007. *Cartografía de las unidades geológicas cuaternarias del Valle de Caracas a escala 1:25000*. Memorias IX Congreso Geológico Venezolano, Geos 39.

SINGHAL, V. & GOYAL, L. 2011. *Development of conceptual groundwater flow model for Pali Area, India*. African Journal of Environmental Science and Technology Vol. 5(12), pp. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/230897700>

SPITZ K & MORENO J. 1996. A Practical Guide to Groundwater and Solute Transport Modeling. John Wiley and Sons Inc. Book

STEPHAN J. F. 1982. *Evolution géodynamique du domaine Caräibe : Andes et chaine Caräibe Sur la transversale de Barquisimeto (Vénézuéla)*. Universite de Pierre et Marie Curie (Paris VI). Doctoral dissertation. 512 p.

TALUKDAR S. & D. LOUREIRO. 1982. *Geología de una zona ubicada en el segmento norcentral de la Cordillera de la Costa, Venezuela: metamorfismo y deformación. Evolución del margen septentrional de Suramérica en el marco de la tectónica de placas*. Geos, Caracas, (27): 15-76.

TANG, Y., YAN, J., YANG, P. ZHOU, J. & ZHOU, N. 2016. Groundwater engineering. China: Spring. 19, 30 p.

TODD, D. & MAYS, L., 2004. *Groundwater Hydrology*. U.S: Wiley. 17,18 p.

TUINHOF, A., FOSTER, S., KEMPER, K., GARDUÑO, H. & NANNI, M. *et al.* 2006. *Requerimientos de Monitoreo del Agua Subterránea*. Banco Mundial, U.S: GW•MATE. Disponible en: http://siteresources.worldbank.org/INTWRD/Resources/GWMATE_Spanish_BN_09.pdf

UGHI, A. 2011. *Estudio hidrogeofísico para caracterizar el acuífero del Jardín Botánico de Caracas*. Laboratorio de Interpretación del Subsuelo, Departamento de Geofísica, Universidad Central de Venezuela. *Congreso venezolano de geo ciencia*, Caracas

UGHI, A. (2014). Estudio hidrogeofísico para caracterizar los acuíferos de la cuenca baja del río Güey al noreste del Lago de Valencia, Venezuela. *Revista Venezolana de Ciencias de la Tierra*, 46(1):50-59. Disponible en: http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_geos/article/view/11807

URBANI F. 2000. Revisión de las unidades de rocas ígneas y metamórficas de la Cordillera de la Costa. *Geos* (UCV, Caracas) 33: 1 – 170

URBANI F. 2012. *La cordillera de la costa de Venezuela: Evolución de su conocimiento geológico Desde el siglo XVI al XXI*. Caracas: UCV.

URBANI, F., AUDEMARD, F. & CAMPOSANTO, L. 2005. Cordillera de la Costa, Venezuela: Geological field trip. Caracas: FUNVISIS.

URBANI F. & J. A. RODRÍGUEZ. 2004. *Atlas Geológico de la Cordillera de la Costa, Venezuela*. Edic. Fundación GEOS, UCV y FUNVISIS, 148 geological sheets at scale 1:25,000.

VÉLEZ, F. 1996. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICAS. Colombia: Universidad de Antioquia. Disponible en: http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/5938/1/VelezFabio_1996_IntroduccionSistemasInformacion.pdf

VILLANUEVA, M. & IGLESIAS, A. 1984. Pozos y Acuíferos, Técnicas de evaluación mediante ensayos de Bombero. España: Instituto Geológico y Minero de España. 113-150 p.

WEHRMANN, M. 1972. *Geología de la región de Caracas - Colonia Tovar*. *Bol. Geol.*, Caracas, *Public. esp.* 5, 4: 2093-2121.

ANEXOS

ANEXO 1.A. Recopilación Bibliográfica acerca de información de interés para la caracterización hidrogeológica del Campus Universitario

Fuente	Autor	Fecha	Resumen	Aportes	Tipo de dato
Biblioteca de Geología, Minas y Geofísica, UCV	ACERO M. & DOMÍNGUEZ, J.	2005	Se generan distintos tipos de mapas temáticos con el fin de caracterizar de manera geológica y geotécnica el campus universitario. Para esto realizaron una recopilación bibliográfica de distintas fuentes incluidos los archivos históricos de la universidad, además de un trabajo de campo. Como conclusiones geológicas los autores afirman que la sedimentación en la zona estuvo dada por la actividad fluvial del Río Valle; la roca que aflora es un esquisto calcáreo-cuarzo-muscovítico; la hidrografía de la zona está representada por el Río Valle, el Río Guaire y dos quebradas pequeñas, habiendo sido modificado el Río Valle mediante una rectificación de cauce; La CUC no sufrió grandes movimientos de tierra	Registro de perforaciones históricas dentro del campus universitario	Geológico
				Ubicación en coordenadas Loma Quintana de las Perforaciones	
				Perfiles geotécnicos con información geológica de las perforaciones usadas	
				Nivel freático de las perforaciones con información	
				Profundidad base de roca de las perforaciones	
				Mapa Isópaco de roca	
				Mapa de distribución litológica	Hidrogeológico
Modificación histórica de drenajes dentro de CUC					
Biblioteca de Geología, Minas y Geofísica, UCV	GONZALEZ, J.	2014	A partir de métodos geofísicos someros y la recopilación de los datos de estudios geotécnicos y geológicos realizados en La Ciudad Universitaria en la década de los 40's, además de datos geofísicos pertenecientes al Departamento de Geofísica de la Facultad de Ingeniería de la UCV, logró correlacionar toda la información para obtener parámetros geotécnicos del área. Obtuvo que los espesores de sedimentos del suelo son más delgados hacia el norte y más espesos hacia el sur, variando de 0 m a 65 m y además se evidenció la presencia de un paleocanal hacia el centro del campus en donde drenaban los pequeños afluentes provenientes del sector de Sierra Maestra.	Integración de resultados de métodos geofísicos con al geología descrita en las perforaciones	Geológico / Geofísico

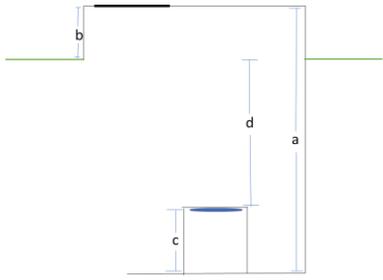
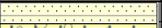
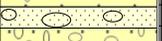
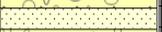
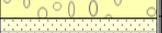
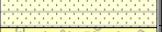
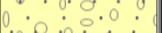
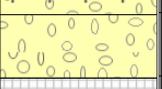
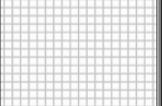
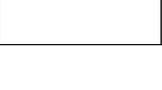
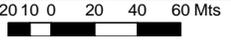
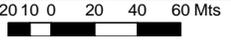
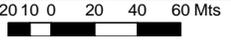
Suministrado por el Ing. Maikel Ordaz de la Dirección de Mantenimiento UCV	PEREZ, J.	2004	Se realizó un inventario detallado del suministro de agua del campus universitario y se proponen mejoras para un mejor funcionamiento. Se documentan y describen los sistemas y métodos de almacenamiento y distribución de la zona así como las perforaciones e instalación de 3 pozos de agua subterránea construidos en 1996	Fichas técnicas de los pozos construidos en 1996	Hidrogeológico / Hidromecánico
				Registro histórico del caudal de cada pozo al momento de su activación en 1996	
				Registro histórico de los niveles estáticos y dinámicos al momento de la activación de los pozos en 1996	
				Diseño de Tuberías de revestimiento de los pozos de 1996	
				Características técnicas de los pozos perforados en 1996	
Biblioteca de Ingeniería Civil	OBREGÓN, V.	2004	Se realizó un inventario de la red de pozos y piezómetros del campus universitario a través de la recopilación bibliográfica, entrevistas con encargados en el área dentro de la UCV e investigación documental de campo. Gracias a esto el autor logró establecer las condiciones de la red de pozos y proponer un sistema discretizado estableciendo variables para una futura medición de niveles piezométricos y aplicación de un modelo hidrogeológico	Ubicación en coordenadas Loma Quintana de todos los pozos y piezómetros existentes dentro del campus	Hidrogeológico
				Estado y funcionamiento de todos los pozos y piezómetros existentes dentro del campus	
				Geología de los pozos perforados para el año 1996	
Google Earth Pro	Sentinel-2	2019	Mosaico digital de imágenes satelitales del campus universitario y sus alrededores	Topografía del campus y área circundante	Geográfico
				Ubicación de posibles zonas de recarga y descarga	Hidrogeológico
Departamento de Geodesia UCV		2019	Imagen de alta definición de la zona	Ortoimagen del área de estudio	Geográfico / Referencial
				Conversión de ubicación de pozos y perforaciones de coordenadas La Canoa a coordenadas UTM	
Departamento de Hidrometeorología UCV	Estación UCV	1973 - 2003	Registros históricos e interpretación de datos a través de gráficos de las lecturas dadas por la estación UCV	Datos Climatológicos del campus	Meteorológico
		1950 - 2019		Datos de precipitación del campus	
Portal Digital de ESRI Venezuela	ESRI	2019	Capas shapefile de las edificaciones, dependencias, vías, entradas y estaciones de metro de la UCV	Capas UCV	Geográfico / Referencial

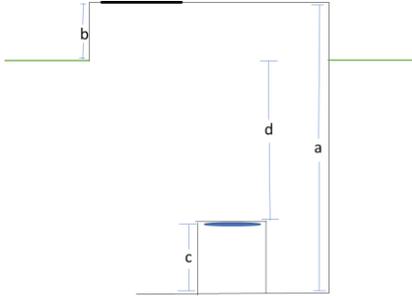
ANEXO 1.B. Tabla de Descripción y ubicación de pozos y piezómetros en la UCV

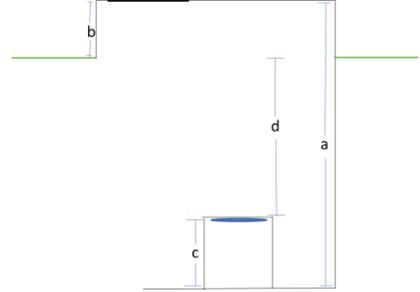
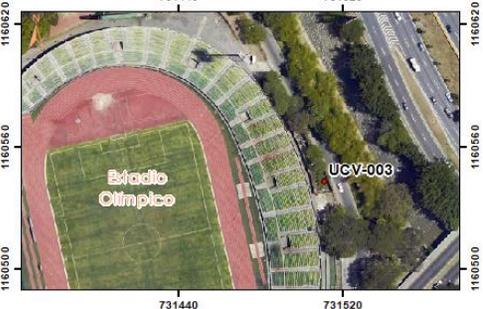
ID POZO	NOMBRE	TIPO DE PERFORACIÓN	UBICACIÓN	Coordenadas UTM			ESTADO	OBSERVACIONES
				ESTE	NORTE	Cota (m)		
P1	Piezómetro 1	Piezómetro	Esquina puerta peatonal a Plaza Estadios entre la cerca del Estadio Olimpico y la Av. C.R. Villanueva frente a la Facultad de Arquitectura	731321,067	1160337,957	862	Inactivo	Aljibe construido por el Metro de Caracas
P2	Piezómetro 2	Piezómetro	Grama entre la cerca del Estadio Olimpico y la Av. C.R. Villanueva frente a la Facultad de Arquitectura, al lado del V1	731317,089	1160374,185	862	Inactivo	Obstruido a los 1,66 m
P3	Piezómetro 3	Piezómetro	Dentro del área del Estadio Olimpico frente al Río Guaire	731453,55	1160626,303	862	Inactivo	No se pudo ubicar, se cree lo cerraron porque colapsó ya que nunca lo revisieron
P4	Piezómetro 4	Piezómetro	Detrás de los galpones de derecho en la grama detrás de la puerta de entrada de Las tres Gracias	730937,39	1160212,27	865	Inactivo	Se logró realizar una sola medición y luego colapsó
P5	Piezómetro 5	Piezómetro	En la grama ubicada entre el Pasillo lateral a FACES y su cancha	731151,794	1160562,238	864	Inactivo	Obstruido a los 8,32 m
V1	Villanueva 1	Pozo	Dentro de la cerca del Estadio Olimpico frente a la Av. C.R. Villanueva frente a la Facultad de Arquitectura, al lado de P2	731.318,42	1.160.374,43	862	Inactivo	Obstruido por un tronco y mucha basura

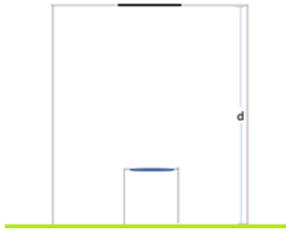
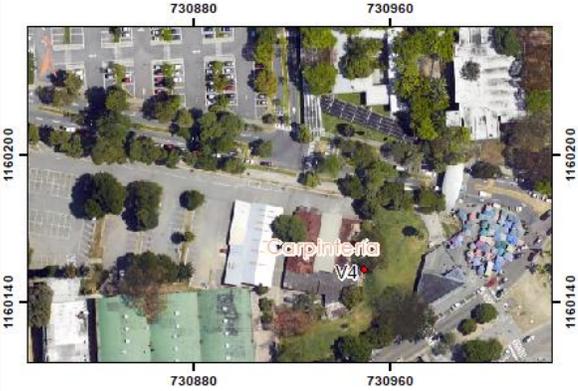
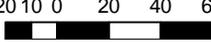
V2	Villanueva 2	Pozo	Debajo de la loza de PB del estacionamiento de los estadios	731518,563	1160236,656	854,808	Inactivo	Sellado debajo de la Loza del Estacionamiento de los Estadios
V3	Villanueva 3	Pozo	Detrás del estadio de beisbol				Inactivo	No se pudo acceder puesto que está en una zona desprotegida y actualmente es peligroso acceder
V4	Villanueva 4	Pozo	Dentro de la Carpintería frente a la reja perimetral de la UCV con la estación del metro	730931,2	1160136,42	864	Inactivo	Únicamente para tomar nivel estático, no tiene bomba ni condiciones para funcionar
UCV-001	Perez Machado 1	Pozo	Av. C.R. Villanueva, en la grama del estacionamiento cerca de la Facultad de Arquitectura	731299,039	1160438,253	860,625	Inactivo	Solo para nivel estático, una rejilla colapsó pero como tenía todas las condiciones para funcionar se perforó un nuevo pozo justo al lado
UCV-002	Perez Machado 2	Pozo	Grama ubicada por el Balancín de Petróleo cerca del edf. De las escuelas de Química, Geología y Petróleo	731025,891	1160290,291	861,071	Activo	Solo se pudo tomar el nivel dinámico porque la bomba está en funcionamiento y se le acaba de hacer mantenimiento para reincorporarlo a la red de la UCV nuevamente
UCV-003	Perez Machado 3	Pozo	Detrás del Estadio Olímpico, cerca de la reja Perimetral que da hacia el Guaire a la Altura del Vomitorio	731511	1160543	859,086	Activo	Únicamente para tomar nivel estático, no tiene bomba ni condiciones para funcionar
UCV-001'	Perez Machado 1'	Pozo	Av. C.R. Villanueva, en la grama del estacionamiento cerca de la Facultad de Arquitectura	731297,2724	1160441,494	860,625	Activo	Nuevo pozo construido en agosto de 2019, se encuentra en condiciones óptimas, hasta los momentos no se ha incorporado a la red de distribución de la UCV

ANEXO 1.C. Fichas descriptivas de puntos de observación

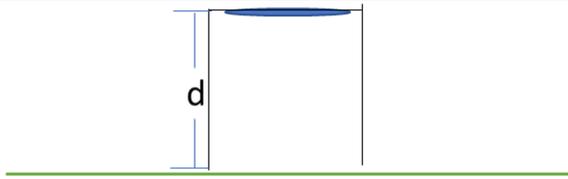
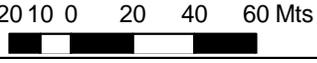
		Universidad Central de Venezuela Facultad de Ingeniería Escuela de Geología, Minas y Geofísica Departamento de Geología Trabajo Especial de Grado																					
FICHA DESCRIPTIVA DE LA PERFORACIÓN UCV-001																							
Configuración del Pozo				Configuración del encofrado																			
Diseño tubería de revestimiento	Profundidad (m)	Litología gráfica	Descripción																				
	0 m		Arena limosa	<table border="1"> <tr> <th>Distancia "a" desde base de la tanquilla hasta el tope (m)</th> <th>Distancia "b" desde el tope de la tanquilla hasta el suelo (m)</th> <th>Distancia "c" desde base de la tanquilla hasta la boca del pozo (m)</th> <th>Distancia "d" desde boca del pozo al suelo (m)</th> </tr> <tr> <td>2,12</td> <td>0,48</td> <td>0,25</td> <td>1,39</td> </tr> </table>	Distancia "a" desde base de la tanquilla hasta el tope (m)	Distancia "b" desde el tope de la tanquilla hasta el suelo (m)	Distancia "c" desde base de la tanquilla hasta la boca del pozo (m)	Distancia "d" desde boca del pozo al suelo (m)	2,12	0,48	0,25	1,39											
	Distancia "a" desde base de la tanquilla hasta el tope (m)	Distancia "b" desde el tope de la tanquilla hasta el suelo (m)	Distancia "c" desde base de la tanquilla hasta la boca del pozo (m)		Distancia "d" desde boca del pozo al suelo (m)																		
	2,12	0,48	0,25		1,39																		
	5 m		Grava con arena																				
	10 m		Grava con arena																				
	13 m		Arena con Grava																				
	17 m		Grava con arena																				
	19 m		Arena con Grava																				
	20 m		Grava																				
	21 m		Arena limosa																				
25 m		Grava con arena																					
26,05 m																							
29,05 m																							
30 m		Grava con arena																					
35 m		Grava de fragmentos de esquistos con arena																					
39,30 m																							
40 m		Esquisto triturado																					
42,6 m																							
43 m		Esquisto triturado																					
48,95 m																							
49 m		Esquisto fracturado																					
51,95 m																							
54,95 m																							
55 m		Esquisto fracturado																					
58,3 m																							
60 m		Esquisto fracturado																					
61 m																							
64,65 m																							
65 m		Esquisto																					
71 m																							
				Ubicación 																			
				<table border="1"> <tr> <th colspan="2">Coordenada UTM</th> </tr> <tr> <td>Este</td> <td>Norte</td> </tr> <tr> <td>731299,039</td> <td>1160438,253</td> </tr> <tr> <th colspan="2">Cota (m) topografía</th> </tr> <tr> <td colspan="2">860,625</td> </tr> <tr> <th colspan="2">Escala: 1:2000</th> </tr> <tr> <td colspan="2">  </td> </tr> <tr> <th colspan="2">Ubicación relativa</th> </tr> <tr> <td colspan="2">Av. C.R. Villanueva, en la grama del estacionamiento cerca de la Facultad de Arquitectura</td> </tr> </table>		Coordenada UTM		Este	Norte	731299,039	1160438,253	Cota (m) topografía		860,625		Escala: 1:2000				Ubicación relativa		Av. C.R. Villanueva, en la grama del estacionamiento cerca de la Facultad de Arquitectura	
Coordenada UTM																							
Este	Norte																						
731299,039	1160438,253																						
Cota (m) topografía																							
860,625																							
Escala: 1:2000																							
																							
Ubicación relativa																							
Av. C.R. Villanueva, en la grama del estacionamiento cerca de la Facultad de Arquitectura																							
				<table border="1"> <tr> <th>Estado</th> <th>OBSERVACIONES</th> </tr> <tr> <td>INACTIVO</td> <td>Se usa su estructura y equipos para gestionar el pozo UCV-001'</td> </tr> </table>		Estado	OBSERVACIONES	INACTIVO	Se usa su estructura y equipos para gestionar el pozo UCV-001'														
Estado	OBSERVACIONES																						
INACTIVO	Se usa su estructura y equipos para gestionar el pozo UCV-001'																						
				Leyenda de diseño de Tubería 																			

		Universidad Central de Venezuela Facultad de Ingeniería Escuela de Geología, Minas y Geofísica Departamento de Geología Trabajo Especial de Grado									
FICHA DESCRIPTIVA DE LA PERFORACIÓN UCV-002											
Configuración del Pozo				Configuración del encofrado							
Diseño tubería de revestimiento	Profundidad (m)	Litología gráfica	Descripción								
	0 m			Distancia "a" desde base de la tanquilla hasta el tope (m)	Distancia "b" desde el tope de la tanquilla hasta el suelo (m)	Distancia "c" desde base de la tanquilla hasta la boca del pozo (m)	Distancia "d" desde boca del pozo al suelo (m)				
	5 m		Arena limosa					2,12	0,16	0,1	1,86
	10 m		Grava con arena								
	15 m		Grava con arena								
	20 m	21		Arena limosa	2,12	0,16	0,1	1,86			
	23 m		Grava								
	25 m			Grava con arena	2,12	0,16	0,1	1,86			
	30 m	31		Arena limosa							
	35 m	34		Arena	2,12	0,16	0,1	1,86			
	37 m			Grava con arena							
40 m	41		Grava con arena	2,12	0,16	0,1	1,86				
44 m			Arena limosa con arcilla								
45 m			Arena limosa con arcilla	2,12	0,16	0,1	1,86				
50 m	52		Grava de fragmentos de esquistos								
53 m			Arena limosa	2,12	0,16	0,1	1,86				
55 m	59		Arena limosa								
59 m	61		Esquisto fracturado	2,12	0,16	0,1	1,86				
65 m			Esquisto								
68 m	69		Esquisto	2,12	0,16	0,1	1,86				
71 m											
				Ubicación							
											
				Coordenada UTM Este: 731025,891 Norte: 1160290,291 Cota (m) topografía: 861,071 Escala: 1:2000 20 10 0 20 40 60 Mts							
				Ubicación relativa Grama ubicada por el Balancín de Petróleo cerca del edf. De las escuelas de Química, Geología y Petróleo							
				Legenda de diseño de Tubería 	Estado: OBSERVACIONES ACTIVO: Reactivado en julio de 2019						

		Universidad Central de Venezuela Facultad de Ingeniería Escuela de Geología, Minas y Geofísica Departamento de Geología Trabajo Especial de Grado					
FICHA DESCRIPTIVA DE LA PERFORACIÓN UCV-003							
Configuración del Pozo				Configuración del encofrado			
Diseño tubería de revestimiento	Profundidad (m)	Litología gráfica	Descripción				
	0 m		Arena limosa	Distancia "a" desde base de la tanquilla hasta el tope (m) 2,12	Distancia "b" desde el tope de la tanquilla hasta el suelo (m) 0,1	Distancia "c" desde base de la tanquilla hasta la boca del pozo (m) 0,29	Distancia "d" desde boca del pozo al suelo (m) 1,73
	2		Grava				
	5 m		Arcilla				
	6		Arena limosa				
	8		Arena				
	10 m		Arena con grava				
	12		Grava con arena				
	15 m		Arena limosa				
	16		Grava				
	17		Arena limosa				
	19		Grava				
	20 m		Arena limosa				
	24		Grava				
	25 m		Arena limosa				
	27		Grava				
	28		Arena				
30 m		Grava con Arena					
32		Arena					
32		Grava					
34		Arena					
35 m		Grava con Arena					
40 m		Arena					
41		Grava					
42		Esquistos fracturados					
43							
44							
45 m							
46							
50 m							
55 m							
57							
60 m							
				Ubicación			
						Coordenada UTM	
				Este		Norte	
				731511		1160543	
				Cota (m) topografía			
				859,086			
				Escala: 1:2000			
							
				Ubicación relativa			
				Detrás del Estadio Olímpico, cerca de la reja Perimetral que da hacia el Guaire			
				Estado		OBSERVACIONES	
				INACTIVO		No está obstruido pero no presenta ningún equipo, además se desconoce la calidad del agua	
				Leyenda de diseño de Tubería 			

	Universidad Central de Venezuela	
	Facultad de Ingeniería	
	Escuela de Geología, Minas y Geofísica	
	Departamento de Geología	
	Trabajo Especial de Grado	
FICHA DESCRIPTIVA DE LA PERFORACIÓN V4		
Configuración del encofrado		
Configuración desde acceso por el techo de la casilla	Configuración desde la puerta principal	
		
Distancia "d" desde el tope del encofrado al suelo (m)	Distancia "d" desde boca del pozo al suelo (m)	
2,12	0,54	
Ubicación		
	Coordenada UTM	
	Este	Norte
	730931,2	1160136,42
	Cota (m) topografía	
	864	
	Escala: 1:2000	
		
Ubicación relativa		
Dentro de la Carpintería frente a la reja perimetral de la UCV con la estación del metro		
Estado	OBSERVACIONES	
INACTIVO	No está obstruido pero no presenta ningún equipo, además se desconoce la calidad del agua	

	<p style="text-align: center;"> Universidad Central de Venezuela Facultad de Ingeniería Escuela de Geología, Minas y Geofísica Departamento de Geología Trabajo Especial de Grado FICHA DESCRIPTIVA DE LA PERFORACIÓN P4 </p>	
Configuración del encofrado		
Está al nivel del suelo		
Ubicación		
	Coordenada UTM	
Este		Norte
730937,39		1160212,27
Cota (m) topografía		
865		
Escala: 1:2000		
<p style="text-align: center;">20 10 0 20 40 60 Mts</p> 		
Ubicación relativa		
<p style="text-align: center;"> Detrás de los galpones de derecho en la grama detrás de la puerta de entrada de Las tres Gracias </p>		
Estado	OBSERVACIONES	
INACTIVO	Piezómetro	

	Universidad Central de Venezuela	
	Facultad de Ingeniería	
	Escuela de Geología, Minas y Geofísica	
	Departamento de Geología	
	Trabajo Especial de Grado	
FICHA DESCRIPTIVA DE LA PERFORACIÓN P1		
Configuración del encofrado		
		
Distancia "d" desde boca del pozo al suelo (m)		
0,33		
Ubicación		
	Coordenada UTM	
	Este	Norte
	731321,067	1160337,957
	Cota (m) topografía	
	862	
	Escala: 1:2000	
		
Ubicación relativa		
Esquina puerta peatonal a Plaza Estadios entre la cerca del Estadio Olimpico y la Av. C.R. Villanueva frente a la Facultad de Arquitectura		
Estado	OBSERVACIONES	
INACTIVO	Aljibe	

	Universidad Central de Venezuela Facultad de Ingeniería Escuela de Geología, Minas y Geofísica Departamento de Geología Trabajo Especial de Grado FICHA DESCRIPTIVA DE LA PERFORACIÓN UCV-001'	
Configuración del encofrado		
		
Distancia "d" desde boca del pozo al suelo (m)		
0,25		
Ubicación		
	Coordenada UTM	
	Este	Norte
	731297,272	1160441,494
	Cota (m) topografía	
	860,625	
	Escala: 1:2000	
		
Ubicación relativa		
Av. C.R. Villanueva, en la grama del estacionamiento cerca de la Facultad de Arquitectura		
Estado	OBSERVACIONES	
ACTIVO	Usa las instalaciones de UCV-001 y se asume que presenta la misma litología por su cercanía	

ANEXO 2.A Tabla de Perforaciones en perfiles generados

Perfil	Perforaciones	Coordenadas UTM		Altura (m)	Profundidad inicial (m)	Profundidad final (m)
		Este	Norte			
A-1	174	731137,327	1160649,881	862,61	0	9
	208	731213,14	1160679,394	862,48	0	11
	203	731257,125	1160682,69	862,23	0	7
	216	731319,32	1160705,63	862,3	0	30
A-2	134	731055,338	1160497,308	862,17	0	16
	124	731090,187	1160520,545	862,32	0	16
	137	731129,399	1160489,804	862,14	0	16
	139	731193,285	1160508,235	861,64	0	16
	141	731244,264	1160512,578	861,35	0	16
A-3	155	731010,105	1160381,987	862,22	0	15
	152	731097,953	1160406,58	862,08	0	15
	159	731130,077	1160388,793	861,7	0	15
	179	731178,827	1160427,126	861,66	0	15
	184	731205,025	1160398,297	861,71	0	15
A-4	98	730874,875	1160264,063	864,49	0	16
	96	730898,697	1160291,227	863,62	0	16
	100	730924,854	1160268,399	863,36	0	16
	102	730948,682	1160294,562	862,13	0	16
	104	731000,741	1160286,91	861,81	0	16
	UCV-002	731025,89	1160290,29	861,92	0	71
	171	731084,656	1160301,475	861,6	0	15
	173	731134,634	1160305,811	861,47	0	15
A-5	260	731340,33	1160345,12	859,83	0	20
	230	731402,87	1160337,12	860,92	0	30
	235	731520,39	1160305,80	858,31	0	15
	257	731572,93	1160271,75	855,66	0	15
A-6	188	731189,87	1160272,18	861,70	0	7
	270	731236,92	1160265,49	860,50	0	26
	236	731325,57	1160275,39	860,04	0	30
	240	731467,03	1160254,73	856,39	0	28
	245	731520,91	1160228,69	859,13	0	29

A-7	32	730351,30	1160040,52	865,75	0	13
	36	730415,15	1160063,95	865,60	0	13
	39	730444,17	1160062,15	865,80	0	13
B-1	273	730947,90	1160113,53	860,92	0	27
	272	731024,74	1160139,05	861,89	0	25
	271	731126,26	1160212,74	861,64	0	27
	188	731189,87	1160272,18	861,70	0	7
	270	731236,92	1160265,49	860,50	0	26
	260	731340,33	1160345,12	859,83	0	20
	223	731412,01	1160404,69	859,75	0	29
	226	731490,08	1160396,51	860,88	0	30
	222	731505,02	1160450,32	859,82	0	29
B-2	268	730618,30	1159869,14	866,70	0	20
	276	730713,94	1159951,94	864,15	0	28
	275	730813,49	1160021,62	862,01	0	25
C-1	75	730831,90	1160557,82	868,11	0	15
	79	730857,05	1160535,98	868,43	0	15
	81	730832,19	1160513,81	868,51	0	15
	86	730830,63	1160448,79	868,27	0	16
	87	730846,97	1160398,90	865,42	0	16
	91	730845,36	1160340,88	865,08	0	16
	94	730868,52	1160317,03	863,76	0	16

ANEXO 2.B. Tabla descriptiva por perfiles

Perfil A-1			
Perforación	Profundidad (m)		Descripción Litológica
	Desde	Hasta	
174	0	1	Arena limosa con grava
174	1	5	Arena limosa
174	5	7	Arcilla arenosa
174	7	9	Arena limosa
208	0	1	Arena limosa
208	1	3	Arena limosa con grava
208	3	4	Limo con grava
208	4	6	Arena limosa
208	6	7	Arena limosa con grava
208	7	11	Arena limosa
203	0	4	Arena limosa
203	4	5	Arcilla arenosa
203	5	7	Arena limosa
216	0	7	Arena limosa
216	7	12	Arena limosa con grava
216	12	15	Arena limosa
216	15	16	Arena limosa con grava
216	16	21	Arena limosa
216	21	27	Arena limosa con grava
216	27	30	Esquisto

Perfil A-2			
Perforación	Profundidad (m)		Descripción Litológica
	Desde	Hasta	
134	0	6	Arcilla arenosa
134	6	8	Arena arcillosa con grava
134	8	15	Arcilla
134	15	16	Arena limosa
124	0	11	Arcilla arenosa
124	11	14	Arena limosa
124	14	15	Arcilla arenosa
124	15	16	Arena limosa
137	0	3	Arena limosa
137	3	9	Arcilla arenosa
137	9	10	Arena limosa
137	10	12	Arena limosa con grava
137	12	16	Arcilla arenosa
139	0	4	Arcilla arenosa
139	4	9	Arena limosa
139	9	10	Grava limosa con arena
139	10	13	Arena limosa
139	13	15	Grava arcillosa con arena
139	15	16	Arcilla arenosa
141	0	7	Arcilla arenosa
141	7	11	Arena limosa
141	11	13	Arcilla arenosa
141	13	16	Arena limosa

Perfil A-3			
Perforación	Profundidad (m)		Descripción Litológica
	Desde	Hasta	
155	0	3	Arena limosa con grava
155	3	8	Arcilla arenosa
155	8	15	Arcilla
152	0	3	Arena limosa
152	3	9	Arcilla arenosa
152	9	11	Arena limosa
152	11	13	Arcilla
152	13	15	Arcilla arenosa
159	0	3	Arena limosa
159	3	8	Arcilla
159	8	10	Arena limosa
159	10	11	Arcilla arenosa
159	11	12	Grava limosa con arena
159	12	15	Arcilla
179	0	2,2	Arcilla
179	2,2	4,2	Grava limosa
179	4,2	7,5	Arcilla
179	7,5	9,2	Grava limosa
179	9,2	11	Arcilla con grava
179	11	12,2	Grava limosa
179	12,2	15	Arcilla con grava
184	0	3	Arcilla
184	3	4,8	Grava limosa con arena
184	4,8	6,8	Arcilla
184	6,8	13,5	Grava limosa
184	13,5	15	Arcilla

Perfil A-4			
Perforación	Profundidad (m)		Descripción Litológica
	Desde	Hasta	
98	0	1	Relleno
98	1	2,9	Arena limosa
98	2,9	3,8	Arena limosa con grava
98	3,8	15	Arcilla
96	0	3,8	Arena limosa
96	3,8	12,8	Arcilla
96	12,8	15	Arcilla arenosa
100	0	1,7	Relleno
100	1,7	2,9	Arcilla arenosa
100	2,9	5	Arena limosa con grava
100	5	15	Arcilla
102	0	2,5	Arcilla arenosa
102	2,5	4,3	Arena limosa con grava
102	4,3	12	Arcilla arenosa
102	12	15	Arcilla
104	0	2	Relleno
104	2	3	Arena limosa
104	3	15	Arcilla arenosa
UCV-002	0	10	Arena limosa
UCV-002	10	21	Grava con arena
UCV-002	21	23	Arena limosa
UCV-002	23	25	Grava
UCV-002	25	31	Grava con arena
UCV-002	31	34	Arena limosa
UCV-002	34	37	Arena
UCV-002	37	45	Grava con arena
UCV-002	45	52	Arena limosa con arcilla
UCV-002	52	59	Grava de fragmentos de esquisto
UCV-002	59	61	Arena limosa
UCV-002	61	69	Esquisto fracturado
UCV-002	69	71	Esquisto
171	0	3,3	Arena limosa con grava
171	3,3	11,2	Arcilla arenosa
171	11,2	12,8	Grava limosa con arena
171	12,8	14	Arcilla
171	14	15	Arena limosa
173	0	2,4	Arena limosa
173	2,4	12,5	Arcilla arenosa
173	12,5	15	Arena limosa

Perfil A-5			
Perforación	Profundidad (m)		Descripción Litológica
	Desde	Hasta	
260	0	0,2	Pavimento
260	0,2	2	Relleno
260	2	4	Arcilla arenosa
260	4	5	Arena limosa
260	5	6	Arcilla arenosa
260	6	7	Arena limosa
260	7	8	Arcilla
260	8	11	Arena limosa
260	11	19	Grava limosa con arena
260	19	20	Arcilla
230	0	3,2	Relleno
230	3,2	4,2	Arena limosa
230	4,2	5,5	Arena limosa con grava
230	5,5	8,8	Arena limosa
230	8,8	10,3	Arcilla
230	10,3	13,3	Arena limosa con grava
230	13,3	21,3	Arcilla
230	21,3	23,2	Arena limosa con grava
230	23,2	25,2	Arena limosa
230	25,2	26,2	Arcilla arenosa
230	26,2	30	Arena limosa
235	0	1	Relleno
235	1	2,3	Arcilla
235	2,3	15	Arena arcillosa
257	0	2	Arena limosa
257	2	3	Grava limosa con arena
257	3	4	Arcilla
257	4	6	Arena limosa
257	6	8	Arena limosa con grava
257	8	9	Arena limosa
257	9	11	Arcilla
257	9	15	Arcilla arenosa

Perfil A-6			
Perforación	Profundidad (m)		Descripción Litológica
	Desde	Hasta	
188	0	1,5	Relleno
188	1,5	3,25	Arcilla arenosa
188	3,25	4	Arena limosa
188	4	7	Arcilla
270	0	8	Arcilla
270	8	10	Arena limosa
270	10	13	Arena limosa con grava
270	13	18	Arcilla arenosa
270	18	19	Arena arcillosa con grava
270	19	20	Grava con arena
270	20	26	Arcilla arenosa
236	0	2,2	Relleno
236	2,2	3,2	Arcilla
236	3,2	4,3	Arena limosa
236	4,3	5,2	Arcilla arenosa
236	5,2	10,2	Arena limosa
236	10,2	11,2	Arcilla
236	11,2	13,3	Arena limosa
236	13,3	22,2	Arcilla
236	22,2	23,2	Arena arcillosa
236	23,2	25,2	Arcilla con grava
236	25,2	29,8	Arena arcillosa con grava
240	0	6,2	Relleno
240	6,2	10,5	Arcilla arenosa con grava
240	10,5	13,3	Arena limosa
240	13,3	15,2	Arcilla
240	15,2	20,5	Arena con arcilla
240	20,5	28	Arena limosa con grava
245	0	0,4	Pavimento
245	0,4	4,3	Relleno
245	4,3	8,3	Arena limosa
245	8,3	9,4	Arcilla arenosa
245	9,4	21,2	Arena limosa
245	21,2	23,2	Arcilla
245	23,2	29	Grava limosa con arena

Perfil A-7			
Perforación	Profundidad (m)		Descripción Litológica
	Desde	Hasta	
32	0	3	Arcilla
32	3	5	Arcilla arenosa con grava
32	5	7	Arcilla con grava
32	7	12	Arcilla
32	12	13	Arcilla arenosa
36	0	3	Arcilla
36	3	10	Arcilla arenosa
36	10	12	Arcilla
36	12	13	Arcilla arenosa con grava
39	0	5	Arcilla con grava
39	5	6	Arena arcillosa con grava
39	6	9	Arena arcillosa
39	9	13	Arcilla arenosa con grava

Perfil B-1			
Perforación	Profundidad (m)		Descripción Litológica
	Desde	Hasta	
273	0	2	Relleno
273	2	14	Arcilla
273	14	17	Arcilla arenosa
273	17	19	Arena limosa con grava
273	19	25	Arcilla arenosa
273	25	27	Arcilla
272	0	1,8	Relleno
272	1,8	3	Arcilla
272	3	6	Arcilla arenosa con grava
272	6	18	Arcilla
272	18	20	Grava con arena
272	20	21	Arena limosa con grava
272	21	22	Arena limosa
272	22	25	Arcilla
271	0	1	Relleno
271	1	2	Arcilla
271	2	3	Arena limosa
271	3	16	Arcilla
271	16	20	Arcilla arenosa
271	20	21	Grava con arena
271	21	25	Arcilla
271	25	27	Arena arcillosa
188	0	1,5	Relleno
188	1,5	3,25	Arcilla arenosa
188	3,25	4	Arena limosa
188	4	7	Arcilla
270	0	8	Arcilla
270	8	10	Arena limosa
270	10	13	Arena limosa con grava
270	13	18	Arcilla arenosa
270	18	19	Arena arcillosa con grava
270	19	20	Grava con arena
270	20	26	Arcilla arenosa
260	0	0,2	Pavimento
260	0,2	2	Relleno
260	2	4	Arcilla arenosa
260	4	5	Arena limosa
260	5	6	Arcilla arenosa
260	6	7	Arena limosa
260	7	8	Arcilla
260	8	11	Arena limosa
260	11	19	Grava limosa con arena
260	19	20	Arcilla

223	0	1,3	Relleno
223	1,3	3,2	Arcilla
223	3,2	8,4	Arena limosa
223	8,4	9,3	Arena arcillosa
223	9,3	10,3	Arcilla
223	10,3	13,3	Arena limosa
223	13,3	17,2	Arcilla
223	17,2	19,3	Arena limosa
223	19,3	22,3	Arcilla
223	22,3	29	Arena limosa
226	0	2,3	Relleno
226	2,3	3,3	Arcilla
226	3,3	6	Arena limosa con grav a
226	6	11,2	Limo
226	11,2	13,3	Arena limosa
226	13,3	16,4	Arcilla
226	16,4	19	Arena arcillosa con grav a
226	19	28,2	Arcilla
226	28,2	30	Arena limosa con grav a
222	0	2,3	Relleno
222	2,3	6,3	Arena limosa
222	6,3	8,3	Limo
222	8,3	14,3	Arena limosa
222	14,3	23,3	Arcilla arenosa
222	23,3	29	Arcilla

Perfil B-2			
Perforación	Profundidad (m)		Descripción Litológica
	Desde	Hasta	
268	0	2	Relleno
268	2	19	Arcilla
268	19	20	Arena arcillosa con grav a
276	0	1	Relleno
276	1	13	Arcilla
276	13	15	Arcilla limosa con arena
276	15	17	Arcilla
276	17	19	Arena arcillosa con grav a
276	19	23	Arcilla
276	23	26	Arena arcillosa con grav a
276	26	28	Arena arcillosa
275	0	2	Relleno
275	2	4	Arcilla arenosa
275	4	6	Arena limosa con grav a
275	6	17	Arcilla
275	17	19	Arena arcillosa
275	19	20	Arena arcillosa con grav a
275	20	23	Arcilla arenosa
275	23	25	Arcilla

Perfil C-1			
Perforación	Profundidad (m)		Descripción Litológica
	Desde	Hasta	
75	0	3,5	Relleno
75	3,5	15	Arcilla arenosa
79	0	3	Relleno
79	3	10	Arcilla arenosa
79	10	12	Arena limosa
79	12	14	Arcilla
79	14	15	Arena limosa
81	0	1,6	Relleno
81	1,6	9	Arcilla arenosa
81	9	10	Arcilla
81	10	11,5	Arena limosa
81	11,5	14	Arcilla arenosa
81	14	15	Arena limosa
86	0	16	Arcilla
87	0	15	Arcilla
91	0	1	Relleno
91	1	2,6	Arcilla arenosa
91	2,6	8,7	Arcilla
91	8,7	9,6	Arcilla arenosa
91	9,6	15	Arcilla
94	0	13,7	Arcilla
94	13,7	15	Arcilla arenosa

ANEXO 2.C. Tablas de características de los pozos con registros

Pozo UCV-001			
Perforación	Profundidad (m)		Descripción Litológica
	Desde	Hasta	
UCV-001	0	2	Arena limosa
UCV-001	2	13	Grava con arena
UCV-001	13	15	Arena con Grava
UCV-001	15	17	Grava con arena
UCV-001	17	19	Arena con Grava
UCV-001	19	21	Grava
UCV-001	21	25	Arena limosa
UCV-001	25	35	Grava con arena
UCV-001	35	43	Grava de fragmentos de esquisto con arena
UCV-001	43	49	Esquisto triturado
UCV-001	49	61	Esquisto fracturado
UCV-001	61	71	Esquisto

Diseño de Rejillas UCV-001			
Perforación	Profundidad (m)		Descripción Tubería
	Desde	Hasta	
UCV-001	0	26,05	Ciego
UCV-001	26,05	29,05	Rejilla
UCV-001	29,05	33,55	Ciego
UCV-001	33,55	39,30	Ciego
UCV-001	39,30	42,60	Rejilla
UCV-001	42,60	48,95	Ciego
UCV-001	48,95	51,95	Rejilla
UCV-001	51,95	54,95	Rejilla
UCV-001	54,95	58,30	Ciego
UCV-001	58,30	64,65	Medio Rejilla/medio Ciego
UCV-001	64,65	71,00	Punta de Lapiz

Pozo UCV-002			
Perforación	Profundidad (m)		Descripción Litológica
	Desde	Hasta	
UCV-002	0	10	Arena limosa
UCV-002	10	21	Grava con arena
UCV-002	21	23	Arena limosa
UCV-002	23	25	Grava
UCV-002	25	31	Grava con arena
UCV-002	31	34	Arena limosa
UCV-002	34	37	Arena
UCV-002	37	45	Grava con arena
UCV-002	45	52	Arena limosa con arcilla
UCV-002	52	59	Grava de fragmentos de esquisto
UCV-002	59	61	Arena limosa
UCV-002	61	69	Esquisto fracturado
UCV-002	69	71	Esquisto

Diseño de Rejillas UCV-002			
Perforación	Profundidad (m)		Descripción Tubería
	Desde	Hasta	
UCV-002	0	41	Ciego
UCV-002	41	44	Rejilla
UCV-002	44	53	Ciego
UCV-002	53	59	Rejilla
UCV-002	59	68	Rejilla
UCV-002	68	71	Punta Lapiz

Pozo UCV-003			
Perforación	Profundidad (m)		Descripción Litológica
	Desde	Hasta	
UCV-003	0	2	Arena limosa
UCV-003	2	6	Grava
UCV-003	6	8	Arcilla
UCV-003	8	12	Arena limosa
UCV-003	12	16	Arena
UCV-003	16	19	Arena con grava
UCV-003	19	24	Grava con arena
UCV-003	24	28	Arena limosa
UCV-003	28	30	Grava
UCV-003	30	32	Arena limosa
UCV-003	32	34	Grava
UCV-003	34	41	Arena
UCV-003	41	43	Grava con Arena
UCV-003	43	46	Arena
UCV-003	46	50	Grava
UCV-003	50	60	Esquisto fracturado

Diseño de rejillas UCV-003			
Perforación	Profundidad (m)		Descripción Tubería
	Desde	Hasta	
UCV-003	0,00	17,00	Ciego
UCV-003	17,00	24,00	Rejilla
UCV-003	24,00	27,00	Ciego
UCV-003	27,00	30,00	Rejilla
UCV-003	30,00	32,00	Ciego
UCV-003	32,00	35,00	Rejilla
UCV-003	35,00	42,00	Ciego
UCV-003	42,00	57,00	Rejilla
UCV-003	57,00	60,00	Punta Lapiz

ANEXO 3.A. Tabla de registro de ensayo de recuperación

Tiempo t' (minutos)	$\frac{t + t'}{t'}$	Depresión observada en metros (dr)
0,5	22201	40,52
1	11101	39,5
1,5	7401	38,65
2	5551	37,62
2,5	4441	36,7
3	3701	36,01
3,5	3172,428571	35,1
4	2776	34,55
4,5	2467,666667	33,89
5	2221	33,46
6	1851	32,06
7	1586,714286	31,05
8	1388,5	30,1
9	1234,333333	29,26
10	1111	28,39
11	1010,090909	27,75
12	926	26,95
13	854,8461538	26,5
14	793,8571429	25,95
15	741	25,45
16	694,75	25
17	653,9411765	24,54
18	617,6666667	24,14
19	585,2105263	23,75
20	556	23,4
22,5	494,3333333	22,6
25	445	21,91
27,5	404,6363636	21,33
30	371	20,8
32,5	342,5384615	20,34
35	318,1428571	19,94
37,5	297	19,59
40	278,5	19,26
42,5	262,1764706	18,97
45	247,6666667	18,7

47,5	234,6842105	18,45
50	223	18,22
55	202,8181818	17,82
60	186	17,47
65	171,7692308	17,15
70	159,5714286	16,88
75	149	16,63
80	139,75	16,4
90	124,3333333	16
100	112	15,65
110	101,9090909	15,36
120	93,5	15,08
140	80,28571429	14,62
160	70,375	14,18
180	62,66666667	13,92
200	56,5	13,63
220	51,45454545	13,39
250	45,4	13,06
280	40,64285714	12,79
310	36,80645161	12,55
340	33,64705882	12,35
370	31	12,16
1210	10,17355372	10,24
1270	9,74015748	10,19
1330	9,345864662	10,14
1450	8,655172414	10,04
1570	8,070063694	9,94
2920	4,801369863	9,31
3160	4,512658228	9,23

ANEXO 3.B. Tablas de registros de seguimiento piezométrico

ID POZO	FECHA DEL REGISTRO	NIVEL ESTÁTICO MEDIDO (m)	NIVEL ESTÁTICO CON RESPECTO A LA TOPOGRAFÍA (m)	NIVEL ESTÁTICO CON RESPECTO AL NIVEL DEL MAR (m)	Observaciones
P1	24/7/2019	7,90	7,57	854,43	
	14/8/2019	7,86	7,53	854,47	
	21/8/2019	7,94	7,61	854,39	
	28/8/2019	7,93	7,60	854,40	
	4/9/2019	7,97	7,64	854,36	
	11/9/2019	8,00	7,67	854,33	
	18/9/2019	8,01	7,68	854,32	
	25/9/2019	8,04	7,71	854,29	
	2/10/2019	8,07	7,74	854,26	
	9/10/2019	8,30	7,97	854,03	
	16/10/2019	8,09	7,76	854,24	
	23/10/2019	8,22	7,89	854,11	
	30/10/2019	8,32	7,99	854,01	
	6/11/2019	8,32	7,99	854,01	
	13/11/2019	8,31	7,98	854,02	
	20/11/2019	8,39	8,06	853,94	
	27/11/2019	8,49	8,16	853,84	
	4/12/2019	8,28	7,95	854,05	
	11/12/2019	7,93	7,60	854,40	

ID POZO	FECHA DEL REGISTRO	NIVEL ESTÁTICO (m)	Observaciones
P4	14/8/2019	7,84	Solo se pudo realizar esta medición porque la perforación colapsó

ID POZO	FECHA DEL REGISTRO	NIVEL ESTÁTICO MEDIDO (m)	NIVEL ESTÁTICO CON RESPECTO A LA TOPOGRAFÍA (m)	NIVEL ESTÁTICO CON RESPECTO AL NIVEL DEL MAR (m)	Observaciones
V4	14/8/2019	11,45	8,88	855,12	
	21/8/2019	11,44	8,87	855,13	
	28/8/2019	11,43	8,86	855,14	
	4/9/2019	11,4	8,83	855,17	
	11/9/2019	11,3	8,73	855,27	
	18/9/2019	11,27	8,70	855,30	
	25/9/2019	11,35	8,78	855,22	
	2/10/2019	11,38	8,81	855,19	
	9/10/2019	11,31	8,74	855,26	
	16/10/2019	9,43	8,89	855,11	Se abrió la puerta de entrada, las mediciones se empezaron a tomar desde la boca del pozo directamente
	23/10/2019	9,57	9,03	854,97	
	30/10/2019	9,68	9,14	854,86	
	6/11/2019	9,72	9,18	854,82	
	13/11/2019	9,67	9,13	854,87	
	20/11/2019	9,75	9,21	854,79	
	27/11/2019	9,84	9,30	854,70	
	4/12/2019	9,78	9,24	854,76	
	11/12/2019	9,75	9,21	854,79	
	18/12/2019				
	25/12/2019				
1/1/2020					
8/1/2020					
15/1/2020					
22/1/2020					
29/1/2020	9,65	9,11	854,89		

ID POZO	FECHA DEL REGISTRO	NIVEL ESTÁTICO MEDIDO (m)	NIVEL ESTÁTICO CON RESPECTO A LA TOPOGRAFÍA (m)	NIVEL ESTÁTICO CON RESPECTO AL NIVEL DEL MAR (m)	Observaciones
UCV-001	14/8/2019	7,28	8,67	851,96	
	21/8/2019	7,32	8,71	851,92	
	28/8/2019	7,35	8,74	851,89	
	4/9/2019	7,31	8,70	851,93	
	11/9/2019	6,99	8,38	852,25	
	18/9/2019	6,98	8,37	852,26	
	25/9/2019	7,05	8,44	852,19	
	2/10/2019	7,36	8,75	851,88	
	9/10/2019	7,28	8,67	851,96	
	16/10/2019	7,9	9,29	851,34	La bomba del UCV-001' estaba apagada pero estuvo prendida el día anterior 24h
	23/10/2019	9,96	11,35	849,28	La bomba del UCV-001' estaba encendida
	30/10/2019	10,19	11,58	849,05	La bomba del UCV-001' estaba encendida
	6/11/2019				No se pudo tomar la medida no había llave
	13/11/2019				No se pudo tomar la medida no había llave
	20/11/2019	10,14	11,53	849,10	La bomba del UCV-001' estaba encendida
	27/11/2019	10,15	11,54	849,09	La bomba del UCV-001' estaba encendida
	4/12/2019	10,14	11,53	849,10	La bomba del UCV-001' estaba encendida
	11/12/2019	9,92	11,31	849,32	La bomba del UCV-001' estaba encendida
	18/12/2019				
	25/12/2019				
1/1/2020					
8/1/2020					
15/1/2020					
22/1/2020					
29/1/2020	9,43	10,82	849,81	Tomado como referencia para evaluar si el pozo seguía el comportamiento esperado	

ID POZO	FECHA DEL REGISTRO	NIVEL ESTÁTICO MEDIDO (m)	NIVEL ESTÁTICO CON RESPECTO A LA TOPOGRAFÍA (m)	NIVEL ESTÁTICO CON RESPECTO AL NIVEL DEL MAR (m)	Observaciones
UCV-001'	14/8/2019				No existía
	21/8/2019				
	28/8/2019				En proceso de perforación
	4/9/2019				
	11/9/2019	8,51	8,26	852,37	En proceso de activación
	18/9/2019	8,5	8,25	852,38	
	25/9/2019	8,55	8,30	852,33	
	2/10/2019				Sellaron el pozo para conectarlo con el sistema del UCV-001
	9/10/2019				Sellado
	16/10/2019	9,21	8,96	851,67	Abrieron un segmento para medir nivel pero aunque la bomba estaba apagada estuvo 24 horas encendida
	23/10/2019				Cerraron el segmento para medir el nivel de agua

ID POZO	FECHA DEL REGISTRO	NIVEL ESTÁTICO MEDIDO (m)	NIVEL ESTÁTICO CON RESPECTO A LA TOPOGRAFÍA (m)	NIVEL ESTÁTICO CON RESPECTO AL NIVEL DEL MAR (m)	Observaciones
UCV-002	14/8/2019	32,9	34,76	826,311	La bomba se encontraba encendida, se tomó el nivel dinámico justo al apagar la bomba
	21/8/2019	33,3	35,16	825,911	
	28/8/2019	36,84	38,7	822,371	
	4/9/2019	7,79	9,65	851,421	Se habían apagado la bomba desde hace más de una semana
	11/9/2019	7,68	9,54	851,531	
	18/9/2019	7,67	9,53	851,541	
	25/9/2019	9,3	11,16	849,911	No recargó suficiente, no se apagó la bomba a tiempo
	2/10/2019	8,78	10,64	850,431	No recargó suficiente, no se apagó la bomba a tiempo
	9/10/2019	7,71	9,57	851,501	La bomba se apagó desde el 02 /10/2019
	16/10/2019	7,98	9,84	851,231	La bomba se apagó desde el 02 /10/2019

ID POZO	FECHA DEL REGISTRO	NIVEL ESTÁTICO MEDIDO (m)	NIVEL ESTÁTICO CON RESPECTO A LA TOPOGRAFÍA (m)	NIVEL ESTÁTICO CON RESPECTO AL NIVEL DEL MAR (m)	Observaciones	
UCV-003	14/8/2019	7,32	9,05	850,036		
	21/8/2019	7,33	9,06	850,026		
	28/8/2019	7,33	9,06	850,026		
	4/9/2019	7,31	9,04	850,046		
	11/9/2019	7,2	8,93	850,156		
	18/9/2019	7,18	8,91	850,176		
	25/9/2019	7,24	8,97	850,116		
	2/10/2019	7,33	9,06	850,026		
	9/10/2019	7,26	8,99	850,096		
	16/10/2019	7,79	9,52	849,566		
	23/10/2019	7,97	9,7	849,386		
	30/10/2019	8,14	9,87	849,216		
	6/11/2019	8,14	9,87	849,216		
	13/11/2019	8,09	9,82	849,266		
	20/11/2019	8,21	9,94	849,146		
	27/11/2019	8,25	9,98	849,106		
	4/12/2019	8,27	10	849,086		
	11/12/2019	8,17	9,9	849,186		
	18/12/2019					
	25/12/2019					
	1/1/2020					
	8/1/2020					
	15/1/2020					
	22/1/2020					
	29/1/2020		7,99	9,72	849,366	

ANEXO 3.C. Registro de precipitación en la UCV durante el 2019 (Proporcionado por el Departamento de Hidrometeorología de la UCV)

Día	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Convencional
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,0	4,4	2,1	0,0	0,0	0,2	0,0	1
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	18,1	0,0	0,5	3,3	14,4	0,4	2
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	3
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8	0,0	0,6	0,2	0,0	4
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,9	0,0	1,4	0,2	0,0	0,0	3,4	5
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,1	15,5	0,5	0,8	1,7	11,0	1,6	6
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	16,6	3,0	0,1	7
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,0	8
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,8	12,4	0,0	0,0	5,6	0,0	1,3	9
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,3	0,0	0,0	53,8	0,0	0,0	10
11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	11
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	7,1	0,0	9,1	12
13	13,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,7	0,0	0,9	0,4	0,0	0,2	13
14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,1	14,5	0,0	3,5	5,7	0,0	14
15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	11,4	0,0	0,0	0,0	5,1	15
16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,3	16,7	0,0	2,5	0,0	0,0	16
17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	10,9	0,0	0,0	17
18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,5	0,0	6,8	0,0	23,3	0,0	6,7	18
19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	11,4	0,0	0,0	1,1	19
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	0,5	18,6	3,2	1,6	2,5	20
21	0,0	0,0	0,0	3,9	0,0	5,7	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	21
22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	10,5	2,1	1,0	0,0	22
23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7	2,0	1,2	8,2	0,0	20,5	1,7	23
24	0,2	0,0	0,0	1,0	0,0	1,9	0,0	0,0	0,3	0,6	3,0	0,5	24
25	0,0	0,0	0,0	0,0	3,8	0,0	2,2	2,1	0,0	0,5	0,0	0,0	25
26	0,0	3,4	0,0	0,0	11,9	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	26
27	0,0	0,0	0,0	2,5	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,0	0,0	27
28	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	28
29	0,0		0,0	0,0	21,2	0,5	1,5	6,8	0,0	28,7	0,0	0,0	29
30	0,0		0,0	0,0	2,5	0,0	0,5	0,0	1,2	3,2	0,0	0,0	30
31	0,0		0,0		16,0		8,3	0,0		0,0	0,0	0,0	31
Suma	13,8	4,0	0,0	7,4	57,3	74,8	102,6	75,1	52,8	170,0	77,9	49,7	685,4