

Disponibilidad de aguas subterráneas para abastecimiento de comunidades urbanas en el Valle de Aburrá, Colombia

Teresita Betancur¹, Diana Carolina Martínez², Elizabeth Calle², Omar Longas², Diana Santa²

¹ Universidad de Antioquia, Calle 67 No 53 – 108, Medellín, Colombia, +574 2198577

² Empresas Públicas de Medellín, Carrera 58 No 42-125 +574 3808080

Mail de contacto: terebetav@udea.edu.co

RESUMEN

Ante la necesidad de buscar alternativas que garanticen la continuidad en el suministro de agua potable para unas 300.000 personas pertenecientes a poblaciones menores ubicadas dentro del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, se emprendieron en 2011 actividades de exploración hidrogeológica en los municipios de Caldas y Barbosa, y en los corregimientos de San Cristóbal y San Antonio de Prado. Producto de este trabajo se cuenta con un modelo hidrogeológico conceptual a escala 1:10.000, se están realizando –aplicando inicialmente índices de escasez– las evaluaciones que permitan cuantificar los volúmenes de agua que de manera sostenible pueda extraerse de los acuíferos. El trabajo futuro se orientara a definir los costos asociados a la extracción, tratamiento y distribución del recurso subterráneo.

Palabras clave: aguas subterráneas, hidrogeología urbana, abastecimiento.

ABSTRACT

Valle of Aburrá, Colombia, is a region conformed by 10 towns, it has 4 million of inhabitants. The water sources to supply the human demand are out of the geographic basin. Groundwater could be an alternative resource in different circumstances. This study evaluates the groundwater reserve to minor populations into the Valle of Aburrá. A conceptual hydrogeology model was obtained to 1:10.000. Index shortage, available water and demand water were calculated. At future work will be necessary to evaluate economic possibility of use groundwater in the region.

Keywords: groundwater, urban hydrogeology, water supply.

Introducción

El Valle de Aburrá, Colombia, constituye una unidad territorial de 1.152 Km² de superficie, sobre la cual se localizan 10 municipios con una población cercana a 4'000.000 de habitantes, dentro de ellos Medellín, capital del departamento de Antioquia aloja 2'500.000 de personas. El servicio de abastecimiento de agua para esta urbe es suministrado por Empresas Públicas de Medellín -EPM- mediante trasvases desde otras cuencas; solo una población cercana a 300.000 habitantes recibe suministro de fuentes superficiales locales.

La intervención y ocupación con diferentes actividades económicas, y los efectos de la variabilidad hidrológica, han afectado en los últimos años las microcuencas que abastecen estos circuitos menores. Esta afectación constituye un factor de amenaza sobre la calidad del agua y pone en riesgo la eficiencia en el suministro para la comunidad. Frente a este panorama y queriendo tomar medidas a tiempo, se ha emprendido la búsqueda de

soluciones que permitan garantizar la continuidad del servicio de acueducto en el futuro.

A partir de estudios realizados desde 2012 entre la Universidad de Antioquia y EPM, se han delimitado áreas con un potencial hidrogeológico que si bien no alcanzarán, seguramente, a suplir completamente la demanda registrada, sí podrían constituir una alternativa para atender situaciones de emergencia y mantener el abastecimiento a la comunidad ante eventuales contingencias (Betancur et al, 2012).

El sistema hidrogeológico del Valle de Aburrá, consta de un acuífero libre asociado a depósitos aluviales y de vertiente, de un acuífero confinado correspondiente a los depósitos más antiguos del río Medellín y de una unidad pseudokárstica aún sin explorar. La delimitación dentro de este sistema de sectores de interés para los fines de abastecimiento para poblaciones menores, se ha hecho sobre la base de obtener a escala local un mejor modelo conceptual, a partir de tareas de exploración

que esperan incluir la perforación de pozos de prueba. Hasta ahora se ha logrado conocer la geometría de los depósitos acuíferos de interés, se han hecho evaluaciones de la recarga directa teniendo en cuenta que el proceso de urbanización limita la infiltración, se han evaluado propiedades hidráulicas y condiciones de flujo subterráneo. A partir de los pozos de prueba se realizarán ensayos para determinar rendimiento de las unidades.

La expectativa de este estudio es determinar los volúmenes de aguas que de manera sostenible podrían extraerse y a partir de ello definir la viabilidad técnica y económica de utilizar el recurso hídrico subterráneo para atender algún tipo de demanda en los sectores donde habitan las poblaciones de Caldas, San Antonio de Prado, San Cristóbal y Barbosa, dentro del Valle de Aburrá.

Contexto hidrogeológico del Valle de Aburrá

El territorio del departamento de Antioquia (Colombia) se caracteriza por un relieve variado, representado por áreas planas, con alturas que varían entre los 200 y los 1.300 m.s.n.m en el Valle del Magdalena y las zonas próximas al Chocó y el Urabá; y una extensa área montañosa que hace parte de las cordilleras Central y Occidental, con alturas que oscilan entre los 1.000 y los 4.080 m.s.n.m.

Dentro de este contexto fisiográfico, en medio de la cordillera Central de los Andes se encuentra la subregión del Valle de Aburrá, cuenca natural del río Aburrá-Medellín. El río recorre este valle de sur a norte, a lo largo de 60 kilómetros, desde su nacimiento a unos 1.800 m.s.n.m., hasta su desembocadura en el río Grande. Las montañas y altiplanos que lo limitan tienen una altura promedio de 2.700 m.s.n.m., siendo el punto más alto el cerro del Padre Amaya con 3.100 m.s.n.m (figura 1). La temperatura oscila entre los 16 y 29 °C y la humedad relativa es del 70%. La precipitación promedio es de 1.500 mm al año con máximos de 3.500 mm en algunas épocas. El régimen de lluvias es bimodal, con dos épocas de lluvia y dos relativamente secas. Los municipios que conforman el Valle de Aburrá son diez: Caldas, La Estrella, Sabaneta, Itagüí, Envigado, Medellín, Bello, Copacabana, Girardota y Barbosa. Medellín es el municipio núcleo y la capital del departamento de Antioquia y se encuentra vinculado con los demás municipios aledaños por estrechas relaciones de orden físico, económico y social. El área urbana del Valle de Aburrá concentra la mayor cantidad de habitantes del departamento. EPM brinda a la

comunidad del Valle de Aburrá, los servicios de acueducto, alcantarillado, energía eléctrica, gas y telecomunicaciones. Esta empresa registra coberturas de prestación de los servicios de 100% para acueducto dentro del perímetro urbano formalmente consolidado según los Planes de Ordenamiento Territorial.

Las fuentes de abastecimiento más importantes se localizan por fuera del Valle de Aburrá y algunos núcleos menores son abastecidos por fuentes cercanas que presentan recurrentemente afectaciones en las condiciones de calidad, debido principalmente a los efectos de la variabilidad climática y puntualmente a la presencia de fuentes de contaminación.

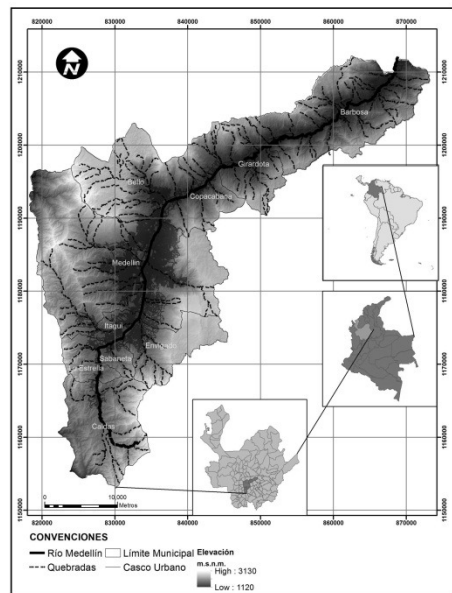


Figura 1. Localización de la zona de estudio

La principales actividades económicas del Valle de Aburrá las constituye la industria textil, el turismo y el comercio; otras están representadas en los sectores financiero, de construcción y de servicios. Medellín es sede anual de importantes eventos empresariales y se está posicionando también como sede de eventos académicos gracias a la dotación en infraestructura que se vienen realizando para este fin.

En el marco del contexto geológico del Valle de Aburrá, a partir de varios estudios a escala 1:25.000 se han identificado tres unidades hidrogeológicas con potencial acuífero (figura 2):

El Acuífero libre de Valle de Aburrá: Conformado por los depósitos aluviales del río Medellín y sus afluentes, y los depósitos de vertiente categorizados como flujos de lodo y escombros con edades Neógeno o Cuaternario.

El Acuífero semiconfinado del Centro y Sur del Valle: Conformado por depósitos de origen aluvial, separados del acuífero libre por una capa sellante de carácter arcilloso, cuyo espesor varía entre 0 y 57 m con una media de 12,8 m. Esta unidad hidrogeológica corresponde a la denominada unidad A2 en el proyecto EZRAVA efectuado en 2002.

Acuífero de la Dunita de Medellín: El grado de fracturamiento de esta unidad de roca, sumado a la aparente condición de pseudokarst que se registra en algunos sectores (Universidad de Antioquia - AMVA, 2012), y algunos datos de caudal reportados en afloramientos y obras de control geotécnico, indican que en la Dunita de Medellín se podría estar almacenando un importante volumen de agua subterránea que podría llegar a ser utilizable con fines de abastecimiento en algunos sectores del área urbana o rural de los municipios de Bello, Medellín o Envigado.

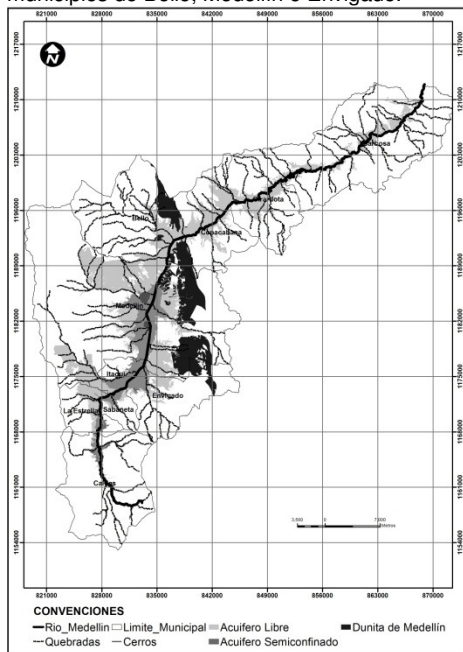


Figura 2. Delimitación de acuíferos en el Valle de Aburrá

Son zonas de recarga directa al acuífero libre del Valle de Aburrá y al acuífero de la

Dunita de Medellín, todas aquellas áreas en las que afloran los depósitos y la roca en la superficie y donde no se ha presentado impermeabilización del suelo por efectos del desarrollo urbano. Dada la alta afectación tectónica dentro del Valle de Aburrá, las rocas encajantes del sistema hidrogeológico han alcanzado niveles de fracturamiento que posibilitan flujos regionales desde las vertientes hacia el fondo del valle donde se localizan los acuíferos libre y semiconfinado.

Los acuíferos libre y semiconfinado del Valle de Aburrá han sido explotados desde hace varios años para satisfacer demandas de algunas actividades industriales y comerciales. El plantear la posibilidad de abastecimiento público con aguas subterráneas para poblaciones menores requiere de estudios de exploración de mayor detalle, siendo necesario contar con un modelo hidrogeológico conceptual más refinado de la zona de interés, que permita determinar la cantidad de agua que puede ser extraída de manera sostenible en cada sector y con ello determinar si este recurso puede ser tenido en cuenta como fuente alternativa o complementaria para abastecimiento, considerando los costos que esto implicaría.

Mediante la ejecución del estudio "Disponibilidad del recurso hídrico subterráneo para el abastecimiento de agua de los circuitos atendidos por fuentes menores: Aguas Frías, Caldas, Barbosa, San Cristóbal, La Montaña, La Cascada y San Antonio de Prado, y algunos sectores de bombeos representativos" (Universidad de Antioquia, EPM 2011), se logró una aproximación a la determinación de zonas que podrían ser promisorias como fuente alterna o complementaria para el abastecimiento de agua. A partir de aquí se vienen adelantando labores de exploración a escala 1:10.000 que han dado ya los primeros resultados.

Metodología

En términos metodológicos la determinación de la utilización de aguas subterráneas como posible fuente alternativa o complementaria para suplir de alguna manera la demanda de agua en grandes ciudades comprende la sucesión de tres aspectos a considerar: En primer lugar la determinación de la necesidad, apoyados en estudios prospectivos de oferta y demanda, de contar con fuentes adicionales; luego el emprendimiento de tareas preliminares de exploración que permitan vislumbrar la posible opción de tener entre las fuentes de abastecimiento recursos hidrogeológicos y luego el emprendimiento de actividades de ex-

ploración en detalle en zonas potencialmente promisorias

El creciente deterioro y la relativa escasez de las aguas superficiales a escala planetaria, han llevado a imponer la condición de recurso estratégico a los recursos hídricos subterráneos. Más del 30% de las grandes ciudades del mundo tienen algún grado de dependencia de los recursos hidrogeológicos.

En la geografía nacional de Colombia, el agua subterránea es un recurso que se explota desde hace décadas, bien sea para el consumo humano, la industria o la agricultura. En el Valle de Aburrá el agua subterránea es usada principalmente para el lavado de vehículos, con el 48% del recurso explotado, en segundo lugar se encuentra el uso industrial, con un 31%, y el tercer renglón en importancia lo constituye el consumo humano, con un 21%.

Ahora el agua subterránea podría constituir también un recurso utilizable como fuente alternativa o complementaria para abastecimiento público en algunos sectores del Valle de Aburrá, en especial para aquellos circuitos del acueducto atendidos por fuentes menores.

En la tabla 1 se señalan los depósitos dentro de las cuales se ubican las poblaciones de San Antonio de Prado, Caldas, Barbosa y San Cristóbal, áreas para las cuales se quiere evaluar el potencial hidrogeológico en el Valle de Aburrá, así mismo se señalan los caudales requeridos y los volúmenes de agua que se necesitan para satisfacer la demanda. La localización de estas poblaciones dentro del contexto hidrogeológico local se presenta en la figura 3.

Tabla 1. Demanda de aguas para abastecimiento de cuatro poblaciones urbanas en el Valle de Aburrá

Circuito atendido	Área Km ²	Demanda total anual en m ³ ·10 ³	Caudal requerido (L/s)
San Antonio de Prado	75,47	1.38	46.9
Caldas	12,35	0.86	30.6
Barbosa	3,84	0.95	32.0
San Cristóbal	51,3	1.46	52.1

Los circuitos de Caldas, San Antonio, San Cristóbal y Barbosa estarían localizados sobre zonas de depósitos aluviales o de ladera que tienen carácter de acuífero.

Además de las características de geometría, propiedades hidráulicas, condiciones de flujo subterráneo y evaluación de la recarga, se han estimado dentro de los límites acuíferos de interés para estos cuatro sectores, los volúmenes de almacenamiento y los caudales ambientalmente explotables aplicando criterios de sostenibilidad establecidos según índices de escasez. Está por definirse a partir de los rendimientos específicos la alternativa de abastecimiento que podría obtenerse de estas unidades y la evaluación de la relación costo beneficio que permitiría definir la viabilidad de la utilización del recurso subterráneo dentro del Valle de Aburrá para atención de la demanda de las poblaciones urbanas ya mencionadas.

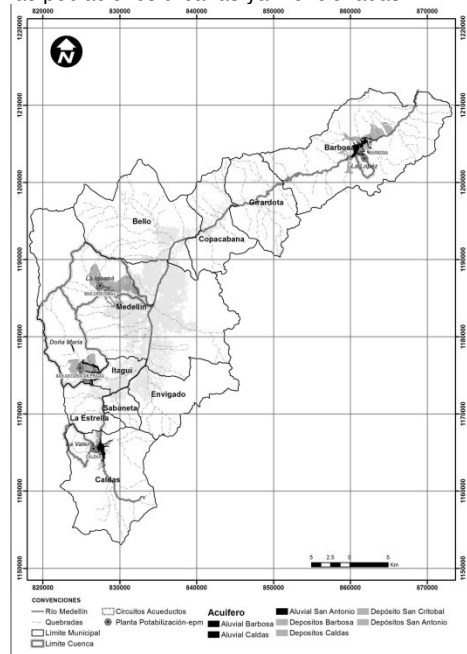


Figura 3. Distribución de unidades acuíferas en áreas de interés por demanda de agua subterránea en el Valle de Aburrá.

Resultados

La geometría de acuíferos y acuitardos y sus propiedades hidráulicas, las variaciones a través del tiempo de las superficies piezométricas, la delimitación de áreas y fuentes de recarga así como la cuantificación del agua

que ingresa al acuífero (calculada mediante métodos de balance hídrico), y las condiciones de calidad ambiental, son los elementos que comúnmente se incorporan a un modelo hidrogeológico. Trascendiendo desde la escala 1:25.000 hacia la escala 1:10:000 se ha logrado refinar el conocimiento hidrogeológico en el Valle de Aburrá en cuatro áreas que circundan las fronteras de cuatro comunidades urbanas para las cuales se desea conocer si existe un potencial de aguas subterráneas que pueda servir como fuente alternativa o complementaria para suministro de agua potable, o incluso constituiría una alternativa para suplir la necesidad del recurso en eventuales situaciones de emergencia.

En las figuras 4 a 7 se presenta la distribución espacial, los espesores, direcciones de flujo y los valores de conductividad hidráulica de las unidades con potencial hidrogeológico dentro de las zonas de interés,

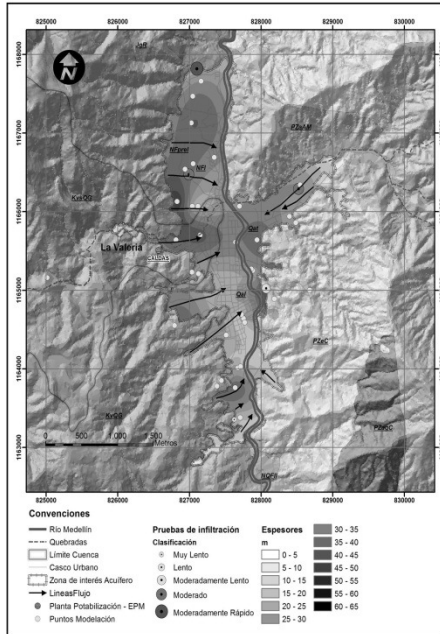


Figura 4. Modelo hidrogeológico en la localidad de Caldas.

A partir de los resultados logrados hasta ahora en la definición de un modelo hidrogeológico para cada sector, se puede efectuar un primer cálculo aproximado de las capacidades y condiciones de almacenamiento de agua subterránea en las unidades con algún potencial acuífero.

Con el modelo geométrico se calcularon los volúmenes sólidos. Teniendo en cuenta los valores medios inferidos de profundidad del nivel freático se aproximó el cálculo de un volumen saturado, y luego asumiendo condiciones mínimas de porosidad a partir de las variaciones texturales se estimó la capacidad de almacenamiento del acuífero.

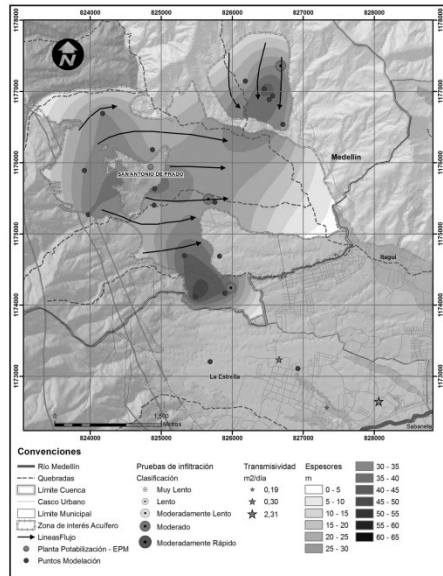


Figura 5. Modelo hidrogeológico en la localidad de San Antonio.

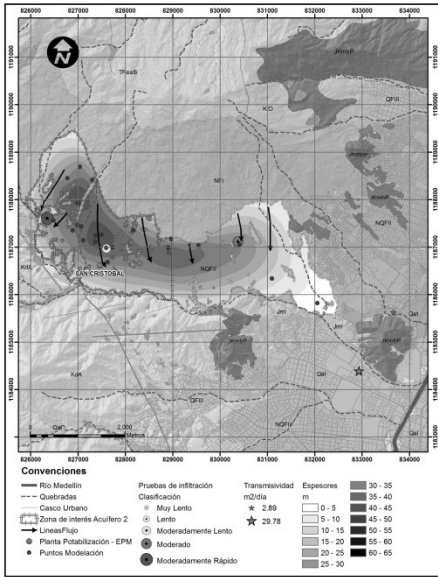


Figura 6. Modelo hidrogeológico en la localidad de San Cristóbal.

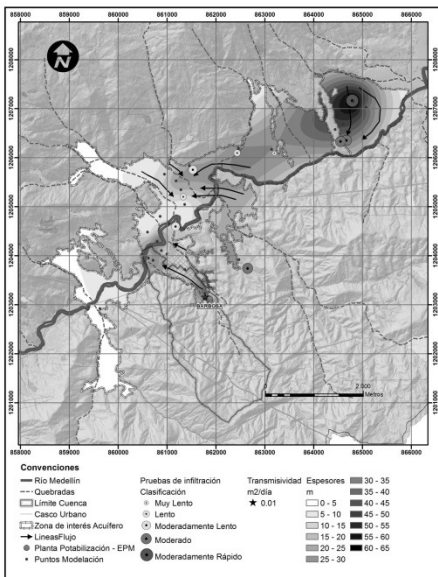


Figura 7. Modelo hidrogeológico en la localidad de Barbosa.

Según los distintos escenarios hidrológicos, teniendo en cuenta el área superficial de cada unidad hidrogeológica, restándole a ellas la

superficie urbanizada y por lo tanto impermeabilizada, se calculó el volumen de agua que por unidad de tiempo ingresaría al acuífero; no obstante no se dispone de elementos confiables para inferir cuanta de esa agua sale luego como caudal base. Es conveniente anotar que a las unidades acuíferas puede ingresar agua proveniente de flujos regionales; estas magnitudes no se cuantifican mediante procedimientos de balance hídrico, y no existen métodos confiables estandarizados para su estimación.

Una comparación gruesa entre los órdenes de magnitud de las dos condiciones de volumen calculadas (capacidad de almacenamiento del acuífero, volumen de agua que ingresaría como recarga) con el volumen requerido para satisfacer la demanda para abastecimiento por parte de EPM, alienta el rumbo de la búsqueda de información más precisa para evaluar posibilidades de extracción del recurso subterráneo; condiciones que sólo pueden delimitarse mejor a partir de la realización de pruebas hidráulicas específicas en puntos de agua adecuadamente construidos.

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, estableció mediante Resolución 872 de 2006, en el marco de la definición del Índice de Escasez para Aguas Subterráneas la forma de calcular el caudal de agua explotable desde un acuífero:

$$QE = a \cdot QN$$

Dónde:

QE: Caudal Explotable en m³/año

a: Coeficiente adimensional que toma valores entre 0,3 y 1,0 de acuerdo con el régimen de explotación establecido por la Autoridad Ambiental competente.

QN: Recarga del acuífero en condiciones naturales y los componentes de recarga artificial cuando ellos son conocidos. m³/año

Dentro de la misma resolución se establece el modo de calcular el Índice de Escasez para acuíferos libres con recarga según la expresión:

$$I_{EG} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{ci}}{QE}$$

Dónde:

I_{EG}: Índice de escasez para aguas subterráneas.

Q_{ci}: Caudal captado en la i-ésima captación, expresado en m³/año.

QE: Caudal explotable del acuífero, expresado en m³/año

n: Número de captaciones

Un valor del Índice de Escasez mayor a 0,5 se califica en la categoría alta.

Aplicando las ideas aquí planteadas, se presentan en la tabla 2 algunas consideraciones generales para cada sector.

Tabla 2. Síntesis de volúmenes anuales de agua subterránea e índice de escasez

Localidad	Capacidad mínima de almacenamiento ($m^3 \cdot 10^6$)	Volumen de recarga anual ($m^3 \cdot 10^6$)	Caudal explotable ($m^3 \cdot 10^6$)	Demanda ($m^3 \cdot 10^6$)	Índice de escasez
Caldas	3.09	2.97	0.89	0.86	0.96
San Antonio	13.63	6.59	1.98	1.38	0.70
San Cristóbal	6.90	2.36	0.71	1.46	2.05
Barbosa	10.56	5.42	1.63	0.95	0.58

Con estos resultados parciales se establece que el Índice de Escasez correspondería en todos los casos a una categoría de alto, teniendo valores de 0.96 en Caldas, 0,70 en San Antonio, 2,05 en San Cristóbal y 0,58 en Barbosa.

Considerando entre los escenarios posibles de utilización de las aguas subterráneas, el que ellas representen una fuente complementaria para satisfacer parcialmente, y en especial en condiciones de emergencia alguna demanda dentro de los circuitos objeto de estudio, se continua en la búsqueda de información más certera para evaluar caudales posibles de extracción; condiciones que solo pueden precisarse a partir de la realización de pruebas hidráulicas específicas en pozos de prueba adecuadamente construidos

El trabajo siguiente se encamina a la realización de siete perforaciones exploratorias de las cuales se espera tener una mejor caracterización litológica y textural del subsuelo y realizar pruebas hidráulicas para precisar condiciones de transiividad hidráulica y coeficiente de almacenamiento, a partir de los cuales se puedan precisar caudales y regímenes de extracción. Posteriormente se evaluara la factibilidad técnica y económica de usar las aguas subterráneas para suministro de agua bajo algún escenario de necesidad que comprendería la atención de contingencias.

Conclusiones

Como resultado concreto de la realización de la segunda fase del estudio "DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA DE LOS CIRCUITOS ATENDIDOS

POR FUENTES MENORES: AGUAS FRÍAS, CALDAS, BARBOSA, SAN CRISTÓBAL, LA MONTAÑA, LA CASCADA Y SAN ANTONIO DE PRADO, Y ALGUNOS SECTORES DE BOMBEO REPRESENTATIVOS", se logra sintetizar un mejor modelo hidrogeológico conceptual. El modelo que aquí se propone, será refinado con la realización de perforaciones exploratorias que proporcionen nueva información hidroestratigráfica, en las cuales se llevarán a cabo pruebas de bombeo para determinar parámetros hidráulicos y análisis químicos del agua para evaluar la calidad del recurso almacenado en el acuífero

El modelo conceptual que a la fecha se tiene elaborado comprende la determinación y descripción de las unidades hidrogeológicas con potencial acuífero, la evaluación de la recarga directa, una primera aproximación a la definición de las direcciones de flujo subterráneo, las condiciones hidráulicas obtenidas principalmente a partir de pruebas de infiltración realizadas en esta fase y un prediagnóstico de las condiciones de calidad, que deberán verificarse mediante muestreos hidroquímicos que se practicarán en los próximos meses.

Considerando los requerimientos de demanda de agua y las condiciones más conservadoras de caudal extraíble del acuífero, aplicando el criterio de Índice de Escasez en todos los casos se registra una categoría alto.

Considerando entre los escenarios posibles de utilización de las aguas subterráneas, el que ellas representen una fuente complementaria para satisfacer parcialmente, y en especial en condiciones de emergencia alguna demanda dentro de los circuitos objeto de estudio, se continua en la búsqueda de información más certera para evaluar caudales posibles de extracción; condiciones que solo pueden precisarse a partir de la realización de pruebas hidráulicas específicas en pozos de prueba adecuadamente construidos.

Agradecimientos

Los autores agradecemos a EPM y a la Universidad de Antioquia sus contribuciones para la realización de este estudio, De manera especial agradecemos los aportes de cada uno de los integrantes del equipo de profesionales y auxiliares de ingeniería que han participado en los proyectos de exploración en el Valle de Aburrá: Paola Palacio, Angélica Gómez, Rodrigo Díaz, John Fernando Escobar, Luis Vásquez, Cristina Martínez, Vanesa García.

Referencias

- Betancur, T., Martínez, D., Longas, O., Calle, E. 2012 Las aguas subterráneas una alternativa para el abastecimiento público en las metrópolis de hoy. Actas XI Congreso Latinoamericano de Hidrogeología, Cartagena, Colombia. CD, 5 p
- Ministerio de Ambiente y desarrollo Sostenible de Colombia, Resolución 872 de 2006.
- Universidad de Antioquia, EPM. 2011. Disponibilidad del Recurso Hídrico Subterráneo para el Abastecimiento de Aguade los Circuitos Atendidos por Fuentes Menores: Aguas Frías, Caldas, Barbosa, San Cristóbal, La Montaña, La Cascada y San Antonio de Prado y Algunos Sectores de Bombeo Representativo. Informe Final, Acta N° 11, Medellín, 2011. pp. 596.
- Universidad de Antioquia – AMVA. 2012. Determinación y Protección de las Potenciales Zonas de Recarga en el Norte del Valle de Aburrá. Informe final. . Medellín: Contrato 405 de 2011.