

**AUNAR ESFUERZOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO
SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL MARCO DE LA OPERACIÓN DE LA RED
DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ
- MEDELLÍN**

CONVENIO 643 DE 2019 - MODIFICACIÓN 1



AGUAS SUBTERRÁNEAS

INFORME FINAL



MEDELLÍN, ABRIL 2020

**AUNAR ESFUERZOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO
SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL MARCO DE LA OPERACIÓN DE LA RED
DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ
– MEDELLÍN**

CONVENIO 643-2019 - MODIFICACIÓN 1

AGUAS SUBTERRÁNEAS

INFORME FINAL



EJECUTA:



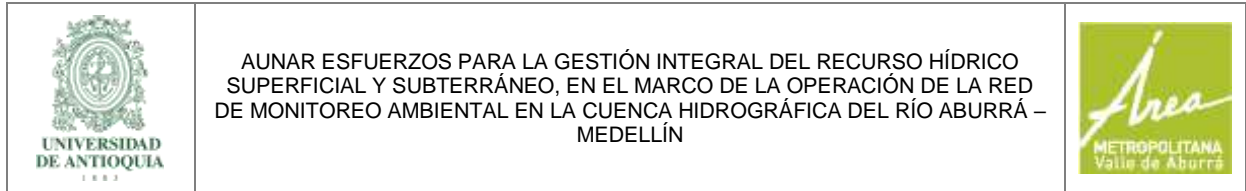
**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

<http://www.udea.edu.co/>

UN PROYECTO DE:



MEDELLÍN, ABRIL 2020



Aunar esfuerzos para la gestión integral del recurso hídrico superficial y subterráneo, en el marco de la operación de la red de monitoreo ambiental en la cuenta hidrográfica del río Aburrá – Medellín – Convenio 643 de 2019.

Un proyecto del Área Metropolitana del Valle de Aburrá

Juan David Palacio Cardona, Director

Germán Gustavo Londoño Gaviria, Subdirector Ambiental

Ejecuta

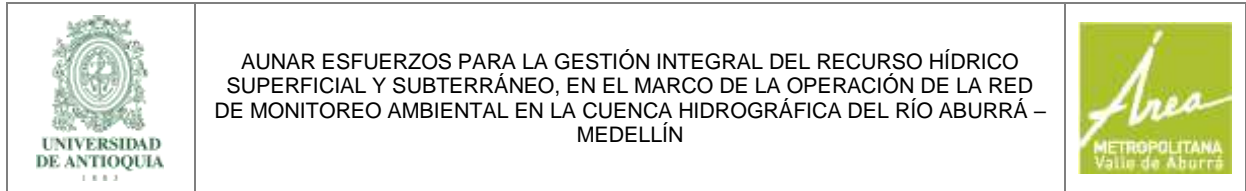
Universidad de Antioquia

John Jairo Arboleda Céspedes

Rector

Equipo de Trabajo:

Lina Claudia Giraldo Buitrago, Coordinación General; Rubén Alberto Agudelo García, Asesor de Coordinación; Carolina Zapata Vanegas, Ingeniera Logístico y de Calidad; Andrés Mauricio Ríos Cifuentes, Asesor Contable; Sandra Eugenia Flórez Hoyos, Asistente Administrativa; John Fredy Carmona Castaño, Ingeniero Sanitario Coordinador Operativo de la Red; Camilo César Castro Jiménez, Especialistas Calidad de Aguas; Alejandra Cifuentes Zapata, Ingeniera de Apoyo Monitoreo; Diana Cristina Atehortúa Rivera, Ingeniera Sanitaria y Ambiental; Carmen Emilsen Duque Arias, Ingeniera Ambiental; Julián David Rojo Hernández, Ingeniero Hidrología; Néstor Jaime Aguirre Ramírez, Asesor Biológico; Andrés Felipe Botero Gutiérrez, Luisa Fernanda López Ramírez, Luisa Fernanda Márquez Orozco; Liliana Paola Molano Tovar; Auxiliares de Ingeniería Agua Superficial; Nixon Arley Aristizábal Niño, Profesional en SIG; Carlos Andrés Jaramillo Osorio, Ingeniero Líder Estaciones Automáticas; Juan Manuel Osorio Zapata, Ingeniero de Apoyo Estaciones Automáticas; Carlos Andrés Ardila Duque, Ingeniero Sanitario; Carlos Alberto Pérez Moncada, Ingeniero Analista de Datos; Dairo León Vanegas Taborda, Juan Carlos Camacho Manco, Auxiliares de Ingeniería Estaciones Automáticas; Andrés Camilo Zapata Moreno, Alejandro Martínez Ayala, Profesionales Gestión de la Plataforma; Alexander Ossa Montoya, Ingeniero de Desarrollo de Interface Estaciones Automáticas; Juan de Dios Delgado Lastra, Asesor Estadístico; Juliana Ossa Valencia, Coordinadora Hidrogeóloga y Profesional para la Interpretación Química e Isotópica del Agua Subterránea; Teresita Betancur Vargas, Asesora Componente Hidrogeología; Cristina Uribe Martínez, Profesional para Modelación Agua Subterránea y Profesional Manejo de Base de Datos Espacial, Ángela Díaz Torres, Asistente



Administrativo; Andrés Felipe Tapias Gutiérrez, David Alejandro Londoño Ramírez, Estudiantes Auxiliares Aguas Subterráneas; Milton Alexis Ramírez Zuluaga, Profesional Líder Plan Comunitario; Eliana Alejandra Uribe Olarte, Yeison Fernando Palacio Campusano, Faber Andrés Sánchez Gutiérrez, Auxiliares Técnicos; Lina Vanesa Guzmán García, Administradora Ambiental y de Recursos Naturales; Juan Esteban Cataño Tobón; Profesional Ambiental; Michelle Rendón Builes, Profesional Apoyo (Biólogo); Luis Fernando López Soto, Comunicador.

Supervisión Área Metropolitana del Valle de Aburrá:

María Yaneth Rúa García

Equipo RedRío: Olga Amparo Velázquez Lozano; Héctor Jaime Vélez Jiménez

Equipo contratista RedRío: Raúl Alexander Cardona Pareja, Ángela Soto Isaza, Jhon Camilo Duque Duque, Yessica Yuliana Bedoya Valencia.

Interventoría COLNET:

María Alejandra Echeverri Arango, Coordinadora; Norberth Ayala Ocampo, Apoyo a la Coordinación Componente Ambiental y Administrativo; Leonardo García, Responsable Componente Operación Agua Superficial; Natalia Quintero, Apoyo Estaciones Automáticas y Monitoreo, Sandra Patiño, Responsable Operación Agua Subterráneas; Diana Álvarez, Responsable Componente Comunicaciones; William Fernando Isaza Marulanda, Componente Financiero.

Abril 2020, Medellín



CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	8
1 OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO.....	9
1.1 ESTADO DE LA RED DE MONITOREO.....	10
1.2 MONITOREO PIEZOMÉTRICO	14
1.2.1 Red piezométrica.....	14
1.2.2 Monitoreos piezométricos realizados durante la adición.....	19
1.2.3 Análisis de la evolución de los niveles	38
1.3 MONITOREO ISOTÓPICO.....	48
2 IMPLEMENTACIÓN DE LA PLATAFORMA WEB PARA EL COMPONENTE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	52
2.1 REVISIÓN DE INFORMACIÓN y AJUSTES EN LA ESTRUCTURA Y DISEÑO DE LA PLATAFORMA WEB	52
2.2 EVALUACIÓN DE TÉCNICAS DE INTERPOLACIÓN PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE CREACIÓN DE SUPERFICIES PIEZOMÉTRICAS	54
3 FORTALECIMIENTO Y TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO DE LA RED DE MONITOREO HIDROGEOLOGÍA	58
4 REFLEXIONES FINALES Y PROYECCIONES FUTURAS DE LA RED DE MONITOREO HIDROGEOLOGÍA.....	59
5 REFERENCIAS.....	62

TABLAS

Tabla 1. Red de Monitoreo Hidrogeológico del Valle de Aburrá.....	11
Tabla 2. Información de operación de la Red de monitoreo piezométrico, 2010-2019.....	14
Tabla 3. Puntos que presentaron inconvenientes y novedades en el monitoreo de diciembre del 2019.....	19
Tabla 4. Resultados de la piezometría de diciembre del 2019.....	19
Tabla 5. Resultados de los manantiales de diciembre del 2019	21
Tabla 6. Puntos que presentaron inconvenientes y novedades en el monitoreo de enero de 2020	23

Tabla 7. Resultados de la piezometría de enero del 2020	23
Tabla 8. Puntos que presentaron inconvenientes y novedades en el monitoreo de febrero de 2020	27
Tabla 9. Resultados de la piezometría de febrero del 2020	27
Tabla 10. Puntos que presentaron inconvenientes y novedades en el monitoreo de marzo de 2020	31
Tabla 11. Resultados de la piezometría de marzo de 2020	32
Tabla 12. Estadísticos básicos para los niveles medidos entre diciembre 2019 a marzo 2020...	36
Tabla 13. Información obtenida en los monitoreos isotópicos.....	50
Tabla 14. Error cuadrático medio (RMSE) para los datos históricos con distintos modelos	55
Tabla 15. Resumen de los resultados de los modelos.....	56

FIGURAS

Figura 1. Distribución de los puntos que conforman la red de monitoreo.....	10
Figura 2. Red de Monitoreo Hidrogeológico del Valle de Aburrá	13
Figura 3. Puntos de agua pertenecientes a la red de monitoreo piezométrica durante la operación de la red entre el año 2010 y 2020	16
Figura 4. Red de monitoreo piezométrico a marzo de 2020	17
Figura 5. Histórico de mediciones de nivel estático y dinámico	18
Figura 6. Superficie piezométrica de diciembre del 2019.....	22
Figura 7. Superficie piezométrica de enero del 2020.....	26
Figura 8. Superficie piezométrica de febrero del 2020.....	30
Figura 9. Superficie piezométrica de marzo del 2020	35
Figura 10. Fluctuaciones del nivel piezométrico entre meses consecutivos entre diciembre 2019 y marzo 2020	37

Figura 11. Superficies con niveles estáticos y dinámicos	42
Figura 12. Hidrogramas del sector norte del acuífero libre	45
Figura 13. Hidrogramas del sector centro del acuífero libre.....	46
Figura 14. Hidrogramas del sector sur del acuífero libre.....	47
Figura 15. Ubicación de totalizadores de agua lluvia.....	51
Figura 16. Interfaz web mapping componente de aguas subterráneas.....	53
Figura 17. Superficies piezométricas Kriging Empírico Bayesiano, EBK y Kriging Ordinario	58



AUNAR ESFUERZOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL MARCO DE LA OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ – MEDELLÍN



INTRODUCCIÓN

El sistema acuífero del Valle de Aburrá representa una fuente alternativa de abastecimiento para la población y el desarrollo de actividades productivas. Este sistema ha sido objeto de estudios de evaluación e investigación por parte de diferentes actores institucionales y académicos desde el año 2002.

El sistema acuífero del Valle de Aburrá cuenta con una red de monitoreo que fue implementada en el marco del proyecto RedRío (Convenio 397 del 2009), su operación inició en julio de 2010 y se extendió durante 10 meses. En el año 2012, con el convenio CA 421 del 2012 se reactivó la red operando entre octubre de 2012 y mayo de 2014; posteriormente mediante el convenio 368 de 2014 se hizo seguimiento periódico de las aguas subterráneas entre octubre de 2014 y julio de 2016 y se implementó la primera fase del Plan de Manejo Ambiental del Acuífero -PMAA-. Recientemente (convenio 1050 de 2016) se ejecutó la fase de formulación del PMAA, y se continuó con la operación de la red de monitoreo, este convenio tuvo además tres adiciones que dieron continuidad a esta operación entre febrero de 2018 y febrero de 2019. Convenios celebrados entre la Universidad de Antioquia -UdeA- y el Área Metropolitana del Valle de Aburrá -AMVA-. Durante las fases de diagnóstico y formulación PMAA se visibilizó la Red de Monitoreo Hidrogeológico como un actor clave dentro de la gestión del acuífero con la cual era necesario trabajar para lograr el reconocimiento entre los usuarios de su ejercicio como red.

En julio de 2019 la UdeA y el AMVA suscribieron el convenio 643 de 2019, que buscaba dar continuidad al monitoreo piezométrico, hidrogeoquímico, isotópico y de calidad, y continuar con el acompañamiento a los trabajos desarrollados con la Mesa Metropolitana del Acuífero del Valle de Aburrá y los usuarios de la Red de Monitoreo Hidrogeológico.

Dadas las necesidades de continuar con el monitoreo piezométrico e isotópico, desarrollar actividades relacionadas con la revisión y validación de información ingresada en la plataforma web de aguas subterráneas y participar en el proceso de fortalecimiento y transferencia del conocimiento de la Red de Monitoreo Hidrogeológico, se realizó una modificación al convenio 643 de 2019 desde el 04 de diciembre de 2019 al 04 de abril de 2020. Este documento da cuenta del cumplimiento de las actividades acordadas en dicha modificación que comprenden la realización de campañas de monitoreo piezométrico y monitoreos isotópicos de agua lluvia, además de la participación en las actividades mencionadas anteriormente.

El documento está estructurado en cinco capítulos así: en el primer capítulo se presenta la operación de la red de monitoreo, que incluye el estado de la red de monitoreo, los resultados de las campañas piezométricas e isotópicas y el análisis de la evolución de la red piezométrica desde el inicio de su operación en el año 2010; el capítulo dos da cuenta del proceso de revisión de información piezométrica, hidrogeoquímica e isotópica consignada en la plataforma web y algunos avances en la revisión de la posibilidad de implementar un modelo bayesiano para la construcción de las superficies piezométricas en el módulo de web mapping de la plataforma; el capítulo tres presenta el resultado del acompañamiento al proceso de fortalecimiento y transferencia de conocimiento de la Red de Monitoreo Hidrogeológico; en el capítulo cuatro se describe una propuesta de proyección a futuro de la red de monitoreo hidrogeológico y algunas reflexiones finales y por último en capítulo cinco se presentan las referencias bibliográficas.



1 OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO

La Red de Monitoreo Hidrogeológico del Valle de Aburrá fue diseñada y puesta en operación desde el año 2010. La red comprende el análisis de cuatro aspectos importantes en la dinámica del recurso hídrico subterráneo, que son:

- La piezometría, con la cual es posible hacer un seguimiento a las oscilaciones del nivel piezométrico tanto en condiciones naturales (nivel estático) como por efecto de la utilización del agua subterránea (nivel dinámico), esto ayuda además de conocer cómo se mueve el agua subterránea dentro del sistema acuífero, a estimar las zonas donde se recarga y se descarga el agua subterránea, identificar los puntos donde se presente sobreexplotación del recurso dentro del sistema acuífero (esto sin ser necesariamente los puntos que pertenecen a la red quienes estén sobreexplotando el acuífero), identificar anomalías en las direcciones de flujo que son ocasionadas por acciones antrópicas como proyectos de desarrollo, construcciones de edificaciones, entre otros, variaciones en las tasas de recarga del acuífero, interacciones con otros cuerpos de agua superficial como el Río Medellín, además de identificar la respuesta del acuífero ante los diferentes periodos hidrológicos.
- La calidad del agua, que permite conocer la aptitud del agua para un uso particular como el abastecimiento de la población, el uso industrial, el uso agrícola, entre otros, basado en el análisis de sus características físicas y químicas. Conocer estas características son importantes para identificar las afectaciones que puede tener el agua derivada de fuentes antrópicas que se desarrollan en la superficie y en la atmósfera que pueden limitar el uso del agua para algunos usos particulares. Además, conocer la calidad del agua y realizar un monitoreo permanente de la misma permite identificar si se está presentando contaminación puntual (por ejemplo, la fuga de un pozo séptico) o difusa (por ejemplo, fugas generalizadas en los sistemas de alcantarillado) en los sistemas acuíferos y tomar medidas para corregirla a tiempo. Es necesario tener en cuenta que la contaminación de los acuíferos es difícil de remediar y algunas ocasiones, no es económicamente viable realizarlo. Dentro del monitoreo de la calidad del agua se debe tener en cuenta la normatividad vigente, que regula los valores admisibles de algunos parámetros para los diferentes usos, estas son: Resolución 2115 de 2007 y el Decreto 1594 del 1984.
- La hidrogeoquímica, que tiene como propósito explorar los procesos que controlan la composición química del agua subterránea, así como interpretar el origen del agua del acuífero y las zonas de recarga, identificar las posibles interacciones agua superficial-agua subterránea, validar las direcciones de flujo del agua obtenidas mediante las superficies piezométricas, e identificar relaciones existentes con otros sistemas acuíferos. Un cambio en el comportamiento de la hidrogeoquímica del acuífero permite identificar modificaciones en las condiciones de flujo, la calidad del recurso, si existen cambios en la entrada de agua al sistema. Además, la hidrogeoquímica es una herramienta que ayuda a responder preguntas específicas que se tienen del modelo hidrogeológico conceptual y del funcionamiento del acuífero. También puede ayudar a identificar los impactos o relaciones que tienen algunas actividades económicas y productivas que pueden modificar el funcionamiento del acuífero.
- La isotopía, que nos permite realizar una validación de las zonas de recarga y con trazadores específicos conocer la edad del agua en el sistema acuífero, esto la hace una herramienta fundamental en el sentido en que con un conocimiento preciso de donde se localiza la recarga

del sistema se pueden tomar medidas de gestión necesarias para su protección. Se busca también, conocer la edad que tiene el agua en el sistema, lo que nos permite, entre otras cosas, establecer las tasas de recarga de dicho sistema.

Durante la Modificación N°1 del convenio 643 de 2019 se continuó con la operación de la red de monitoreo, definiéndose la realización de campañas de monitoreo piezométrico y de monitoreo isotópico de agua lluvia, el registro fotográfico de estas campañas se encuentra en el Anexo 1. En este capítulo se describe el estado de la red y los puntos que la conforman a marzo de 2020, las campañas de monitoreo definidas en los alcances de la adición, y la actualización de la evolución piezométrica a marzo de 2020.

1.1 ESTADO DE LA RED DE MONITOREO

La red se encuentra conformada a marzo de 2020, por 114 puntos de agua entre aljibes (71), pozos (14), piezómetros (11), manantiales (8), totalizadores de agua lluvia (5) y puntos de agua superficial (5). La red de monitoreo, compuesta por los 114 puntos de muestreo, como ya se dijo, está compuesta a su vez por varias redes dependiendo de las variables a monitorear en: i) red piezométrica, ii) red de calidad, iii) red hidrogeoquímica, y iv) red isotópica. En la Figura 1 y Tabla 1 (Anexo 2) se puede observar los puntos que actualmente hacen parte de cada una de las redes de monitoreo y en la Figura 2 su distribución espacial.

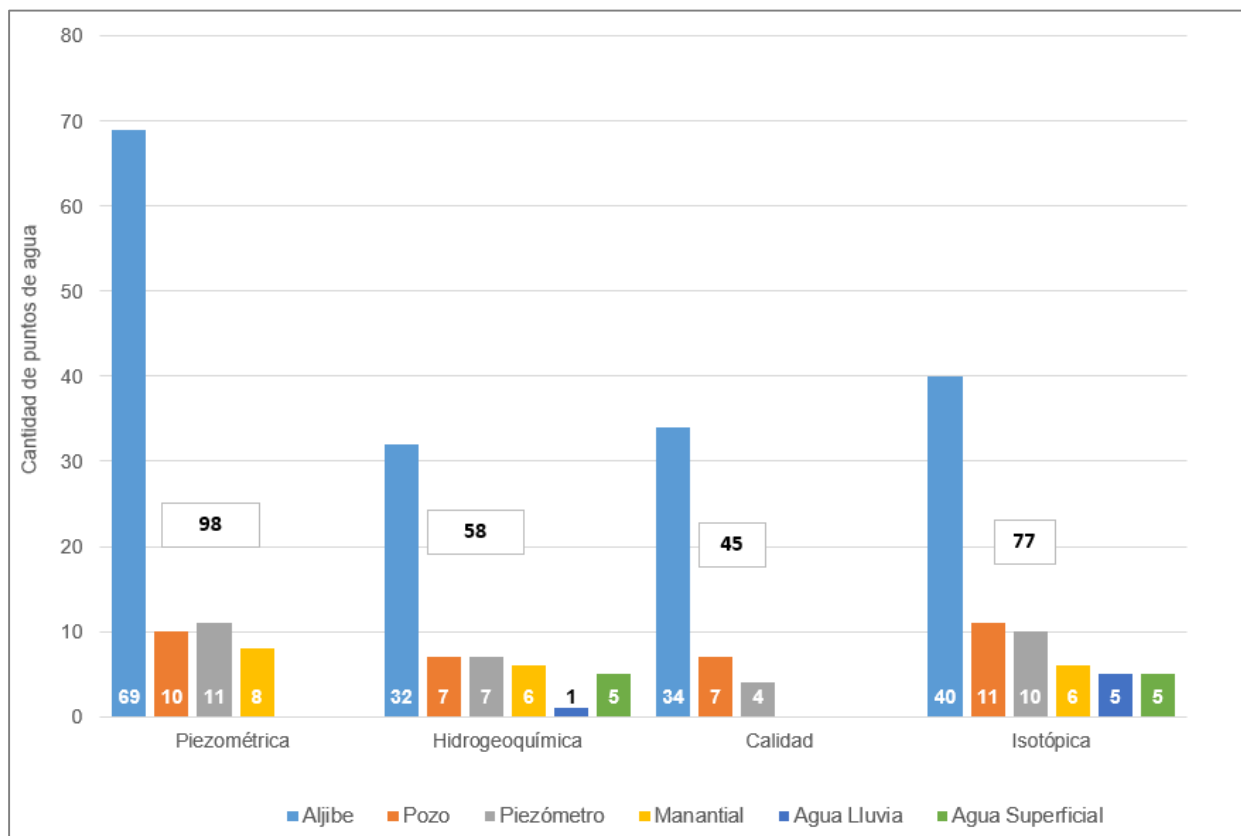


Figura 1. Distribución de los puntos que conforman la red de monitoreo.

Tabla 1. Red de Monitoreo Hidrogeológico del Valle de Aburrá

#	CÓDIGO	COORD ESTE	COORD NORTE	COTA m.s.n.m	TIPO PUNTO DE AGUA	ACUÍFERO QUE CAPTA	RED DE MONITOREO			
1	Ba_A_001	860943	1204066	1280	Aljibe	Libre	Pz		Calidad	
2	Ba_GEO_0069	853022	1200813	1329	Piezómetro	Libre	Pz		Calidad	Isotópica
3	Ba_GEO_0070	861858	1203092	1387	Piezómetro	Libre	Pz		Calidad	Isotópica
4	Ba_HID_0005	859420	1202606	1361	Manantial	Libre	Pz	Hggca		Isotópica
5	Ba_HID_0007	853624	1201591	1356	Manantial	Libre	Pz	Hggca		Isotópica
6	Be_A_014	836184	1192585	1441	Aljibe	Libre	Pz			
7	Be_A_018	835857	1191534	1441	Aljibe	Libre	Pz			
8	Be_A_019	838374	1192233	1440	Aljibe	Libre	Pz			
9	Be_A_022	836335	1189692	1444	Aljibe	Libre	Pz		Calidad	
10	Be_A_030	837201	1192615	1422	Aljibe	Libre	Pz			
11	Be_A_039	835570	1193626	1450	Aljibe	Libre	Pz			
12	Be_A_048	836462	1192197	1426	Aljibe	Libre	Pz		Calidad	Isotópica
13	Be_A_057	837119	1192592		Aljibe	Libre			Calidad	Isotópica
14	Be_M_023	836947	1189844	1481	Manantial	Libre	Pz			Isotópica
15	Ca_HID_0005	827399	1166359	1737	Manantial	Libre	Pz	Hggca		
16	Co_A_008	841221	1193958	1405	Aljibe	Libre	Pz		Calidad	Isotópica
17	Co_A_014	839318	1192625	1422	Aljibe	Libre	Pz		Calidad	
18	Co_GEO_0032	840171	1193023	1415	Piezómetro	Libre	Pz	Hggca	Calidad	Isotópica
19	Co_HID_0005	840116	1193313	1358	Manantial	Libre	Pz	Hggca		Isotópica
20	En_A_001	833553	1173070	1620	Aljibe	Libre	Pz	Hggca		
21	En_A_027	833058	1175025	1544	Aljibe	Libre	Pz			
22	Es_A_001	826682	1173201	1765	Aljibe	Libre	Pz		Calidad	Isotópica
23	Es_A_012	827849	1172352	1631	Aljibe	Libre	Pz			
24	Es_A_037	828112	1169532	1696	Aljibe	Libre	Pz	Hggca	Calidad	
25	Es_GEO_0016	827304	1173411	1703	Piezómetro	Libre	Pz	Hggca		Isotópica
26	Es_P_024	827774	1172973	1662	Pozo	Libre	Pz	Hggca		Isotópica
27	Es_P_038	828052	1169463		Pozo	Semiconfinado		Hggca	Calidad	Isotópica
28	Gi_GEO_0041*	849030	1198740	1337	Piezómetro	Libre	Pz	Hggca	Calidad	Isotópica
29	It_A_004	832056	1175253	1530	Aljibe	Libre	Pz	Hggca	Calidad	Isotópica
30	It_A_009	832308	1175335		Aljibe	Libre	Pz	Hggca	Calidad	Isotópica
31	It_A_040	829540	1173929	1583	Aljibe	Libre	Pz			
32	It_A_054	828703	1174178	1608	Aljibe	Libre	Pz	Hggca		Isotópica
33	It_A_094	830408	1174636	1564	Aljibe	Libre	Pz	Hggca	Calidad	Isotópica
34	It_A_103	832347	1176827	1517	Aljibe	Libre	Pz		Calidad	Isotópica
35	It_P_009	832308	1175335		Pozo	Semiconfinado	Pz	Hggca	Calidad	Isotópica
36	It_P_016	830193	1173714	1560	Pozo	Libre	Pz	Hggca	Calidad	Isotópica
37	It_P_107	831921	1176363	1527	Pozo	Semiconfinado	Pz	Hggca	Calidad	Isotópica
38	Me_A_009	834202	1179240	1489	Aljibe	Libre	Pz		Calidad	Isotópica
39	Me_A_024	834790	1179879	1479	Aljibe	Libre	Pz			
40	Me_A_036	834578	1180726	1479	Aljibe	Libre	Pz		Calidad	Isotópica
41	Me_A_044	834906	1179454	1538	Aljibe	Libre	Pz	Hggca		Isotópica
42	Me_A_056	836710	1179291	1791	Aljibe	Libre	Pz			
43	Me_A_091	834854	1182029	1502	Aljibe	Libre	Pz			
44	Me_A_103	836323	1182237	1541	Aljibe	Libre	Pz		Calidad	Isotópica
45	Me_A_116	835615	1183174	1491	Aljibe	Libre		Hggca	Calidad	Isotópica
46	Me_A_117	835271	1183489	1474	Aljibe	Libre	Pz	Hggca	Calidad	Isotópica
47	Me_A_121	835736	1183664	1494	Aljibe	Libre	Pz			
48	Me_A_134	834891	1183767	1470	Aljibe	Libre	Pz	Hggca		Isotópica
49	Me_A_151	835552	1185220	1469	Aljibe	Libre	Pz		Calidad	Isotópica
50	Me_A_154	835623	1184714	1482	Aljibe	Libre	Pz	Hggca	Calidad	Isotópica
51	Me_A_159	834913	1184772	1458	Aljibe	Libre	Pz		Calidad	
52	Me_A_183	835447	1186164	1463	Aljibe	Libre	Pz		Calidad	Isotópica
53	Me_A_186	835532	1186595	1509	Aljibe	Libre	Pz		Calidad	Isotópica
54	Me_A_223	832920	1177324	1508	Aljibe	Libre	Pz			
55	Me_A_228	833102	1177645	1505	Aljibe	Libre	Pz		Calidad	Isotópica
56	Me_A_310	833167	1180597	1484	Aljibe	Libre	Pz			
57	Me_A_327	830039	1181355	1576	Aljibe	Libre	Pz	Hggca	Calidad	Isotópica



UNAR ESFUERZOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL MARCO DE LA OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ – MEDELLÍN



#	CÓDIGO	COORD ESTE	COORD NORTE	COTA m.s.n.m	TIPO PUNTO DE AGUA	ACUÍFERO QUE CAPTA	RED DE MONITOREO			
58	Me_A_328	829546	1181479	1607	Aljibe	Libre	Pz	Hggca	Calidad	Isotópica
59	Me_A_331	830781	1181246	1545	Aljibe	Libre	Pz	Hggca	Calidad	Isotópica
60	Me_A_340	828869	1182694	1503	Aljibe	Libre	Pz	Hggca	Calidad	Isotópica
61	Me_A_343	830357	1181908	1567	Aljibe	Libre	Pz	Hggca		Isotópica
62	Me_A_345	830696	1183152	1538	Aljibe	Libre	Pz			
63	Me_A_350	831139	1183664	1515	Aljibe	Libre	Pz			
64	Me_A_360	830459	1184035	1513	Aljibe	Libre	Pz			
65	Me_A_365	833589	1181163	1478	Aljibe	Libre	Pz	Hggca	Calidad	Isotópica
66	Me_A_368	832376	1181096	1503	Aljibe	Libre	Pz	Hggca	Calidad	Isotópica
67	Me_A_369	831601	1181145	1514	Aljibe	Libre	Pz	Hggca	Calidad	Isotópica
68	Me_A_387	832997	1182950	1474	Aljibe	Libre	Pz	Hggca		Isotópica
69	Me_A_389	833442	1182786	1471	Aljibe	Libre	Pz			
70	Me_A_390	832279	1182696	1489	Aljibe	Libre	Pz	Hggca	Calidad	Isotópica
71	Me_A_392	831901	1182596	1498	Aljibe	Libre	Pz	Hggca		Isotópica
72	Me_A_397	831232	1182417	1525	Aljibe	Libre	Pz	Hggca		
73	Me_A_406	833281	1183402	1468	Aljibe	Libre	Pz			
74	Me_A_411	833676	1183683	1467	Aljibe	Libre	Pz	Hggca	Calidad	Isotópica
75	Me_A_413	831989	1184500	1492	Aljibe	Libre	Pz	Hggca		
76	Me_A_419	833163	1184095	1477	Aljibe	Libre	Pz	Hggca		Isotópica
77	Me_A_431	831963	1184921	1502	Aljibe	Libre	Pz	Hggca		Isotópica
78	Me_A_432	832871	1185126	1496	Aljibe	Libre	Pz		Calidad	
79	Me_A_441	833982	1185742	1477	Aljibe	Libre	Pz	Hggca		Isotópica
80	Me_A_443	834594	1185625	1462	Aljibe	Libre	Pz	Hggca		Isotópica
81	Me_A_451	834399	1187790	1559	Aljibe	Libre	Pz			
82	Me_A_455	834867	1186458	1454	Aljibe	Libre	Pz			
83	Me_A_458	834238	1186144	1473	Aljibe	Libre	Pz			
84	Me_A_485	825639	1175933	1870	Aljibe	Libre	Pz	Hggca		Isotópica
85	Me_GEO_0108	832630	1181507	1487	Piezómetro	Libre	Pz			Isotópica
86	914	827289	1164355	1794	Manantial	Libre	Pz			Isotópica
87	Me_HID_0007	831090	1188139	2049	Manantial	Libre	Pz	Hggca		Isotópica
88	Me_HID_0013	837689	1175177	1454	Manantial	Libre	Pz	Hggca		
89	Me_HID_0014	839715	1178274	2645	Aljibe	Dunita	Pz	Hggca		Isotópica
90	Me_P_014	834622	1178838	1521	Pozo	Libre	Pz			
91	Me_P_197	833372	1179717	1490	Pozo	Semiconfinado	Pz			
92	Me_P_248	833397	1178981	1493	Pozo	Semiconfinado	Pz			Isotópica
93	Me_P_271	833874	1179410	1487	Pozo	Semiconfinado	Pz	Hggca		Isotópica
94	Me_P_284	833947	1180494	1479	Pozo	Libre	Pz			
95	Me_P_285	833981	1180382	1480	Pozo	Libre			Calidad	Isotópica
96	Me_P_286	833996	1180362	1480	Pozo	Libre			Calidad	Isotópica
97	Me_P_287	833963	1180336	1480	Pozo	Libre			Calidad	Isotópica
98	PZ_02	827550	1186947	1981	Piezómetro	Libre	Pz	Hggca		Isotópica
99	PZ_03	823940	1175288	2088	Piezómetro	Libre	Pz	Hggca		Isotópica
100	PZ_04	823819	1175892	2142	Piezómetro	Libre	Pz	Hggca		Isotópica
101	PZ_05	864935	1206933	1374	Piezómetro	Libre	Pz	Hggca		Isotópica
102	SPR_01	835033	1185156	1466	Agua Lluvia	-		Hggca		Isotópica
103	SPR_02	844372	1185287	2445	Agua Lluvia	-				Isotópica
104	SPR_03	837509	1176327	2144	Agua Lluvia	-				Isotópica
105	SPR_04	828627	1180210	1672	Agua Lluvia	-				Isotópica
106	SPR_05	828152	1165431	1772	Agua Lluvia	-				Isotópica
107	SPS_01	835239	1183135	0	Agua Superficial	-		Hggca		Isotópica
108	SPS_02	831915	1181521	0	Agua Superficial	-		Hggca		Isotópica
109	SPS_03	831921	1179430	0	Agua Superficial	-		Hggca		Isotópica
110	SPS_04	833781	1178066	0	Agua Superficial	-		Hggca		Isotópica
111	SPS_05	829556	1174592	0	Agua Superficial	-		Hggca		Isotópica
112	St_P_010	829023	1172494	1592	Pozo	Libre	Pz	Hggca		Isotópica
113	PZ_01	827890	1165884	1740	Piezómetro	Libre	Pz			
114	Me_A_522	835890	1182452		Aljibe		Pz	Hggca	Calidad	Isotópica

*Red Nacional, Pz: Piezométrica, Hggca: hidrogeoquímica

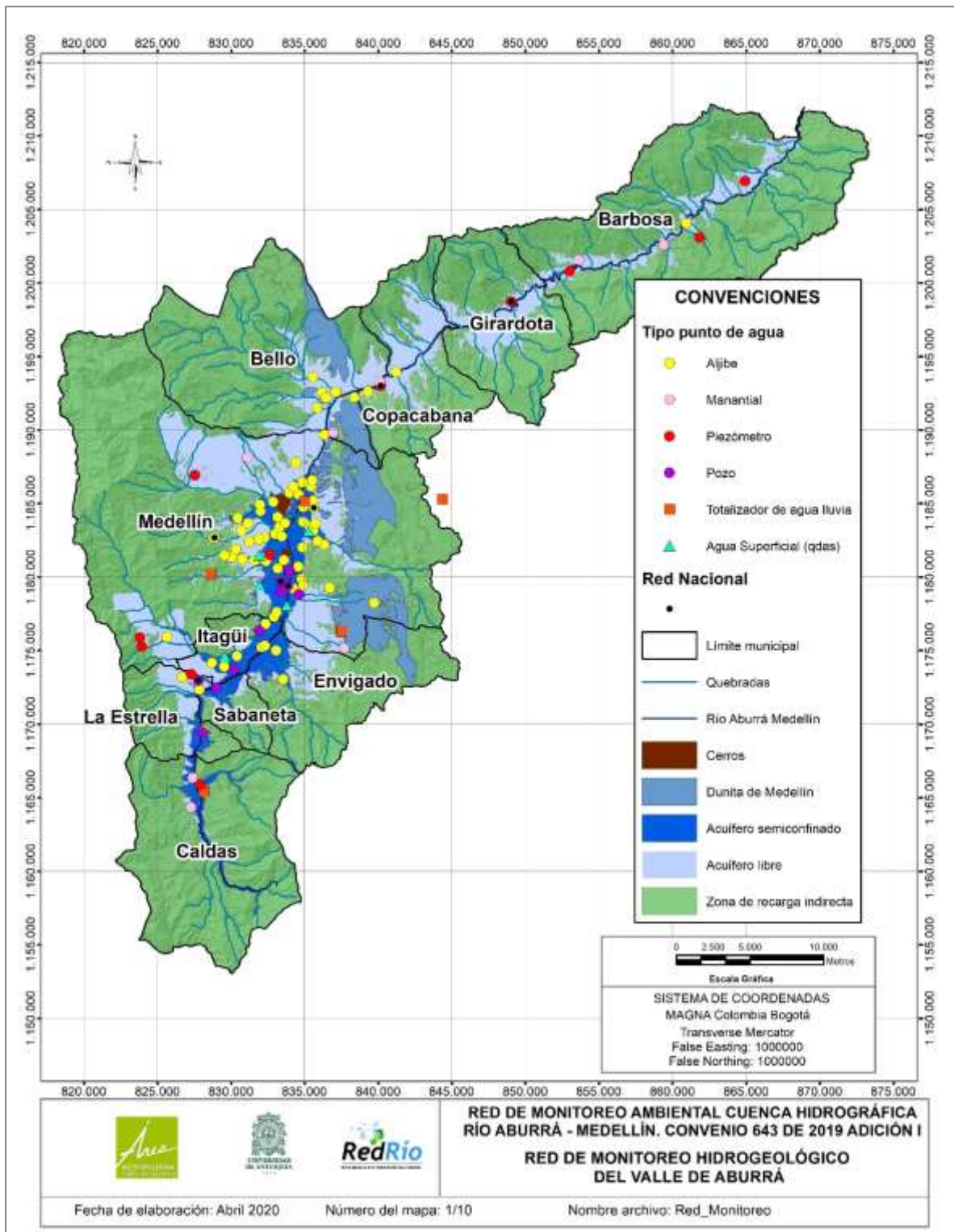


Figura 2. Red de Monitoreo Hidrogeológico del Valle de Aburrá

1.2 MONITOREO PIEZOMÉTRICO

1.2.1 Red piezométrica

Esta red de monitoreo se encuentra conformada por 98 puntos de agua. Durante el periodo Adición 1 del convenio 643 del 2019, se realizaron monitoreos piezométricos mensuales en todos los puntos que hacen parte de la red y se analizó la evolución del nivel piezométrico durante los años de operación de la red. En la Tabla 2 se presenta un resumen de las campañas de monitoreo piezométrico realizadas entre los años 2010 y 2020.

Tabla 2. Información de operación de la Red de monitoreo piezométrico, 2010-2019

CONVENIO	AÑO	PUNTOS EN LA RED	FECHA INICIO	FECHA FINAL	PUNTOS MONITOREADOS	NÚMERO DE CAMPAÑA	
Convenio 397 de 2009	2010	84	8/07/2010	30/07/2010	81	1	
			17/08/2010	23/08/2010	80	2	
			13/09/2010	15/09/2010	82	3	
			19/10/2010	25/10/2010	82	4	
			16/11/2010	29/11/2010	83	5	
	2011		11/01/2011	13/01/2011	80	6	
			14/03/2011	18/03/2011	79	7	
Convenio 421 de 2012	2012	88	22/10/2012	29/10/2012	82	8	
			19/11/2012	26/11/2012	82	9	
			17/12/2012	21/12/2012	77	10	
	2013		21/01/2013	22/01/2013	81	11	
			27/02/2013	5/03/2013	78	12	
			21/03/2013	22/03/2013	74	13	
			22/04/2013	23/04/2013	77	14	
			20/05/2013	21/05/2013	77	15	
			24/06/2013	25/06/2013	77	16	
			22/07/2013	23/07/2013	79	17	
			20/08/2013	26/08/2013	78	18	
			23/09/2013	24/09/2013	75	19	
			21/10/2013	22/10/2013	74	20	
			18/11/2013	19/11/2013	78	21	
			2014	24/02/2014	25/02/2014	73	22
				17/03/2014	18/03/2014	71	23
				28/04/2014	7/05/2014	72	24
				15/05/2014	16/05/2014	73	25
14/10/2014	17/10/2014	77		26			
Convenio 368 de 2014	2014	81	18/11/2014	24/11/2014	75	27	
			16/12/2014	17/12/2014	72	28	
			19/01/2015	20/01/2015	74	29	
			16/02/2015	17/02/2015	75	30	
	2015		16/03/2015	19/03/2015	74	31	
			20/04/2015	21/04/2015	78	32	
			19/05/2015	20/05/2015	78	33	
			16/06/2015	17/06/2015	78	34	
			22/07/2015	23/07/2015	80	35	
			18/08/2015	21/08/2015	78	36	
			21/09/2015	22/09/2015	77	37	
			13/10/2015	14/10/2015	73	38	
			17/11/2015	18/11/2015	78	39	
			Convenio 368 de 2014 - Adición I	2016	79	23/02/2016	26/02/2016
28/03/2016	31/03/2016	75				41	
26/04/2016	27/04/2016	73				42	
24/05/2016	25/05/2016	73				43	
20/06/2016	22/06/2016	75				44	



AUNAR ESFUERZOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL MARCO DE LA OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ – MEDELLÍN



CONVENIO	AÑO	PUNTOS EN LA RED	FECHA INICIO	FECHA FINAL	PUNTOS MONITOREADOS	NÚMERO DE CAMPAÑA		
			28/07/2016	28/07/2016	71	45		
Convenio 1050 de 2016	2017	102	23/01/2017	26/01/2017	85	46		
			21/02/2017	23/02/2017	88	47		
			21/03/2017	24/03/2017	83	48		
			19/04/2017	2/05/2017	91	49		
			18/05/2017	22/05/2017	88	50		
			20/06/2017	23/06/2017	89	51		
			17/07/2017	19/07/2017	90	52		
			22/08/2017	29/08/2017	92	53		
			18/09/2017	29/09/2017	90	54		
			17/10/2017	19/10/2017	89	55		
			15/11/2017	17/11/2017	88	56		
					95	15/01/2018	17/01/2018	88
					14/02/2018	16/02/2018	91	59
Convenio 1050 de 2016 Adición I	2018	95	20/03/2018	22/03/2018	90	60		
		96	24/04/2018	26/04/2018	93	61		
			22/05/2018	24/05/2018	91	62		
			12/06/2018	27/06/2018	93	63		
			23/07/2018	24/07/2018	92	64		
97	21/08/2018	23/08/2018	92	65				
Convenio 1050 de 2016 Adición II	2018	96	17/09/2018	19/09/2018	89	66		
		94	23/10/2018	25/10/2018	90	67		
			20/11/2018	23/11/2018	88	68		
Convenio 1050 de 2016 Adición III	2019	94	18/12/2018	20/12/2018	88	69		
			22/01/2019	24/01/2019	90	70		
			19/02/2019	21/02/2019	90	71		
Convenio 643 de 2019	2019	94	13/08/2019	21/08/2019	90	72		
			09/09/2019	23/09/2019	87	73		
			15/10/2019	17/10/2019	86	74		
			19/11/2019	22/11/2019	87	75		
Convenio 643 de 2019 Adición I	2019	95	16/12/2019	18/12/2019	90	76		
			14/01/2020	16/01/2020	90	77		
	2020		14/02/2020	15/02/2020	89	78		
			17/03/2020	18/03/2020	72	79		

1.2.1.1 Variación de puntos de agua de la red de monitoreo desde el año 2010

La Red de Monitoreo Hidrogeológico del Valle de Aburrá desde su diseño ha operado de manera -más o menos- continua, su funcionamiento ha permitido la recolección, y procesamiento de información que posibilita avanzar en el conocimiento de la dinámica del acuífero libre del Valle de Aburrá.

En el año 2016 (Convenio 368 de 2014 -Adición 1) se realizó la reestructuración de la red, con la finalidad de optimizar su operación, para mejorar la calidad y cantidad de información obtenida y refinar el modelo hidrogeológico conceptual. Dentro de este rediseño hizo parte la identificación de vacíos de información y se realizó nuevamente la incorporación de puntos de agua que alimentaran la red, como se puede apreciar en la Figura 3. Adicionalmente fueron ingresando puntos de agua tipo piezómetros construidos en otros proyectos del AMVA y EPM. Sin embargo, puede apreciarse nuevamente un decrecimiento en la cantidad de puntos que actualmente hacen parte de la red. Esto evidencia que es necesario implementar otro tipo de estrategias tanto técnicas como sociales que fortalezcan la red y permitan su adecuada operación.

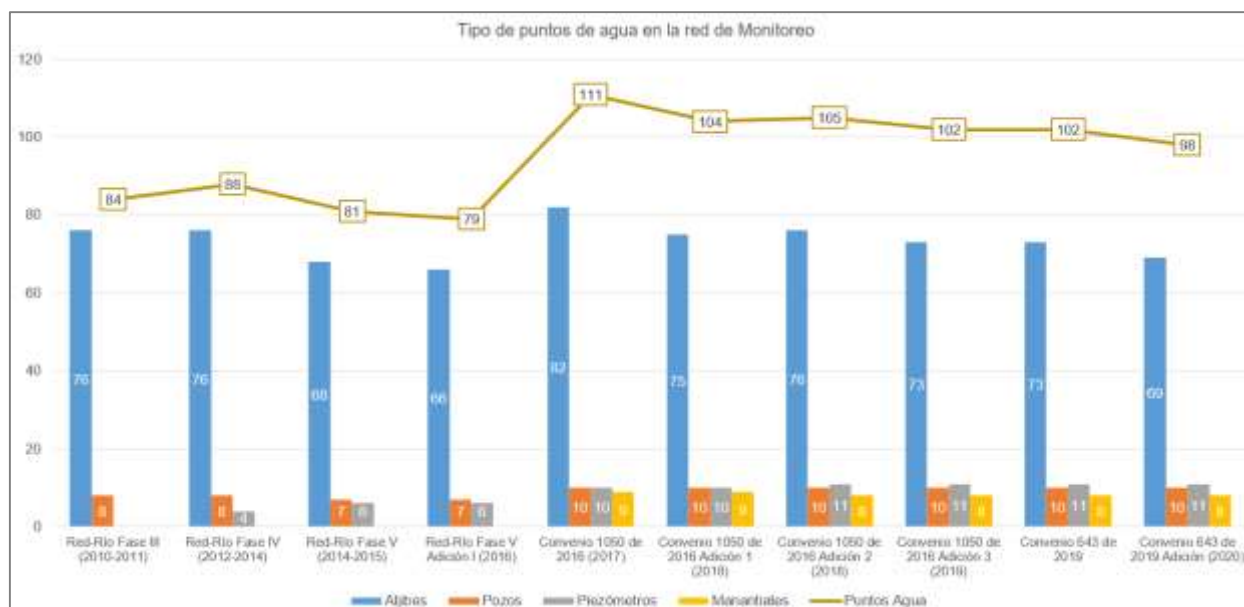


Figura 3. Puntos de agua pertenecientes a la red de monitoreo piezométrica durante la operación de la red entre el año 2010 y 2020

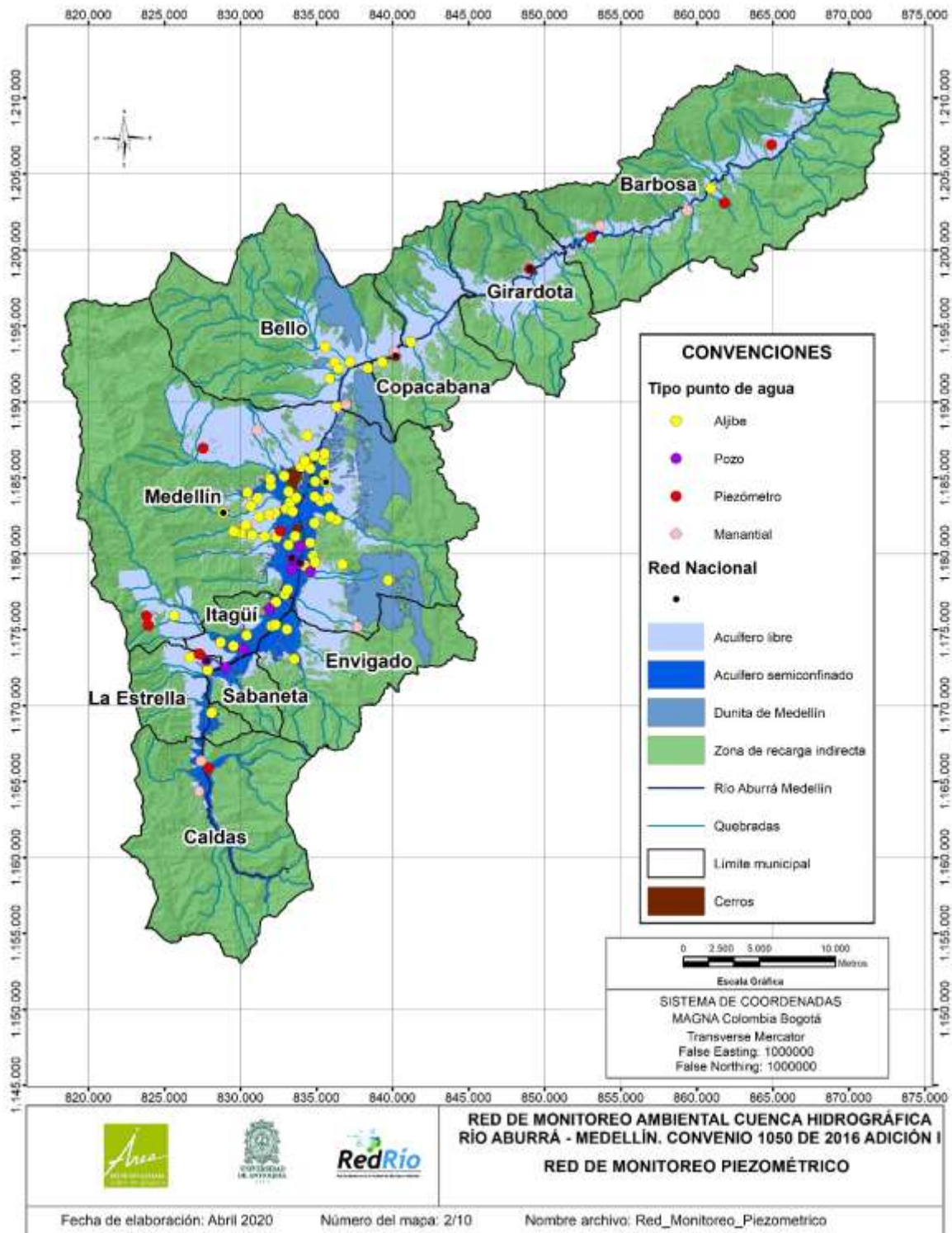


Figura 4. Red de monitoreo piezométrico a marzo de 2020

1.2.1.2 Campañas de monitoreo realizadas

Durante los 10 años de operación de la red de aguas subterráneas, se han logrado realizar, a marzo de 2020, 79 campañas de monitoreo en los diferentes puntos de agua que hacen parte o han hecho parte de la red. De acuerdo con su operación en todos los puntos de agua se mide mensualmente el nivel freático, ya sea dinámico o estático, situación que permite monitorear continuamente el comportamiento del acuífero libre, así como avanzar en el conocimiento de las otras dos unidades hidrogeológicas Acuífero Semiconfinado (6 puntos) y la Dunita de Medellín (1 punto) para las cuales se cuenta con muy pocos puntos de monitoreo (Tabla 1).

Las mediciones de los niveles estáticos permiten conocer las fluctuaciones que se presentan naturalmente en los acuíferos y con su medición es posible identificar las respuestas que este tiene a los eventos de precipitación o a cualquier modificación realizada en el ciclo hidrológico, además de ayudar a identificar impactos de acciones antrópicas realizadas en el acuífero y en las zonas de recarga del sistema. Por su parte los niveles dinámicos están afectados por los bombeos realizados para la extracción de agua, con su medición y la medición de niveles estáticos es posible realizar comparaciones y evidenciar la influencia de la extracción de agua en el acuífero. La red de monitoreo piezométrico al presente está conformada por 98 puntos de agua, de los cuales 69 son aljibes, 10 pozos, 11 piezómetros, y 8 manantiales. En la Figura 5 (Anexo 3) se puede ver el aumento de las mediciones de nivel estático en las campañas de monitoreo, para ello se ha solicitado a los usuarios con antelación el no uso de las captaciones durante la campaña de monitoreo, además de coordinar hora y día para realizar la medición. Es importante mencionar que el uso del agua subterránea ha disminuido de acuerdo con la información levantada en las campañas de monitoreo del año 2020, 49 captaciones de la red de monitoreo reportan que no están utilizando el agua subterránea, representando un 54% de los puntos donde se mide nivel piezométrico que hacen parte de la red.

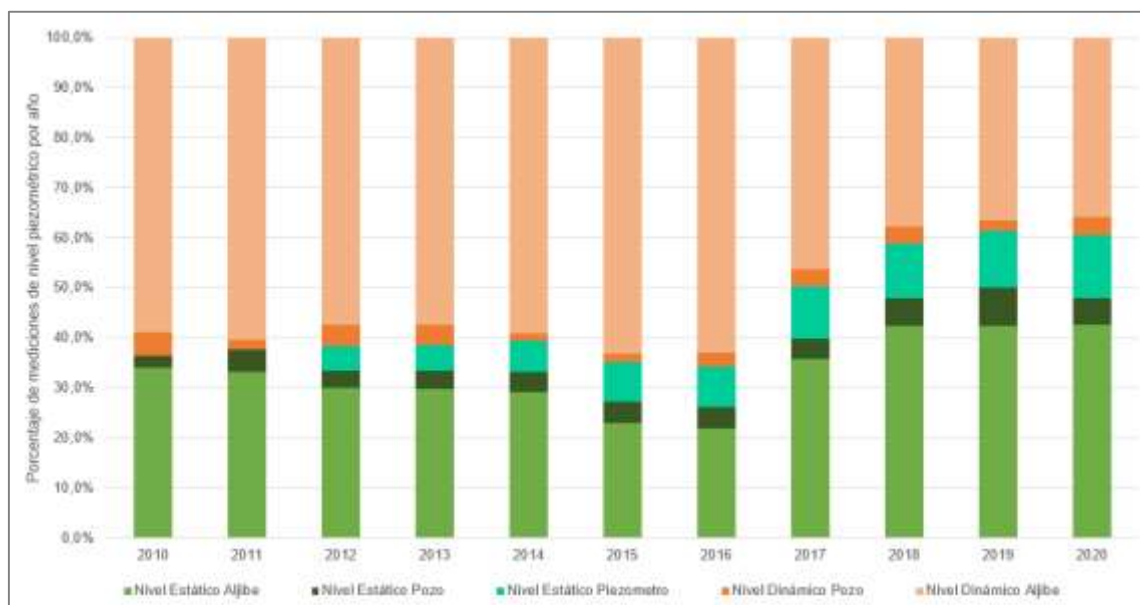


Figura 5. Histórico de mediciones de nivel estático y dinámico

1.2.2 Monitoreos piezométricos realizados durante la adición uno.

Durante la adición uno del convenio 643 de 2019 se contempló la realización de cuatro campañas de monitoreo piezométrico en los meses de diciembre de 2019, enero, febrero y marzo de 2020. En esta última campaña debido a la situación del país generada por el COVID-19 no fue posible realizar el monitoreo piezométrico en 17 puntos que hacen parte de la red.

- **Monitoreo diciembre de 2019**

La campaña de monitoreo piezométrico correspondiente al mes de diciembre de 2019 se realizó entre los días 16, 17 y 18 de diciembre de 2019, se visitaron 95 puntos tipo aljibes y/o pozos donde se midió el nivel piezométrico y 7 manantiales donde se tomaron mediciones de caudal y parámetros fisicoquímicos de campo (estos manantiales se visitan con regularidad cada cuatro meses). En la Tabla 3 se presenta el reporte de los inconvenientes y novedades presentadas en algunos de los puntos de la red de monitoreo y en la Tabla 4 se presentan los resultados de los niveles piezométricos medidos para este mes. En la Tabla 5 se muestran los resultados del monitoreo de los manantiales y en la Figura 6 se presenta el mapa de la superficie piezométrica generada.

Tabla 3. Puntos que presentaron inconvenientes y novedades en el monitoreo de diciembre del 2019

CÓDIGO	NOMBRE	NOVEDAD
Me_A_119	Lavadero y Parqueadero La 46	No se encontró nadie en el lugar
Me_A_431	Parqueadero y Lavadero Pure Detailing	Enviar correo con el día de monitoreo. Programar para los jueves
Me_A_522	Lavautos La 39	Nuevo punto de la red. Realce: 15cm
Es_A_012	Motel Aries	Necesita tapón
En_A_017	SOCYA	El lote está desocupado, no había personal
It_A_102	Sin razón social (Gaula Antioquia)	No se encontró nadie en el lugar
Me_A_334	Lavautos Los Molinos	Posible sellamiento del aljibe por construcción en el lugar.
It_P_009	Artextil	El espacio por donde ingresa la sonda es muy reducido, al momento de ingresarla se queda atorada, por tal motivo no se realizó la medición.
Be_M_023	Manantial Mobil La Autopista	No se pudo medir ya que el punto se encuentra muy seco
Co_HID_0005	Manantial Conasfaltos 120 m	No hay como ingresar al afloramiento del manantial para realizar la medición de caudal, sin embargo, fue posible tomar las propiedades fisicoquímicas del agua del manantial.
914	Manantial Caldas	Lavan vehículos con el agua del manantial
Me_HID_0013	Manantial vía las Palmas	Se aforaron volumétricamente tres corrientes del mismo manantial, se promediaron los caudales de los tres afloros y se sumaron

Tabla 4. Resultados de la piezometría de diciembre del 2019

N o.	Código	Nombre	Norte	Este	Alt. boca (m)	Prof. agua (m)	PZ (m)	Nivel
1	Ba_A_001	Terpel Puerta del Nordeste	1204066	860943	0,00	3,24	1276,41	NE
2	Ba_GEO_0069	Hacienda El Progreso	1200813	853022	0,3	2,51	1326,39	NE
3	Ba_GEO_0070	Planta Potabilizadora de EPM	1203092	861858	0,85	8,34	1379,76	NE
4	Be_A_014	Gimnasio GYM	1192585	836184	0,00	14,45	1426,20	NE
5	Be_A_018	Sede Santa Ana Transportes Hato Viejo	1191534	835857	0,13	9,29	1432,13	NE
6	Be_A_019	Newtrans	1192233	838374	0,09	4,59	1435,01	ND
7	Be_A_022	Estación de Servicio Los Angeles	1189692	836335	0,00	11,73	1431,80	NE
8	Be_A_030	Centro de Diagnóstico Automotor del Norte S.A.	1192615	837201	0,00	5,69	1416,30	NE



UNAR ESFUERZOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL MARCO DE LA OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ – MEDELLÍN



N o.	Código	Nombre	Norte	Este	Alt. boca (m)	Prof. agua (m)	PZ (m)	Nivel
9	Be_A_039	Bellanita de Transportes	1193626	835570	0,00	4,19	1446,13	NE
10	Be_A_048	Parqueadero PH	1192197	836462	0,00	3,91	1422,38	ND
11	Co_A_008	Parqueadero La Asunción	1193958	841221	0,00	4,87	1399,98	ND
12	Co_A_014	Motel Ciudadela Doresky	1192625	839318	0,00	1,39	1420,56	NE
13	Co_GEO_0032*	Caritrans SAS	1193023	840171	0,26	11,17	1404,47	NE
14	En_A_001	Servicentro Casa Motriz	1173070	833553	0,00	16,88	1603,27	ND
15	En_A_017	SOCYA	1173612	831756	0,00	NM	NM	NM
16	En_A_027	Esso Envigado	1175025	833058	0,00	7,3	1536,96	ND
17	Es_A_001	Inversiones Siderense - Parqueadero Terminal	1173201	826682	0,00	12,24	1752,82	ND
18	Es_A_012	Motel Aries	1172352	827849	0,00	1,85	1629,60	NE
19	Es_A_037	Tintorería Industrial Colombiana LTDA	1169532	828112	0,00	8,55	1687,02	ND
20	Es_GEO_0016	Colegio El Divino Salvador	1173411	827304	0,00	3,59	1699,86	NE
21	Es_P_024*	Colorquímica S.A.	1172973	827774	0,00	5,42	1656,52	NE
22	Gi_GEO_0041*	Colgras	1198740	849030	0,56	6,97	1330,87	NE
23	It_A_004	Industrias de Aceros S,A	1175253	832056	0,00	13,28	1516,90	NE
24	It_A_040	Inverenting S.A.S	1173929	829540	0,00	2,3	1580,73	NE
25	It_A_054	Parqueadero Ditaires	1174178	828703	0,90	12,85	1596,52	ND
26	It_A_082	Industrias Metálicas Corsan S.A.	1176521	833190	0,15	3,7	1506,05	NE
27	It_A_094	Parqueadero La 52	1174636	830408	0,00	3,52	1560,41	NE
29	It_A_103	Herrajes Gaher Ltda.	1176827	832347	0,50	4,14	1513,05	NE
30	It_P_016	Mecánicos Unidos S,A	1173714	830193	0,00	2,64	1557,78	ND
31	It_P_107	Proteco S.A.	1176363	831921	1,05	8,03	1519,61	NE
32	Me_A_009	Sociedad Mercantil de Automotores S.A. (Somerauto)	1179240	834202	0,00	3,98	1485,29	ND
33	Me_A_024	Simelca	1179879	834790	0,00	1,85	1477,06	NE
34	Me_A_036	Stella Giraldo de Escobar	1180726	834578	0,00	3	1475,99	NE
35	Me_A_044	Edificio La Compañía	1179454	834906	0,00	3,58	1533,93	NE
36	Me_A_056	El Chuscalito Vivero y Restaurante	1179291	836710	0,00	5,15	1786,21	ND
37	Me_A_091	Lavautos La Oriental	1182029	834854	0,00	8,56	1493,60	ND
38	Me_A_103	Lavadero Buenos Aires	1182237	836323	0,18	14,75	1526,00	ND
39	Me_A_117	Fundación Autónoma de Las Américas (IPS Clínica Odontológica)	1183489	835271	0,00	1,81	1472,10	ND
41	Me_A_121	Cars Milenio	1183664	835736	0,00	3,71	1490,72	ND
42	Me_A_134	Parqueadero Contravía	1183767	834891	0,14	4,4	1465,83	NE
43	Me_A_151	Jardín Botánico de Medellín Joaquín Antonio Uribe	1185220	835552	0,27	7,19	1461,80	NE
44	Me_A_154*	Servicentro Estación Hospital	1184714	835623	0,00	1,79	1480,44	NE
45	Me_A_159	Baldosas Superpisos	1184772	834913	0,06	4,92	1452,71	NE
46	Me_A_183	Parqueadero Moravia	1186164	835447	0,00	3,79	1459,69	NE
47	Me_A_186	Colegio de María	1186595	835532	0,25	15,23	1493,92	NE
48	Me_A_223	Laundry Sink	1177324	832920	0,00	4,72	1502,84	ND
49	Me_A_228	Ferrocortes	1177645	833102	0,00	6,17	1498,54	NE
50	Me_A_310	Parqueadero Paisa	1180597	833167	0,25	2,75	1481,16	NE
51	Me_A_327	Billares El Desquite de La 89	1181355	830039	0,00	2,32	1574,00	NE
52	Me_A_328	Ferrosvel S,A	1181479	829546	0,00	0,6	1606,49	NE
53	Me_A_331	Lavadero y Parqueadero La 83	1181246	830781	0,00	6,36	1539,06	ND
55	Me_A_340*	Terminal Belencito	1182694	828869	0,00	5,44	1497,54	NE
56	Me_A_343	Corporación Universitaria Adventista	1181908	830357	0,00	1,15	1565,56	NE
57	Me_A_345	Parqueadero La 88	1183152	830696	0,00	2,38	1535,24	ND
58	Me_A_350	Autos La Floresta	1183664	831139	0,15	7,01	1507,83	NE
59	Me_A_360	Parqueadero La Isla	1184035	830459	0,00	2,57	1510,49	NE
60	Me_A_365	Almacenes e Industrias Roca S.A.	1181163	833589	0,00	2,86	1474,74	NE
61	Me_A_368	Lavautos y Parqueadero La 30 Belén	1181096	832376	0,35	3,66	1499,62	ND
62	Me_A_369	Parqueadero Belén 30A	1181145	831601	0,00	4,37	1509,77	NE
63	Me_A_387	Estación de Servicio Terpel El Condor	1182950	832997	0,00	4,54	1469,47	NE
64	Me_A_389	Lavautos Bolivariana	1182786	833442	0,00	7,84	1463,50	NE
65	Me_A_390	Estación de Servicio Esso Laureles	1182696	832279	0,33	4,2	1485,00	NE
66	Me_A_392	Restaurante Ego's	1182596	831901	0,17	4,27	1494,25	NE



UNAR ESFUERZOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL MARCO DE LA OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ – MEDELLÍN



N o.	Código	Nombre	Norte	Este	Alt. boca (m)	Prof. agua (m)	PZ (m)	Nivel
67	Me_A_397	Parqueadero y Lavadero Don Quijote	1182417	831232	0,25	8,53	1516,70	ND
68	Me_A_406	JUMBO S.A.	1183402	833281	0,00	3,6	1464,66	NE
69	Me_A_411	Lavadero y parqueadero Suracar	1183683	833676	0,05	5,35	1461,52	ND
70	Me_A_413	Car Wash My Angel	1184500	831989	0,06	4,29	1488,14	ND
71	Me_A_419	Lavadero Lina Restrepo	1184095	833163	0,30	7,6	1469,51	ND
72	Me_A_431	Parqueadero y Lavadero Pure Detailing	1184921	831963	0,00	7,26	1494,27	ND
73	Me_A_432	Tintorería Industrial Diego	1185126	832871	0,00	4,4	1491,42	ND
74	Me_A_441	Parqueadero Córdoba	1185742	833982	0,08	9,63	1467,18	NE
75	Me_A_443	Intermármol	1185625	834594	0,00	4,39	1457,20	ND
76	Me_A_451	Parqueadero y Lavadero San Judas	1187790	834399	0,00	22,63	1536,56	NE
77	Me_A_455	Lavadero de Buses La Terminal	1186458	834867	0,00	10,82	1442,99	ND
78	Me_A_458	Letransportamos a tiempo S,A	1186144	834238	0,19	5,32	1468,12	NE
79	Me_A_485	Parqueadero Costrasana	1175933	825639	0,00	6,4	1863,19	ND
80	Me_GEO_0108	Unidad Deportiva de Belén	1181507	832630	0,13	2,58	1484,41	NE
81	Me_HID_0014	Santa Elena - Finca Tikuna	1178274	839715	0,00	1,4	2643,89	ND
82	Me_P_014	Parqueadero Roseral	1178838	834622	0,00	31,9	1488,78	NE
83	Me_P_197*	Emtelco	1179717	833372	0,00	4,86	1484,71	NE
84	Me_P_248	Parque Industrial Hilanderías	1178981	833397	0,00	3,43	1489,19	NE
85	Me_P_271*	Leonisa S,A (+profundo)	1179410	833874	0,25	3,85	1483,79	NE
86	Me_P_284	Gaseosas Lux-Postobón	1180494	833947	0,00	2,1	1476,88	NE
87	Pz_02	Paulandia	1186947	827550	0,00	12,44	1968,07	NE
88	PZ_03	Finca Manantiales	1175288	823940	0,00	0,79	2087,33	NE
89	PZ_04	Villa Torcoroma	1175892	823819	0,00	8,45	2133,70	NE
90	PZ_05	Finca Los Naranjos	1206933	864935	0,00	11,72	1362,44	NE
91	St_P_010	Andes Cast Metals Foundry LTDA	1172494	829023	0,00	8,84	1582,66	ND
92	It_A_009	Artextil	1175335	832308	0,00	4,83	-	ND
93	It_P_009	Artextil	1175335	832308	0,00	NM	NM	NM
94	PZ_01	Subestación epm-Caldas	1165884,461	827890,576	0,14	1,03	1740,041	NE
95	Me_A_522	Lavautos La 39	1182452	835890	0,15	8,37	-	ND

*Red Nacional

NM: No medido, NE: Nivel estático, ND: Nivel dinámico

Tabla 5. Resultados de las mediciones en los manantiales de diciembre del 2019

Código	Nombre	Caudal [L/s]	Tipo de Aforo	Color	Turbidez	Olor	pH	T (°C)	CE (µS/cm)	STD (mg/L)	O2 (mg/L)
Co_HID_0005	Conasfaltos 120 m	Sin acceso	-	Incoloro	Baja	inodoro	8,43	26,6	1317	5,94	Fuera de rango
Ba_HID_0005	Manantial vía Hatillo-Barbosa	0,09	V	Incoloro	Baja	inodoro	5,62	22,9	42,5	20,64	4,19
Ba_HID_0007	Manantial vía Hatillo-Girardota	0,06	V	Café	Baja	inodoro	6,4	24,8	148,5	70,8	3,77
914	Manantial Caldas	0,06	V	incoloro	Baja	inodoro	5,88	21,9	58	31	6,33
Ca_HID_0005	Fundación Volver a Vivir	0,04	V	incoloro	Baja	inodoro	5,14	23,1	49,3	23,7	6,03
Me_HID_0013	Manantial vía las Palmas	0,004	V	Amarillo	Baja	inodoro	7,75	18,2	90	46,5	7,28
Me_HID_0007	Finca Don Jaime	0,02	V	Incoloro	Baja	Inodoro	6,2	20,7	320	165,7	6,01

V: volumétrico

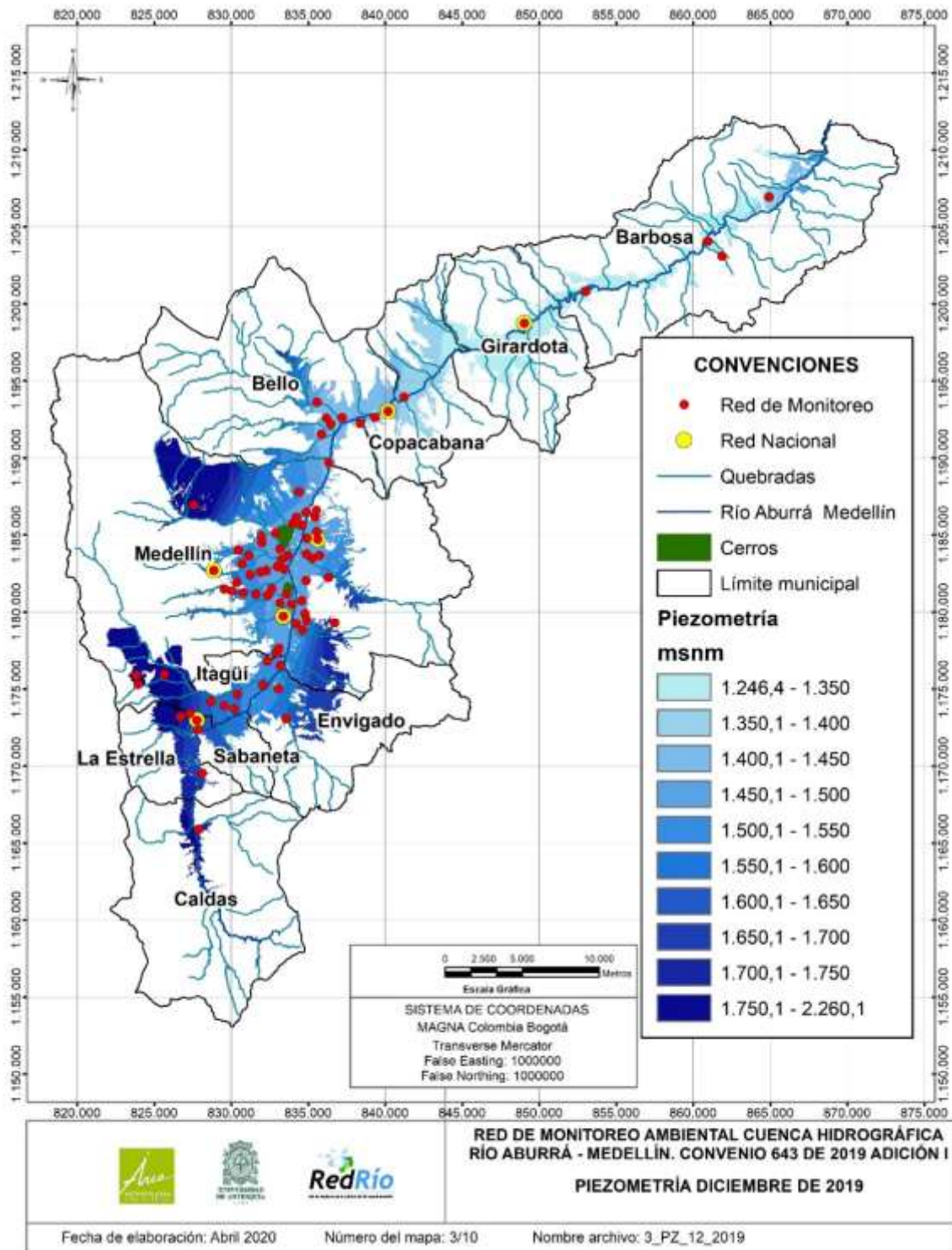


Figura 6. Superficie piezométrica de diciembre del 2019



• **Monitoreo enero de 2020**

Entre los días 14, 15 y 16 de enero del 2020 se realizó la campaña de monitoreo piezométrico del mes de enero, en esta se visitaron los 95 puntos que conformaban la red de monitoreo hidrogeológico. En la Tabla 6 se presenta el reporte de las novedades presentadas en algunos de los puntos de la red de monitoreo. En la Tabla 7 se presentan los resultados de la piezometría obtenidos para este mes y en la Figura 7 el mapa de la superficie piezométrica generada.

Tabla 6. Puntos que presentaron inconvenientes y novedades en el monitoreo de enero de 2020

CÓDIGO	NOMBRE	NOVEDAD
En_A_017	SOCYA	Lote desocupado, no hay personas en el lote
Es_A_001	Inversiones Siderense - Parqueadero Terminal	La medición presenta un nivel más alto respecto a mediciones anteriores, esta fue confirmada 3 veces por el auxiliar, en el sitio informan que es porque no han usado el Aljibe durante 4 días. Se verifico en datos históricos y esta medición concuerda con los niveles estáticos medidos en campañas anteriores.
Es_A_012	Motel Aries	Necesita tapón
It_A_004	Industrias de Aceros S,A	La medición presenta un nivel más alto respecto a mediciones anteriores, esta fue confirmada 3 veces por el auxiliar. Se verifico en datos históricos y esta medición concuerda con los niveles estáticos.
It_A_102	Sin razón social (Antes Gaula Antioquia)	No había personal en el sitio
It_P_016	Mecánicos Unidos S,A	El día 14 de enero de 2020 se atascó la sonda por un problema en la tubería, después de que la empresa solucionará el percance, la medición se tomó el 16 de enero de 2020. El nivel del agua bajo debido al llenado del tanque.
Me_A_334	Lavautos Los Molinos	El punto fue sellado para construir proyecto Molinos Comercial Datos de la persona que informada: Mauricio Ochoa-Arquitecto constructora BHG, tel: 4799801

Tabla 7. Resultados de la piezometría de enero del 2020

No.	Código	Nombre	Norte	Este	Alt. boca (m)	Prof. agua (m)	PZ (m)	Nivel
1	Ba_A_001	Terpel Puerta del Nordeste	1204066	860943	0,00	3,32	1276,33	NE
2	Ba_GEO_0069	Hacienda El Progreso	1200813	853022	0,3	2,92	1325,98	NE
3	Ba_GEO_0070	Planta Potabilizadora de EPM	1203092	861858	0,85	8,48	1379,62	NE
4	Be_A_014	Gimnasio GYM	1192585	836184	0,00	12,98	1427,67	NE
5	Be_A_018	Sede Santa Ana Transportes Hato Viejo	1191534	835857	0,13	8,24	1433,18	NE
6	Be_A_019	Newtrans	1192233	838374	0,09	7,28	1432,32	ND
7	Be_A_022	Distracom Los Ángeles	1189692	836335	0,00	11,96	1431,57	NE
8	Be_A_030	Centro de Diagnóstico Automotor del Norte S.A.	1192615	837201	0,00	5,77	1416,22	NE
9	Be_A_039	Bellanita de Transportes	1193626	835570	0,00	5,48	1444,84	ND
10	Be_A_048	Parqueadero PH	1192197	836462	0,00	3,9	1422,39	ND
11	Co_A_008	Parqueadero La Asunción	1193958	841221	0,00	5,19	1399,66	ND
12	Co_A_014	Motel Ciudadela Doresky	1192625	839318	0,00	1,47	1420,48	NE
13	Co_GEO_0032*	Caritrans SAS	1193023	840171	0,26	11,54	1404,10	NE
14	En_A_001	Servicentro Casa Motriz	1173070	833553	0,00	14,38	1605,77	ND
15	En_A_017	SOCYA	1173612	831756	0,00	NM	NM	NM
16	En_A_027	Esso Envigado	1175025	833058	0,00	7,4	1536,86	ND
17	Es_A_001	Inversiones Siderense - Parqueadero Terminal	1173201	826682	0,00	3,91	1761,15	NE
18	Es_A_012	Motel Aries	1172352	827849	0,00	1,86	1629,59	NE
19	Es_A_037	Tintorería Industrial Colombiana LTDA	1169532	828112	0,00	6,16	1689,41	ND
20	Es_GEO_0016	Colegio El Divino Salvador	1173411	827304	0,00	3,8	1699,65	NE



AUNAR ESFUERZOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL MARCO DE LA OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ – MEDELLÍN



No.	Código	Nombre	Norte	Este	Alt. boca (m)	Prof. agua (m)	PZ (m)	Nivel
21	Es_P_024*	Colorquímica S.A.	1172973	827774	0,00	5,75	1656,19	NE
22	Gi_GEO_0041*	Colgras	1198740	849030	0,56	7,36	1330,48	NE
23	It_A_004	Industrias de Aceros S,A	1175253	832056	0,00	4,95	1525,23	NE
24	It_A_040	Inverenting S.A.S	1173929	829540	0,00	2,58	1580,45	NE
25	It_A_054	Parqueadero Ditaires	1174178	828703	0,90	6,96	1602,41	ND
26	It_A_082	Industrias Metálicas Corsan S.A.	1176521	833190	0,15	3,81	1505,94	NE
27	It_A_094	Parqueadero La 52	1174636	830408	0,00	3,86	1560,07	NE
28	It_A_102	Sin razón social (Gaula Antioquia)	1176637	832145	0,00	NM	NM	NM
29	It_A_103	Herrajes Gaher Ltda.	1176827	832347	0,50	4,36	1512,83	NE
30	It_P_016	Mecánicos Unidos S,A	1173714	830193	0,00	15,47	1544,95	ND
31	It_P_107	Proteco S.A.	1176363	831921	1,05	7,1	1520,54	NE
32	Me_A_009	Sociedad Mercantil de Automotores S.A. (Somerauto)	1179240	834202	0,00	4,25	1485,02	ND
33	Me_A_024	Simelca	1179879	834790	0,00	1,95	1476,96	NE
34	Me_A_036	Stella Giraldo de Escobar	1180726	834578	0,00	3	1475,99	NE
35	Me_A_044	Edificio La Compañía	1179454	834906	0,00	3,97	1533,54	NE
36	Me_A_056	El Chuscalito Vivero y Restaurante	1179291	836710	0,00	7,03	1784,33	ND
37	Me_A_091	Lavautos La Oriental	1182029	834854	0,00	8,97	1493,19	ND
38	Me_A_103	Lavadero Buenos Aires	1182237	836323	0,18	15,21	1525,54	ND
39	Me_A_117	Fundación Autónoma de Las Américas (IPS Clínica Odontológica)	1183489	835271	0,00	1,91	1472,00	ND
40	Me_A_119	Lavadero y Parqueadero La 46	1184187	836130	0,00	NM	NM	NM
41	Me_A_121	Cars Milenio	1183664	835736	0,00	5,47	1488,96	ND
42	Me_A_134	Parqueadero Contravía	1183767	834891	0,14	4,61	1465,62	NE
43	Me_A_151	Jardín Botánico de Medellín Joaquín Antonio Uribe	1185220	835552	0,27	7,36	1461,63	NE
44	Me_A_154*	Servicentro Estación Hospital	1184714	835623	0,00	1,91	1480,32	NE
45	Me_A_159	Baldosas Superpisos	1184772	834913	0,06	5	1452,63	ND
46	Me_A_183	Parqueadero Moravia	1186164	835447	0,00	4,42	1459,06	NE
47	Me_A_186	Colegio de María	1186595	835532	0,25	15,82	1493,33	NE
48	Me_A_223	Laundry Sink	1177324	832920	0,00	4,79	1502,77	ND
49	Me_A_228	Ferrocortes	1177645	833102	0,00	6,2	1498,51	NE
50	Me_A_310	Parqueadero Paisa	1180597	833167	0,25	2,84	1481,07	NE
51	Me_A_327	Billares El Desquite de La 89	1181355	830039	0,00	2,25	1574,07	NE
52	Me_A_328	Ferrosvel S,A	1181479	829546	0,00	0,6	1606,49	NE
53	Me_A_331	Lavadero y Parqueadero La 83	1181246	830781	0,00	6,94	1538,48	ND
54	Me_A_334	Lavautos Los Molinos	1181160	831173	0,00	NM	NM	NM
55	Me_A_340*	Terminal Belencito	1182694	828869	0,00	5,63	1497,35	NE
56	Me_A_343	Corporación Universitaria Adventista	1181908	830357	0,00	1,27	1565,44	NE
57	Me_A_345	Parqueadero La 88	1183152	830696	0,00	2,52	1535,10	ND
58	Me_A_350	Autos La Floresta	1183664	831139	0,15	7,28	1507,56	NE
59	Me_A_360	Parqueadero La Isla	1184035	830459	0,00	3,31	1509,75	NE
60	Me_A_365	Almacenes e Industrias Roca S.A.	1181163	833589	0,00	2,86	1474,74	NE
61	Me_A_368	Lavautos y Parqueadero La 30 Belén	1181096	832376	0,35	5,65	1497,63	ND
62	Me_A_369	Parqueadero Belén 30A	1181145	831601	0,00	4,55	1509,59	NE
63	Me_A_387	Estación de Servicio Terpel El Condor	1182950	832997	0,00	4,58	1469,43	NE
64	Me_A_389	Lavautos Bolivariana	1182786	833442	0,00	8,27	1463,07	ND
65	Me_A_390	Estación de Servicio Esso Laureles	1182696	832279	0,33	4,38	1484,82	NE
66	Me_A_392	Restaurante Ego's	1182596	831901	0,17	4,65	1493,87	ND
67	Me_A_397	Parqueadero y Lavadero Don Quijote	1182417	831232	0,25	8,5	1516,73	ND
68	Me_A_406	JUMBO S.A.	1183402	833281	0,00	3,64	1464,62	NE
69	Me_A_411	Lavadero y parqueadero Suracar	1183683	833676	0,05	5,55	1461,32	ND
70	Me_A_413	Car Wash My Angel	1184500	831989	0,06	4,07	1488,36	ND
71	Me_A_419	Lavadero Lina Restrepo	1184095	833163	0,30	8,19	1468,92	ND
72	Me_A_431	Parqueadero y Lavadero Pure Detailing	1184921	831963	0,00	5,45	1496,08	ND
73	Me_A_432	Tintorería Industrial Diego	1185126	832871	0,00	3,94	1491,88	ND
74	Me_A_441	Parqueadero Córdoba	1185742	833982	0,08	11,43	1465,38	NE
75	Me_A_443	Intermármol	1185625	834594	0,00	4,14	1457,45	ND



AUNAR ESFUERZOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL MARCO DE LA OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ – MEDELLÍN



No.	Código	Nombre	Norte	Este	Alt. boca (m)	Prof. agua (m)	PZ (m)	Nivel
76	Me_A_451	Parqueadero y Lavadero San Judas	1187790	834399	0,00	20,46	1538,73	NE
77	Me_A_455	Lavadero de Buses La Terminal	1186458	834867	0,00	8,91	1444,90	ND
78	Me_A_458	Letransportamos a tiempo S,A	1186144	834238	0,19	5,49	1467,95	NE
79	Me_A_485	Parqueadero Cootrasana	1175933	825639	0,00	4,85	1864,74	ND
80	Me_GEO_0108	Unidad Deportiva de Belén	1181507	832630	0,13	3,46	1483,53	NE
81	Me_HID_0014	Santa Elena - Finca Tikuna	1178274	839715	0,00	1,98	2643,31	ND
82	Me_P_014	Parqueadero Roseral	1178838	834622	0,00	32,54	1488,14	NE
83	Me_P_197*	Emtelco	1179717	833372	0,00	4,88	1484,69	NE
84	Me_P_248	Parque Industrial Hilanderías	1178981	833397	0,00	3,74	1488,88	NE
85	Me_P_271*	Leonisa S,A (+profundo)	1179410	833874	0,25	4,2	1483,44	ND
86	Me_P_284	Gaseosas Lux-Postobón	1180494	833947	0,00	2,21	1476,77	NE
87	Pz_02	Paulandia	1186947	827550	0,00	12,52	1967,99	NE
88	PZ_03	Finca Manantiales	1175288	823940	0,00	1,18	2086,94	NE
89	PZ_04	Villa Torcoroma	1175892	823819	0,00	8,23	2133,92	NE
90	PZ_05	Finca Los Naranjos	1206933	864935	0,00	12,11	1362,05	NE
91	St_P_010	Andes Cast Metals Foundry LTDA	1172494	829023	0,00	8,9	1582,60	ND
92	It_A_009	Artexil	1175335	832308	0,00	10,06	-	ND
93	It_P_009	Artexil	1175335	832308	0,00	NM	NM	NM
94	PZ_01	Subestación epm-Caldas	1165884	827890	0,14	1,1	1740,041	NE
95	Me_A_522	Lavautos la 39	1182452	835890	0,15	9,57	-	ND

*Red Nacional

NM: No medido, NE: Nivel estático, ND: Nivel dinámico

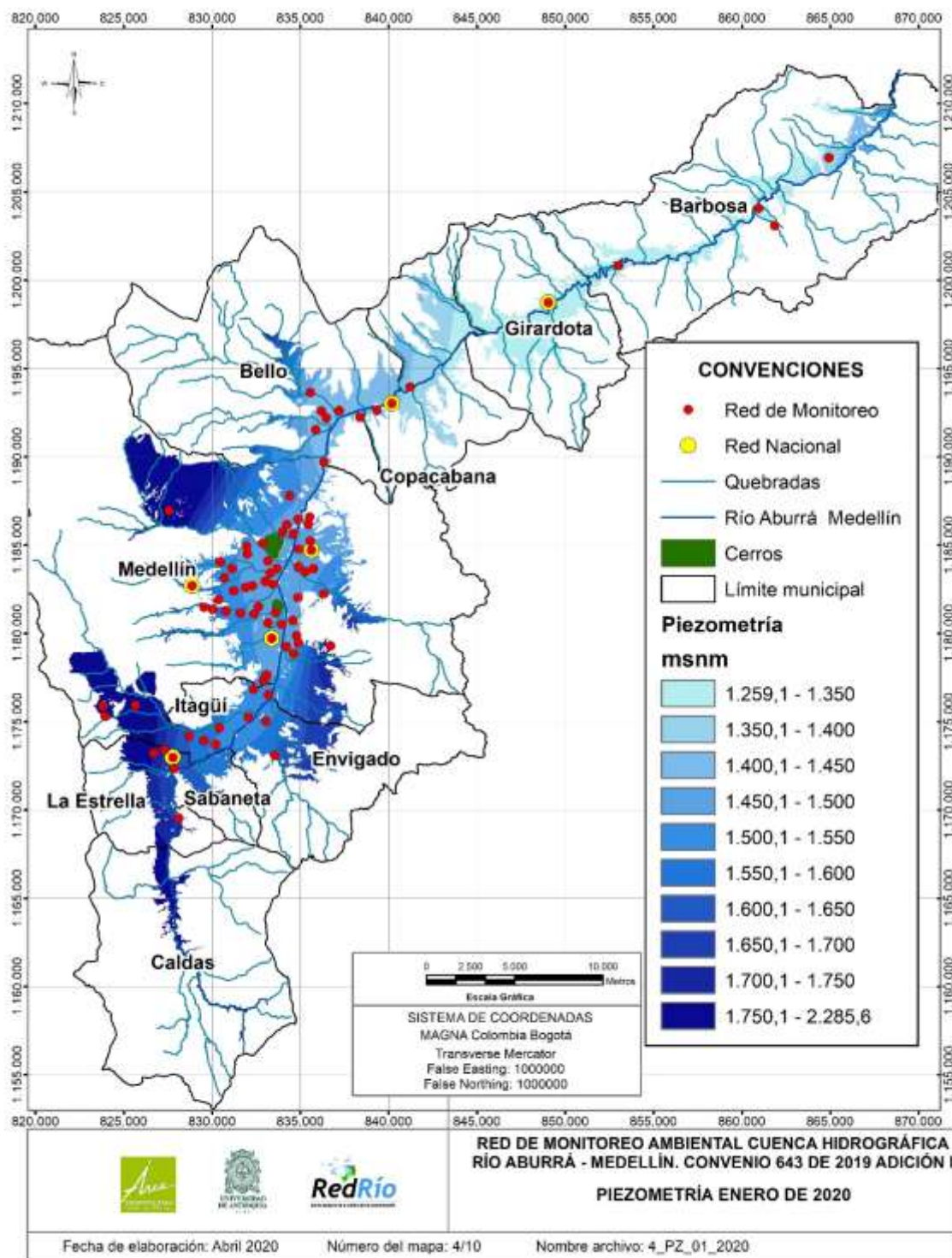


Figura 7. Superficie piezométrica de enero del 2020



• **Monitoreo febrero de 2020**

Durante los días 18, 19 y 20 de febrero de 2020 se realizó la campaña de monitoreo piezométrico del mes de febrero, para ello, se visitaron los 94 puntos que conformaban la red piezométrica. En la Tabla 8 se presentan algunos inconvenientes y novedades presentadas en algunos puntos de la red de monitoreo durante las visitas realizadas. En la Tabla 9 se presentan los resultados de las mediciones de la piezometría de este mes y en la Figura 8 se presenta la superficie piezométrica generada con los datos medidos.

Tabla 8. Puntos que presentaron inconvenientes y novedades en el monitoreo de febrero de 2020

CÓDIGO	NOMBRE	NOVEDAD
Be_A_014	Gimnasio GYM	Se observaron nuevas tuberías. Verificar el estado del punto.
Be_A_039	Bellanita de Transportes	Nuevo encargado ambiental: Edwin Ferney Restrepo, eduint@bellanitagroup.co, 3168758517
Me_A_119	Lavadero y Parqueadero La 46	No se encontró nadie en el lugar
Me_A_455	Lavadero de Buses La Terminal	Solicitan el expediente del punto para realizar la renovación de la concesión
En_A_017	SOCYA	El lugar estaba desocupado y sin personal
Es_A_001	Inversiones Siderense - Parqueadero Terminal	El 15 de febrero se le realizó mantenimiento al aljibe
Es_A_012	Motel Aries	Le falta tapón a la tapa del aljibe
Es_P_024	Colorquímica S.A.	Nueva practicante Ambiental: Francy Milena Chavarría, Celular: 3135596409
It_A_102	Sin razón social (Gaula Antioquia)	El lugar estaba desocupado y sin personal
It_P_107	Proteco S.A.	Limpieza de bomba el día 18 de febrero del 2020
Me_A_024	Simelca	Nuevo encargado ambiental: Daniela Palomeque, celular: 3003093308
It_A_082	Industrias Metálicas Corsan S.A.	El usuario informa vía telefónica que el pozo ha sido sellado y no se pudo realizar la visita, se intentará programar una cita para hacer registro fotográfico

Tabla 9. Resultados de la piezometría de febrero del 2020

No.	Código	Nombre	Norte	Este	Alt. boca (m)	Prof. agua (m)	PZ (m)	Nivel
1	Ba_A_001	Terpel Puerta del Nordeste	1204066	860943	0,00	3,39	1276,26	NE
2	Ba_GEO_0069	Hacienda El Progreso	1200813	853022	0,3	3,07	1325,83	NE
3	Ba_GEO_0070	Planta Potabilizadora de EPM	1203092	861858	0,85	8,56	1379,54	NE
4	Be_A_014	Gimnasio GYM	1192585	836184	0,00	10,97	1429,68	NE
5	Be_A_018	Sede Santa Ana Transportes Hato Viejo	1191534	835857	0,13	9,08	1432,34	NE
6	Be_A_019	Newtrans	1192233	838374	0,09	4,79	1434,81	ND
7	Be_A_022	Distracom Los Angeles	1189692	836335	0,00	12,02	1431,51	NE
8	Be_A_030	Centro de Diagnóstico Automotor del Norte S.A.	1192615	837201	0,00	5,85	1416,14	NE
9	Be_A_039	Bellanita de Transportes	1193626	835570	0,00	5,32	1445,00	ND
10	Be_A_048	Parqueadero PH	1192197	836462	0,00	3,93	1422,36	ND
11	Co_A_008	Parqueadero La Asunción	1193958	841221	0,00	5,23	1399,62	ND
12	Co_A_014	Motel Ciudadela Doresky	1192625	839318	0,00	1,48	1420,47	NE
13	Co_GEO_0032*	Caritrans SAS	1193023	840171	0,26	11,73	1403,91	NE
14	En_A_001	Servicentro Casa Motriz	1173070	833553	0,00	17,2	1602,95	ND
15	En_A_017	SOCYA	1173612	831756	0,00	NM	NM	NM
16	En_A_027	Esso Envigado	1175025	833058	0,00	7	1537,26	ND
17	Es_A_001	Inversiones Siderense - Parqueadero Terminal	1173201	826682	0,00	8,82	1756,24	ND
18	Es_A_012	Motel Aries	1172352	827849	0,00	8,15	1623,30	NE
19	Es_A_037	Tintorería Industrial Colombiana LTDA	1169532	828112	0,00	7,02	1688,55	ND
20	Es_GEO_0016	Colegio El Divino Salvador	1173411	827304	0,00	4,05	1699,40	NE
21	Es_P_024*	Colorquímica S.A.	1172973	827774	0,00	5,98	1655,96	NE
22	Gi_GEO_0041*	Colgras	1198740	849030	0,56	7,86	1329,98	NE
23	It_A_004	Industrias de Aceros S,A	1175253	832056	0,00	5,51	1524,67	NE



AUNAR ESFUERZOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL MARCO DE LA OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ – MEDELLÍN



No.	Código	Nombre	Norte	Este	Alt. boca (m)	Prof. agua (m)	PZ (m)	Nivel
24	It_A_040	Inverenting S.A.S	1173929	829540	0,00	2,67	1580,36	NE
25	It_A_054	Parqueadero Ditaires	1174178	828703	0,90	9,42	1599,95	ND
26	It_A_082	Industrias Metálicas Corsan S.A.	1176521	833190	0,15	NM	NM	NM
27	It_A_094	Parqueadero La 52	1174636	830408	0,00	4,03	1559,90	ND
28	It_A_102	Sin razón social (Gaula Antioquia)	1176637	832145	0,00	NM	NM	NM
29	It_A_103	Herrajes Gaher Ltda.	1176827	832347	0,50	4,41	1512,78	NE
30	It_P_016	Mecánicos Unidos S,A	1173714	830193	0,00	11,5	1548,92	ND
31	It_P_107	Proteco S.A.	1176363	831921	1,05	13,81	1513,83	ND
32	Me_A_009	Sociedad Mercantil de Automotores S.A. (Somerauto)	1179240	834202	0,00	4,27	1485,00	ND
33	Me_A_024	Simelca	1179879	834790	0,00	2,03	1476,88	NE
34	Me_A_036	Stella Giraldo de Escobar	1180726	834578	0,00	3,16	1475,83	NE
35	Me_A_044	Edificio La Compañía	1179454	834906	0,00	4,19	1533,32	NE
36	Me_A_056	El Chuscalito Vivero y Restaurante	1179291	836710	0,00	10,7	1780,66	ND
37	Me_A_091	Lavautos La Oriental	1182029	834854	0,00	6,5	1495,66	ND
38	Me_A_103	Lavadero Buenos Aires	1182237	836323	0,18	15,98	1524,77	ND
39	Me_A_117	Fundación Autónoma de Las Américas (IPS Clínica Odontológica)	1183489	835271	0,00	2,27	1471,64	ND
40	Me_A_119	Lavadero y Parqueadero La 46	1184187	836130	0,00	NM	NM	NM
41	Me_A_121	Cars Milenio	1183664	835736	0,00	3,22	1491,21	ND
42	Me_A_134	Parqueadero Contravía	1183767	834891	0,14	4,55	1465,68	NE
43	Me_A_151	Jardín Botánico de Medellín Joaquín Antonio Uribe	1185220	835552	0,27	7,39	1461,60	NE
44	Me_A_154*	Servicentro Estación Hospital	1184714	835623	0,00	1,89	1480,34	NE
45	Me_A_159	Baldosas Superpisos	1184772	834913	0,06	5,03	1452,60	NE
46	Me_A_183	Parqueadero Moravia	1186164	835447	0,00	4,02	1459,46	NE
47	Me_A_186	Colegio de María	1186595	835532	0,25	16,31	1492,84	NE
48	Me_A_223	Laundry Sink	1177324	832920	0,00	11,52	1496,04	ND
49	Me_A_228	Ferrocortes	1177645	833102	0,00	6,24	1498,47	NE
50	Me_A_310	Parqueadero Paisa	1180597	833167	0,25	2,93	1480,98	NE
51	Me_A_327	Billares El Desquite de La 89	1181355	830039	0,00	2,36	1573,96	NE
52	Me_A_328	Ferrosvel S,A	1181479	829546	0,00	0,68	1606,41	NE
53	Me_A_331	Lavadero y Parqueadero La 83	1181246	830781	0,00	6,36	1539,06	ND
54	Me_A_340*	Terminal Belencito	1182694	828869	0,00	5,57	1497,41	NE
55	Me_A_343	Corporación Universitaria Adventista	1181908	830357	0,00	1,45	1565,26	NE
56	Me_A_345	Parqueadero La 88	1183152	830696	0,00	2,75	1534,87	ND
57	Me_A_350	Autos La Floresta	1183664	831139	0,15	7,47	1507,37	NE
58	Me_A_360	Parqueadero La Isla	1184035	830459	0,00	3,14	1509,92	NE
59	Me_A_365	Almacenes e Industrias Roca S.A.	1181163	833589	0,00	2,63	1474,97	NE
60	Me_A_368	Lavautos y Parqueadero La 30 Belén	1181096	832376	0,35	4,96	1498,32	ND
61	Me_A_369	Parqueadero Belén 30A	1181145	831601	0,00	4,69	1509,45	NE
62	Me_A_387	Estación de Servicio Terpel El Condor	1182950	832997	0,00	4,72	1469,29	NE
63	Me_A_389	Lavautos Bolivariana	1182786	833442	0,00	8,41	1462,93	ND
64	Me_A_390	Estación de Servicio Esso Laureles	1182696	832279	0,33	6,2	1483,00	NE
65	Me_A_392	Restaurante Ego's	1182596	831901	0,17	4,71	1493,81	ND
66	Me_A_397	Parqueadero y Lavadero Don Quijote	1182417	831232	0,25	7,86	1517,37	ND
67	Me_A_406	JUMBO S.A.	1183402	833281	0,00	4,65	1463,61	NE
68	Me_A_411	Lavadero y parqueadero Suracar	1183683	833676	0,05	5,37	1461,50	ND
69	Me_A_413	Car Wash My Angel	1184500	831989	0,06	7,11	1485,32	ND
70	Me_A_419	Lavadero Lina Restrepo	1184095	833163	0,30	7,87	1469,24	ND
71	Me_A_431	Parqueadero y Lavadero Pure Detailing	1184921	831963	0,00	6	1495,53	ND
72	Me_A_432	Tintorería Industrial Diego	1185126	832871	0,00	7,13	1488,69	ND
73	Me_A_441	Parqueadero Córdoba	1185742	833982	0,08	9,66	1467,15	NE
74	Me_A_443	Intermármol	1185625	834594	0,00	5,26	1456,33	ND
75	Me_A_451	Parqueadero y Lavadero San Judas	1187790	834399	0,00	20,46	1538,73	NE
76	Me_A_455	Lavadero de Buses La Terminal	1186458	834867	0,00	7,85	1445,96	ND
77	Me_A_458	Letransportamos a tiempo S,A	1186144	834238	0,19	5,65	1467,79	NE
78	Me_A_485	Parqueadero Cootrasana	1175933	825639	0,00	9,02	1860,57	NE



AUNAR ESFUERZOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL MARCO DE LA OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ – MEDELLÍN



No.	Código	Nombre	Norte	Este	Alt. boca (m)	Prof. agua (m)	PZ (m)	Nivel
79	Me_GEO_0108	Unidad Deportiva de Belén	1181507	832630	0,13	3	1483,99	NE
80	Me_HID_0014	Santa Elena - Finca Tikuna	1178274	839715	0,00	2,04	2643,25	NE
81	Me_P_014	Parqueadero Roseral	1178838	834622	0,00	32,03	1488,65	NE
82	Me_P_197*	Emtelco	1179717	833372	0,00	5,03	1484,54	NE
83	Me_P_248	Parque Industrial Hilanderías	1178981	833397	0,00	3,82	1488,80	NE
84	Me_P_271*	Leonisa S,A (+profundo)	1179410	833874	0,25	5,21	1482,43	ND
85	Me_P_284	Gaseosas Lux-Postobón	1180494	833947	0,00	2,24	1476,74	NE
86	Pz_02	Paulandia	1186947	827550	0,00	12,98	1967,53	NE
87	PZ_03	Finca Manantiales	1175288	823940	0,00	1,53	2086,59	NE
88	PZ_04	Villa Torcoroma	1175892	823819	0,00	8,82	2133,33	NE
89	PZ_05	Finca Los Naranjos	1206933	864935	0,00	12,41	1361,75	NE
90	St_P_010	Andes Cast Metals Foundry LTDA	1172494	829023	0,00	14,74	1576,76	ND
91	It_A_009	Artexil	1175335	832308	0,00	9,02	-	ND
92	It_P_009	Artexil	1175335	832308	0,00	NM	NM	NM
93	PZ_01	Subestación epm-Caldas	1165884,461	827890,576	0,14	1,87	1740,041	NE
94	Me_A_522	Lavautos la 39	1182452	835890	0,15	9,57	-	ND

*Red Nacional

NM: No medido, NE: Nivel estático, ND: Nivel dinámico

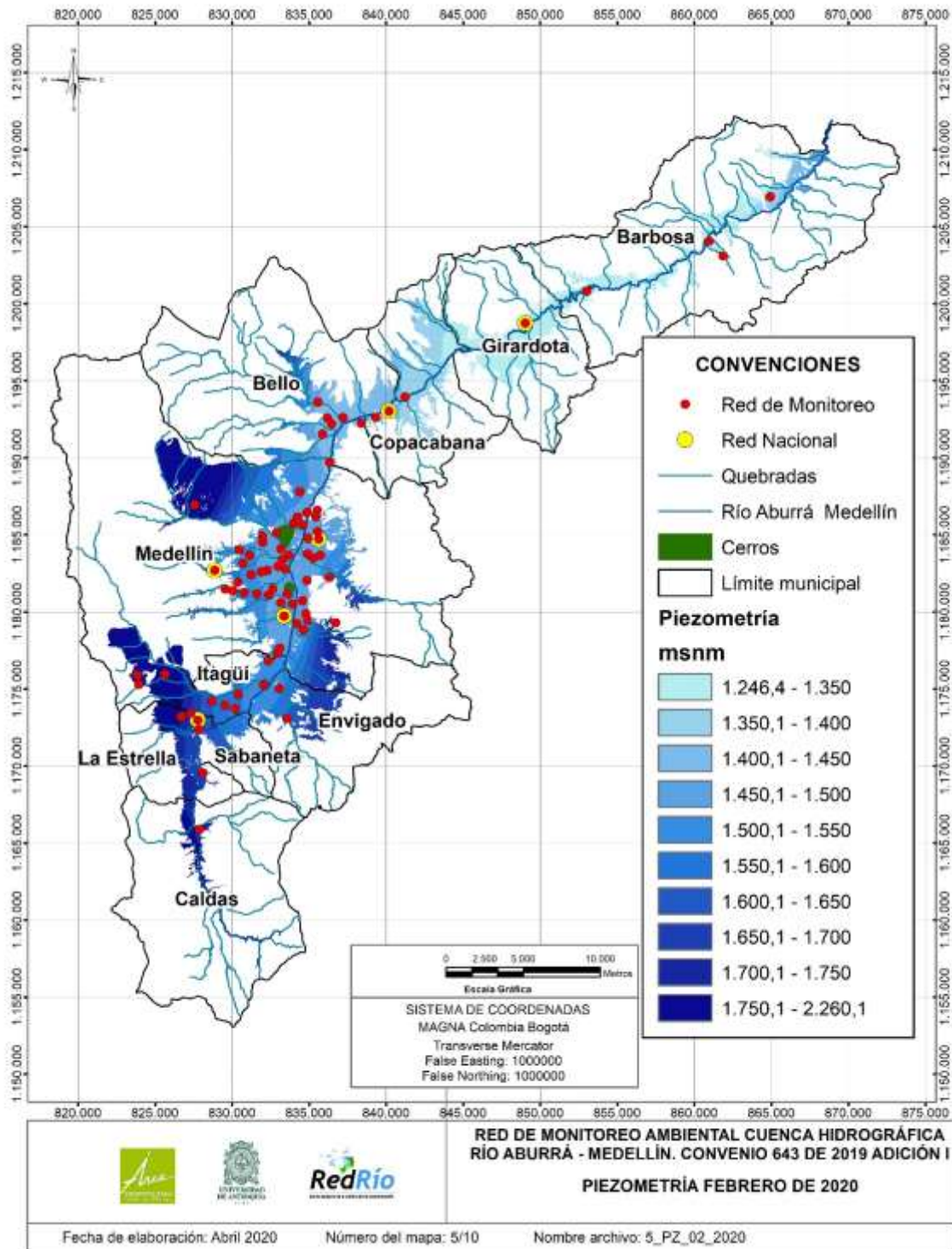




Figura 8. Superficie piezométrica de febrero del 2020

	<p style="text-align: center;">AUNAR ESFUERZOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL MARCO DE LA OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ – MEDELLÍN</p>	
---	---	---

- **Monitoreo marzo de 2020**

Entre los días 17 y 18 de marzo del 2020 se realizó la campaña de monitoreo piezométrico, en la cual se visitaron diferentes puntos que hacen parte de la red de monitoreo. En la Tabla 10 se presenta el reporte de las novedades presentadas en algunos de los puntos de la red de monitoreo, se debe tener en cuenta que el monitoreo en este mes estuvo afectado por las directrices nacionales para la protección contra el COVID-2019 en algunos establecimientos que hacen parte de la red, de esto se da cuenta en las novedades mencionadas. En total fueron monitoreados 72 puntos, en 16 puntos restringieron el acceso por el COVID-2019 y en cinco puntos no fue posible acceder al sitio ya que no se encontraron personas en el lugar. En la Tabla 11 se presentan los resultados de la piezometría obtenidos para este mes y en la Figura 9 el mapa de la superficie piezométrica generada.

Tabla 10. Puntos que presentaron inconvenientes y novedades en el monitoreo de marzo de 2020

CÓDIGO	NOMBRE	NOVEDAD
Ba_GEO_0070	Planta Potabilizadora de EPM	No se permite el ingreso a personal que no sea de EPM como medida de protección al Corona virus
Me_A_117	Fundación Autónoma de Las Américas (IPS Clínica Odontológica)	No se permite el ingreso a personal que no sea de la Universidad como medida de protección al Corona virus
Me_A_119	Lavadero y Parqueadero La 46	No se encontró nadie en el local
Me_A_343	Corporación Universitaria Adventista	No se permite el ingreso a personal que no sea de la Universidad como medida de protección al Corona virus
Me_A_365	Almacenes e Industrias Roca S.A.	No se permite el ingreso a personal que no sea de la empresa como medida de protección al Corona virus
En_A_017	SOCYA	Lote desocupado
Es_A_037	Tintorería Industrial Colombiana LTDA	No permiten ingreso de personal externo a la empresa como medida de protección al Corona virus
Es_P_024*	Colorquímica S.A.	No permiten ingreso de personal externo a la empresa como medida de protección al Corona virus
It_A_004	Industrias de Aceros S,A	No permiten ingreso de personal externo a la empresa como medida de protección al Corona virus
It_A_082	Industrias Metálicas Corsan S.A.	Informa la empresa que el aljibe ha sido sellado
It_A_102	Sin razón social (Gaula Antioquia)	No había personal en el sitio, Lote desocupado
It_P_107	Proteco S.A.	No permiten ingreso de personal externo a la empresa como medida de protección al Corona virus
Me_A_024	Simelca	No permiten ingreso de personal externo a la empresa como medida de protección al Corona virus
Me_A_036	Stella Giraldo de Escobar	No había personal en el sitio, sitio desocupado
Me_A_223	Laundry Sink	No permiten ingreso de personal externo a la empresa como medida de protección al Corona virus
Me_P_197*	Emtelco	No permiten ingreso de personal externo a la empresa como medida de protección al Corona virus
Me_P_271*	Leonisa S,A (+profundo)	No permiten ingreso de personal externo a la empresa como medida de protección al Corona virus
Me_P_284	Gaseosas Lux-Postobón	No permiten ingreso de personal externo a la empresa como medida de protección al Corona virus
It_A_009	Artexil	No permiten ingreso de personal externo a la empresa como medida de protección al Corona virus
It_P_009	Artexil	No permiten ingreso de personal externo a la empresa como medida de protección al Corona virus



AUNAR ESFUERZOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL MARCO DE LA OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ – MEDELLÍN



CÓDIGO	NOMBRE	NOVEDAD
PZ_01	Subestación Epm-Caldas	No permiten ingreso de personal externo a la empresa como medida de protección al Corona virus
Me_HID_0014	Santa Elena - Finca Tikuna	No se logró medir ya que no fue posible contactar al propietario.

Tabla 11. Resultados de la piezometría de marzo de 2020

No	Código	Nombre	Norte	Este	Alt. boca (m)	Prof. agua (m)	PZ (m)	Nivel
1	Ba_A_001	Terpel Puerta del Nordeste	1204066	860943	0,00	3,4	1276,25	NE
2	Ba_GEO_0069	Hacienda El Progreso	1200813	853022	0,3	3,11	1325,79	NE
3	Ba_GEO_0070	Planta Potabilizadora de EPM	1203092	861858	0,85	NM	NM	NM
4	Be_A_014	Gimnasio GYM	1192585	836184	0,00	11,46	1429,19	NE
5	Be_A_018	Sede Santa Ana Transportes Hato Viejo	1191534	835857	0,13	8,94	1432,48	NE
6	Be_A_019	Newtrans	1192233	838374	0,09	5,65	1433,95	ND
7	Be_A_022	Distracom Los Ángeles	1189692	836335	0,00	11,73	1431,80	NE
8	Be_A_030	Centro de Diagnóstico Automotor del Norte S.A.	1192615	837201	0,00	5,8	1416,19	NE
9	Be_A_039	Bellanita de Transportes	1193626	835570	0,00	3,78	1446,54	ND
10	Be_A_048	Parqueadero PH	1192197	836462	0,00	3,94	1422,35	ND
11	Co_A_008	Parqueadero La Asunción	1193958	841221	0,00	5,2	1399,65	ND
12	Co_A_014	Motel Ciudadela Doresky	1192625	839318	0,00	1,58	1420,37	NE
13	Co_GEO_0032*	Caritrans SAS	1193023	840171	0,26	11,79	1403,85	NE
14	En_A_001	Servicentro Casa Motriz	1173070	833553	0,00	16,58	1603,57	ND
15	En_A_017	SOCYA	1173612	831756	0,00	NM	NM	NM
16	En_A_027	Esso Envigado	1175025	833058	0,00	6,78	1537,48	ND
17	Es_A_001	Inversiones Siderense - Parqueadero Terminal	1173201	826682	0,00	5,12	1759,94	NE
18	Es_A_012	Motel Aries	1172352	827849	0,00	8,27	1623,18	NE
19	Es_A_037	Tintorería Industrial Colombiana LTDA	1169532	828112	0,00	NM	NM	NM
20	Es_GEO_0016	Colegio El Divino Salvador	1173411	827304	0,00	3,8	1699,65	NE
21	Es_P_024*	Colorquímica S.A.	1172973	827774	0,00	NM	NM	NM
22	Gi_GEO_0041*	Colgras	1198740	849030	0,56	8,27	1329,57	NE
23	It_A_004	Industrias de Aceros S,A	1175253	832056	0,00	NM	NM	NM
24	It_A_040	Inverenting S.A.S	1173929	829540	0,00	2,56	1580,47	NE
25	It_A_054	Parqueadero Ditaires	1174178	828703	0,90	5,86	1603,51	ND
26	It_A_082	Industrias Metálicas Corsan S.A.	1176521	833190	0,15	NM	NM	NM
27	It_A_094	Parqueadero La 52	1174636	830408	0,00	3,85	1560,08	NE
28	It_A_102	Sin razón social (Gaula Antioquia)	1176637	832145	0,00	NM	NM	NM
29	It_A_103	Herrajes Gaher Ltda	1176827	832347	0,50	4,34	1512,85	NE
30	It_P_016	Mecánicos Unidos S,A	1173714	830193	0,00	11,61	1548,81	ND
31	It_P_107	Proteico S.A.	1176363	831921	1,05	NM	NM	NM



AUNAR ESFUERZOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL MARCO DE LA OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ – MEDELLÍN



No	Código	Nombre	Norte	Este	Alt. boca (m)	Prof. agua (m)	PZ (m)	Nivel
32	Me_A_009	Sociedad Mercantil de Automotores S.A. (Somerauto)	1179240	834202	0,00	4,22	1485,05	ND
33	Me_A_024	Simelca	1179879	834790	0,00	NM	NM	NM
34	Me_A_036	Stella Giraldo de Escobar	1180726	834578	0,00	NM	NM	NM
35	Me_A_044	Edificio La Compañía	1179454	834906	0,00	4,36	1533,15	NE
36	Me_A_056	El Chuscalito Vivero y Restaurante	1179291	836710	0,00	6,78	1784,58	ND
37	Me_A_091	Lavautos La Oriental	1182029	834854	0,00	7,33	1486,04	ND
38	Me_A_103	Lavadero Buenos Aires	1182237	836323	0,18	16,12	1524,63	ND
39	Me_A_117	Fundación Autónoma de Las Américas (IPS Clínica Odontológica)	1183489	835271	0,00	NM	NM	NM
40	Me_A_119	Lavadero y Parqueadero La 46	1184187	836130	0,00	NM	NM	NM
41	Me_A_121	Cars Milenio	1183664	835736	0,00	3,7	1490,73	ND
42	Me_A_134	Parqueadero Contravía	1183767	834891	0,14	3,81	1466,42	NE
43	Me_A_151	Jardín Botánico de Medellín Joaquín Antonio Uribe	1185220	835552	0,27	7,44	1461,55	NE
44	Me_A_154	Servicentro Estación Hospital	1184714	835623	0,00	1,8	1480,43	NE
45	Me_A_159	Baldosas Superpisos	1184772	834913	0,06	5,16	1452,47	ND
46	Me_A_183	Parqueadero Moravia	1186164	835447	0,00	3,98	1459,50	NE
47	Me_A_186	Colegio de María	1186595	835532	0,25	16,67	1492,48	NE
48	Me_A_223	Laundry Sink	1177324	832920	0,00	NM	NM	NM
49	Me_A_228	Ferrocortes	1177645	833102	0,00	6,21	1498,50	NE
50	Me_A_310	Parqueadero Paisa	1180597	833167	0,25	3,02	1480,89	NE
51	Me_A_327	Billares El Desquite de La 89	1181355	830039	0,00	2,33	1573,99	NE
52	Me_A_328	Ferrosvel S,A	1181479	829546	0,00	0,66	1606,43	NE
53	Me_A_331	Lavadero y Parqueadero La 83	1181246	830781	0,00	6,04	1539,38	ND
54	Me_A_340*	Terminal Belencito	1182694	828869	0,00	5,84	1497,14	NE
55	Me_A_343	Corporación Universitaria Adventista	1181908	830357	0,00	NM	NM	NM
56	Me_A_345	Parqueadero La 88	1183152	830696	0,00	3,03	1534,59	ND
57	Me_A_350	Autos La Floresta	1183664	831139	0,15	7,47	1507,37	NE
58	Me_A_360	Parqueadero La Isla	1184035	830459	0,00	3,15	1509,91	NE
59	Me_A_365	Almacenes e Industrias Roca S.A.	1181163	833589	0,00	NM	NM	NM
60	Me_A_368	Lavautos y Parqueadero La 30 Belén	1181096	832376	0,35	5,08	1498,20	ND
61	Me_A_369	Parqueadero Belén 30A	1181145	831601	0,00	4,3	1509,84	NE
62	Me_A_387	Estación de Servicio Terpel El Condor	1182950	832997	0,00	4,7	1469,31	NE
63	Me_A_389	Lavautos Bolivariana	1182786	833442	0,00	7,8	1463,54	ND
64	Me_A_390	Estación de Servicio Esso Laureles	1182696	832279	0,33	4,57	1484,63	NE



AUNAR ESFUERZOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL MARCO DE LA OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ – MEDELLÍN



No	Código	Nombre	Norte	Este	Alt. boca (m)	Prof. agua (m)	PZ (m)	Nivel
65	Me_A_392	Restaurante Ego's	1182596	831901	0,17	4,89	1493,63	ND
66	Me_A_397	Parqueadero y Lavadero Don Quijote	1182417	831232	0,25	7,67	1517,56	ND
67	Me_A_406	JUMBO S.A.	1183402	833281	0,00	3,98	1464,28	NE
68	Me_A_411	Lavadero y parqueadero Suracar	1183683	833676	0,05	4,36	1462,51	ND
69	Me_A_413	Car Wash My Angel	1184500	831989	0,06	6,8	1485,63	ND
70	Me_A_419	Lavadero Lina Restrepo	1184095	833163	0,30	7,88	1469,23	ND
71	Me_A_431	Parqueadero y Lavadero Pure Detailing	1184921	831963	0,00	5,52	1496,01	ND
72	Me_A_432	Tintorería Industrial Diego	1185126	832871	0,00	3,43	1492,39	ND
73	Me_A_441	Parqueadero Córdoba	1185742	833982	0,08	24,72	1452,09	ND
74	Me_A_443	Intermármol	1185625	834594	0,00	4,83	1456,76	ND
75	Me_A_451	Parqueadero y Lavadero San Judas	1187790	834399	0,00	21,1	1538,09	NE
76	Me_A_455	Lavadero de Buses La Terminal	1186458	834867	0,00	6,68	1447,13	ND
77	Me_A_458	Letransportamos a tiempo S,A	1186144	834238	0,19	5,76	1467,68	NE
78	Me_A_485	Parqueadero Cootrasana	1175933	825639	0,00	9	1860,59	NE
79	Me_GEO_0108	Unidad Deportiva de Belén	1181507	832630	0,13	2,61	1484,38	NE
80	Me_HID_0014	Santa Elena - Finca Tikuna	1178274	839715	0,00	0	2645,29	0
81	Me_P_014	Parqueadero Roseral	1178838	834622	0,00	32,82	1487,86	NE
82	Me_P_197*	Emtelco	1179717	833372	0,00	NM	NM	NM
83	Me_P_248	Parque Industrial Hilanderías	1178981	833397	0,00	3,72	1488,90	NE
84	Me_P_271*	Leonisa S,A (+profundo)	1179410	833874	0,25	NM	NM	NM
85	Me_P_284	Gaseosas Lux-Postobón	1180494	833947	0,00	NM	NM	NM
86	Pz_02	Paulandia	1186947	827550	0,00	13,14	1967,37	NE
87	PZ_03	Finca Manantiales	1175288	823940	0,00	1,29	2086,83	NE
88	PZ_04	Villa Torcoroma	1175892	823819	0,00	9,07	2133,08	NE
89	PZ_05	Finca Los Naranjos	1206933	864935	0,00	11,54	1362,62	NE
90	St_P_010	Andes Cast Metals Foundry LTDA	1172494	829023	0,00	12,93	1578,57	ND
91	It_A_009	Artextil	1175335	832308	0,00	NM	-	NM
92	It_P_009	Artextil	1175335	832308	0,00	NM	NM	NM
93	PZ_01	Subestación epm-Caldas	1165884	827890	0,14	NM	NM	NM
94	Me_A_522	Lavautos la 39	1182452	835890	0,15	9,57	-	ND

*Red Nacional

NM: No medido, NE: Nivel estático, ND: Nivel dinámico

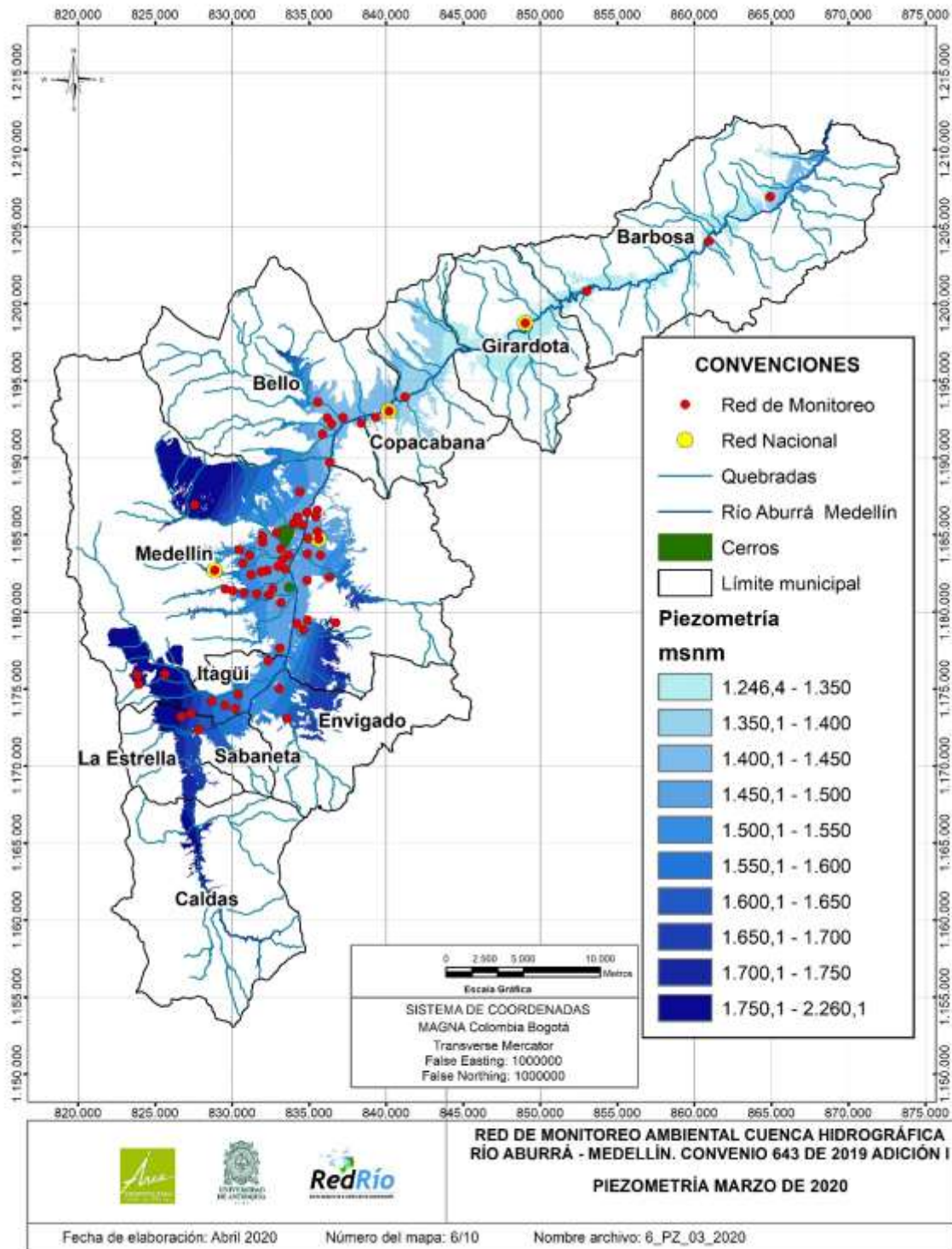


Figura 9. Superficie piezométrica de marzo del 2020



- **Resultados monitoreo piezométrico durante la adición**

De acuerdo con los resultados presentados anteriormente del monitoreo piezométrico realizado en los meses de diciembre de 2019 a marzo de 2020, podemos observar que en términos generales se mantiene el mismo comportamiento espacial de la piezometría para los meses mencionados (Tabla 12). En promedio, para los meses de diciembre, enero y febrero donde fue posible desarrollar el monitoreo con normalidad se presentan los valores promedio, así como los valores máximos y mínimos medidos son muy similares (Tabla 12).

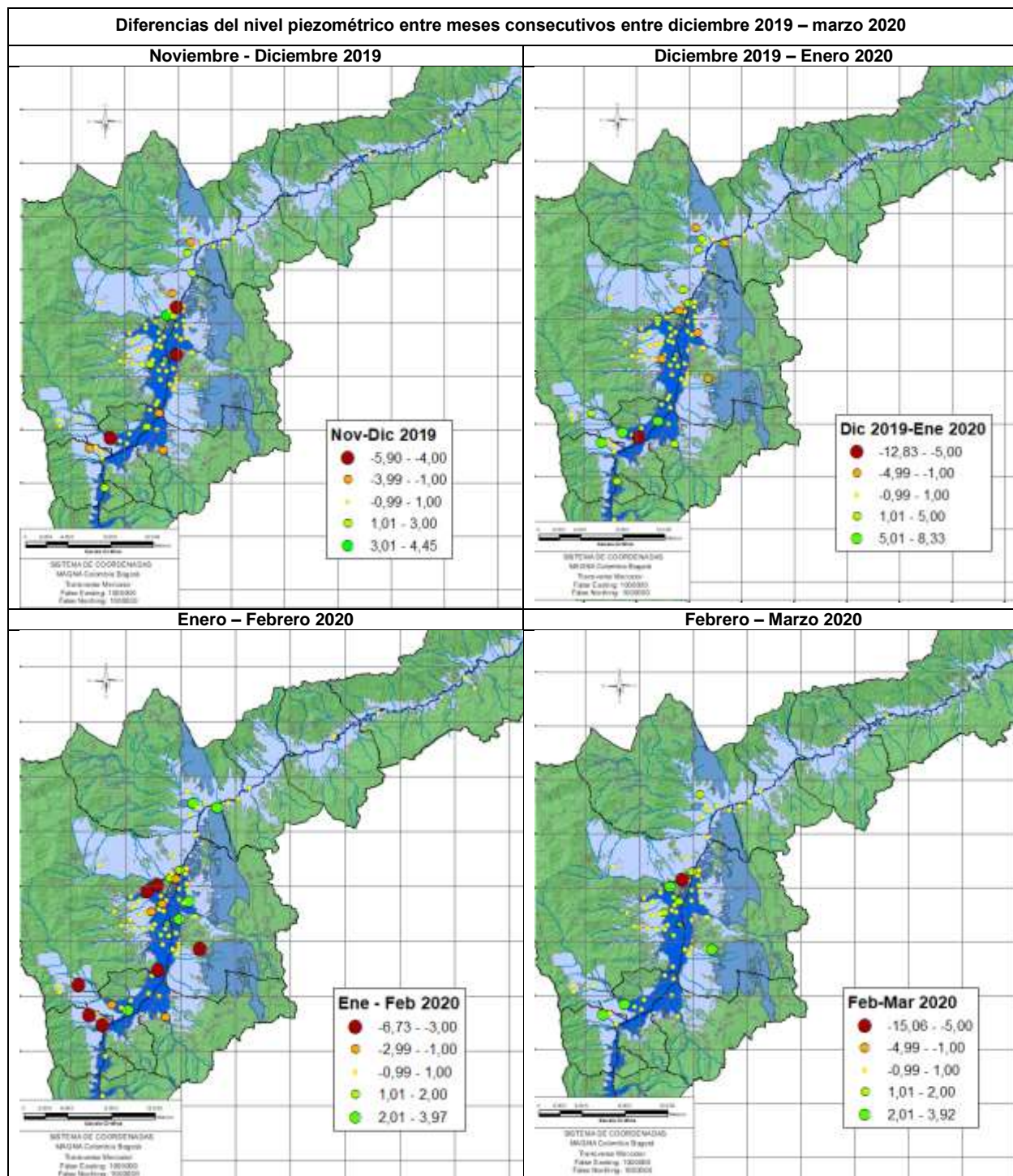
Respecto a las novedades presentadas en los puntos de monitoreo fue reiterativo, tanto en esta adición como en la ejecución del convenio 643 de 2019, en todos los meses encontrar los puntos Me_A_119 (Lavadero y Parqueadero La 46), En_A_017 (SOCYA), It_A_102 (Sin razón social (antes Gaula Antioquia)) desocupados y no fue posible obtener información de los propietarios del lugar para continuar con las mediciones de estos puntos, además en el contacto previo para realizar el monitoreo del mes de diciembre se informó telefónicamente que el punto It_A_082 (Industrias Metálicas Corsan S.A.) fue sellado, y en el mes de enero en la visita realizada al punto Me_A_334 (Lavadero Los Molinos) se constató que este punto fue sellado y rellenado con material. Por tanto, estos puntos fueron retirados de la red de monitoreo.

Un aspecto a resaltar durante esta adición fue la actualización del uso, la protección, las sustancias químicas que se presentan en las captaciones y la actividad contaminante asociada a los puntos, esta información puede ser verificada en el Anexo 4 y fue consignada en la plataforma web de aguas subterráneas. De acuerdo con esta información debe resaltarse que se ha presentado un desuso del agua subterránea en las captaciones que hacen parte de la Red de Monitoreo de Aguas Subterráneas y en cambio se está usando el agua potable para desarrollar las actividades productivas.

Tabla 12. Estadísticos básicos para los niveles medidos entre diciembre 2019 a marzo 2020

	Diciembre 2019	Enero 2020	Febrero 2020	Marzo 2020
Promedio (m)	1524,86	1524,87	1524,72	1523,52
Mediana (m)	1490,72	1488,96	1488,67	1490,73
Máximo (m)	2133,70	2133,92	2133,33	2133,08
Mínimo (m)	1276,41	1276,33	1276,26	1276,25
Desviación	142,12	142,39	142,77	149,94

En la Figura 10 se presentan las oscilaciones de los niveles piezométricos en meses consecutivos monitoreados donde se observan cambios que alcanzan un máximo de 15 metros lo cual está relacionado a niveles dinámicos en puntos donde se realiza explotación del agua subterránea. Los puntos en color amarillo representan cambios entre -1 y 1 metro, son puntos en los cuales no se realiza extracción del agua, o se apaga el sistema de bombeo uno o dos días antes de la campaña de monitoreo, garantizando la toma de niveles estáticos, mientras que los puntos de color verde, rojo y naranja representan oscilaciones mayores del nivel del agua que corresponden principalmente cambios asociados a mediciones en nivel dinámico.





1.2.3 Análisis de la evolución de los niveles

En las campañas de monitoreo se registran los datos de nivel dinámico, ND, cuando la captación se encuentra en funcionamiento en el momento de realizar la medición o si se ha bombeado recientemente; los niveles estáticos, NE, se registran cuando se realizan las mediciones en piezómetros, en captaciones inactivas, o en captaciones en las que no se ha realizado bombeo reciente al momento de tomar la medición. Para el análisis de la evolución del nivel piezométrico en el acuífero, se continúa con el análisis realizado en convenios anteriores, el cual incluye los períodos correspondientes a julio 2010- marzo 2011, octubre 2012- octubre 2013, febrero 2014- febrero 2015, marzo 2015 – marzo 2016, 2017, 2018, 2019 y se actualiza a 2020 para el periodo contractual de medición (Modificación del Convenio 643 de 2019). El análisis se realiza para niveles estáticos y dinámicos.

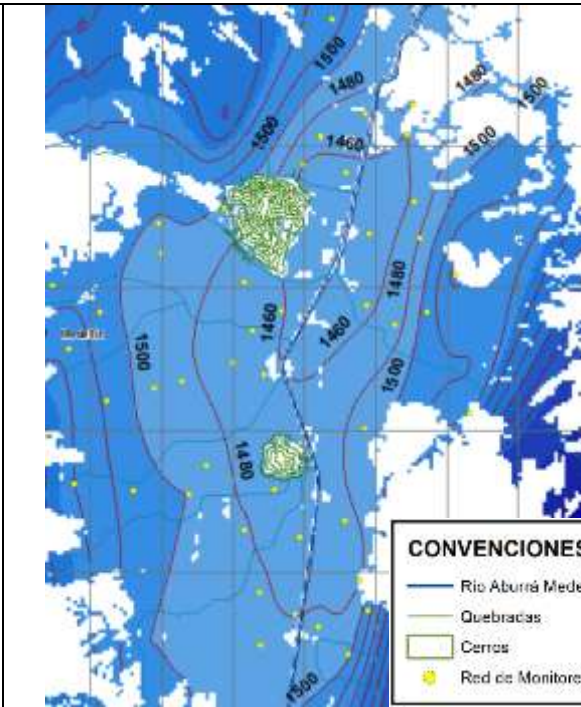
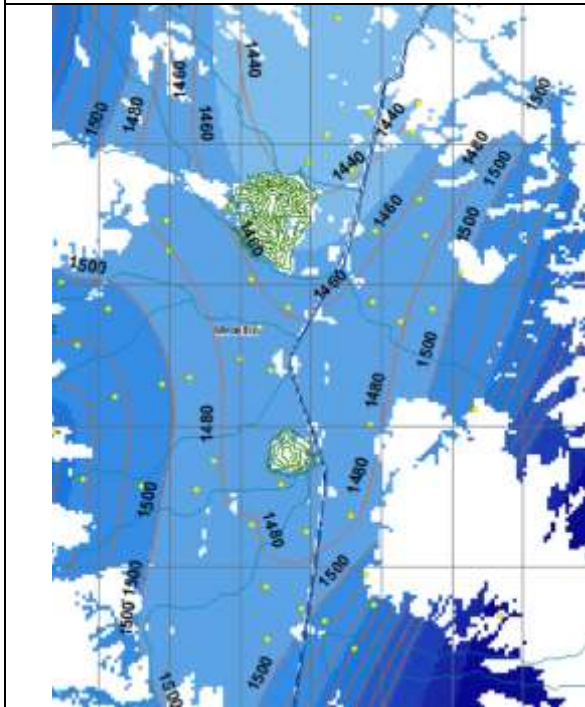
1.2.3.1 Niveles dinámicos y estáticos del acuífero libre

La comparación entre superficies construidas a partir de mediciones correspondientes sólo a niveles estáticos y superficies construidas con niveles dinámicos evidencia la influencia que tienen los bombeos de las captaciones activas sobre el comportamiento natural de los niveles piezométricos del acuífero. Esto puede evidenciarse hacia la parte central en cercanías del cerro el Volador y Nutibara, en esta zona se perfilan isopiezas que se cierran sobre sí mismas indicando en algunos casos claros conos de abatimiento debidos a la explotación de agua subterránea. Por otro lado, las superficies piezométricas construidas con los niveles estáticos reflejan que el flujo efectivamente se mueve desde las laderas hacia el río en dirección norte siguiendo la pendiente de la cuenca. Es importante mencionar, que con la comparación en estas superficies se evidencia aún más una posible interacción agua superficial-agua subterránea en el sentido río-acuífero, situación mencionada en fases anteriores.

SÓLO NIVELES ESTÁTICOS

NIVELES DINÁMICOS Y ESTÁTICOS

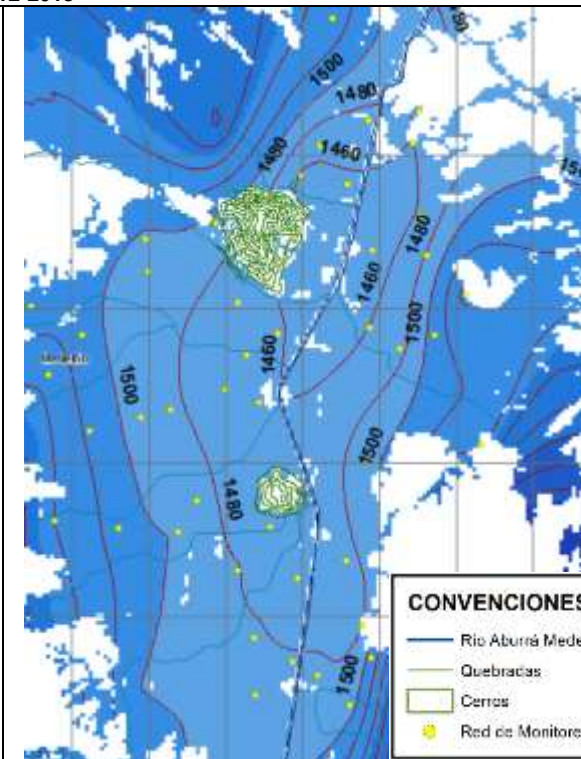
2010-2011



CONVENCIONES

- Rio Aburrá Medellín
- Quebradas
- Cerros
- Red de Monitoreo

2012-2013



CONVENCIONES

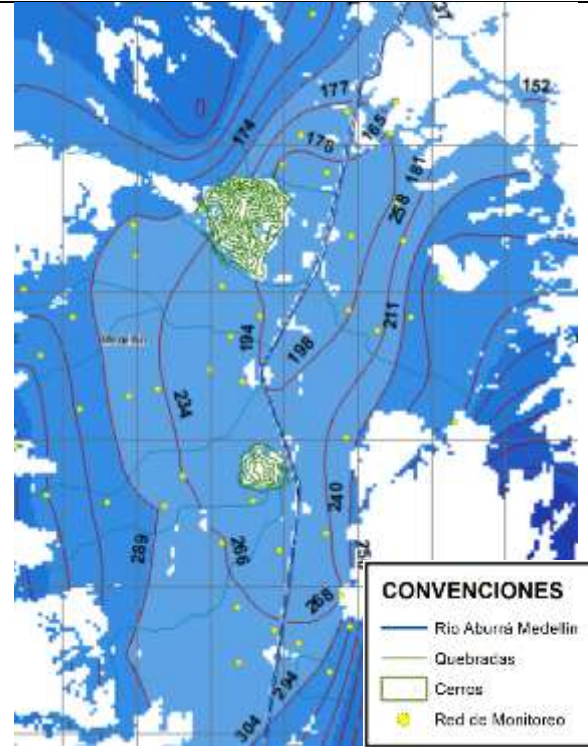
- Rio Aburrá Medellín
- Quebradas
- Cerros
- Red de Monitoreo

2014-2015

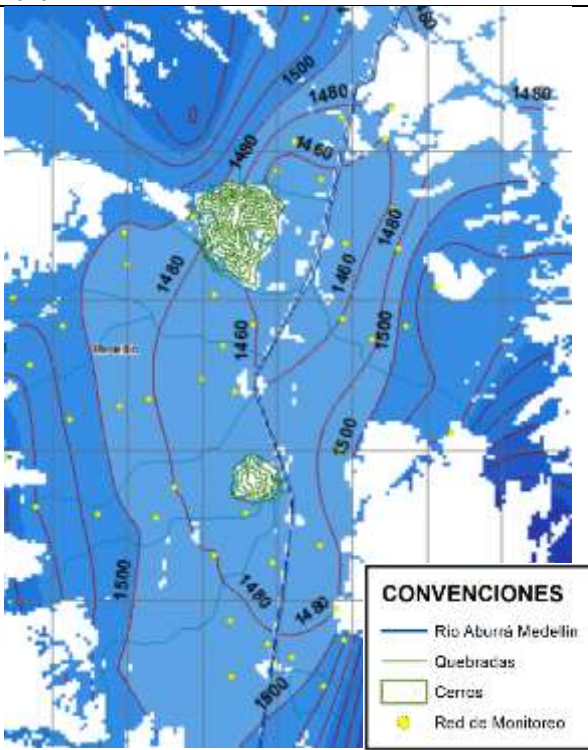
SÓLO NIVELES ESTÁTICOS



NIVELES DINÁMICOS Y ESTÁTICOS

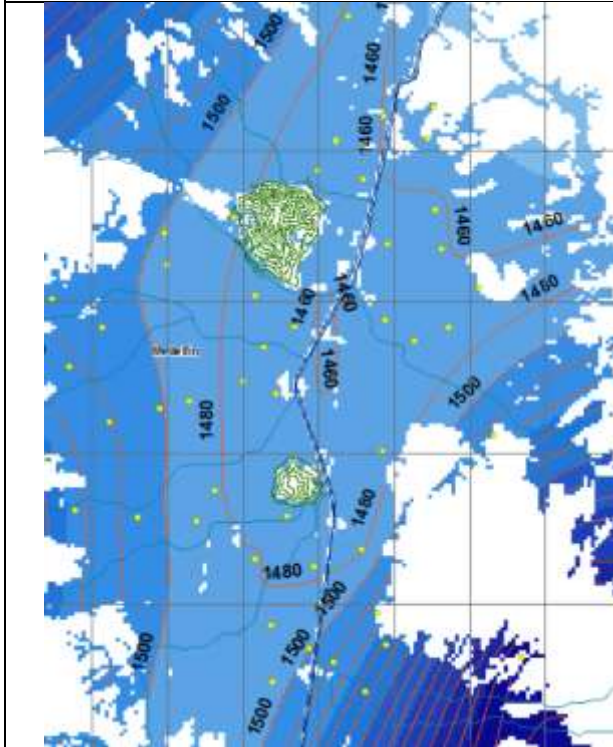


2015-2016

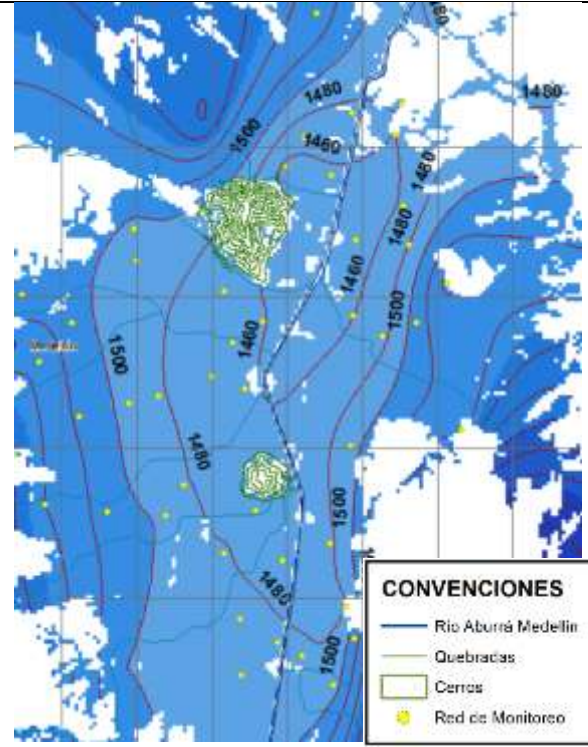


2017

SÓLO NIVELES ESTÁTICOS



NIVELES DINÁMICOS Y ESTÁTICOS



2018



2019

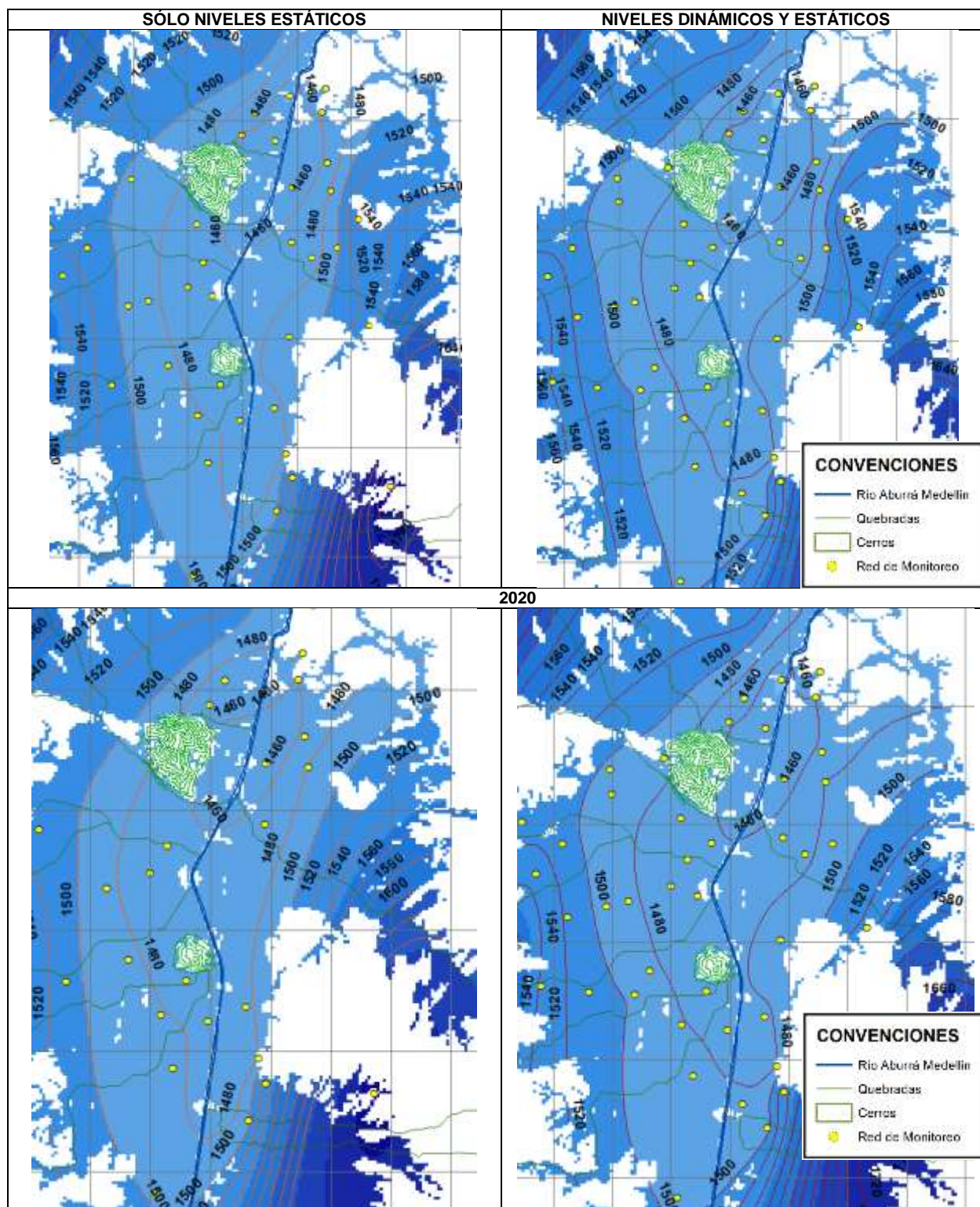


Figura 11. Superficies con niveles estáticos y dinámicos



AUNAR ESFUERZOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL MARCO DE LA OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ – MEDELLÍN



1.2.3.2 Hidrogramas representativos del acuífero libre

Con el fin de observar el comportamiento del nivel piezométrico en cada uno de los puntos que hacen parte de la red de monitoreo, se construyó un hidrograma (línea punteada de color azul) y se ajustó una línea de tendencia de primer orden (línea continua de color rojo), con el objeto de observar de manera general si el nivel en el tiempo decrece, asciende o se mantiene constante. Es importante considerar que en muchos casos esta tendencia se puede ver afectada significativamente por el bombeo (niveles dinámicos), sin embargo, se puede observar si este ha aumentado o disminuido en el tiempo. En el Anexo 5 se presenta el código desarrollado en Python y los gráficos construidos para cada uno de los puntos de monitoreo.

Para el análisis del comportamiento del sistema acuífero, este fue dividido en tres sectores (norte, centro y sur) y para cada uno fueron seleccionados un conjunto de puntos representativos, en los cuales se realizan solamente mediciones de niveles estáticos, como piezómetros o captaciones en donde ya no se utiliza el agua subterránea o también pueden ser puntos en los cuales se realicen tanto mediciones de nivel estático como dinámico que posibilitan observar la respuesta del acuífero en relación a la explotación del recurso que se realiza en estos puntos. De manera general se puede observar con estos hidrogramas comportamientos puntuales, además de conclusiones generales del comportamiento del acuífero libre.

1.2.3.2.1 Sector norte

Este sector del acuífero está comprendido entre los municipios de Barbosa, Girardota, Copacabana y parte del municipio de Bello, su límite sur lo marca el cauce de la quebrada La García, cerca al cambio en la trayectoria del río Aburrá - Medellín hacia un sentido noreste. Para esta zona del acuífero se evidencia en estos puntos presentados una tendencia de aumento del nivel piezométrico, por ejemplo, el piezómetro: Gi_GEO_0041 (Colgras), monitoreado mensualmente desde octubre de 2012. Desde el mes de junio de 2016 hasta mayo de 2018 aumentó el nivel en 7.1 metros, desde este último mes hasta marzo de 2020 el nivel ha ido descendiendo. Esta situación no es común, ya que en el punto no se realizan bombeos, lo que garantiza la medición de un nivel estático, además no se observan captaciones de agua subterránea cerca que puedan generar estos cambios sobre el nivel de agua, aunque es posible que existan algunas y no se tenga información sobre las mismas, por ser anónimas. Considerando que el punto se encuentra sobre la planicie de inundación del río es posible que este aumento del nivel del agua se encuentre relacionado a la interacción agua superficial agua subterránea. Es importante mencionar que los niveles que se miden en los puntos de este sector del acuífero en su mayoría corresponden a niveles estáticos que representan el comportamiento del acuífero en esta zona. En la Figura 12 se presentan cada uno de los puntos de agua descritos junto con el hidrograma correspondiente, los puntos amarillos representan la red de monitoreo del Valle y los puntos negros la red nacional del IDEAM.

1.2.3.2.2 Sector centro

El sector centro comienza desde Bello, y hacia el sur hasta el límite con el municipio de Itagüí está constituido por el sector donde el acuífero presenta su mayor amplitud y potencial, el límite sur de este sector es marcado por la quebrada La Chocha, cerca al Ancón Sur. Es ampliamente conocido que las fluctuaciones de los niveles del agua pueden resultar de una gran variedad de



AUNAR ESFUERZOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL MARCO DE LA OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ – MEDELLÍN



fenómenos hidrológicos, algunos naturales y otros provocados por acciones antrópicas. Esto último se evidencia en algunos puntos monitoreados en este sector del acuífero, en donde se ve claramente las variaciones en el nivel debido a los bombeos y la recuperación del acuífero al dejar de usar la captación o apagar el sistema de bombeo antes de la realización de los monitoreos. Como por ejemplo el punto Me_A_365 se han presentado oscilaciones de 9.8 metros, su disminución más pronunciada se presentó en marzo de 2013, correspondiente a un nivel dinámico y una época de transición entre la temporada seca y húmeda, el aljibe desde mayo de 2014 se encuentra inactivo, por eso es clara una recuperación y estabilización del nivel piezométrico. En la Figura 13 se presentan cada uno de los puntos de agua descritos junto con el hidrograma correspondiente, los puntos amarillos representan la red de monitoreo del Valle y los puntos negros la red nacional del IDEAM.

1.2.3.2.3 Sector sur

El sector sur se extiende hacia el sur entre el municipio de Itagüí, La Estrella y Caldas. Para este sector también se evidencia la influencia de los bombeos y la recuperación de los niveles cuando se detiene el bombeo. Como en el punto Es_A_012 que presentan niveles piezométricos estáticos con variaciones mínimas, y los descensos observados están asociados principalmente a la operación del pozo y su posterior recuperación a un valor piezométrico de 1629.3 msnm. Para el punto It_A_040 se presentan niveles estáticos con valores cercanos a lo largo de todo el periodo de monitoreo, con oscilaciones de 3,8 metros que pueden estar asociadas al comportamiento natural del acuífero o a extracciones de puntos cercanos. En la Figura 14 se presentan cada uno de los puntos de agua descritos junto con el hidrograma correspondiente, los puntos amarillos representan la red de monitoreo del valle y los puntos negros la red nacional del IDEAM.

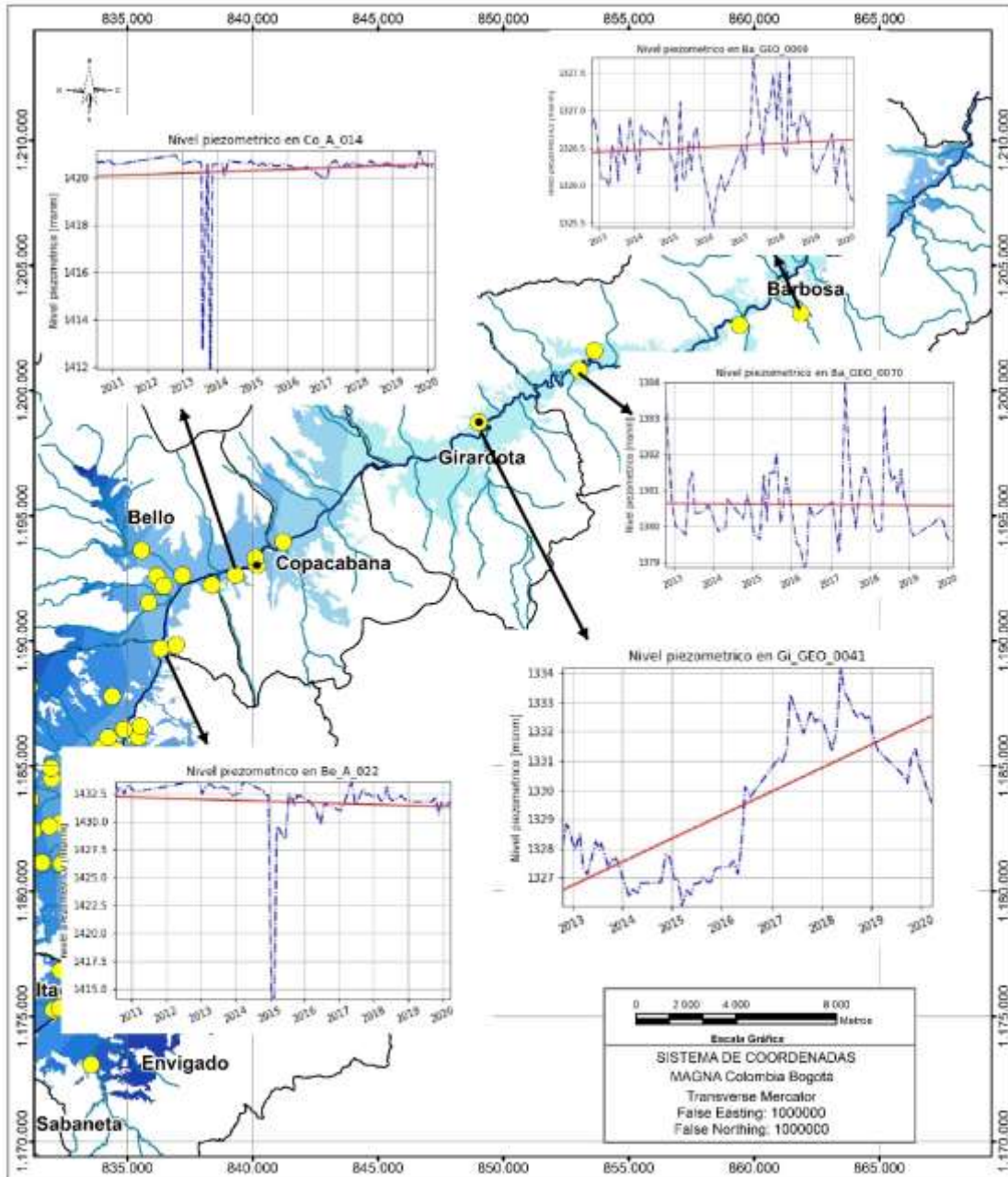


Figura 12. Hidrogramas del sector norte del acuífero libre

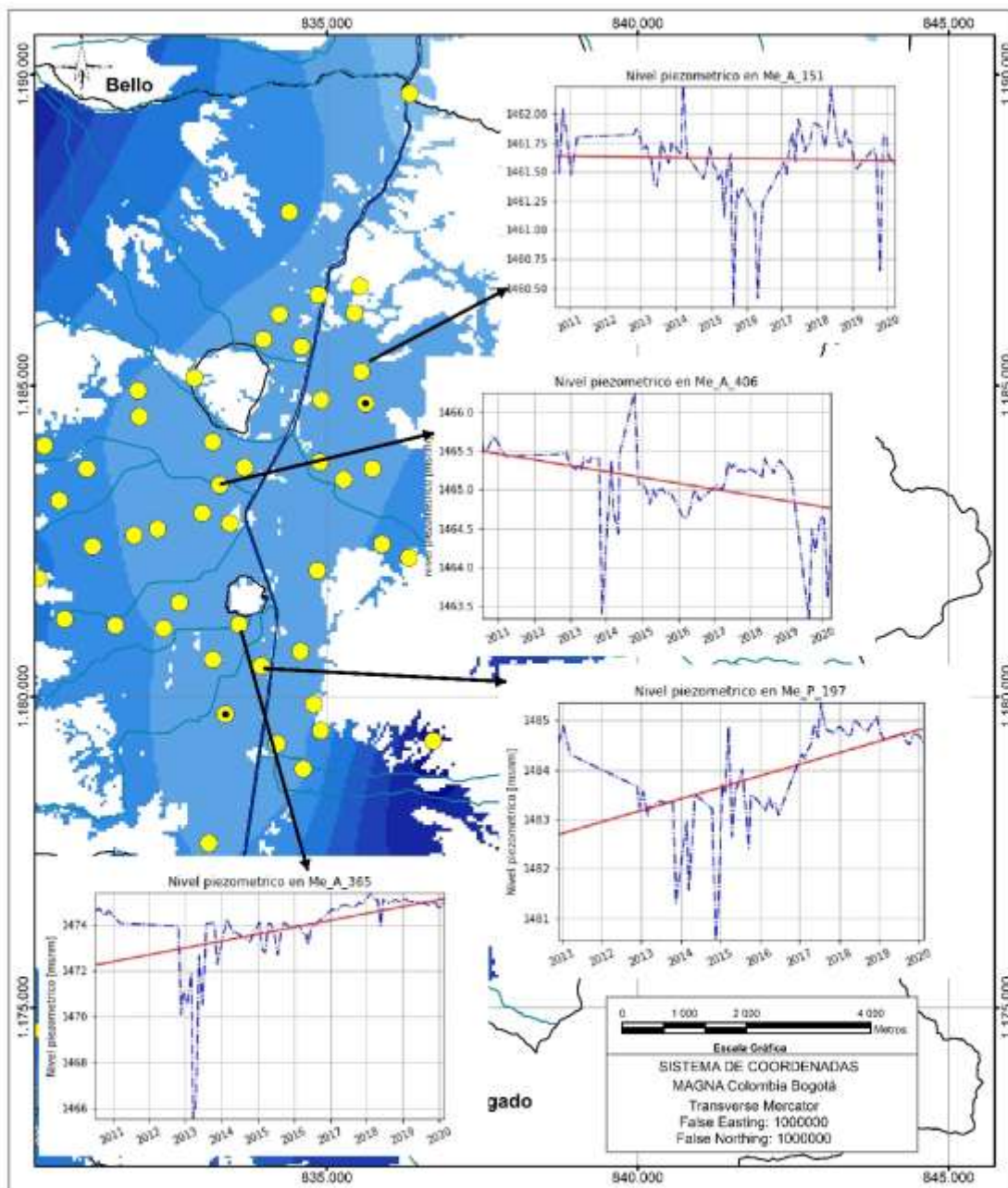


Figura 13. Hidrogramas del sector centro del acuífero libre

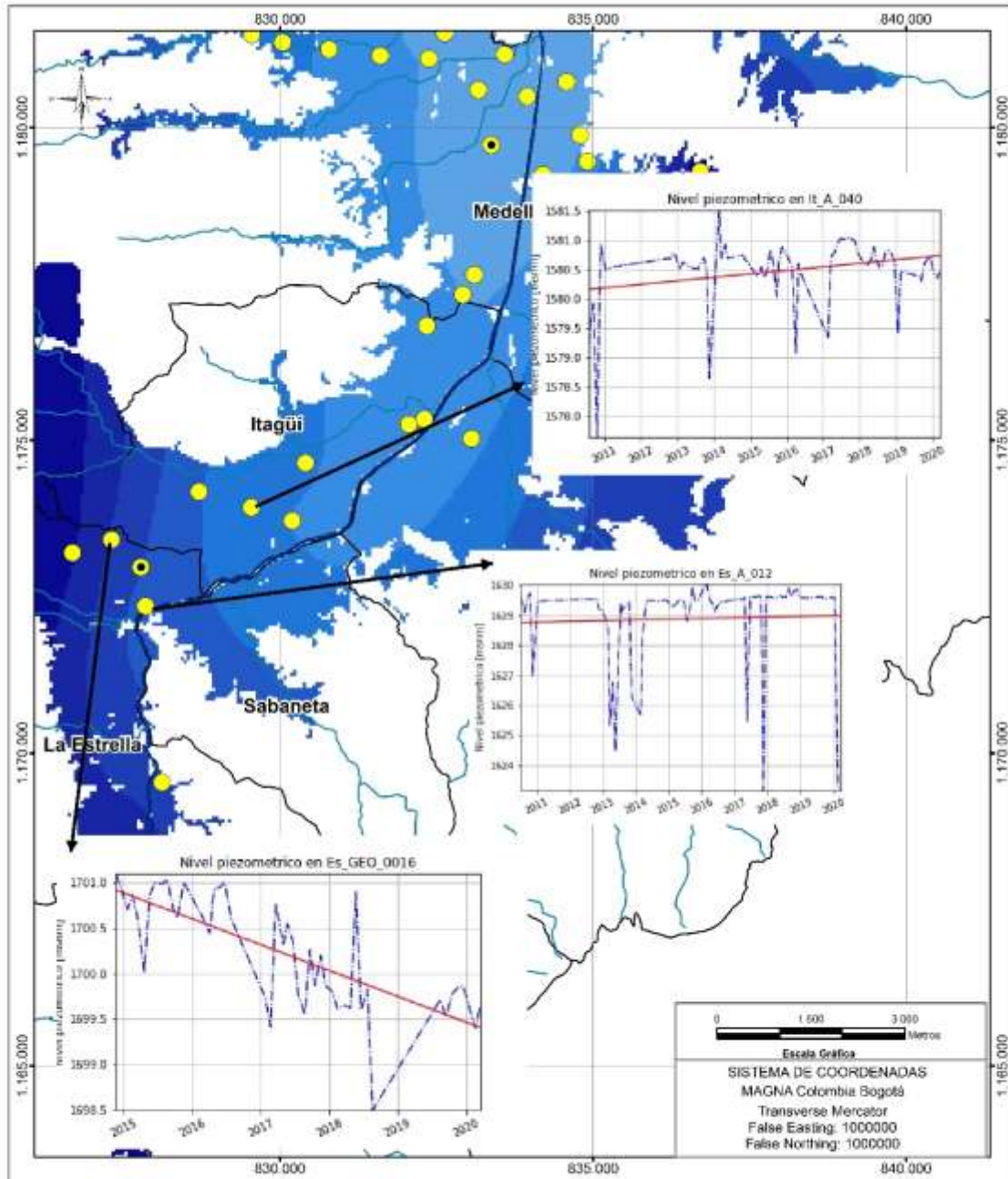


Figura 14. Hidrogramas del sector sur del acuífero libre

1.3 MONITOREO ISOTÓPICO

La red isotópica constituye un insumo fundamental para realizar la validación de modelos hidrogeológicos conceptuales en términos de la identificación de zonas de recarga, tránsito y descarga del sistema y de la verificación de los diferentes sistemas de flujo. La función de entrada al sistema, representada en la precipitación, debe medirse de manera continua e ininterrumpida para poder configurar la mejor Línea Meteórica Local, que efectivamente permita identificar y validar áreas de recarga.

Además de la información obtenida durante la ejecución del proyecto RedRío, para el Acuífero del Valle de Aburrá, desde el año 2011 se han realizado estudios que contemplan dentro de sus propósitos el análisis isotópico. Dentro de estos estudios se encuentran los realizados por Campillo (2012) “Orígenes de la recarga del acuífero del Valle de Aburrá (Medellín, Colombia). Enfoque geoquímico e isotópico” y Cano (2015) “Identificación de la presencia de flujos regionales en el sistema hidrogeológico del Valle de Aburrá a partir de un caso de estudio en una zona piloto” como sus trabajos de grado de maestría. Además, en el marco de los proyectos “Determinación de zonas de recarga en el norte del Valle de Aburrá” (Área Metropolitana del Valle de Aburrá & Universidad de Antioquia, 2012) y “Determinación de zonas de recarga en el centro y sur del Valle de Aburrá” (Área Metropolitana del Valle de Aburrá & Universidad de Antioquia, 2013) fueron analizados otros datos isotópicos.

Sumando a la información obtenida descrita, y a los datos de la operación de la red en años anteriores, en total para el Valle de Aburrá se cuenta con información de 9 estaciones de lluvia, como mínimo monitoreadas durante un año, para un total de 269 datos. Para el caso del agua subterránea se cuenta con información de 231 datos y 34 datos de agua superficial. Estos datos fueron obtenidos a partir del análisis isotópico realizado en laboratorios aprobados por la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA). Teniendo en cuenta esta información se puede construir la línea meteórica local que se presenta en la Figura 15, esta línea responde a la ecuación $\delta^2\text{H}=8.26\delta^{18}\text{O}+12.8$. Teniendo en cuenta que con los datos de lluvia recolectados a nivel mundial se construye la ecuación $\delta^2\text{H}=8\delta^{18}\text{O} +10$ y comparando esta ecuación con la obtenida a nivel local se presentan diferencias en su pendiente de 0.26 unidades y en su intercepto de 2.8 unidades, esta desviación responde las condiciones climáticas especiales que se estarían dando a nivel local en un valle andino de alta montaña.

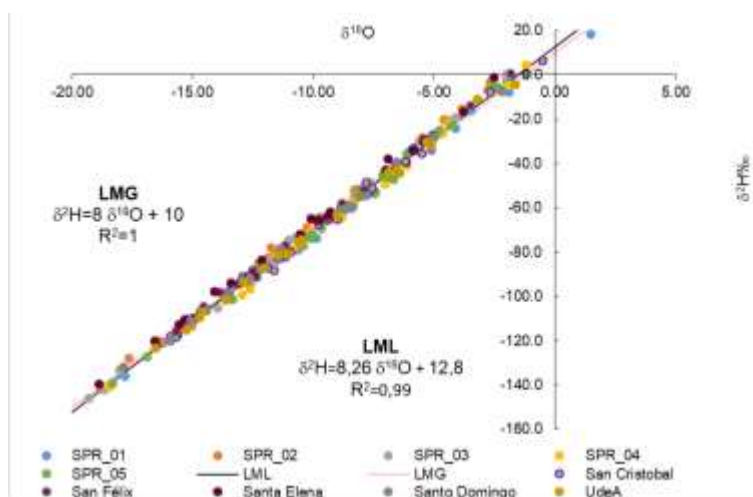


Figura 15. Línea meteórica local para el Valle de Aburrá considerando la información de otros proyectos.

Durante la adición del Convenio 643 de 2019 se realizaron 3 monitoreos isotópicos de lluvia en los meses de diciembre de 2019, enero y febrero de 2020 durante los días 27, 20 y 28 respectivamente. En los meses de diciembre y enero no se logró tomar la medición en la estación SPR1 ubicada en la Universidad de Antioquia, ya que el personal de mantenimiento se encontraba de vacaciones, y estos son los únicos que tienen las llaves para acceder a la azotea donde se localiza el totalizador. Antes de salir a vacaciones en este lugar se había realizado un contacto previo, sin embargo, no se contempló el sellamiento de uno de los accesos al punto por el personal de mantenimiento.

En cada monitoreo fueron recopiladas y almacenadas 2 muestras isotópicas de 30 ml para el análisis posterior de ^2H y ^{18}O , en la Tabla 13 se presenta la información del volumen de agua recopilado en cada monitoreo en los totalizadores de agua lluvia y su equivalencia en lámina de agua calculada a partir de la fórmula presentada en la Ecuación 1 donde V corresponde al volumen de agua y A corresponde al área del embudo del totalizador de agua lluvia por donde ingresa el agua recogida en este, que puede calcularse mediante la Ecuación 2 donde el valor r corresponde al radio del embudo que es de 6,9 cm para los totalizadores del Valle de Aburrá. La ubicación de los totalizadores se presenta en la Figura 16.

$$\text{lamina de agua} = \frac{V}{A} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$A = \pi r^2 \quad \text{Ecuación 2}$$

Las muestras tomadas durante esta adición se encuentran almacenadas para ser enviadas posteriormente al laboratorio, es importante considerar que también se tienen algunas muestras almacenadas adicionales que fueron tomadas en el Convenio 643 de 2019 de agua lluvia y agua subterránea.

Tabla 13. Información obtenida en los monitoreos isotópicos

Código	Nombre	X	Y	Cota	Diciembre		Enero		Febrero	
					Var(ml)	L(mm)	Var (ml)	La (mm)	Var (ml)	La (mm)
SPR1	Universidad de Antioquia	835033	1185156	1466	NM	NM	NM	NM	994	66,46
SPR2	Fuerte Ecológico	844372	1185287	2445	1032	69,00	330	22,06	2310	154,44
SPR3	The New School	837509	1176327	2144	1340	89,59	810	54,15	750	50,14
SPR4	Altavista (I. E. Débora Arango)	828627	1180210	1672	1450	96,94	860	57,50	2458	164,34
SPR5	Seminario de la Santa Cruz	828152	1165431	1772	2230	149,09	1420	94,94	1850	123,69

VAR: Volumen de agua recogida
 LA: Lámina de agua
 NM: No Medido

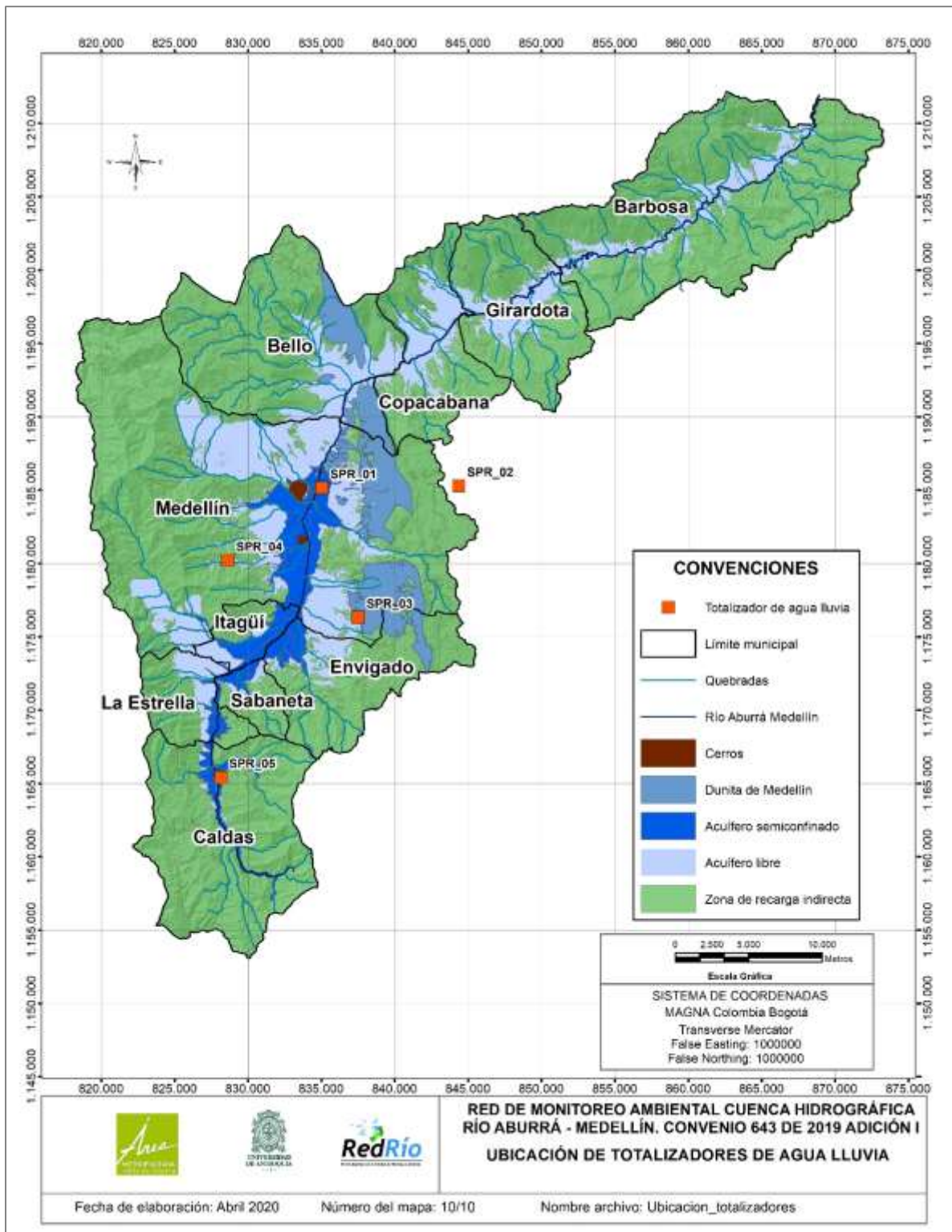


Figura 16. Ubicación de totalizadores de agua lluvia



2 IMPLEMENTACIÓN DE LA PLATAFORMA WEB PARA EL COMPONENTE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Con la idea de mejorar la gestión de la información generada por la operación de la red de monitoreo, y en la búsqueda del mejoramiento continuo, se planteó al Área Metropolitana del Valle de Aburrá, en el marco del convenio 643 de 2019, integrar a la plataforma web diseñada para el componente superficial el componente de agua subterránea. Esto permite que la información este centralizada, actualizada y siempre disponible, mejorando de esta manera el manejo y gestión de los datos generados por la operación de la red de monitoreo.

2.1 REVISIÓN DE INFORMACIÓN Y AJUSTES EN LA ESTRUCTURA Y DISEÑO DE LA PLATAFORMA WEB

En el marco del convenio 643 de 2019, se avanzó hasta el diseño y cargue de la información generada por la red desde el año 2010, sin embargo, por los tiempos y alcances definidos en el convenio, no fue posible realizar la validación de la información almacenada en la web, por lo cual uno de los objetivos a cumplir durante esta adición al convenio es la revisión y validación de la información entregada, así como la inclusión de algunas mejoras en la plataforma sugeridas por el equipo técnico del proyecto. Este numeral da cuenta del desarrollo de esta actividad.

- **Cargue de información del convenio 643 de 2019 a la plataforma**

Durante el convenio 643 de 2019, fue cargada la información disponible de la red desde el año 2010, que estaba dispuesta en la geodatabase del convenio 1050 de 2016, sin embargo no se alcanzó a incluir la información obtenida en el marco del convenio 643, por tanto durante la ejecución de la modificación N°1, al convenio 643 de 2019, se realizó el cargue de la información de los monitoreos piezométricos, hidrogeoquímicos, isotópicos y de calidad ejecutados, además se incluyeron dentro de la plataforma web los resultados de los monitoreos desarrollados en el periodo contractual del presente convenio.

- **Revisión de la información cargada en la plataforma**

Durante la ejecución del presente convenio, se adelantaron las tareas de revisión de la información cargada dentro de la plataforma web ya que se identificaron algunos errores que se pueden presentar en el traslado de la información desde su almacenamiento en la geodatabase previamente existente y la configuración de almacenamiento de la plataforma. El seguimiento de los errores identificados y su respectiva solución se pueden consultar en el Anexo 6. Para establecer las soluciones mencionadas fueron consultados formatos de campo, resultados de laboratorio, entre otros documentos que permitieron corroborar de manera efectiva el motivo del error presentado, en este momento se está trabajando en esta etapa.

Así mismo se identificaron algunos aspectos en la plataforma que deberán ser mejorados posteriormente, estos cambios requieren diseños adicionales que inicialmente no fueron contemplados dentro del diseño y no alcanzaron a ser desarrollados dentro de la ejecución de esta modificación N°1. Dentro de estos se encuentran la integración de los módulos de agua superficial y agua subterránea en un mismo visor de la plataforma web. Desarrollar una interfaz donde se pueda reportar la incertidumbre y el laboratorio donde se analizan las muestras de

isotopía, hidrogeoquímica y calidad, así como el desarrollo de diagramas para la interpretación de los resultados de los monitoreos realizados como los hidrogramas, diagramas Piper y Stiff, entre otros. Otro aspecto que se encuentra pendiente para desarrollar en futuras vigencias es la interpolación y construcción de las superficies piezométricas, más adelante en el desarrollo de este informe se incluye un numeral donde se evalúan los mejores modelos de interpolación que posteriormente pueden incluirse dentro de la plataforma web. Además, se considera importante que en la plataforma web, en un futuro, puedan almacenarse fotografías de los puntos que la conforman, esto con el fin de ubicar fácil y acertadamente los puntos que pertenecen a la misma.

- **Inclusión del componente de aguas subterráneas al módulo del Web Mapping**

Durante el desarrollo de esta adición, también se avanzó en la inclusión del componente de aguas subterráneas al módulo de Web Mapping, en él se visualizan los acuíferos que se tienen en el Valle de Aburrá, los puntos de monitoreo con su respectiva información de las campañas realizadas (en esta etapa aún hay campañas que no se han ingresado), y los índices de calidad del agua subterránea (Figura 17). Esta es una herramienta muy importante para lograr la visualización del componente de aguas subterráneas a la ciudadanía en general.



Figura 17. Interfaz web mapping componente de aguas subterráneas

2.2 EVALUACIÓN DE TÉCNICAS DE INTERPOLACIÓN PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE CREACIÓN DE SUPERFICIES PIEZOMÉTRICAS

Los métodos de interpolación comúnmente utilizados se dividen en dos: determinísticos y no determinísticos, dentro de los determinísticos se encuentran técnicas como polígonos de influencia, interpolación mediante distancia inversa (IDW por sus siglas en inglés), función de base radial (spline). En relación a los no determinísticos o geoestadísticos son básicamente técnicas de kriging (ordinario, universal, cokriging, kriging con deriva) y no existe un consenso general de cuál es el mejor método, ya que dependen de las condiciones particulares de cada zona de estudio, la escala espacio-temporal, la distribución de la red de monitoreo, la variación espacial y el objeto de la espacialización (Berndt & Haberlandt, 2018).

Los métodos determinísticos de interpolación como el IDW y el spline, están basados directamente en los valores medidos o en fórmulas matemáticas que determinan la suavidad de la superficie resultante, operan sólo considerando los datos observados y su distribución espacial, no depende de la distribución estadística de los datos observados (Zapata & Escobar, 2019), lo que hace que los métodos en general sean rápidos y se pueda automatizar fácilmente la generación de superficies.

Los métodos de kriging están basados en el concepto de autocorrelación espacial presumiendo que la distancia o la dirección entre los puntos de una muestra reflejan una correlación espacial que puede utilizarse para explicar la variación de la superficie (Esri, 2003). Para obtener buenos resultados con los métodos de kriging convencionales (ordinario, universal, cokriging) se debe verificar la estacionariedad de los datos, es decir que se ajusten a una distribución normal (Webster, Richard and Oliver, 2007), además estos métodos son altamente sensibles a los valores extremos, estas dificultades hacen que la automatización de los métodos de kriging convencionales sea complicada.

Una buena alternativa para automatizar los inconvenientes de los métodos de kriging convencionales es el Kriging Bayesiano Empírico (EBK por sus siglas en inglés), es un método de interpolación estadístico que automatiza los parámetros por medio de la creación de subconjuntos y simulaciones, haciéndolo así más preciso que los otros métodos kriging. En los otros métodos se asume implícitamente que el semivariograma generado es el adecuado para la región de estudio, subestimando así los errores estándar de la predicción, a diferencia del EBK que tiene en cuenta el error introducido al estimar el semivariograma subyacente (Esri, 2016).

La red de monitoreo de aguas subterráneas del Valle de Aburrá en la actualidad utiliza como método de interpolación el kriging ordinario con un variograma esférico y una transformación logarítmica para lograr la estacionariedad de los datos. El método ha mostrado buenos resultados, pero la manera en la que se realiza es manual y demanda gran cantidad de tiempo, la tendencia en las redes de monitoreo actuales es hacia la automatización en la generación de resultados, la visualización en tiempo real y la disponibilidad web de los datos. En este contexto se hace necesario evaluar distintas técnicas de interpolación que permita la generación automática de superficies piezométricas que representen de una manera adecuada la realidad del fenómeno, es decir un error de estimación pequeño.

Para evaluar el desempeño de los métodos de interpolación para representar la piezometría de las aguas subterráneas del Valle de Aburrá y su idoneidad como rutina automática se crearon Scripts de Python utilizando Arcpy, se realizaron interpolaciones de los datos históricos de la red con cuatro métodos distintos: IDW, spline de placa delgada (TPS por sus siglas en ingles), EBK con semivariograma lineal y EBK con semivariograma de spline de placa delgada. La métrica error cuadrático medio (RMSE) obtenida mediante validación cruzada se utilizó para evaluar la bondad de ajuste de los métodos. En la Tabla 14 se presentan los resultados de RMSE para los datos históricos de la red de monitoreo y en la Tabla 15 un resumen de estos resultados. Los archivos utilizados pueden encontrarse en el Anexo 7.

Tabla 14. Error cuadrático medio (RMSE) para los datos históricos con distintos modelos

Fecha*	IDW	TPS	EBK-Lineal	EBK-TPS	Mejor Modelo
2010_10	43,26	26,5	31,96	26,49	EBK-TPS
2010_11	43,87	28,8	33,56	28,77	EBK-TPS
2010_7	43,6	27,03	32,39	27	EBK-TPS
2010_8	43,28	26,7	32,03	26,66	EBK-TPS
2010_9	43,32	27,25	33,07	27,25	TPS
2011_1	43,31	27	32,64	27,01	TPS
2011_2	43,86	27,46	33,29	27,47	TPS
2012_10	43,23	29,48	32,95	29,38	EBK-TPS
2012_11	44,02	29,64	33,65	29,56	EBK-TPS
2012_12	45,62	31,23	35,29	31,16	EBK-TPS
2013_1	43,69	30,12	33,9	30,04	EBK-TPS
2013_10	46,82	31,86	36,17	31,86	TPS
2013_11	46,2	31,01	35,24	30,95	EBK-TPS
2013_2	33,01	30,47	29,14	30,74	EBK-Lineal
2013_3	45,84	31,81	35,39	31,73	EBK-TPS
2013_4	45,57	31,96	35,35	31,88	EBK-TPS
2013_5	46,35	31,39	35,48	31,31	EBK-TPS
2013_6	45,48	31,44	35,26	31,37	EBK-TPS
2013_7	44,76	30,59	34,16	30,48	EBK-TPS
2013_8	45,26	31,07	34,97	31	EBK-TPS
2013_9	47,51	32,57	36,52	32,49	EBK-TPS
2014_10	45,23	30,56	34,49	30,48	EBK-TPS
2014_11	44,42	31,31	33,24	31,15	EBK-TPS
2014_12	45,45	30,68	34,5	30,62	EBK-TPS
2014_2	47,56	32,58	36,36	32,51	EBK-TPS
2014_3	48,18	32,7	36,77	32,63	EBK-TPS
2014_4	59,3	40,21	45,01	40,23	TPS
2014_5	46,41	31,78	35,46	31,69	EBK-TPS
2015_1	43,91	30,71	33,16	30,58	EBK-TPS
2015_10	44,3	30,68	33,47	30,58	EBK-TPS
2015_11	43,66	29,36	32,58	29,23	EBK-TPS
2015_2	44,34	34,3	34,42	34,13	EBK-TPS
2015_3	44	30,57	33,11	30,44	EBK-TPS
2015_4	43,82	29,04	32,4	28,93	EBK-TPS
2015_5	43,67	29,52	32,29	29,37	EBK-TPS
2015_6	43,77	29,52	32,57	29,39	EBK-TPS
2015_7	43,6	29,33	31,87	29,2	EBK-TPS
2015_8	43,32	29,27	32,41	29,14	EBK-TPS
2015_9	43,76	32,16	33,36	31,98	EBK-TPS
2016_2	44,28	33,9	34,21	33,71	EBK-TPS
2016_3	48,16	44,76	45,15	44,71	EBK-TPS
2016_4	44,24	33,56	34,12	33,4	EBK-TPS
2016_5	44,14	34,33	34,52	34,14	EBK-TPS
2016_6	44,07	34,38	34,18	34,2	EBK-Lineal
2016_7	45,03	35,51	35,52	35,28	EBK-TPS

Fecha*	IDW	TPS	EBK-Lineal	EBK-TPS	Mejor Modelo
2017_1	75,26	71,15	65,71	70,08	EBK-Lineal
2017_10	65,56	72,86	65,33	72,45	EBK-Lineal
2017_11	65,88	72,48	65,34	72,19	EBK-Lineal
2017_12	69,87	64,94	63,95	64,8	EBK-Lineal
2017_2	64,49	52,2	58,87	54,23	TPS
2017_3	79,87	59,74	69,34	61,23	TPS
2017_4	46,34	39,08	40,78	39,26	TPS
2017_5	66,01	57,83	61,79	59,01	TPS
2017_6	66,65	57,75	62,05	59,05	TPS
2017_7	65,76	63,84	61,8	63,76	EBK-Lineal
2017_8	65,14	63,24	61,17	63,16	EBK-Lineal
2017_9	65,82	64,03	61,81	63,96	EBK-Lineal
2018_1	66,2	71,2	64,97	71,08	EBK-Lineal
2018_10	66,43	73,51	65,78	73,24	EBK-Lineal
2018_11	68,54	73,07	68,17	73,11	EBK-Lineal
2018_12	67	74,2	66,48	73,86	EBK-Lineal
2018_2	65,28	63,72	61,37	63,61	EBK-Lineal
2018_3	65,3	71,87	65,07	71,61	EBK-Lineal
2018_4	64,8	70,81	64,28	70,66	EBK-Lineal
2018_5	65,45	71,38	64,59	71,2	EBK-Lineal
2018_6	65,21	71,76	64,7	71,56	EBK-Lineal
2018_7	65,83	72,23	65,26	71,97	EBK-Lineal
2018_8	65,64	72,35	65,23	72,11	EBK-Lineal
2018_9	66,4	73,29	65,55	72,88	EBK-Lineal
2019_1	66,78	74,36	66,35	73,99	EBK-Lineal
2019_10	66,53	73,76	65,81	73,4	EBK-Lineal
2019_11	66,88	74,33	66,34	73,99	EBK-Lineal
2019_12	66,77	74,32	66,18	73,97	EBK-Lineal
2019_2	66,69	74,12	66,2	73,76	EBK-Lineal
2019_8	66,08	73,55	65,64	73,16	EBK-Lineal
2019_9	66,37	72,32	66,3	72,07	EBK-Lineal
2020_1	66,84	74,28	66,23	73,95	EBK-Lineal
2020_2	67,03	74,16	66,3	73,87	EBK-Lineal
2020_3	71,67	77,52	71,02	77,17	EBK-Lineal

*En la fecha se presenta el año y el mes de la campaña así 2010_10: Octubre de 2010

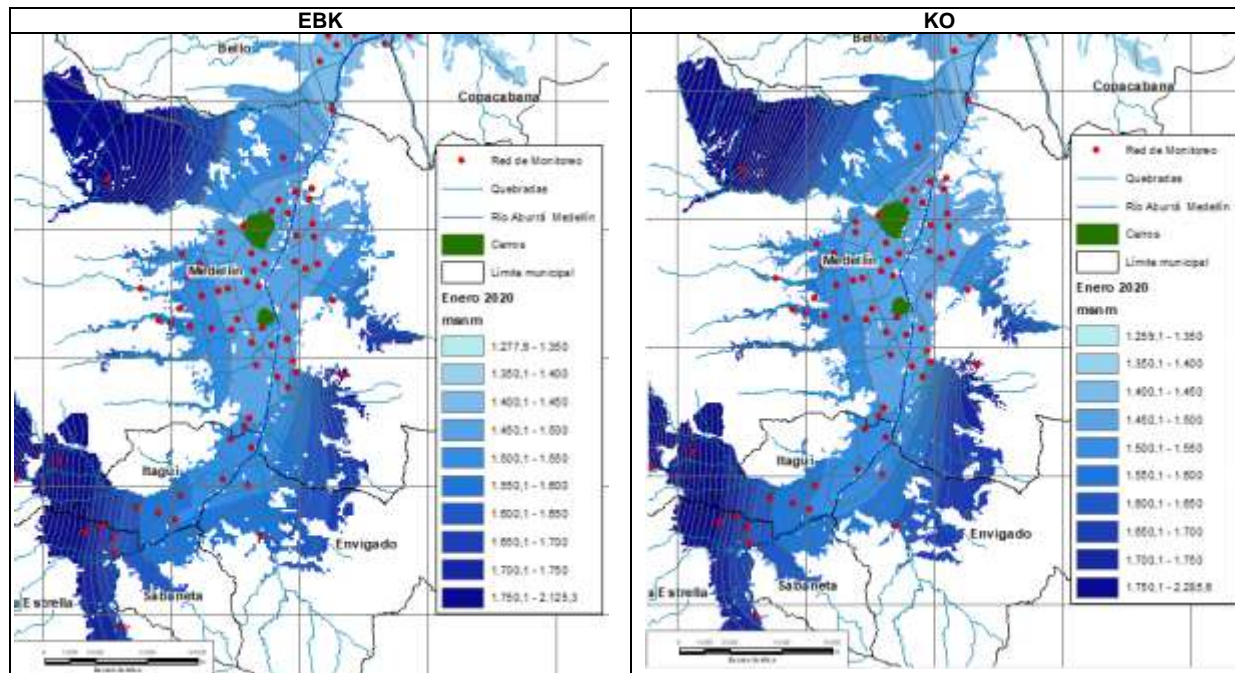
Tabla 15. Resumen de los resultados de los modelos

Modelo		Número de veces que es mejor	Porcentaje	
EBK	EBK-Lineal	31	39%	87%
	EBK-TPS	38	48%	
TPS	TPS	10	13%	13%
IDW	IDW	0	0	0

En el 87% de los casos el EBK es el mejor método de interpolación, en el 13% el TPS y en ningún caso el IDW, de esta manera se evidencia la bondad que tiene el método EBK para automatizar la generación de superficies piezométricas de la red de monitoreo. Se evidencia además que a partir del 2017 el error de estimación de los métodos aumenta, esto se debe a la reestructuración de la red de monitoreo que incluye puntos de agua con niveles piezométricos altos en las laderas del Valle de Aburrá, generando problemas en los borde de superficie y de valores extremos en los métodos de interpolación, también se evidencia que antes del 2017 el mejor método era el EBK con un semivariograma de TPS y a partir del 2017 se obtienen mejores resultados con un semivariograma lineal.

Finalmente, se recomienda evaluar el desempeño del EBK con otros semivariogramas como el k-bessel el cual puede arrojar mejores resultados de estimación, pero con una mayor demanda computacional, para esto se debe tener en cuenta la frecuencia con la que se van a realizar las interpolaciones y si la mejora en la estimación si es significativa. Además de explorar R como software libre para realizar las interpolaciones con paquetes como geoR, el spline de placa delgada y el Kriging Bayesiano Empírico ha mostrado buenos resultados utilizando este lenguaje en trabajos como los presentados por Krivoruchko & Gribov (2019) y Donato & Belongie (2002).

Las superficies piezométricas para todas las campañas de monitoreo realizadas desde el año 2010 y calculadas mediante cada uno de los métodos de interpolación expuestos en este apartado se presentan en el Anexo 7. Adicionalmente se presenta en la Figura 18 la superficie piezométrica calculada por medio del método EBK y la que actualmente se calcula por el método Kriging Ordinario, KO.



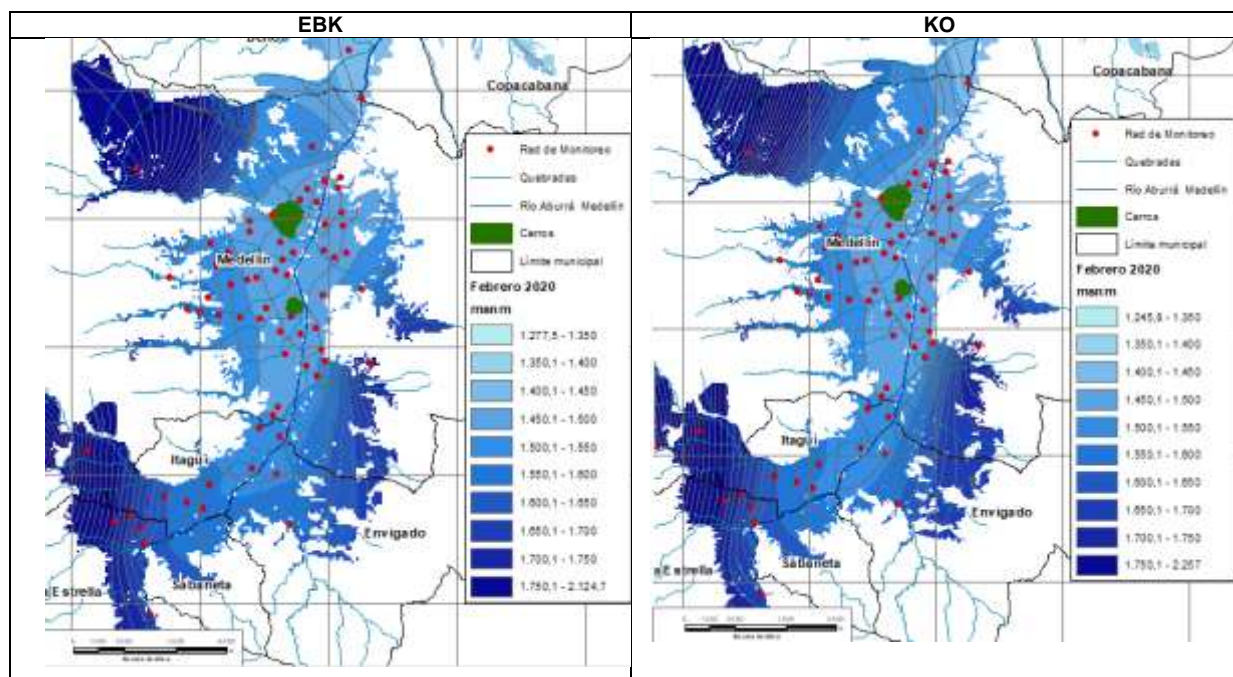
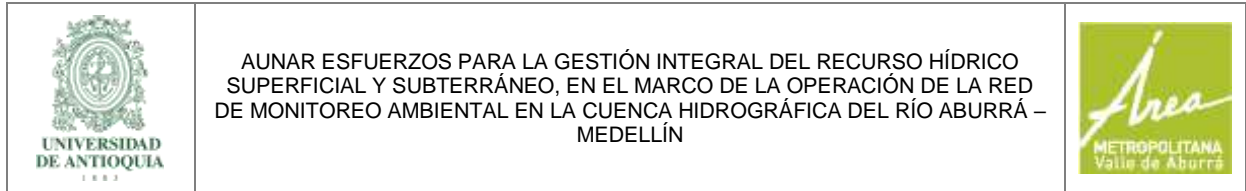


Figura 18. Superficies piezométricas Kriging Empírico Bayesiano, EBK y Kriging Ordinario

3 FORTALECIMIENTO Y TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO DE LA RED DE MONITOREO HIDROGEOLÓGICA

Como parte de los alcances planteados dentro de la modificación N°1, al convenio 643 de 2019, se acordó realizar actividades conducentes a la transferencia de conocimiento a los profesionales del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, en lo relacionado al Fortalecimiento de la Red de Monitoreo Hidrogeológica, con el fin de involucrar a los profesionales que integran el proceso de Gestión del Recurso Hídrico, buscando el arraigo del proyecto en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

En el caso del componente Hidrogeológico se realizó el 14 de febrero una presentación de la historia de la Red de Monitoreo Hidrogeológico, el día 19 de febrero se realizó una introducción a la Plataforma web de aguas subterráneas, el día 26 de febrero se abordó la temática relacionada con las propuestas realizadas previamente en el marco del convenio 1050 de 2016 para el fortalecimiento técnico de la red de monitoreo hidrogeológico y su instrumentación. A partir de estas jornadas se programó una salida de reconocimiento a los puntos donde inicialmente se tenían los permisos para realizar las perforaciones exploratorias y la construcción de piezómetros, priorizando en reuniones técnicas entre la Universidad y funcionarios del AMVA seis (6) de los trece (13) puntos inicialmente concebidos. La salida se realizó el día 6 de marzo y se lograron visitar 4 puntos de los 6 inicialmente planteados, en esta salida se verificó que existen aún las condiciones técnicas y los permisos necesarios para ser ejecutadas. El día 12 de marzo se acompañó a otra visita a la Casa Museo Otra Parte en el municipio de Envigado con estos mismos



propósitos. Una cita pendiente que inicialmente se había programado para el 19 de marzo fue aplazada por motivos del COVID-2019 para el mes de abril.

Adicionalmente se desarrollaron reuniones virtuales con el fin de definir y consolidar la propuesta de instrumentación de la Red de Monitoreo Hidrogeológico y realizar seguimiento y avance a este proceso de fortalecimiento técnico, en esta participaron funcionarios del Área Metropolitana del Valle de Aburrá y la Universidad de Antioquia.

4 REFLEXIONES FINALES Y PROYECCIONES FUTURAS DE LA RED DE MONITOREO HIDROGEOLÓGICA

Actualmente la Red de Monitoreo Hidrogeológico está conformada por 114 puntos de agua, en 90 de ellos se mide mensualmente piezometría y cada cuatro meses en 8 manantiales se miden el caudal y las propiedades organolépticas del agua. Aproximadamente en 39 puntos se mide la calidad bajo dos escenarios hidrológicos anuales, en 59 se realiza el monitoreo hidrogeoquímico, en 78 isotopía de agua subterránea y en 5 isotopía de agua lluvia mediante el uso de totalizadores.

La continua operación de la red permite realizar el seguimiento sistemático de las características del acuífero libre con lo cual se evalúan sus condiciones y comportamiento en términos de calidad y cantidad y a partir de ello efectuar una adecuada gestión y una toma de decisiones técnicamente soportadas. En este sentido interrumpir el monitoreo de parámetros básicos genera lamentables vacíos de información. En conclusión, la red debe seguir operando de acuerdo con el esquema diseñado para ello desde sus inicios en 2010 y teniendo en cuenta su rediseño realizado en el año 2016.

Es necesario continuar el monitoreo piezométrico mes a mes, ya que este permite identificar cambios en las direcciones del flujo debido a situaciones naturales como la variabilidad climática o extracciones de agua realizadas por los usuarios. Como se mencionó anteriormente esto ayuda también a estimar las zonas donde se recarga y se descarga el agua subterránea, identificar los puntos donde se presente sobreexplotación del recurso tanto por los usuarios de las aguas subterráneas que no hacen parte de la red y los que la conforman. Así mismo, es posible identificar anomalías en las direcciones de flujo que son ocasionadas por acciones antrópicas como proyectos de desarrollo, construcciones de edificaciones, entre otros, interacciones con otros cuerpos de agua superficial como el Río Medellín, además de identificar la respuesta del acuífero ante los diferentes periodos hidrológicos. El monitoreo continuo permitirá avanzar en obtener la información para la construcción de modelos numéricos que sirvan y apoyen la toma de decisiones. En términos de la gestión es importante para tomar medidas encaminadas a su protección, otorgar licencias ambientales, concesiones de agua, proteger las zonas de recarga y descarga de los acuíferos.

El monitoreo hidrogeoquímico, como se mencionó anteriormente, tiene como propósito explorar los procesos que controlan la composición química del agua subterránea, así como interpretar el origen del agua del acuífero y las zonas de recarga, identificar las posibles interacciones agua superficial-agua subterránea, validar las direcciones de flujo del agua obtenidas mediante las superficies piezométricas, e identificar relaciones existentes con otros sistemas acuíferos. Un cambio en el comportamiento de la hidrogeoquímica del acuífero permite identificar cuando hay



modificaciones en las condiciones de flujo, en la calidad del recurso, y si existen cambios en la entrada de agua al sistema. Además, la hidrogeoquímica es una herramienta que ayuda a responder preguntas específicas que se tienen del modelo hidrogeológico conceptual y del funcionamiento del acuífero de acuerdo a lo planteado anteriormente. También puede ayudar a identificar los impactos o relaciones que tienen algunas actividades económicas y productivas que pueden modificar el mismo. El monitoreo hidrogeoquímico realizado en el acuífero a lo largo de la operación de la red ha sido fundamental para validar el modelo hidrogeológico conceptual que se tiene del sistema, comprobando el sentido de flujo que se ha obtenido de las superficies piezométricas, a partir del análisis por líneas de flujo y relaciones con la mineralogía que se encuentran en las unidades hidrogeológicas. Igualmente, a partir de este análisis se han identificado algunos puntos que presentan anomalías y de los cuales deberá hacerse un seguimiento más detallado para verificar la existencia de fuentes de contaminación puntual que estarían afectando la composición química del acuífero y su calidad. A partir de las mediciones hidrogeoquímicas continuas, han surgido nuevas hipótesis que desencadenan en la necesidad de realizar estudios de investigación de detalle en el acuífero. Así mismo, se resalta la importancia de establecer los niveles de fondo químico natural del sistema, que permitirán conocer o separar la composición natural de la que se genera por fuentes antrópicas.

El monitoreo continuo de la calidad del agua subterránea también permite conocer la aptitud del agua para un uso particular como: el abastecimiento de la población, el industrial, el agrícola, entre otros, basado en el análisis de sus características físicas y químicas. Conocer estas características es importante para identificar las afectaciones que puede tener el agua, derivadas de fuentes antrópicas que se desarrollan en la superficie y en la atmósfera que pueden limitar el uso del agua para algunos usos particulares. Además, conocer la calidad del agua y realizar un monitoreo permanente de la misma permite identificar si se está presentando contaminación puntual o difusa en los sistemas acuíferos y tomar medidas para corregirla a tiempo. Es necesario tener en cuenta que la contaminación de los acuíferos es difícil de remediar y algunas ocasiones, no es económicamente viable. Dentro de los propósitos de la red de monitoreo Hidrogeológico el monitoreo de calidad, además de establecer la aptitud del agua subterránea para un uso particular mediante la aplicación de los índices de calidad, ha permitido verificar los cambios negativos y positivos que ha tenido el acuífero respecto a los mismos para el uso agrícola, industrial y doméstico en las diferentes campañas. Es evidente, de acuerdo con esto, que el sistema es muy sensible en términos de calidad y está condicionado por los usos del suelo y las actividades que se realicen en torno a las captaciones, por lo que su seguimiento en el tiempo deberá hacerse periódicamente, mínimo dos veces al año.

El monitoreo isotópico nos permite realizar una validación de las zonas de recarga y con trazadores específicos conocer la edad del agua en el sistema acuífero, esto lo hace una herramienta fundamental en el sentido en que, con un conocimiento preciso de donde se localiza la recarga del sistema, se pueden tomar medidas de gestión necesarias para su protección. Además, conocer la edad que tiene el agua en el sistema, nos permite entre otras cosas establecer las tasas de recarga del mismo.

Resaltamos que durante la ejecución del convenio 643 del 2019, se logró desarrollar la integración del componente de agua subterránea a la plataforma web del proyecto RedRío que permitirá la centralización de la información y acceder de manera fácil a los datos recopilados en los diferentes monitoreos. Además, se avanzó en la inclusión del componente de aguas



subterráneas en el módulo de Web Mapping. Sin embargo, se espera que a futuro se puedan adelantar acciones como la construcción automática de superficies piezométricas considerando el avance en los modelos de interpolación que fueron presentados en este informe y algunos diagramas para la interpretación hidrogeoquímica y los hidrogramas en cuanto a la parte piezométrica, así como la generación de los shapefiles que puedan ser descargados por la ciudadanía en general. Por otro lado, aun es necesario desarrollar una interface que permita cargar la información generada por el componente aguas subterráneas al Sistema de Información del Recurso Hídrico – SIRH directamente desde la plataforma, de la misma forma que se está implementando en el componente de aguas superficiales esto permitiría avanzar en el proyecto 6 del Plan de Manejo Ambiental del Acuífero titulado: “Fortalecimiento del Sistema de información del Recurso Hídrico del Valle de Aburrá, componente aguas subterráneas”.

Desde el año 2010, la Red de Monitoreo ha recopilado valiosa información, si bien se ha avanzado en la sistematización de esta con la plataforma web, la información no ha sido ni difundida, ni utilizada como información soporte en la toma de decisiones. No obstante, esta información obtenida, en estos años, ha permitido avanzar en el conocimiento del sistema acuífero del Valle de Aburrá, falta una apropiación de la misma por parte del AMVA y de los actores sociales, de tal forma que, a través de su sistematización por medio de su análisis periódico, se puedan plantear medidas o acciones que reduzcan la contaminación y deterioro de los acuíferos. Estas tareas están contempladas en el proyecto 9 del PMAA titulado “Fortalecimiento social y operación de la red de monitoreo del agua subterránea del Valle de Aburrá” como una de sus actividades, la de diseñar y realizar una capacitación en el manejo y operación de la red, toma de datos, almacenamiento, análisis e interpretación de los mismos dirigida a funcionarios del Área Metropolitana del Valle de Aburrá para que ellos se apropien de este conocimiento y se incluya en la gestión de las aguas subterráneas y además está inmersa en el proyecto 6.

En el marco de la operación de la Red de Monitoreo Hidrogeológica y la actualización de los usos del agua subterránea por parte de los usuarios de la misma, se evidenció que muchos de ellos han dejado de utilizar las captaciones de agua subterránea, expresando inconformidades acerca de la falta de información para realizar los trámites necesarios para obtener la concesión o renovar la misma, además se están solicitando análisis de los vertimientos y consumos por parte de EPM, lo que conlleva a que los usuarios no diferencien estos requerimientos con los relacionados con la captación del agua subterránea. Teniendo en mente la situación actual y las presiones climáticas a las que usualmente estamos sometidos que conllevan a racionamientos de agua potable, consideramos que el uso del agua subterránea en el Valle de Aburrá para el desarrollo de actividades industriales y de servicios como el lavado de vehículos debe incentivarse, por parte del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Siendo enfáticos en que no es posible hacer excepciones al cumplimiento de la norma, pero facilitando el entendimiento de los requerimientos realizados a los usuarios para el cumplimiento de la misma, y garantizando la protección del recurso hídrico subterráneo. Esto podría hacerse por medio de herramientas audiovisuales, campañas de acompañamiento y sensibilización para cada punto de la red de monitoreo, líneas telefónicas para ayuda específica en este tipo de trámites, entre otras. Esto ayudaría a avanzar en el cumplimiento del proyecto 4 formulado en el Plan de Manejo Ambiental de Acuífero: “Fortalecimiento en control y relacionamiento con los usuarios de las aguas subterráneas del Valle de Aburrá” y del proyecto 3 “Desarrollo de estrategias para el uso del agua subterránea en zonas de amenaza por movimientos en masa en el Valle de Aburrá, además del

proyecto el proyecto 5: “Diseño y ejecución de un programa para el manejo de las captaciones activas, inactivas y abandonadas en el Valle de Aburrá”.

Desde el punto de vista técnico, es importante no perder de vista la necesidad de propender por ampliar el monitoreo a zonas con escasez de información, incluyendo al acuífero semiconfinado, y a la Dunita de Medellín. Esto suscita la necesidad del fortalecimiento técnico de la red de monitoreo a partir de la perforación de nuevos puntos y la actualización del inventario de puntos de agua, mediante la aplicación del proyecto 8: “Estudio del acuífero semiconfinado y de la Dunita de Medellín y extensión de zonas de recarga indirecta (delimitación de cuenca hidrogeológica)”, Y el proyecto 7: “Actualización del inventario de puntos de agua, de abatimiento y de la demanda en el Valle de Aburrá”.

Si bien en la ejecución del convenio 643 de 2019, se han dado pasos hacia lo que sería el fortalecimiento técnico de la red (el cual se menciona con mayor detalle en el informe de Fortalecimiento Técnico de la Red), no debe perderse de vista la necesidad de continuar con el monitoreo en la red que opera actualmente, considerando su representatividad espacial y en el tiempo, por esta razón es importante e imprescindible continuar con el fortalecimiento social de la red de monitoreo, dando cumplimiento al proyecto 9 planteado en el PMAA, además es importante resaltar que se ha disminuido la cantidad de puntos que pertenecen a la misma, como se mencionó anteriormente. El fortalecimiento de las relaciones con los usuarios permite que se realicen los ejercicios de monitoreo en sus captaciones, pero ello implica que estos estén informados y realimentados de la información que produce esta actividad de investigación. El sentido de ser Red, constituye elementos de comunicación, educación y flujos de información que posibiliten que, para nuestro caso, los usuarios del agua subterránea comprendan la importancia del monitoreo y sean partícipes y conscientes de la importancia del conocimiento, cuidado y conservación del agua subterránea. Desde el equipo de la Universidad de Antioquia, se le apuesta a un trabajo interdisciplinario, en el que lo técnico y social puedan construir escenarios de diálogo, conocimiento y gestión de este recurso, tanto entre aquellos miembros que son usuarios del recurso, como quienes no lo usan, pero dan apertura de sus predios o establecimientos para hacer los monitoreos.

Vislumbrando que cada vez se presentan más iniciativas que le apuestan a la transformación artística y cultural de los espacios de nuestro territorio, vemos la viabilidad de la construcción de hidrogeopuntos que son puntos de agua que permiten visibilizar a la comunidad sobre la existencia del recurso hídrico subterráneo. Esto permitiría avanzar en el desarrollo del proyecto 13 titulado: “Diseño y ejecución de un programa de educación, comunicación y medios para la información y difusión del conocimiento de las aguas subterráneas en el Valle de Aburrá”.

5 REFERENCIAS

Berndt, C., & Haberlandt, U. (2018). Interpolation of climate variables in Northern Germany — Influence of temporal resolution and network density. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 184'202.

Cano A (2015). Identificación de la presencia de flujos regionales en el sistema hidrogeológico del Valle de Aburrá a partir de un caso de estudio en una zona piloto. Universidad de Antioquia;



AUNAR ESFUERZOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO, EN EL MARCO DE LA OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ABURRÁ – MEDELLÍN



Campillo A.K (2012). Orígenes de la recarga del Acuífero del Valle de Aburrá (Medellín, Colombia). Enfoque geoquímico e isotópico. Université Montpellier;

Donato, G., & Belongie, S. (2002). Approximate thin plate spline mappings. Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 2352, 21–31. https://doi.org/10.1007/3-540-47977-5_2

Esri. (2003). ArcGIS 9: Using ArcGIS geostatistical analyst.

Esri. (2016). ¿Qué es un Kriging bayesiano empírico? <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.4/extensions/geostatistical-analyst/what-is-empirical-bayesian-kriging-.htm>

Krivoruchko, K., & Gribov, A. (2019). Evaluation of empirical Bayesian kriging. Spatial Statistics, 32, 100368. <https://doi.org/10.1016/j.spasta.2019.100368>

Universidad de Antioquia & Área Metropolitana del Valle de Aburrá (2013) Determinación y Protección de las Potenciales Zonas de Recarga en el centro y sur del Valle de Aburrá. Medellín, Colombia.

Universidad de Antioquia & Área Metropolitana del Valle de Aburrá (2012) Determinación y Protección de las Potenciales Zonas de Recarga en el norte del Valle de Aburrá. Medellín, Colombia.

Universidad de Antioquia & AMVA (2015) Plan de Manejo Ambiental del Sistema Acuífero de la Cuenca del Río Aburrá. Medellín, Colombia.

Webster, Richard and Oliver, M. A. (2007). Geostatistics for environmental scientists. John Wiley & Sons.

Zapata, A., & Escobar, J. (2019). CARACTERIZACIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN EN LA CUENCA DEL MAGDALENA -CAUCA. Universidad de Antioquia.