

**SECRETARIA DISTRITAL DE AMBIENTE
DIRECCIÓN DE CONTROL AMBIENTAL
SUBDIRECCIÓN DEL RECURSO HÍDRICO Y DEL SUELO**

Informe Técnico No. 06144, 29 de diciembre del 2024

**INFORME DEL ESTADO AMBIENTAL DE LOS ACUÍFEROS CON INFLUENCIA EN EL
PERÍMETRO URBANO DEL DISTRITO CAPITAL- DICIEMBRE DE 2024**

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.
2. OBJETIVOS.
 - 2.1. Objetivo General.
 - 2.2. Objetivos específicos.
3. MARCO METODOLÓGICO.
4. CONTEXTO MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL
5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA RED DE MONITOREO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DEL DISTRITO CAPITAL.
 - 5.1. Consumos de agua subterránea en el Distrito Capital.
 - 5.2. Comportamiento del nivel piezométrico, temperatura y conductividad eléctrica de 26 pozos de monitoreo.
6. HIDROGEOQUÍMICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA
7. CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN EL DISTRITO CAPITAL
 - 7.1 Grasas y Aceites
 - 7.2 Coliformes Fecales
 - 7.3 Nitratos
 - 7.4 Cloro
8. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LAS BRIGADAS DE NIVELES REALIZADAS EN EL DISTRITO CAPITAL.
 - 8.1. Interpretación del nivel piezométrico - Zona Norte.
 - 8.2. Interpretación del nivel piezométrico - Zona Sur.
9. ÍNDICES AGUA SUBTERRÁNEA (IEAS-IRTA).
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

1. INTRODUCCIÓN.

En la ciudad de Bogotá, es necesario contar con un programa de monitoreo que permita evaluar el estado y la evolución de los acuíferos en el Distrito Capital. Esto permitirá garantizar la sostenibilidad y calidad del recurso hídrico subterráneo en un sistema hidrogeológico estratégico para el desarrollo socioeconómico de la región. Ahora bien, según los escenarios de cambio climático proyectados para el departamento de Cundinamarca al año 2100 (IDEAM, 2015), se prevé un aumento promedio de temperatura de 2.3°C respecto a los valores actuales, así como una disminución de la precipitación de hasta un 20 % en la provincia de Medina. De otra parte, en algunos escenarios de incremento de precipitación, las provincias de Sabana Centro, Sabana Occidente, Norte de Bogotá, Ubaté y Almeidas podrían experimentar aumentos de entre un 10 % y un 30 % en comparación con los valores actuales, condición que debe aprovecharse para desarrollar medidas de adaptación al cambio climático y aumentar el grado de resiliencia en la sabana de Bogotá.

Actualmente, la Red de Monitoreo de Aguas Subterráneas (RMAS), conformada por 27 puntos, se ajusta anualmente considerando aspectos como las solicitudes de concesión de agua subterránea y las condiciones físicas y de transmisión de los dispositivos. En este contexto, al 31 de noviembre de 2024, esta Autoridad, a través del control trimestral realizado a los dispositivos, ha determinado lo siguiente: Los equipos ubicados en los pozos pz-01-001 (Parmalat), pz-01-0070 (Club Millonarios), pz-09-0062 (Zona Franca), pz-11-0101 (Unicervantes), pz-01-0100 (La Aguadora), pz-11-0153 (SUBA EAAB) y pz-01-0105 (Aldea Proyectos) presentan las baterías descargadas. Ahora bien, los equipos ubicados en los pozos pz-16-0029 (Textrama), pz-10-0022 (Autolavado Beto) y pz-07-0034 (Arrozal) presentan fallas en la transmisión de datos y no permiten el ingreso. Adicionalmente, el equipo ubicado en el pozo pz-11-0023 (MEALS) debe ser trasladado debido a que el plan de datos no funciona en esta zona del Distrito Capital; se propone que el traslado del equipo se realice al piezómetro PA06 ubicado en el Servicio Geológico Colombiano-SGC con una profundidad de 40 m (Fm. Sabana) o al nuevo pozo perforado en el Club el Country con una profundidad de 220 m (Fm. Sabana - Fm. Tilatá).

De otra parte, es relevante mencionar, que actualmente la SDA está recopilando información para tomar la decisión de que puntos de agua como humedales, manantiales, piezómetros, fuentes superficiales, pozos concesionados y aljibes, pueden complementar la red de monitoreo de aguas subterráneas-RMAS, ya que, el sistema hidrogeológico superficial difiere del profundo.

Otro aspecto importante que no se ha abordado en el Distrito Capital es el cálculo del Índice de Extracción de Aguas Subterráneas (IEAS), el cual para el año 2024 se determina que es moderado, lo cual sugiere que la extracción de aguas subterráneas es sostenible a corto plazo, considerando el equilibrio entre la oferta y la demanda

Finalmente, con el objetivo de identificar la dinámica subterránea sin extracción de agua subterránea a partir de los pozos concesionados en la zona norte y sur del Distrito Capital, se realizan las brigadas de niveles del segundo semestre de 2024 en el mes de noviembre, identificando a partir de la medición del nivel piezométrico de 86 pozos (40 en la zona sur y 46 en la zona norte), que no se presentaron cambios drásticos en los niveles del agua subterránea. Esta consideración también es válida de forma general para la RMAS, sin embargo, debido a la disminución en la

Página 2 de 113

frecuencia e intensidad de las precipitaciones el acuífero Fm. Labor Tierna captado por el pozo pz-01-0105 (Aldea) presento un descenso de -0.97 m.

En resumen, las actividades realizadas por esta Autoridad en el marco de la RMAS y las brigadas de niveles garantizan un monitoreo continuo de las unidades hidrogeológicas aprovechadas en el Distrito Capital. Esto facilita la toma de decisiones y el desarrollo de herramientas orientadas al estudio, gestión y uso sostenible del recurso hídrico subterráneo.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Analizar la dinámica del agua subterránea para tomar decisiones frente a la administración y gestión del recurso hídrico subterráneo en el Distrito Capital.

2.2 Objetivos Específicos.

- Caracterizar el comportamiento del nivel piezométrico, temperatura y conductividad eléctrica de las unidades hidrogeológicas Acuífero Formación Sabana, Acuífero Formación Tilatá, Acuitardo Formación Subachoque, Acuitardo Formación Usme, Acuitardo Formación Bogotá, Acuífero Formación Regadera, Acuífero Formación Labor-Tierna y Acuitardo Formación Plaeners.
- Analizar la hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea del Distrito Capital del año 2022 al 2024.
- Evaluar el comportamiento de las direcciones de flujo, nivel piezométrico y consumos a partir de la información recopilada en las brigadas de niveles y los usuarios.
- Calcular el Índice de Extracción de Aguas Subterráneas (IEAS) y definir cuál es su categoría para el año 2024.
- Generar alertas tempranas sobre la oferta, demanda y calidad del recurso hídrico subterráneo para la toma de decisiones frente a los procesos de concesión, prorroga, seguimiento y control del agua subterránea.

3. MARCO METODOLÓGICO.

El presente informe es desarrollado a partir de los datos recopilados en las brigadas de niveles y la red de monitoreo de aguas subterráneas-RMAS. Esta última, tiene como objetivo adquirir información relacionada con el nivel piezométrico, la temperatura y la conductividad eléctrica registrada en los transductores de presión ubicados en pozos que presentan un estado de sellamiento temporal. Para este informe se analizan los datos descargados al 31 de noviembre de 2024. Como complemento a la RMAS, los niveles registrados semestralmente en las brigadas de niveles son un insumo fundamental para comprender la dinámica hídrica subterránea sin bombeo. Esta actividad fue ejecutada en noviembre de 2024 a 86 pozos (40 en la zona sur y 46 en la zona norte).

Es importante mencionar que, durante el registro de las variables en los 27 pozos, la SDA realiza mediciones in-situ para verificar si los dispositivos están calibrados; esta actividad la realiza el Grupo de Aguas Subterráneas con una

Página 3 de 113

sonda que mide temperatura, conductividad eléctrica y nivel. Para definir alertas en los datos registrados en la RMAS la SDA considera los siguiente, teniendo en cuenta la información recopilada desde el 2020.

1. Si el nivel piezométrico supera los 2 m de diferencia entre el nivel freático inicial y el nivel freático actual.
2. Si la conductividad eléctrica supera los 50 us/cm de diferencia entre el valor inicial y actual.
3. Si la temperatura supera 1 grado centígrado de diferencia entre el valor inicial y la actual.

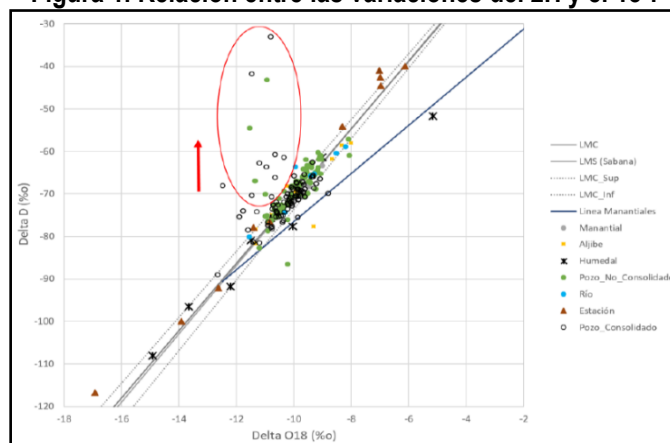
Es importante resaltar que las mediciones tanto en la RMAS como en las brigadas de niveles son objeto de errores humanos, los cuales se pueden dar debido a que las estructuras de los pozos y sus placas de nivelación varían.

4. CONTEXTO DEL MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL.

Las zonas de recarga en el Distrito Capital están constituidas principalmente por las unidades hidrogeológicas que afloran, como el Grupo Guadalupe y la Formación Regadera. Estas se localizan en los cerros del oriente, sur y en el sector de la Conejera (localidad de Suba). Ahora bien, de forma alterna estas unidades se encuentran en contacto con la Formación Sabana, Cono del Tunjuelo y la Formación Tilatá, las cuales de forma indirecta recargan los acuíferos con las zonas más impermeables. Otro aspecto importante para mencionar es la recarga artificial que se genera por las pérdidas del acueducto y alcantarillado las cuales ingresan principalmente al acuífero Formación Sabana.

Como complemento a lo anterior, esta Autoridad realiza un análisis isotópico en el informe “*Modelo Hidrogeológico Conceptual del Acuífero Subsuperficial o Somero en el Perímetro Urbano del Distrito Capital (SDA, 2018)*”, donde se evidencia que el contenido isotópico de los pozos muestreados tanto para Oxígeno O18 como para Deuterio H2 se encuentran cerca o sobre la línea meteórica local, como se observa a continuación.

Figura 1. Relación entre las variaciones del 2H y el 18°.



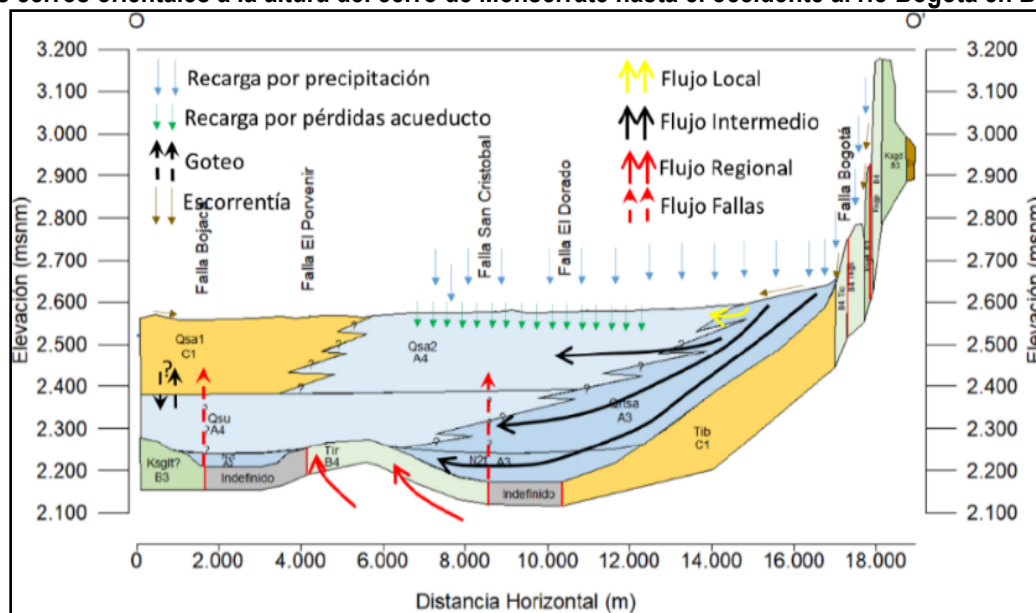
Fuente: Modelo hidrogeológico conceptual del acuífero subsuperficial o somero en el perímetro urbano del Distrito Capital. Convenio de asociación No SDA-CV 20161264. Noviembre de 2018.

El gráfico cuenta con un total de 286 registros de mediciones de Oxígeno 18 (O18) y Deuterio (D), entre pozos, aljibes, manantiales, estaciones pluviométricas y ríos. Esta información recoge los muestreos que se han realizado al 2013, motivo por el cual es fundamental actualizar el análisis isotópico.

En síntesis, el análisis realizado demuestra la relación que existe entre la zona de recarga y las otras unidades hidrogeológicas que se encuentran en contacto como la Formación Sabana. Esta unidad hidrogeológica presenta la mayor demanda de agua subterránea en el Distrito Capital con un 43.75 % de las 64 concesiones vigentes al 31 de noviembre de 2024.

En resumen, la siguiente representación gráfica esquematiza las hipótesis mencionadas con anterioridad frente al sistema de recarga de las unidades hidrogeológicas, valorando como principal flujo de agua la recarga lateral y vertical que ingresa a los acuíferos en contacto con el Grupo Guadalupe.

Figura 2. Perfil que relaciona las condiciones de flujo de las unidades hidrogeológicas que atraviesan desde los cerros orientales a la altura del cerro de Monserrate hasta el occidente al río Bogotá en Bosa.



Fuente: Modelo hidrogeológico conceptual del acuífero subsuperficial o somero en el perímetro urbano del Distrito Capital. Convenio de asociación No SDA-CV 20161264. Noviembre de 2018.

Es importante destacar que el modelo hidrogeológico conceptual está en constante actualización, dado que se realizan perforaciones en el marco de nuevas concesiones de aguas subterráneas. Por ejemplo, se tenía como hipótesis que el acuífero Formación Sabana es más profundo, sin embargo, con las nuevas perforaciones, se logra determinar que

esta unidad hidrogeológica presenta menor profundidad, llegando en la zona de Puente Aranda a tener un espesor que no supera los 100 m. También se ha evidenciado que el acuífero Fm. Tilatá, que infrayece la Fm. Sabana, presenta mayor extensión, llegando a localidades como Usaquén donde se encuentra después de los 120 m de profundidad. Asimismo, se ha identificado que en la localidad de Ciudad Bolívar la extensión lateral del cono del Tunjuelo es mayor en comparación con la geología descrita en el estudio “*Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá, 2013*”. Esto se debe a que el pozo PZ-19-0026, originalmente ubicado en la Formación Sabana, ahora atraviesa el cono del Tunjuelo para captar agua del acuífero correspondiente a la Formación Labor Tierna.

Otro aspecto importante para mencionar es que el acuífero Formación Sabana en la zona norte del Distrito Capital presenta una granulometría más arenosa en comparación con la zona sur, donde la granulometría es en mayor porcentaje arcillosa.

En conclusión, se determina la necesidad de actualizar el modelo geológico del Distrito Capital según las anteriores observaciones, actividad que se tiene proyectada para la vigencia 2025.

5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA RED DE MONITOREO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DEL DISTRITO CAPITAL.

Los pozos captan de las unidades hidrogeológicas Acuífero Formación Sabana, Acuífero Formación Tilatá, Acuitardo Formación Usme, Acuitardo Formación Bogotá, Acuitardo Formación Subachoque, Acuífero Formación Regadera y Acuífero Formación Labor Tierna del Grupo Guadalupe. En la siguiente tabla, se resumen las principales características de los 27 pozos que hacen parte de la red de monitoreo de aguas subterráneas-RMAS, de los cuales 11 captan de los paquetes arenosos ubicados en la Formación Sabana, 4 de la Formación Labor-Tierna, 3 de las formaciones Labor-Tierna y Plaeners, 1 de la Formación Usme y Regadera, 3 solo de la Formación Tilatá, 1 de las formaciones Sabana y Labor-Tierna, 1 de las formaciones Subachoque y Tilatá y 3 de las formaciones Sabana y Tilatá.

Cabe aclarar que la red de monitoreo es dinámica y está sujeta a mejoras constantes. Su operación depende de varios factores, como las solicitudes de concesión de aguas subterráneas, el cuidado brindado por los propietarios de los terrenos donde están instalados los equipos, el correcto funcionamiento de los dispositivos (afectados por problemas como batería agotada, alta humedad o descalibración) y la obtención de permisos para acceder a los puntos de medición y realizar la descarga de datos, actividad que se lleva a cabo de manera trimestral.

Es fundamental indicar que los dispositivos deben presentar como mínimo un mantenimiento correctivo con una temporalidad trimestral, donde se realicen actividades que garanticen transmisión correcta de los datos, estas actividades evitan interrupción en la transmisión de la información y aseguran la vida útil de los equipos. En la Tabla se describen las características de los pozos y los dispositivos a corte del 31 de noviembre de 2024. En la Figura 3 se detalla la ubicación de los 27 puntos de monitoreo que hace parte de la RMAS.

Tabla 1. Características de los puntos que hacen parte de la RMAS.

No.	Código	Captación	Prof. (m)	Acuífero	Prof. de instalación (m)	Prof. nivel (m)	OBSERVACIONES
1	pz-01-0011	PARMALAT	80	Fm. Labor Tierna	8.90	4.05	Falla en la transmisión de datos por descarga en la batería desde el 22-05-2022.
2	pz-01-0072	LA SALLE - EAAB	266	Fm. Labor Tierna- Fm. Plaeners	10.60	5.16	Sin observación
3	pz-01-0100	LA AGUADORA - EAAB	300	Fm. Labor Tierna- Fm. Plaeners	12.78	8.00	Falla en la transmisión de datos por descarga en la batería desde febrero de 2024.
4	pz-05-0003	LADRILLERA HELIOS S.A.	113	Fm. Usme- Fm. Regadera	4.50	-0.30	Saltante.
5	pz-06-0008	GENERAL MOTORS	255	Fm. Tilatá	17.00	11.50	Sin observación
6	pz-01-0070	CLUB MILLONARIOS	110	Fm. Labor Tierna	25.50	20.64	Falla en la transmisión de datos por descarga en la batería desde el 18-10-2023.
7	pz-08-0007	AUTO BOYACA	454	Fm. Sabana- Fm. Tilata	60.00	53.95	Sin observación
8	pz-08-0032	CLINICA NUESTRA SEÑORA DE LA PAZ No. 1	126	Fm. Sabana	28.92	23.92	Registró datos hasta junio de 2024 debido a que se presenta desconexión del equipo.
9	pz-09-0008	SERVICENTRO EL TESORO	126	Fm. Sabana	21.00	16.00	Sin observación
10	pz-09-0031	IMAL	483	Fm. Sabana- Fm. Tilatá	24.80	24.50	Sin observación
11	pz-09-0040	INDEGA PANAMCO PLANTA NORTE	532	Fm. Subachoque- Fm. Tilatá	40.00	35.50	Sin observación
12	pz-09-0060	MANUFACTURAS ELIOT No. 3	391	Fm. Tilatá	42.64	37.55	Sin observación
13	pz-09-0062	ZONA FRANCA	417	Fm. Tilatá	60.00	54.00	Falla en la transmisión de datos por descarga en la batería desde marzo de 2024.
14	pz-10-0022	AUTOLAVADO BETO	102	Fm. Sabana	21.00	16.00	El cambio de administración no permite el ingreso para realizar la descarga.
15	pz-11-0023	MEALS	173	Fm. Sabana- Fm. Labor Tierna	16.50	11.5	Se debe instalar el dispositivo en otro pozo debido a la mala transmisión de los datos por el tipo de operador de la SIM CARD desde el año 2021. Se desistieron los equipos y se mantiene en la bodega de la SDA.
16	pz-11-0101	UNICERVANTES	144.6	Fm. Labor Tierna	22.30	17.3	Falla en la transmisión de datos por descarga en la batería desde el 21-06-2022.

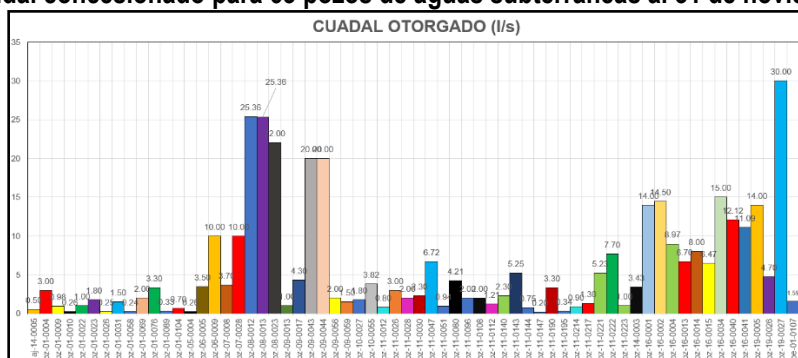
No.	Código	Captación	Prof. (m)	Acuífero	Prof. de instalación (m)	Prof. nivel (m)	OBSERVACIONES
17	pz-11-0145	CLUB LOS LAGARTOS No. 4	60	Fm. Labor Tierna	4.50	0.00	La poda del césped realizada por el usuario provoca la desconexión de los cables, afectando la lectura del equipo.
18	pz-11-0153	SUBA - EAAB	411	Fm. Labor Tierna-Fm. Plaeners	24.30	19.30	Falla en la transmisión de datos por descarga en la batería desde febrero de 2024.
19	pz-12-0025	ARTESANÍAS DE COLOMBIA	200	Fm. Sabana-Fm. Tilatá	24.00	19.00	Sin observación
21	pz-13-0016	INGEOMINAS No. 1	102.5	Fm. Sabana	17.70	14.30	Sin observación
20	pz-13-0017	INGEOMINAS No. 2	100	Fm. Sabana	22.25	18.50	Sin observación
22	pz-16-0003	GASEOSAS LUX No. 1	193	Fm. Sabana-Fm. Tilatá	35.50	30.50	Sin observación
23	pz-16-0025	SCHERING COLOMBIANA	167	Fm. Sabana-Fm. Tilatá	40.10	35.10	Sin observación
24	pz-16-0029	COLORTEX-TEXTRAMA	276	Fm. Sabana	34.55	29.55	No permite conexión al dispositivo.
25	PZ-01-0105	ALDEA PROYECTOS	120	Fm. Labor Tierna	15.00	9.8	Sin observación
26	pz-07-0005	CARBOQUIMICA	110	Fm. Sabana	29.16	24.16	Sin observación
27	pz-07-0034	ARROZAL	150	Fm. Sabana	21.00	15.89	Falla en la transmisión de datos de C.E debido a la descarga de la batería desde 02-2024.

Fuente: SDA, 2024.

En resumen, de los 27 dispositivos instalados en 2020, solo 17 están actualmente transmitiendo datos. Siete pozos presentan baterías descargadas, dos no transmiten debido a problemas de conexión, y uno no permite la descarga de datos porque el propietario abandonó el predio y se encuentra fuera de Bogotá. El registro de datos más antiguo inicia en septiembre de 2020, proporcionando información sobre presión, temperatura y conductividad eléctrica con una frecuencia de una hora. Cabe destacar que el periodo considerado para el análisis de la información se extiende hasta el 31 de noviembre de 2024.

Finalmente, como se indica con anterioridad la recarga se realiza principalmente en el Grupo Guadalupe, por este motivo, se incluye la precipitación de las estaciones ubicadas en los cerros orientales, sur y Conejera para correlacionar los datos registrados en los dispositivos. Los valores de precipitación diario son obtenidos a partir de las estaciones monitoreadas por el Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático-IDIGER ubicadas cerca o en las zonas donde aflora el Grupo Guadalupe.

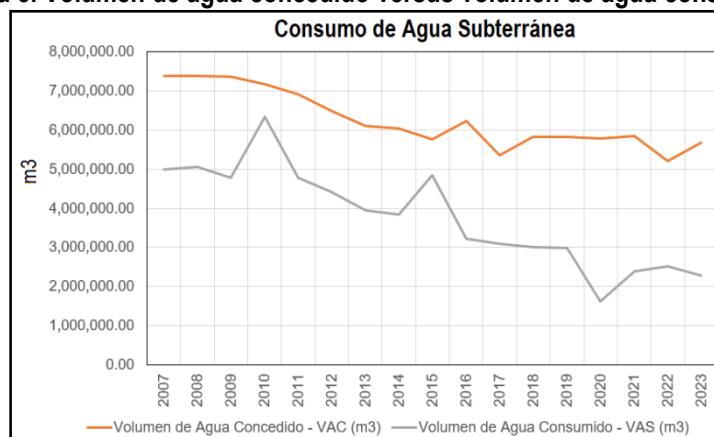
Figura 4. Caudal concesionado para 63 pozos de aguas subterráneas al 31 de noviembre de 2024.



Fuente: SDA, 2024.

Según lo anterior, los pozos con los mayores caudales concesionados son: pz-08-0012 y pz-08-0013 (Gaseosas Colombianas S.A.S.) con 25.36 l/s, pz-08-0012 (Lafayette No. 1) con 22 l/s, pz-09-0043 y pz-09-0044 (Manufacturas Eliot) con 20 l/s y pz-19-0027 (Frigorífico Guadalupe No. 3) con 30 l/s. Es importante aclarar que, en la mayoría de los casos, el caudal concesionado no se consume en su totalidad por parte de los usuarios como se relaciona en la siguiente figura.

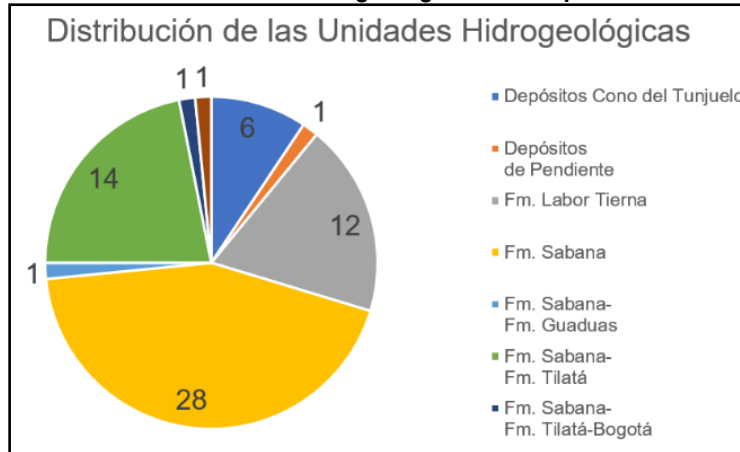
Figura 5. Volumen de agua concedido versus volumen de agua consumido.



Fuente: SDA, 2024.

Como complemento a lo anterior, a continuación, se observa la distribución de las unidades hidrogeológicas según los 64 puntos de agua concesionados.

Figura 6. Distribución de las unidades hidrogeológicas de los pozos concesionados al 2024.



Fuente: SDA, 2024.

Finalmente, es de resaltar que durante el año 2024 se registraron las siguientes pruebas de bombeo en la zona norte:

1. MONASTERIO BENEDICTINO TIBATÍ - COLEGIO SAN CARLOS - pz-01-0069 Prueba de bombeo realizada el 15/03/2024.
2. JARDINES DE PAZ - pz-01-0031 - Prueba de bombeo realizada el 18/09/2024.
3. COLEGIO MIGUEL ANTONIO CARO - pz-01-0104 - Prueba de bombeo realizada el 26/09/2024.

Esta información es de vital importancia para identificar si se presentan cambios en el punto de monitoreo pz-01-0072. La Salle EAAB. Cabe aclarar, que los puntos pz-01-0011. PARMALAT, pz-01-0070. Millonarios y pz-11-0153. Suba EAAB no registran datos, motivo por el cual no se pueden identificar cambios por las pruebas ejecutadas.

En conclusión, actualmente se explota un caudal total de 374.40 l/s principalmente en las unidades hidrogeológicas Fm. Sabana, Fm. Sabana-Fm. Tilatá, Con del Tunjuelo y Fm. Labor Tierna.

5.2 Comportamiento del nivel piezométrico, temperatura y conductividad eléctrica de 26 pozos de monitoreo.

A continuación, solo se analizan los dispositivos que presentan datos a noviembre de 2024.

Pozo pz-01-0072. La Salle EAAB. Este punto de monitoreo con una profundidad de 266 m capta la Formación Labor-Tierna y Plaenners (zona de recarga), donde el dispositivo desde su instalación registra un ascenso total del nivel freático de 0.40 m (a corte del 13 de noviembre de 2023 el nivel ascendió 0.90 m), una temperatura constante promedio de 15.74 °C y una conductividad eléctrica promedio de 208 µs/cm que varía en menos de 5 órdenes de magnitud

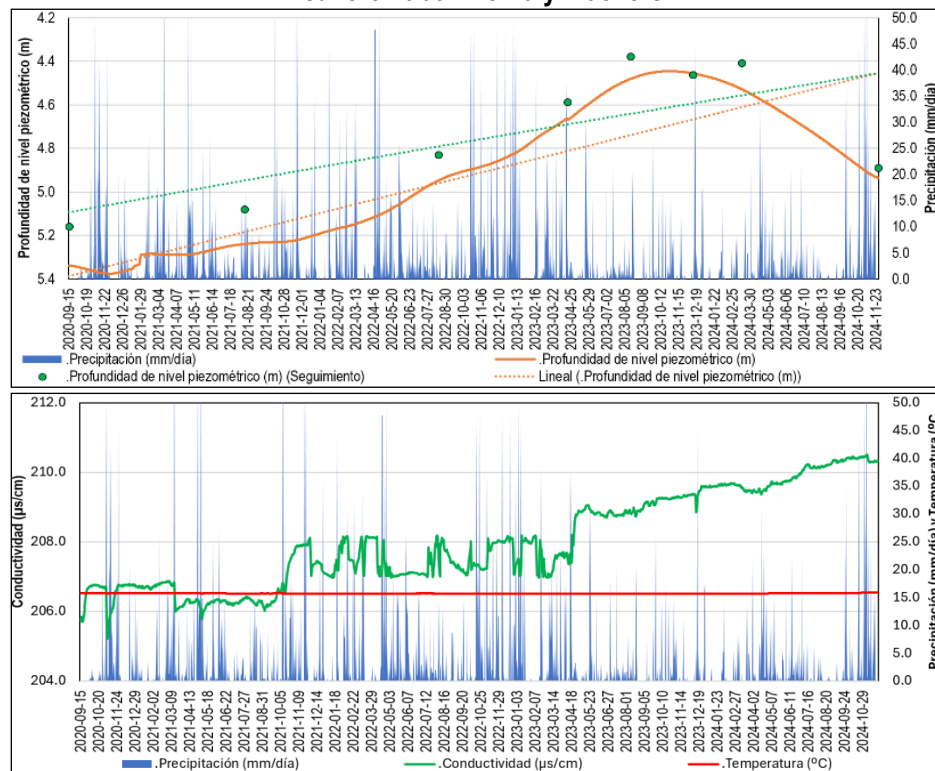
según los cambios de precipitación. Esta última variable aumenta con la disminución de las precipitaciones en esta Zona del distrito Capital.

En relación con el nivel piezométrico, se observa un descenso sostenido a partir del año 2024, lo cual puede atribuirse a la disminución en la frecuencia e intensidad de las precipitaciones en esta zona del Distrito Capital.

Es importante destacar que se realizan mediciones in situ para verificar el nivel, la temperatura y la conductividad eléctrica. De estas variables, la conductividad eléctrica presenta los mayores cambios, con variaciones de hasta 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estas fluctuaciones podrían estar asociadas a una falta de calibración tanto de la sonda de nivel como del equipo. Por esta razón, en la figura de temperatura y conductividad eléctrica, se eliminan los valores atípicos para resaltar con mayor claridad los cambios en la conductividad eléctrica.

La siguiente figura se observa el comportamiento de las variables registradas en el pozo pz-01-0072.

**Figura 7. Comportamiento del nivel piezométrico, temperatura y conductividad eléctrica del pozo pz-01-0072-
Acuífero Labor-Tierna y Plaeners.**



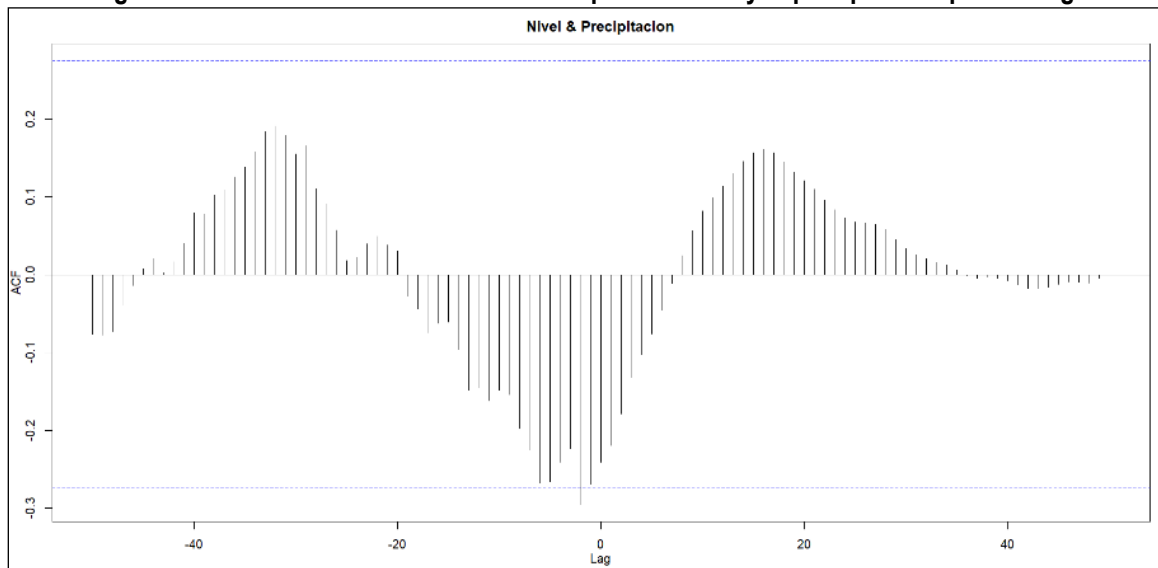
Fuente: SDA, 2024.

Es importante destacar que las series de tiempo de todos los puntos de monitoreo analizados se han convertido de datos diarios a mensuales. Esta transformación reduce el ruido en los análisis estadísticos presentados a continuación, permitiendo una identificación más clara de las tendencias.

En relación con la serie temporal del nivel piezométrico se determina que esta presenta una tendencia ascendente significativa, ya que al aplicar la prueba de Mann-Kendall se obtiene un p-valor de 0.0017 (menor a 0.05 significativa y mayor a 0.05 no significativa) y un tau de 0.74 (entre -1 (valores negativos tendencia descendente perfecta) y 1 (valores positivos tendencia ascendente perfecta)). Estos resultados indican que hay la suficiente evidencia para concluir que existe una tendencia ascendente del nivel piezométrico, aunque la fuerza de esta tendencia es débil como lo indica el valor de tau.

Finalmente, para verificar la relación entre las series temporales nivel y precipitación, se emplea la función estadística de correlación cruzada, que mide el grado de correlación a diferentes desplazamientos temporales (lag). En esta función, los picos positivos en el eje Y indican correlación positiva, mientras que los picos negativos representan correlación negativa. Las líneas punteadas en el gráfico representan intervalos de confianza del 95 %. El eje X permite observar los lag, que indican si hay un desfase temporal entre la respuesta de una serie respecto a la otra. En la siguiente figura se observa la correlación cruzada para un lag de 50 meses (4 años y 2 meses).

Figura 8. Correlación cruzada entre el nivel piezométrico y la precipitación para 50 lag.



Fuente: SDA, 2024.

El análisis de correlación cruzada muestra que la conexión entre el nivel piezométrico y la precipitación es más notable en los primeros lag (lag 0 al lag 1), con correlaciones negativas entre -0.24 y -0.21. Posteriormente, entre los lag 15 y 17, la correlación es positiva, con valores entre 0.15 y 0.16. Sin embargo, ninguna de estas relaciones supera los intervalos de confianza, lo que indica que la correlación entre ambas variables es débil.

En síntesis, se concluye que la conexión entre el acuífero y la precipitación es más notable durante los primeros dos meses. No obstante, esta relación no resulta estadísticamente significativa y podría estar influenciada por otros factores no contemplados en este análisis, tales como: Recarga a través de conexiones con otras unidades hidrogeológicas, los datos de precipitación no corresponden a la zona de recarga del acuífero monitoreado, y posibles fugas de agua provenientes del sistema de acueducto y alcantarillado.

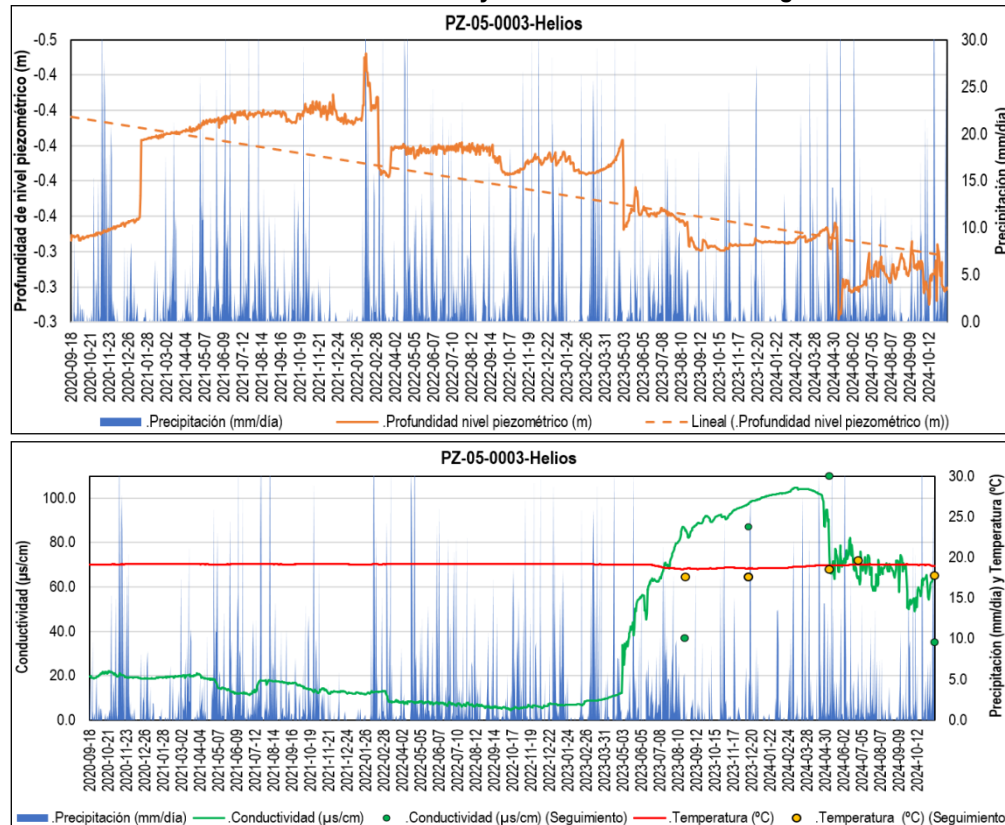
La estación de precipitación utilizada para correlacionar el nivel piezométrico, la temperatura y la conductividad eléctrica de este punto de monitoreo es “Colegio Friedrich Naumann”, la cual está ubicada 593 m de longitud al sur del pozo de monitoreo.

Pozo pz-05-0003. Ladrillera Helios. Este punto de monitoreo con una profundidad de 113 m es de tipo saltante o artesiano, ya que, el tramo de filtros capta el acuífero Formación Regadera que se encuentra confinado por la Formación Usme. El nivel piezométrico de este punto de monitoreo continúa siendo de tipo saltante, con una carga sobre el terreno a noviembre de 2024 de -0.31 m. También se puede observar que la frecuencia entre el nivel y la precipitación muestra una relación directa: cuando la precipitación aumenta, el nivel también lo hace, y viceversa.

Es importante mencionar que en la zona de estudio no existen pozos concesionados que puedan generar cambios en la dinámica hídrica monitoreada, sin embargo, existen actividades mineras que pueden cambiar la tendencia registrada por el dispositivo. Otro aspecto que puede cambiar las variables registradas por el dispositivo es la falta de mantenimiento, ya que, este punto presenta una alta colmatación debido a la presencia de hierro.

En relación con la temperatura, se evidencia que esta es constante, con un valor promedio de 19.06 °C. La conductividad eléctrica promedio es de 37.09 $\mu\text{S}/\text{cm}$, la cual, varía de mínimo 4.26 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a máximo 104 $\mu\text{S}/\text{cm}$, siendo este un indicador de aguas con poco recorrido asociadas a una zona de recarga. La conductividad eléctrica durante el año 2024 tiende a disminuir desde abril de 2024 al igual que la precipitación, sin embargo, la tendencia no es table en el tiempo ni presenta relación con los cambios de nivel.

Figura 9. Comportamiento del nivel piezométrico, temperatura y conductividad eléctrica del pozo pz-05-0003- Acuitardo Formación Usme y Acuitardo Formación Regadera.



Fuente: SDA, 2024.

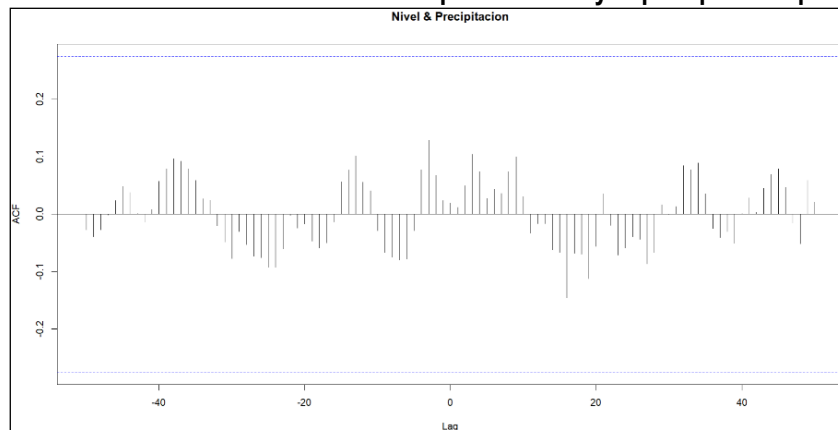
Frente a los datos de temperatura y conductividad eléctrica observados con sonda de nivel se evidencia que varían en relación por con los calculados por el dispositivo, situación que debe ser verificada mediante una sonda multiparamétrica calibrada que determine si es necesario calibrar nuevamente el dispositivo.

En relación con la serie temporal del nivel piezométrico se determina que esta presenta una tendencia ascendente significativa, ya que al aplicar la prueba de Mann-Kendall se obtiene un p-valor de 0.0027 (menor a 0.05 significativa y mayor a 0.05 no significativa) y un tau de -0.53 (entre -1 (valores negativos tendencia descendente perfecta) y 1 (valores positivos tendencia ascendente perfecta)). Estos resultados indican que hay la suficiente evidencia estadística para concluir que el nivel piezométrico tiende a disminuir con el tiempo, sin embargo, la fuerza de esta tendencia es débil como lo indica el valor de tau.

El análisis de correlación cruzada revela que la conexión entre el nivel y la precipitación se da entre los lag 16 y 19 (correlación negativa entre -0.068 y -0.14), sin embargo, esta es débil, ya que no supera los intervalos de confianza.

En síntesis, la relación entre el nivel y la precipitación es baja, y posiblemente esté influenciada por otros factores no considerados en este análisis como: Recarga a través de conexiones con otras unidades hidrogeológicas, los datos de precipitación no corresponden a la zona de recarga del acuífero monitoreado, y posibles fugas de agua provenientes del sistema de acueducto y alcantarillado. En la siguiente figura se presenta el correlograma correspondiente.

Figura 10. Correlación cruzada entre el nivel piezométrico y la precipitación para 50 lag.



Fuente: SDA, 2024.

En resumen, la falta de significancia estadística implica que la conexión entre el nivel y la precipitación es débil o indirecta, posiblemente modulada por procesos adicionales en la recarga.

La estación de precipitación utilizada para correlacionar el nivel piezométrico, la temperatura y la conductividad eléctrica es el “*Colegio la Belleza*”, la cual está ubicada al nor-orienté del punto de monitoreo (Localidad San Cristóbal-Barrio La Belleza).

Finalmente, el monitoreo de este punto es fundamental para tomar decisiones sobre la conservación de zonas de recarga en esta zona del Distrito Capital.

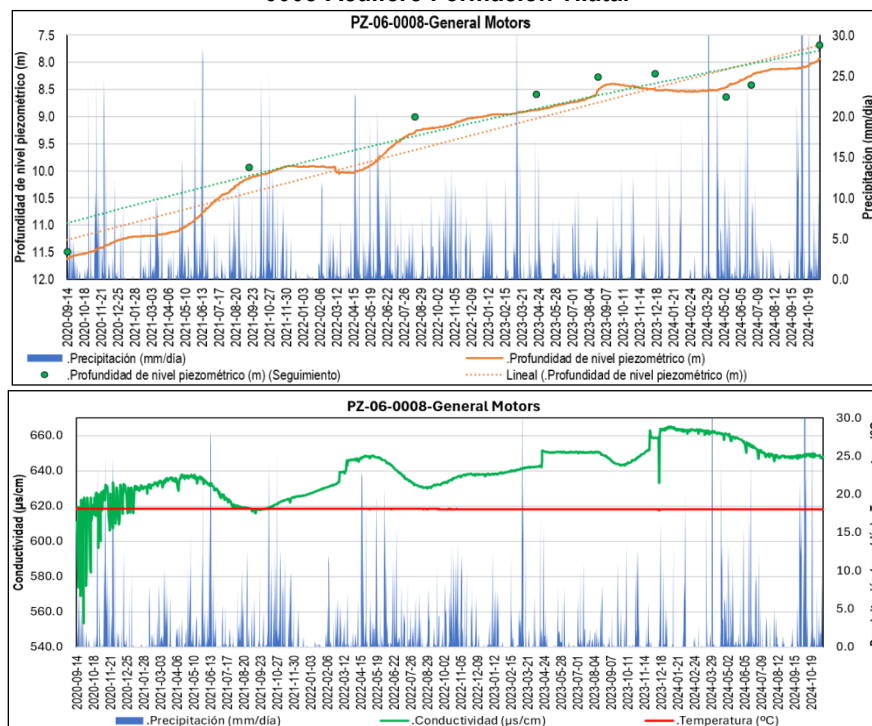
Pozo pz-06-0008. General Motors. Este punto de monitoreo con una profundidad de 255 m capta del acuífero Formación Tilatá, donde el dispositivo instalado registra un ascenso total del nivel piezométrico de 3.69 m, una temperatura constante promedio de 18.07 °C y una conductividad eléctrica promedio de 639.66 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (conductividad eléctrica mínima de 535.86 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y máxima de 665.92 $\mu\text{S}/\text{cm}$) que inicia a estabilizarse a partir del año 2021 con cambios similares al aumento o disminución en la precipitación.

Se realizan mediciones in-situ para verificar nivel, temperatura y conductividad eléctrica, donde se determina que la conductividad eléctrica difiere de los datos registrados por el equipo, situación que puede ser ocasionada por la falta de calibración tanto de la sonda de nivel como del dispositivo. Por este motivo en la figura de temperatura y conductividad eléctrica se eliminan los valores observados para diferenciar con mayor detalle los cambios en la variable. En relación con el nivel piezométrico no se evidencian cambios que superen los 30 cm entre el valor calculado por el dispositivo y el medido con sonda de nivel.

De acuerdo con lo anterior, en la figura de temperatura y conductividad eléctrica se eliminan los valores observados para resaltar con mayor claridad los cambios en las variables.

En la siguiente figura se observa el comportamiento de las variables en el punto de monitoreo pz-06-0008.

Figura 11. Comportamiento del nivel piezométrico, temperatura y conductividad eléctrica del pozo pz-06-0008-Acuífero Formación Tiltá.



Fuente: SDA, 2024.

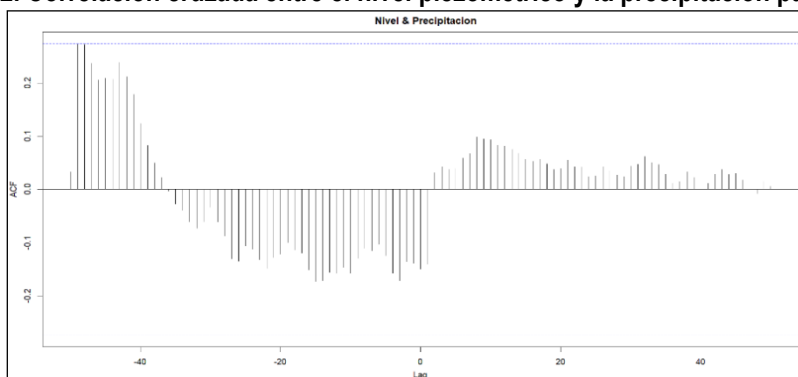
En relación con la serie temporal del nivel piezométrico se determina que esta presenta una tendencia ascendente significativa, ya que al aplicar la prueba de Mann-Kendall se obtiene un p-valor de 0.0026 (menor a 0.05, lo que indica significancia estadística) y un coeficiente tau de 0.94 (entre -1 (valores negativos tendencia descendente perfecta) y 1 (valores positivos tendencia ascendente perfecta)). Estos resultados proporcionan la suficiente evidencia estadística para concluir que el nivel piezométrico muestra un incremento constante a lo largo del tiempo.

Otro aspecto importante para resaltar es que el nivel mantiene su tendencia sin variaciones, así, la frecuencia en la precipitación haya disminuido desde el año 2023. Esto demuestra la baja susceptibilidad el acuífero a las condiciones climáticas en esta zona del Distrito Capital.

El análisis de correlación cruzada muestra que la conexión entre el nivel piezométrico y la precipitación es más notable en los primeros lag (lag 0 al lag 1), con correlaciones negativas de -0.14. Posteriormente, entre los lag 8 y 10, la correlación es positiva, con valores entre 0.93 y 0.95. Sin embargo, ninguna de estas relaciones supera los intervalos de confianza, lo que indica que la correlación entre ambas variables es débil.

En síntesis, se concluye que la conexión entre el acuífero y la precipitación es más notable durante el primer mes. No obstante, esta relación no resulta estadísticamente significativa y podría estar influenciada por otros factores no contemplados en este análisis, tales como: Recarga a través de conexiones con otras unidades hidrogeológicas, los datos de precipitación no corresponden a la zona de recarga del acuífero monitoreado, y posibles fugas de agua provenientes del sistema de acueducto y alcantarillado. En la siguiente figura se presenta el correlograma correspondiente.

Figura 12. Correlación cruzada entre el nivel piezométrico y la precipitación para 50 lag.



Fuente: SDA, 2024.

La estación de precipitación utilizada para correlacionar el nivel piezométrico, la temperatura y la conductividad eléctrica es el “Colegio Sierra Morena”, la cual está ubicada al sur-occidente del punto de monitoreo (Localidad de Ciudad Bolívar-Barrio la Pradera).

Pozo pz-08-0007. AutoBoyacá. Este punto de monitoreo, con una profundidad de 454 m, capta agua de las formaciones Sabana y Tilatá. El dispositivo instalado ha registrado un descenso del nivel piezométrico de -0.15 m en comparación con el nivel inicial al momento de su instalación. Además, el 28 de septiembre se observó un descenso adicional de aproximadamente 0.2 m, atribuido al consumo registrado en el pozo concesionado PZ-08-0023, que alcanzó un volumen de 559 m³ durante ese mes.

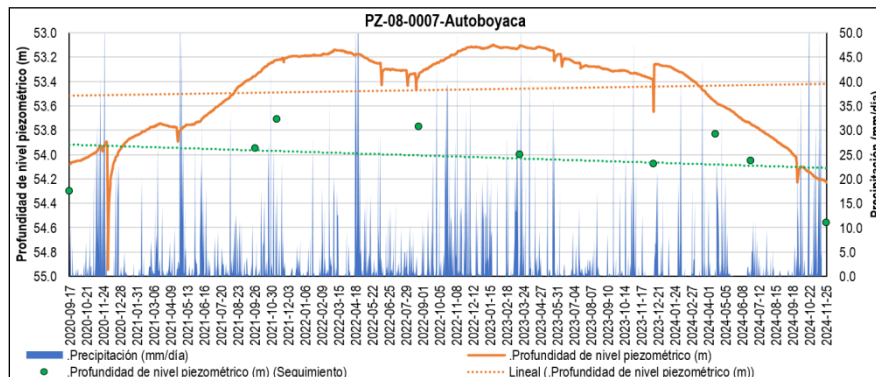
Otro aspecto relevante sobre el comportamiento del nivel piezométrico es que la disminución en la intensidad y frecuencia de la precipitación influye en su tendencia, con una reducción aproximada de 1 metro en comparación con el mayor ascenso registrado. Asimismo, se observa una discrepancia de menos de 1 metro entre los niveles medidos en campo y los reportados por el dispositivo. Este resultado resalta la necesidad de calibrar los equipos para garantizar mayor precisión en las mediciones.

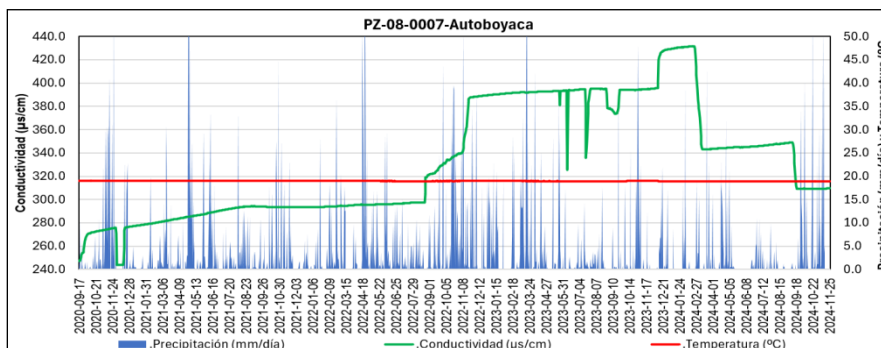
Frente a la temperatura se identifica un valor promedio de 18.96 °C y una conductividad eléctrica promedio de 332.28 µs/cm que presenta relación con el comportamiento del nivel piezométrico.

Se realizan mediciones in-situ para verificar nivel, temperatura y conductividad eléctrica, donde se determina que la conductividad eléctrica difiere de los datos registrados por el equipo, situación que puede ser ocasionada por la falta de calibración tanto de la sonda de nivel como del dispositivo. Por este motivo en la figura de temperatura y conductividad eléctrica se eliminan los valores observados para diferenciar con mayor detalle los cambios en la variable. Frente al nivel piezométrico se evidencia que los cambios no superen los 40 cm entre el valor calculado por el dispositivo y el medido con sonda de nivel.

En la siguiente figura se observa el comportamiento de las variables en el punto de monitoreo.

Figura 13. Comportamiento del nivel piezométrico, temperatura y conductividad eléctrica del pozo pz-08-0007-Acuífero Formación Sabana-Tilatá.





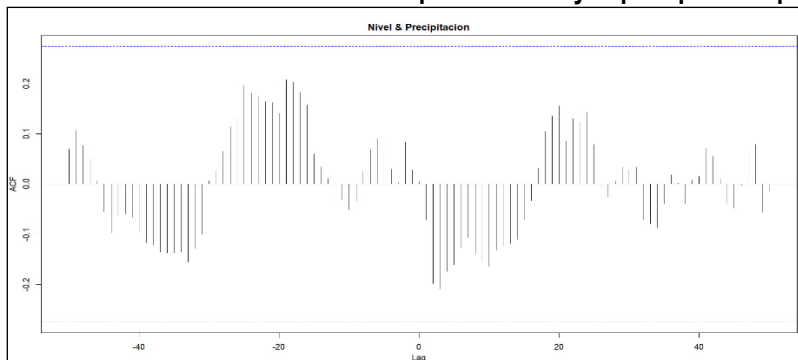
Fuente: SDA, 2024.

En relación con la serie temporal del nivel piezométrico se determina que esta presenta una tendencia ascendente significativa, ya que al aplicar la prueba de Mann-Kendall se obtiene un p-valor de 0.62 (mayor a 0.05, lo que indica que no existe significancia estadística) y un coeficiente tau de 0.047 (entre -1 (valores negativos tendencia descendente perfecta) y 1 (valores positivos tendencia ascendente perfecta)). Estos resultados indican que la tendencia observada del nivel piezométrico es producto del azar y no es estadísticamente sólida para sugerir una tendencia.

El análisis de correlación cruzada muestra que la conexión entre el nivel piezométrico y la precipitación es más notable en los primeros lag (lag 2 al lag 3), con correlaciones negativas entre -0.198 y -0.209. Posteriormente, entre los lag 19 y 24, la correlación es positiva, con valores entre 0.085 y 0.15. Sin embargo, ninguna de estas relaciones supera los intervalos de confianza, lo que indica que la correlación entre ambas variables es débil.

En síntesis, se concluye que la conexión entre el acuífero y la precipitación es más notable entre el segundo y tercer mes. No obstante, esta relación no resulta estadísticamente significativa y podría estar influenciada por otros factores no contemplados en este análisis, tales como: Recarga a través de conexiones con otras unidades hidrogeológicas, los datos de precipitación no corresponden a la zona de recarga del acuífero monitoreado, y posibles fugas de agua provenientes del sistema de acueducto y alcantarillado. En la siguiente figura se presenta el correlograma correspondiente.

Figura 14. Correlación cruzada entre el nivel piezométrico y la precipitación para 50 lag.



Fuente: SDA, 2024.

En resumen, la falta de significancia estadística implica que la conexión entre el nivel y la precipitación es débil o indirecta, posiblemente modulada por procesos adicionales en la recarga.

La estación de precipitación utilizada para correlacionar el nivel piezométrico, la temperatura y la conductividad eléctrica es el “*Colegio Simón Rodríguez*”, la cual está ubicada al oriente del punto de monitoreo (Localidad Chapinero-Barrio María Cristina).

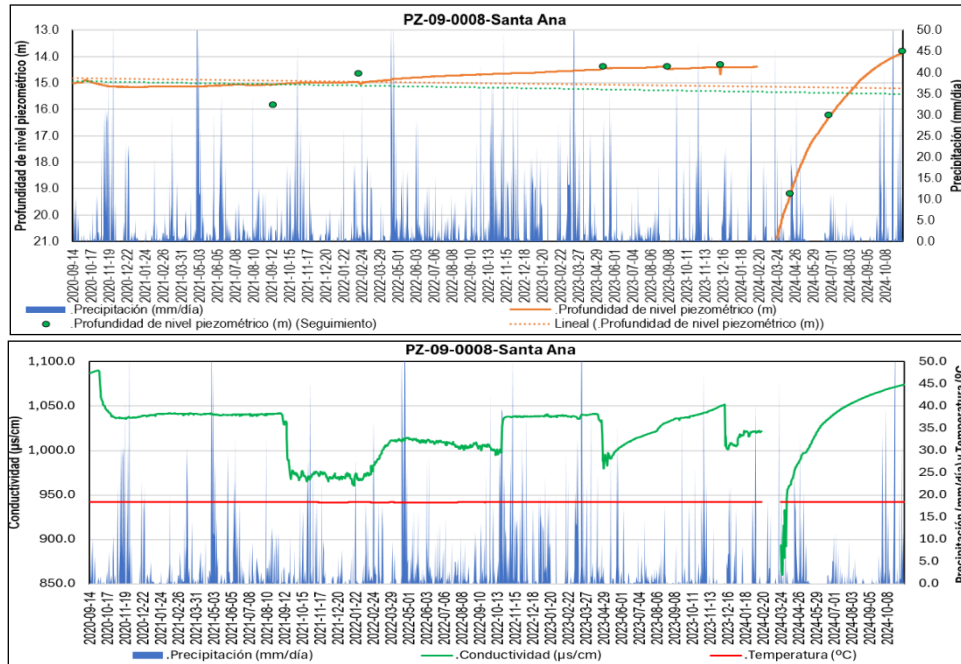
Pozo pz-09-0008. Servicentro el Tesoro-Santa Ana. Este punto de monitoreo se encuentra a una profundidad total de 126 m y capta de la unidad hidrogeológica Formación Sabana, donde el dispositivo instalado registra un ascenso total del nivel piezométrico de 1.14 m, una temperatura constante promedio de 18.43 °C y una conductividad eléctrica promedio de 1022 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Es importante destacar que la limpieza realizada con compresor en febrero de 2024 provocó cambios drásticos en la dinámica del pozo, alterando la tendencia de los datos registrados por el dispositivo. Según se observa en la figura, dicha tendencia muestra una recuperación aproximadamente ocho meses después. Esto se debe a que el mantenimiento ajustó el estado mecánico del pozo, lo que afectó su eficiencia y su comportamiento inicial.

De otra parte, se determina que las mediciones in-situ para verificar nivel, temperatura y conductividad eléctrica difieren para esta última variable en casi 500 órdenes de magnitud. En cambio, para nivel y temperatura los valores observados difieren muy poco de los valores registrados por el dispositivo (para nivel menos de 0.5 m). Por esta razón, en la figura de temperatura y conductividad eléctrica se han eliminado los valores observados, con el objetivo de resaltar y analizar con mayor precisión los cambios en cada variable.

En la siguiente figura se observa el comportamiento de las variables en el punto de monitoreo.

Figura 15. Comportamiento del nivel piezométrico, temperatura y conductividad eléctrica del pozo pz-09-0008-Acuífero Formación Sabana.

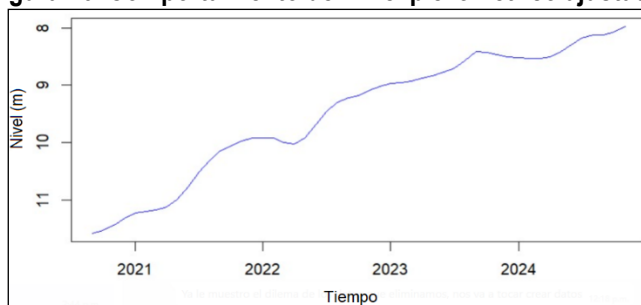


Fuente: SDA, 2024.

En relación con la serie temporal del nivel piezométrico se determina que esta presenta una tendencia ascendente significativa, ya que al aplicar la prueba de Mann-Kendall se obtiene un p-valor de 0.0012 (menor a 0.05, lo que indica significancia estadística) y un coeficiente tau de 0.92 (entre -1 (valores negativos tendencia descendente perfecta) y 1 (valores positivos tendencia ascendente perfecta)). Estos resultados proporcionan la suficiente evidencia estadística para concluir que el nivel piezométrico muestra un incremento constante a lo largo del tiempo.

Es importante mencionar que los datos de nivel piezométrico han sido ajustados para aplicar la prueba de Mann-Kendall, como se ilustra en la figura siguiente.

Figura 16. Comportamiento del nivel piezométrico ajustado.

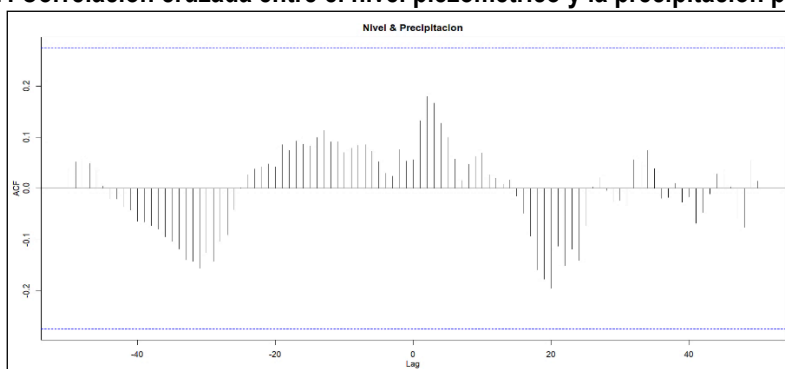


Fuente: SDA, 2024.

El análisis de correlación cruzada muestra que la conexión entre el nivel piezométrico y la precipitación es más notable en los primeros lag (lag 1 al lag 3), con correlaciones positivas entre 0.13 y 0.16. Posteriormente, entre los lag 19 y 20, la correlación aumenta y es de tipo negativa, con valores entre -0.17 y -0.19. Sin embargo, ninguna estas relaciones supera los intervalos de confianza, lo que indica que la correlación entre ambas variables es débil.

En síntesis, se concluye que la conexión entre el acuífero y la precipitación es más notable del primer al tercer mes y después de casi 2 años. No obstante, esta relación no resulta estadísticamente significativa y podría estar influenciada por otros factores no contemplados en este análisis, tales como: Recarga a través de conexiones con otras unidades hidrogeológicas, los datos de precipitación no corresponden a la zona de recarga del acuífero monitoreado, y posibles fugas de agua provenientes del sistema de acueducto y alcantarillado. En la siguiente figura se presenta el correlograma correspondiente.

Figura 17. Correlación cruzada entre el nivel piezométrico y la precipitación para 50 lag.



Fuente: SDA, 2024.

En resumen, la falta de significancia estadística implica que la conexión entre el nivel y la precipitación es débil o indirecta, posiblemente modulada por procesos adicionales en la recarga.

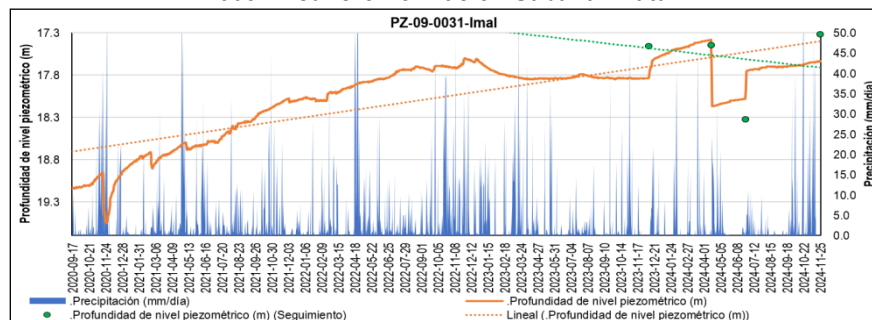
La estación de precipitación utilizada para correlacionar el nivel piezométrico, la temperatura y la conductividad eléctrica es el “Colegio Simón Rodríguez”, la cual está ubicada al oriente del punto de monitoreo (Localidad Chapinero-Barrio María Cristina).

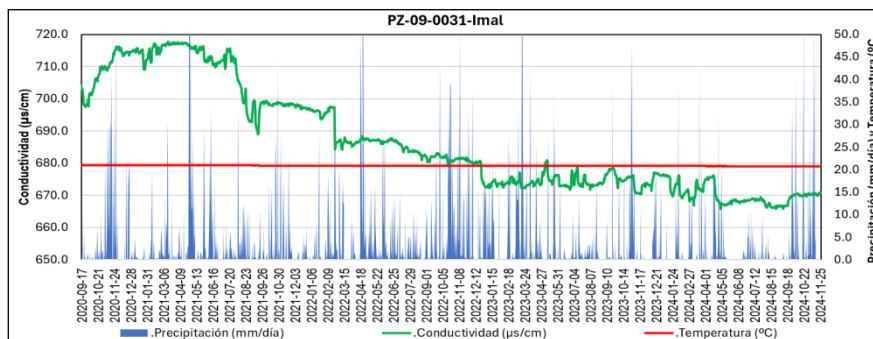
Pozo pz-09-0031. IMAL. Este punto de monitoreo con una profundidad de 483 m capta de la unidad hidrogeológica Formación Sabana y Formación Tiltatá (filtros distribuidos entre los 52.37 m y los 483.37 m), donde el dispositivo instalado registra un ascenso total del nivel piezométrico de 1.51 m. Es de resaltar que a corte del 15 de abril de 2024 el nivel ascendió 1.75 m. La temperatura presenta un calor constante promedio de 20.85 °C y una conductividad eléctrica promedio de 686.44 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Esta última variable presenta cambios que tienen relación con el aumento o disminución de la precipitación, sin embargo, desciende con el tiempo llegando a un valor mínimo de 665 $\mu\text{s}/\text{cm}$ en agosto de 2024.

Es importante mencionar que se realizan mediciones in-situ para verificar nivel, temperatura y conductividad eléctrica, donde se determina que las variables nivel y temperatura observadas difieren muy poco de los valores registrados por el dispositivo (para nivel menos de 0.4 m). En cambio, los valores observados de conductividad eléctrica varían en ordenes hasta en 300 $\mu\text{s}/\text{cm}$, ya que, la sonda de nivel implementada en las labores de campo se descalibra con facilidad. Por este motivo en la figura de temperatura y conductividad eléctrica se eliminan los valores observados para diferenciar con mayor detalle los cambios en la variable.

En la siguiente figura se observa el comportamiento de las variables en el punto de monitoreo pz-09-0031.

Figura 18. Comportamiento del nivel piezométrico, temperatura y conductividad eléctrica del pozo pz-09-0031-Acuífero Formación Sabana-Tiltatá.





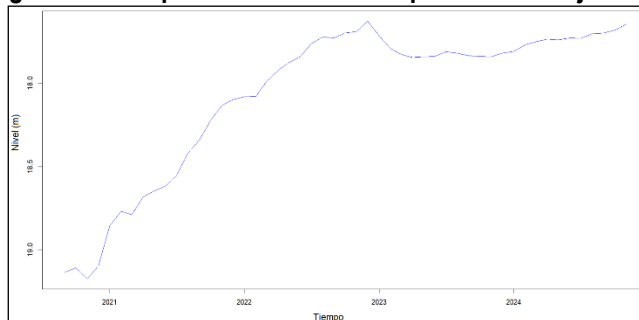
Fuente: SDA, 2024.

De acuerdo con lo anterior, se registra un cambio significativo del nivel piezométrico en abril de 2024, con un descenso de 17.45 m a 18.17 m de profundidad (una diferencia de 0.72 m). Posteriormente, se observa una recuperación parcial hasta los 17.74 m de profundidad, manteniendo la tendencia ascendente. Es importante destacar que no se cuenta con un registro que explique las causas de estos cambios en el nivel piezométrico durante la descarga de datos que realiza la SDA. También se observa que durante el segundo semestre de 2024 la intensidad y frecuencia de precipitación disminuye, influenciando de forma leve en la el nivel.

En relación con la serie temporal del nivel piezométrico se determina que esta presenta una tendencia ascendente significativa, ya que al aplicar la prueba de Mann-Kendall se obtiene un p-valor de 0.0037 (menor a 0.05, lo que indica significancia estadística) y un coeficiente tau de 0.73 (entre -1 (valores negativos tendencia descendente perfecta) y 1 (valores positivos tendencia ascendente perfecta)). Estos resultados proporcionan la suficiente evidencia estadística para concluir que el nivel piezométrico muestra un incremento constante a lo largo del tiempo.

Es importante mencionar que los datos de nivel piezométrico han sido ajustados para aplicar la prueba de Mann-Kendall, como se ilustra en la figura siguiente.

Figura 19. Comportamiento del nivel piezométrico ajustado.

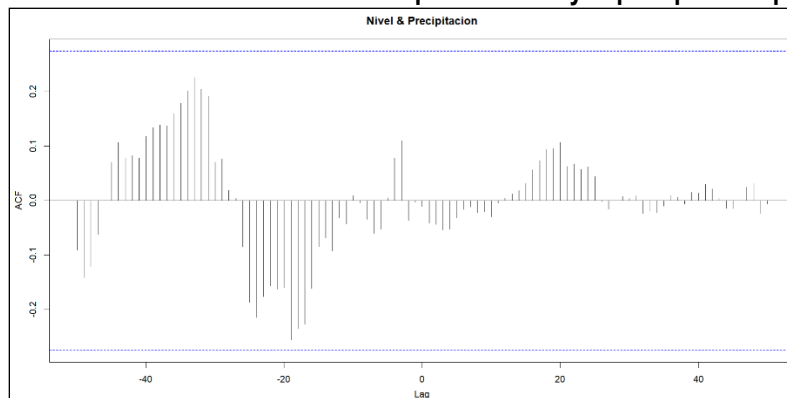


Fuente: SDA, 2024.

El análisis de correlación cruzada revela que la conexión entre el nivel y la precipitación se da entre los lag 18 y 20 (correlación positiva entre 0.094 y 0.10), sin embargo, esta es débil, ya que no supera los intervalos de confianza.

En síntesis, la relación entre el nivel y la precipitación es baja, y posiblemente esté influenciada por otros factores no considerados en este análisis como: Recarga a través de conexiones con otras unidades hidrogeológicas, los datos de precipitación no corresponden a la zona de recarga del acuífero monitoreado, y posibles fugas de agua provenientes del sistema de acueducto y alcantarillado. En la siguiente figura se presenta el correlograma correspondiente.

Figura 20. Correlación cruzada entre el nivel piezométrico y la precipitación para 50 lag.



Fuente: SDA, 2024.

En resumen, la falta de significancia estadística implica que la conexión entre el nivel y la precipitación es débil o indirecta, posiblemente modulada por procesos adicionales en la recarga.

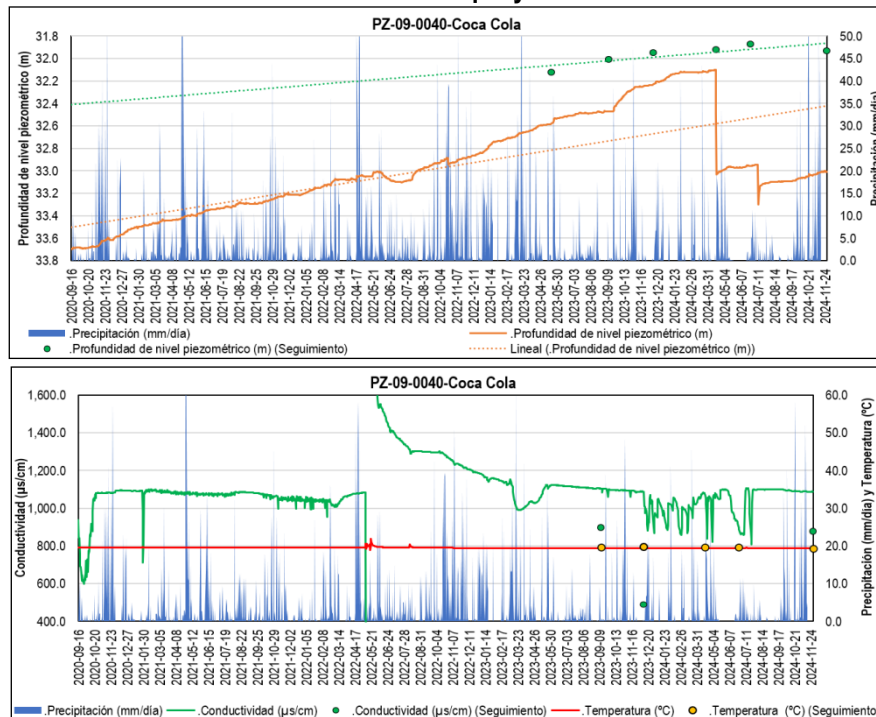
Finalmente, es importante mencionar que la estación de precipitación utilizada para correlacionar el nivel piezométrico, la temperatura y la conductividad eléctrica es el “*Colegio Simón Rodríguez*”, la cual está ubicada al oriente del punto de monitoreo (Localidad Chapinero-Barrio María Cristina).

Pozo pz-09-0040. INDEGEA S.A. Este punto de monitoreo con una profundidad total de 532 m capta de la unidad hidrogeológica Formación Sabana, Formación Subachoque y Formación Tilatá. Los datos de toda serie muestran un ascenso total del nivel piezométrico de 0.68 m, con un incremento acumulado de máximo 1.59 m registrado el 13 de abril de 2024. La temperatura se mantiene con un promedio constante de 19.51 °C, mientras que la conductividad eléctrica registra un promedio de 1098.79 $\mu\text{S/cm}$. Es importante señalar que la variación observada en la conductividad eléctrica en mayo de 2022 se debe a las labores de limpieza realizadas en el pozo.

Se realizan mediciones in-situ para verificar nivel, temperatura y conductividad eléctrica, concluyendo la necesidad de calibrar los equipos tanto de campo como el instalado en el pozo. Esto se puede evidenciar, ya que existen cambios entre el nivel observado y calculado por el dispositivo hasta de 1.07 m y en la conductividad eléctrica hasta 496 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

En la siguiente figura se observa el comportamiento de las variables en el punto de monitoreo pz-09-0040.

Figura 21. Comportamiento del nivel piezométrico, temperatura y conductividad eléctrica del pozo pz-09-0040-Acuitarfo Formación Subchoque y Acuífero Formación Tilitá.



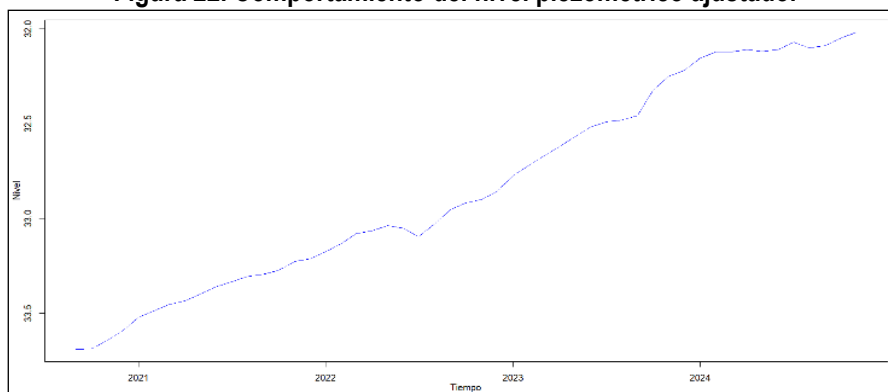
Fuente: SDA, 2024.

Al igual que el punto de monitoreo IMAL (pz-09-0031), se registra un cambio significativo en el nivel piezométrico en abril de 2024, con un descenso que pasa de 32.10 m a 33.30 m de profundidad (una diferencia de 1.2 m). Posteriormente, se observa una recuperación parcial hasta los 33 m de profundidad, manteniendo una tendencia de tipo ascendente. Es importante destacar que no se cuenta con un registro que explique las causas de estos cambios en el nivel piezométrico durante la descarga de datos que realiza la SDA. También se observa que durante el segundo semestre de 2024 la intensidad y frecuencia de la precipitación disminuye, influenciando levemente el comportamiento del nivel.

En relación con la serie temporal del nivel piezométrico se determina que esta presenta una tendencia ascendente significativa, ya que al aplicar la prueba de Mann-Kendall se obtiene un p-valor de 0.0022 (menor a 0.05, lo que indica significancia estadística) y un coeficiente tau de 0.98 (entre -1 (valores negativos tendencia descendente perfecta) y 1 (valores positivos tendencia ascendente perfecta)). Estos resultados proporcionan la suficiente evidencia estadística para concluir que el nivel piezométrico tiende a incrementar a largo del tiempo.

Es importante mencionar que los datos de nivel piezométrico han sido ajustados para aplicar la prueba de Mann-Kendall, como se ilustra en la figura siguiente.

Figura 22. Comportamiento del nivel piezométrico ajustado.

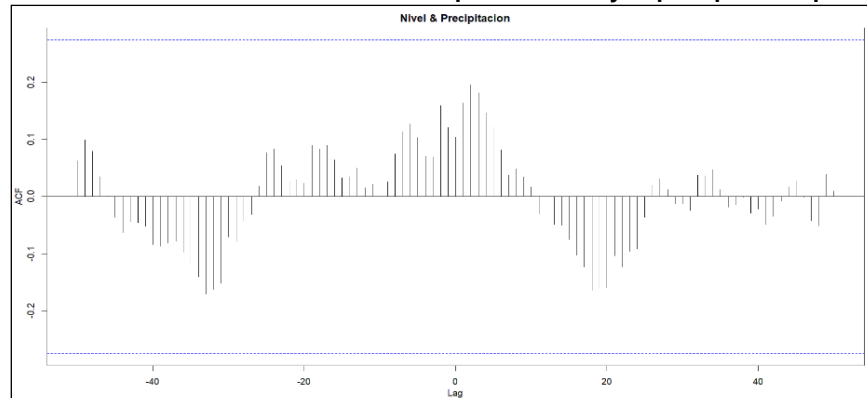


Fuente: SDA, 2024.

El análisis de correlación cruzada muestra que la conexión entre el nivel piezométrico y la precipitación es más notable en los primeros lag (lag 1 al 3), con correlaciones positivas entre 0.13 y 0.16. Posteriormente, entre los lag 19 y 20, la correlación aumenta y es de tipo negativa, con valores entre -0.17 y -0.19. Sin embargo, ninguna estas relaciones supera los intervalos de confianza, lo que indica que la correlación entre ambas variables es débil.

En síntesis, se concluye que la conexión entre el acuífero y la precipitación es más notable del primer al tercer mes y después de casi 2 años. No obstante, esta relación no resulta estadísticamente significativa y podría estar influenciada por otros factores no contemplados en este análisis, tales como: Recarga a través de conexiones con otras unidades hidrogeológicas, los datos de precipitación no corresponden a la zona de recarga del acuífero monitoreado, y posibles fugas de agua provenientes del sistema de acueducto y alcantarillado. En la siguiente figura se presenta el correlograma correspondiente.

Figura 23. Correlación cruzada entre el nivel piezométrico y la precipitación para 50 lag.



Fuente: SDA, 2024.

En resumen, la falta de significancia estadística implica que la conexión entre el nivel y la precipitación es débil o indirecta, posiblemente modulada por procesos adicionales de recarga.

La estación de precipitación utilizada para correlacionar el nivel piezométrico, la temperatura y la conductividad eléctrica es el “Colegio Simón Rodríguez”, la cual está ubicada al oriente del punto de monitoreo (Localidad Chapinero-Barrio María Cristina).

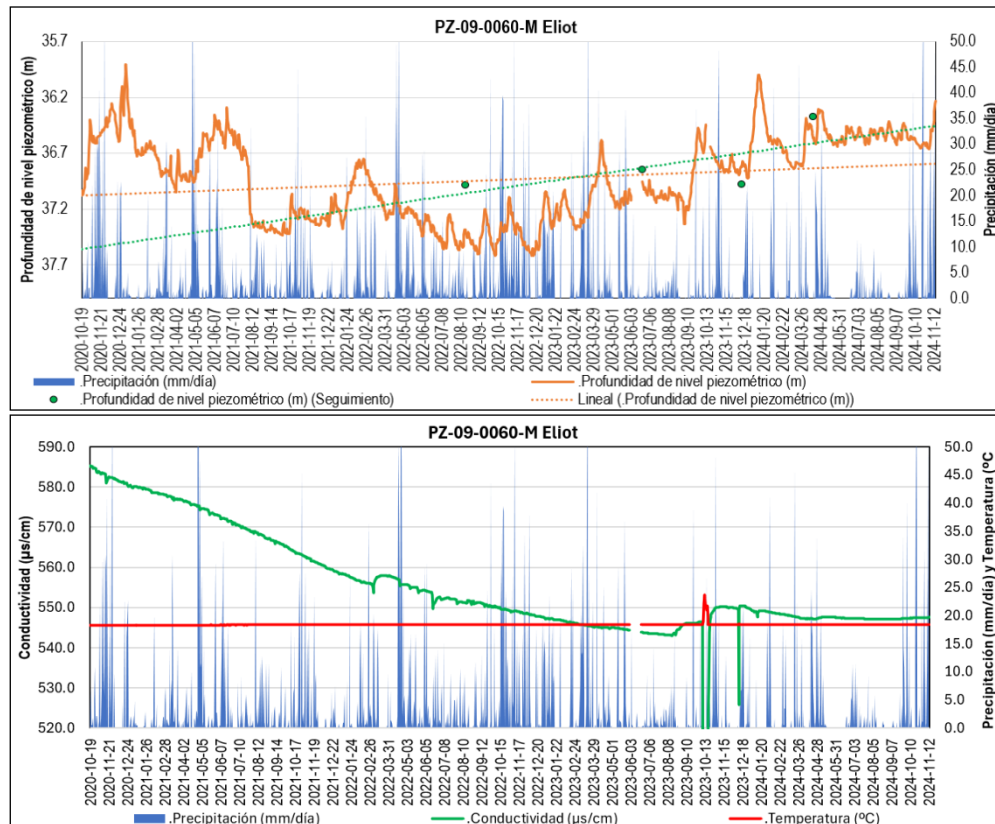
Pozo pz-09-0060. ELIOT. Este punto de monitoreo con una profundidad total de 391 m, capta de la unidad hidrogeológica Formación Tilatá. El dispositivo instalado registra un descenso total del nivel piezométrico de 0.79 m, una temperatura constante promedio de 18.39 °C y una conductividad eléctrica promedio de 553.16 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Esta última variable desciende a mínimo 543.34 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en octubre de 2023 y posteriormente asciende como ocurre con el nivel piezométrico.

El comportamiento del nivel piezométrico en este punto de monitoreo está influenciado por la explotación realizada en dos pozos concesionados ubicados a menos de 133 m de distancia. Estos pozos captan principalmente agua del acuífero de la Formación Sabana. Sin embargo, el pozo PZ-09-0043 (ELIOT 1) cuenta con filtros entre los 196 m y 208 m (12 m), mientras que el pozo PZ-09-0044 (ELIOT 2) tiene filtros entre los 195 m y 210 m (15 m), captando también agua del acuífero de la Formación Tilatá.

Se realizan mediciones in-situ para verificar nivel, temperatura y conductividad eléctrica, donde se determina que las variables nivel y temperatura observadas difieren muy poco de los valores registrados por el dispositivo (para nivel menos de 0.5 m). los valores observados de conductividad eléctrica presentan variaciones de hasta 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, debido a que la sonda de nivel utilizada en las labores de campo tiende a descalibrarse con facilidad. Por tal razón, en la figura de temperatura y conductividad eléctrica se eliminan los valores observados para resaltar con mayor detalle los cambios en la variable.

En la siguiente figura se observa el comportamiento de las variables en el punto de monitoreo pz-09-0060.

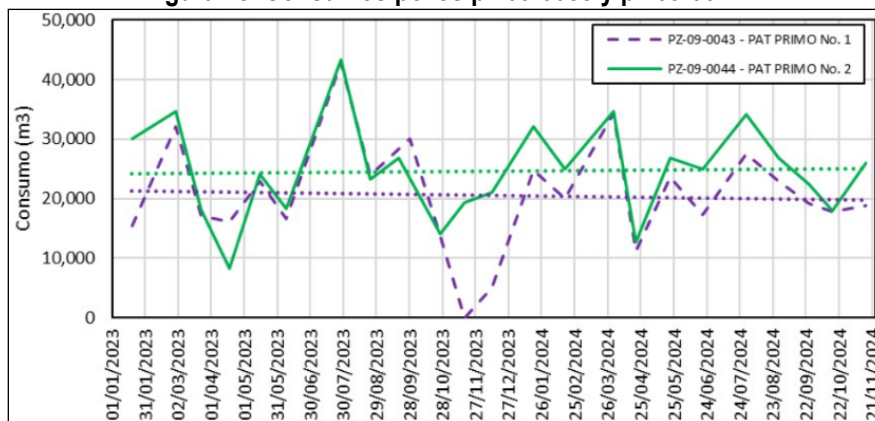
**Figura 24. Comportamiento del nivel piezométrico, temperatura y conductividad eléctrica del pozo pz-09-0060-
Acuífero Formación Tiltatá.**



Fuente: SDA, 2024.

También es importante mencionar que el nivel piezométrico después del año 2023 comienza a ascender, así los consumos de los pozos concesionados se mantengan casi constantes. En la siguiente figura se observa el comportamiento de los consumos captados por los 2 pozos desde enero de 2023 a noviembre de 2024.

Figura 25. Consumos pozos pz-09-0033 y pz-09-0044.



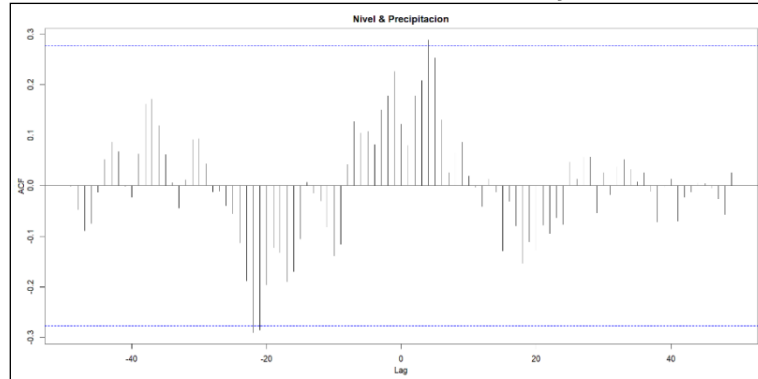
Fuente: SDA, 2024.

En relación con la serie temporal del nivel piezométrico se determina que esta presenta una tendencia ascendente significativa, ya que al aplicar la prueba de Mann-Kendall se obtiene un p-valor de 0.041 (menor a 0.05, lo que indica significancia estadística) y un coeficiente tau de 0.2 (entre -1 (valores negativos tendencia descendente perfecta) y 1 (valores positivos tendencia ascendente perfecta)). Estos resultados proporcionan la suficiente evidencia estadística para concluir que el nivel piezométrico tiende a incrementar de forma leve durante la serie de tiempo.

El análisis de correlación cruzada muestra que la conexión entre el nivel piezométrico y la precipitación es más notable en los primeros lag (lag 3 al 5), con una correlación positiva significativa entre 0.20 y 0.25. Posteriormente, entre los lag 18 y 20, la correlación es negativa, con valores entre -0.11 y -0.15. En síntesis, se concluye que la conexión entre el acuífero y la precipitación es significativa entre el tercer y quinto mes. Otros factores que pueden cambiar la recarga del acuífero monitoreado es la conexión con otras unidades hidrogeológicas y el aporte de las fugas de agua provenientes del sistema de acueducto y alcantarillado. En la siguiente figura se presenta el correlograma correspondiente.

Es importante destacar que el punto de agua analizado es el que muestra la mayor evidencia de conexión entre el pulso generado por la precipitación y el nivel estático. Sin embargo, esta condición debe ser corroborada mediante estudios complementarios, como análisis isotópicos, para determinar con mayor precisión si la zona de recarga corresponde a la ubicación de la estación "Colegio Simón Rodríguez".

Figura 26. Correlación cruzada entre el nivel piezométrico y la precipitación para 50 lag.



Fuente: SDA, 2024.

La estación de precipitación utilizada para correlacionar el nivel piezométrico, la temperatura y la conductividad eléctrica es el “*Colegio Simón Rodríguez*”, la cual está ubicada al oriente del punto de monitoreo (Localidad Chapinero-Barrio María Cristina).

Pozo pz-11-0145. Club los Lagartos. Este punto de monitoreo con una profundidad de 60 m es de tipo saltante o artesiano, ya que, se encuentra confinado por depósitos coluviales provenientes de la parte alta donde aflora el acuitardo Formación Guaduas, captando este pozo del acuífero formación Labor Tierna. El nivel piezométrico de este punto de monitoreo continúa siendo saltante así la tendencia sea descendente, con un ascenso del nivel de aproximadamente 0.1 m sobre el terreno a agosto de 2024. La diferencia entre el valor saltante inicial al instalar el equipo y el valor final es de 0.3 m. Este cambio puede deberse a dos razones: la disminución en la frecuencia e intensidad de la precipitación en esta zona del Distrito Capital o el impacto en la zona de recarga, que en este caso se encuentra en cerros de Suba.

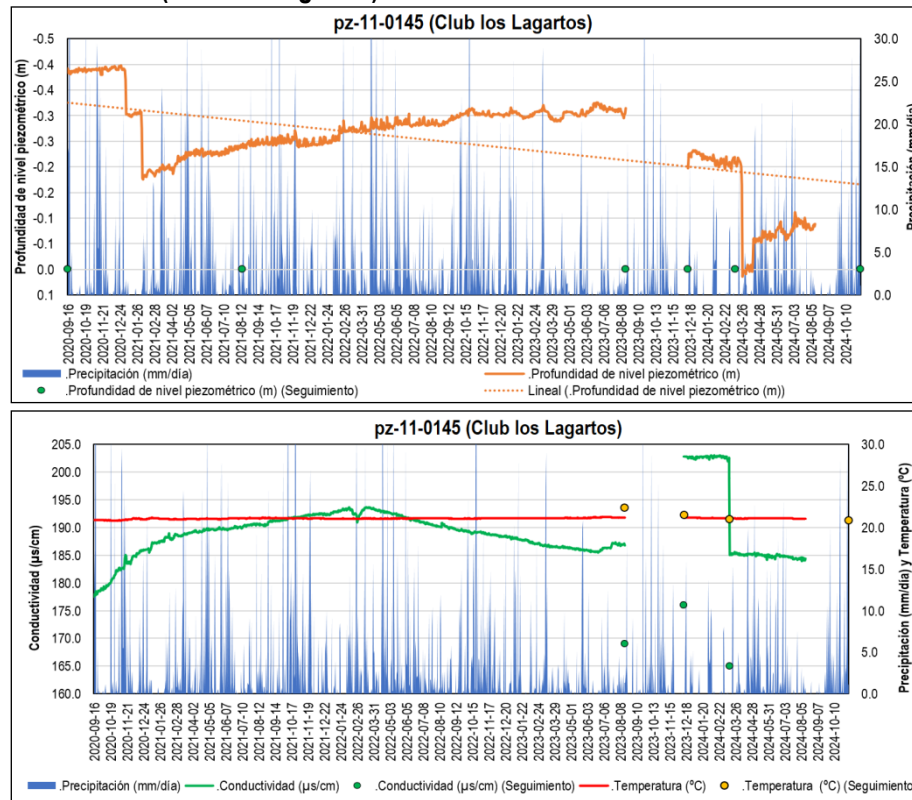
La temperatura promedio del acuífero monitoreado es de 21.09 °C, aumentando aproximadamente 0.5 grados en comparación con el primer registro tomado en septiembre de 2020. En relación con la conductividad eléctrica se calcula un promedio de 189.39 $\mu\text{S}/\text{cm}$, donde para el periodo 2022-2024 desciende de los 194 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a los 184 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Este dispositivo dejó de transmitir datos para las 3 variables el 17 de agosto de 2023; posteriormente y debido a el mantenimiento que realiza el grupo de aguas subterráneas (limpieza del cable y el dispositivo, retirando lodos y sólidos adheridos al equipo) el 14 de diciembre de 2023 el equipo continúa registrando las 3 variables. Posteriormente como se menciona en la tabla 1 el equipo deja de funcionar debido al corte de los cables por actividades de limpieza de pastos, condición que es evaluada para restablecer su conexión provisional y que el equipo siga midiendo.

Cabe resaltar que se realizan mediciones in-situ para verificar temperatura y conductividad eléctrica, donde se determina que la variable conductividad eléctrica observada difiere de los valores registrados por el dispositivo en aproximadamente 16 órdenes de magnitud menos.

En la siguiente figura se observa el comportamiento de las variables en el punto de monitoreo.

Figura 27. Comportamiento del nivel piezométrico, temperatura y conductividad eléctrica del pozo pz-11-0145 (Club los Lagartos)-Acuífero Formación Labor-Tierra.

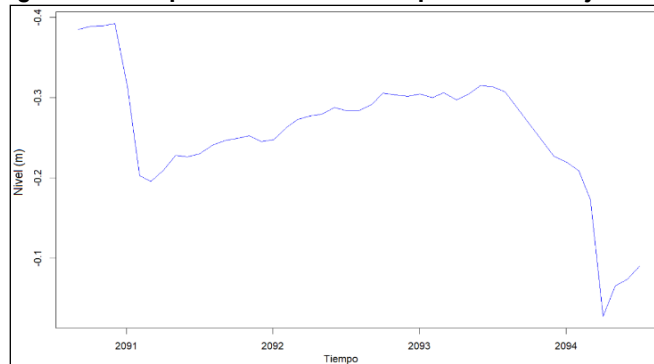


Fuente: SDA, 2024.

En relación con la serie temporal del nivel piezométrico se determina que esta presenta una tendencia ascendente significativa, ya que al aplicar la prueba de Mann-Kendall se obtiene un p-valor de 0.75 (mayor a 0.05, lo que indica que no existe significancia estadística) y un coeficiente tau de -0.033 (entre -1 (valores negativos tendencia descendente perfecta) y 1 (valores positivos tendencia ascendente perfecta)). Estos resultados indican que la tendencia observada es producto del azar y no es estadísticamente sólida para sugerir una tendencia del nivel.

Es importante mencionar que los datos de nivel piezométrico han sido ajustados para aplicar la prueba de Mann-Kendall, como se ilustra en la figura siguiente.

Figura 28. Comportamiento del nivel piezométrico ajustado.

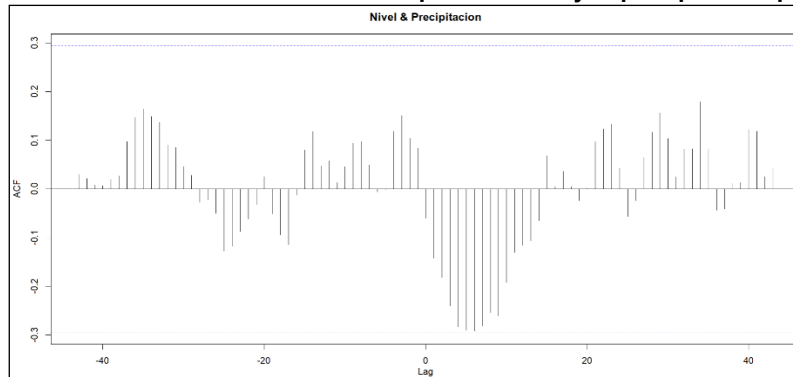


Fuente: SDA, 2024.

El análisis de correlación cruzada indica que la conexión entre el nivel piezométrico y la precipitación es más destacada entre los lag 4 y 7, con correlaciones negativas que oscilan entre -0.28 y -0.29. Posteriormente, la correlación tiende a ser positiva, aunque su magnitud es menor. Sin embargo, ninguna estas relaciones supera los intervalos de confianza, lo que indica que la correlación entre ambas variables es débil.

En resumen, se concluye que la conexión entre el acuífero y la precipitación es más notable del cuarto al séptimo año. No obstante, esta relación no resulta estadísticamente significativa y podría estar influenciada por otros factores no contemplados en este análisis, tales como: Recarga a través de conexiones con otras unidades hidrogeológicas o el lago ubicado a menos de 500 m de longitud al sur-este, los datos de precipitación no corresponden a la zona de recarga del acuífero monitoreado y las posibles fugas de agua provenientes del sistema de acueducto y alcantarillado. En la siguiente figura se presenta el correlograma correspondiente.

Figura 29. Correlación cruzada entre el nivel piezométrico y la precipitación para 50 lag.



Fuente: SDA, 2024.

En resumen, la falta de significancia estadística implica que la conexión entre el nivel y la precipitación es débil o indirecta, posiblemente modulada por procesos adicionales de recarga.

La estación de precipitación utilizada para correlacionar el nivel piezométrico, la temperatura y la conductividad eléctrica es “Colegio Rodolfo Linas”, la cual está ubicada al oriente del punto de monitoreo (Localidad de Engativa-Bolivia Oriental).

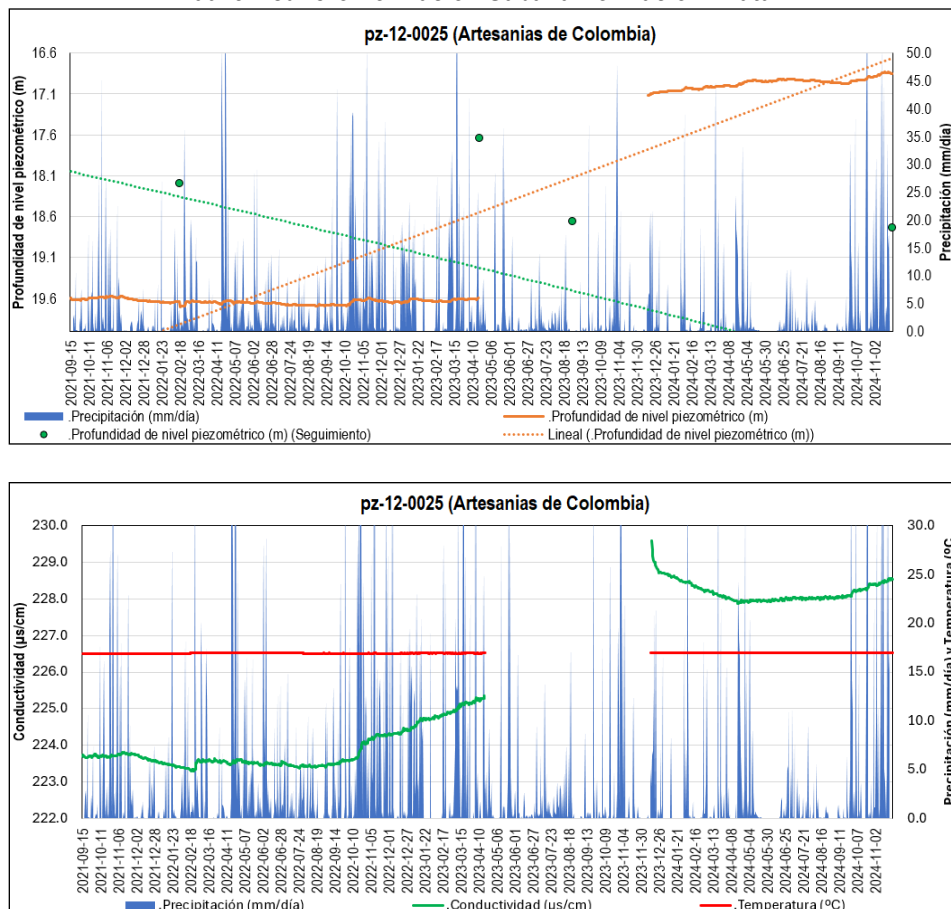
Pozo pz-12-0025. Artesanías de Colombia. Este punto de monitoreo con una profundidad total de 200 m capta de los acuíferos Formación Sabana-Formación Tilatá, donde el dispositivo instalado registra un ascenso total del nivel piezométrico de 0.01 m hasta abril de 2023. Posteriormente, el dispositivo deja de medir datos hasta el 16 de diciembre de 2023 donde el grupo de aguas subterráneas realiza un mantenimiento preventivo (limpieza del cable y el dispositivo, retirando lodos y sólidos adheridos al equipo) logrando que el dispositivo siga midiendo datos. Por este motivo, el nivel pasa de 19.59 m a 16.85 m a noviembre de 2023. En este último tramo el nivel piezométrico asciende 0.26 m. En total el nivel desde que se instala el dispositivo asciende 2.75 m.

La temperatura promedio constante es de 16.93 °C y la conductividad eléctrica promedio de 225.59 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Esta última variable asciende a un valor máximo de 225.75 $\mu\text{S}/\text{cm}$ como se observa en la siguiente figura. Esta última variable al igual que el nivel piezométrico cambia cuando se le realiza manteniendo, pasando de 225.82 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en abril de 2023 a 229.35 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en diciembre de 2023.

Las mediciones in-situ para verificar nivel, temperatura y conductividad eléctrica, indican que las variables nivel y temperatura observadas difieren de los valores registrados por el dispositivo. Por ejemplo, el máximo error verificado para la variable nivel fue de 1.88 m y para la variable conductividad eléctrica fue de 236 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estos valores presentan un alto error, en específico la variable nivel, la cual, según los límites impuestos al inicio del documento es necesario actuar con un mantenimiento que mejore las condiciones del equipo. Por lo anterior, en la figura de temperatura y

conductividad eléctrica se eliminan los valores observados para diferenciar con mayor detalle los cambios en la variable.

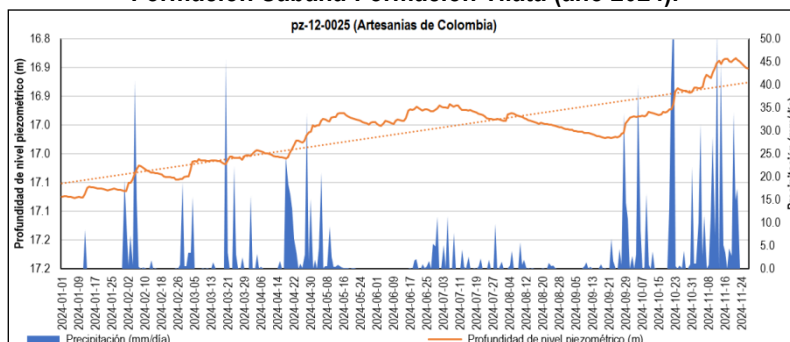
Figura 30. Comportamiento del nivel piezométrico, temperatura y conductividad eléctrica del pozo pz-12-0025-Acuífero Formación Sabana-Formación Tiltatá.



Fuente: SDA, 2024.

Es importante resaltar que el nivel piezométrico varía según los cambios en la precipitación como se puede observar en la siguiente figura, donde solo se observan los datos de nivel del año 2024.

Figura 31. Comportamiento del nivel piezométrico del punto pz-12-0025-
Formación Sabana-Formación Tilatá (año 2024).



Fuente: SDA, 2024.

La variación y la falta de datos impiden realizar las pruebas de Mann-Kendall y de correlación cruzada.

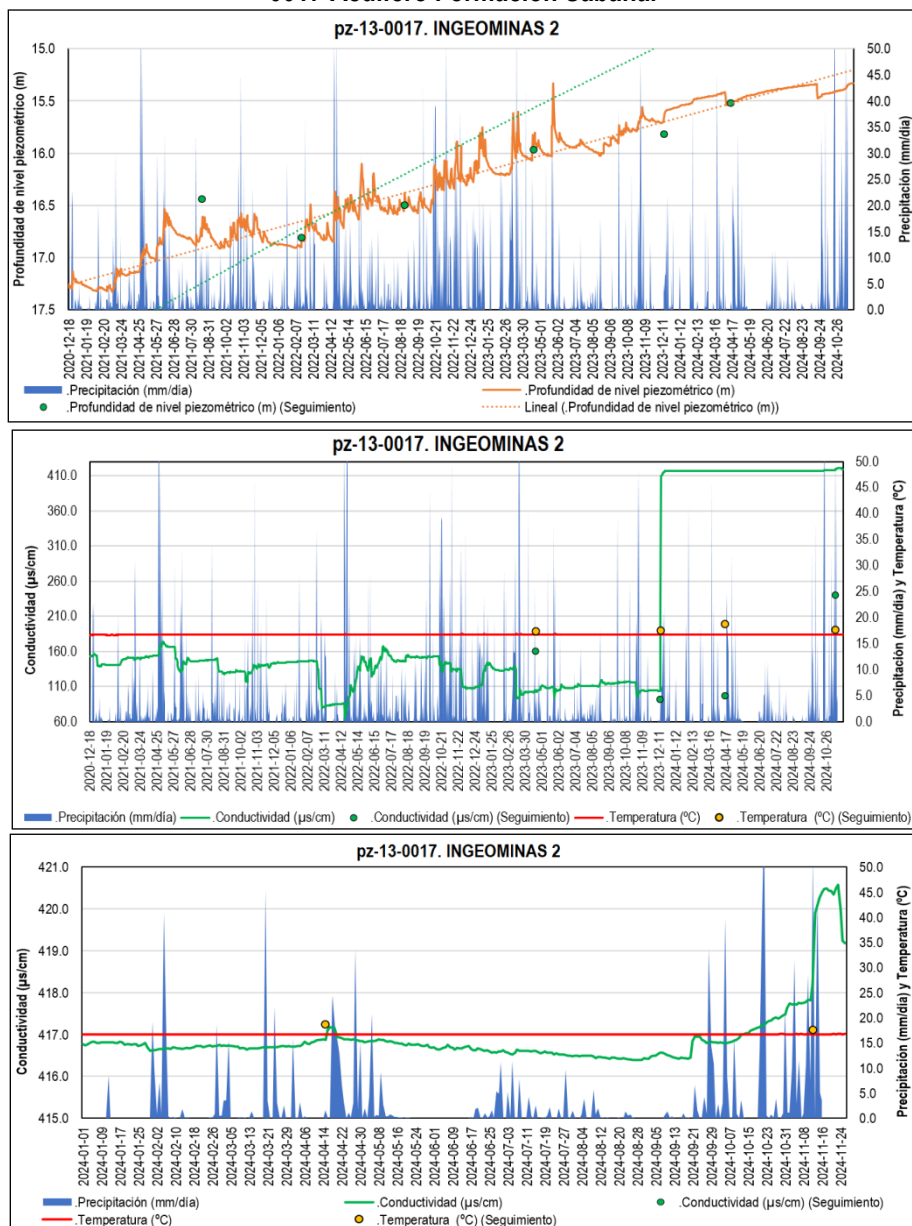
La estación de precipitación utilizada para correlacionar el nivel piezométrico, la temperatura y la conductividad eléctrica es el “Colegio Simón Rodríguez”, la cual está ubicada al oriente del punto de monitoreo (Localidad Chapinero-Barrio María Cristina).

Pozo pz-13-0017. INGEOMINAS 2. Este punto de monitoreo con una profundidad total de 102.5 m capta del acuífero Formación Sabana (filtros entre los 74 m a los 105.6 m de profundidad), donde el dispositivo instalado registra un ascenso total del nivel piezométrico de 1.9 m, una temperatura promedio constante de 16.71 °C y una conductividad eléctrica promedio de 199.48 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Esta última variable cambia de forma drástica en diciembre de 2023 cuando el grupo de aguas subterráneas realiza el mantenimiento preventivo (limpieza del cable y el dispositivo, retirando lodos y sólidos adheridos al equipo), pasando de 103.86 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 416.71 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Por este motivo, se incluye otra grafica donde se eliminan los datos del 2020 al 2023.

En las mediciones in-situ para verificar nivel, temperatura y conductividad eléctrica, se puede determinar que las variables nivel y temperatura observadas difieren muy poco de los valores registrados por el dispositivo (para nivel menos de 0.2 m). En cambio, los valores observados de conductividad eléctrica varían hasta en 180 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ya que, la sonda de nivel implementada en las labores de campo y el dispositivo necesitan calibración.

En la siguiente figura se observa el comportamiento de las variables en el punto de monitoreo pz-13-0017.

Figura 32. Comportamiento del nivel piezométrico, temperatura y conductividad eléctrica del pozo pz-13-0017-Acuífero Formación Sabana.



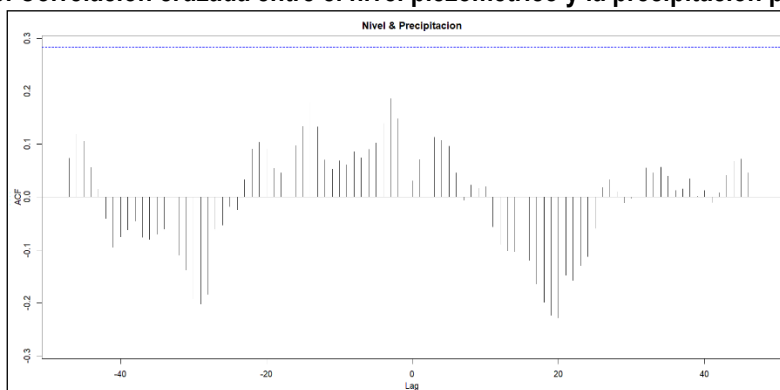
Fuente: SDA, 2024.

En relación con la serie temporal del nivel piezométrico se determina que esta presenta una tendencia ascendente significativa, ya que al aplicar la prueba de Mann-Kendall se obtiene un p-valor de 0.0022 (menor a 0.05, lo que indica significancia estadística) y un coeficiente tau de 0.91 (entre -1 (valores negativos tendencia descendente perfecta) y 1 (valores positivos tendencia ascendente perfecta)). Estos resultados proporcionan la suficiente evidencia estadística para concluir que el nivel piezométrico tiende a ser ascendente durante en el tiempo.

El análisis de correlación cruzada muestra que la conexión entre el nivel piezométrico y la precipitación es más notable en los primeros lag (lag 3 al 4), con correlaciones positivas entre 0.10 y 0.11. Posteriormente, entre los lag 19 y 20, la correlación aumenta y es de tipo negativa, llegando a -0.22. Sin embargo, ninguna estas relaciones supera los intervalos de confianza, lo que indica que la correlación entre ambas variables es débil.

En síntesis, se concluye que la conexión entre el acuífero y la precipitación es más notable del tercer al cuarto mes y después de casi 2 años. No obstante, esta relación no resulta estadísticamente significativa y podría estar influenciada por otros factores no contemplados en este análisis, tales como: Recarga a través de conexiones con otras unidades hidrogeológicas, los datos de precipitación no corresponden a la zona de recarga del acuífero monitoreado, y posibles fugas de agua provenientes del sistema de acueducto y alcantarillado. En la siguiente figura se presenta el correlograma correspondiente.

Figura 33. Correlación cruzada entre el nivel piezométrico y la precipitación para 50 lag.



Fuente: SDA, 2024.

La estación de precipitación utilizada para correlacionar el nivel piezométrico, la temperatura y la conductividad eléctrica es el “*Colegio Simón Rodríguez*”, la cual está ubicada al oriente del punto de monitoreo (Localidad Chapinero-Barrio María Cristina).

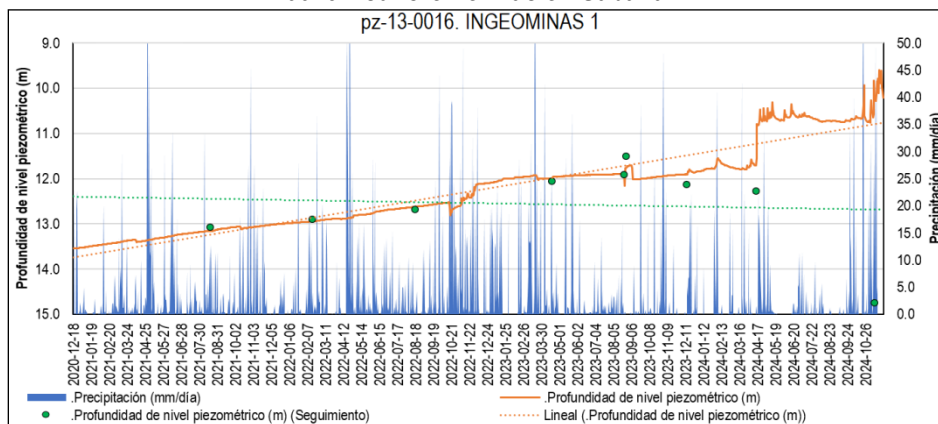
Pozo pz-13-0016. INGEOMINAS 1. Este punto de monitoreo con una profundidad total de 100 m capta del acuífero Formación Sabana, donde el dispositivo instalado registra un ascenso total del nivel piezométrico de 3.3 m, una

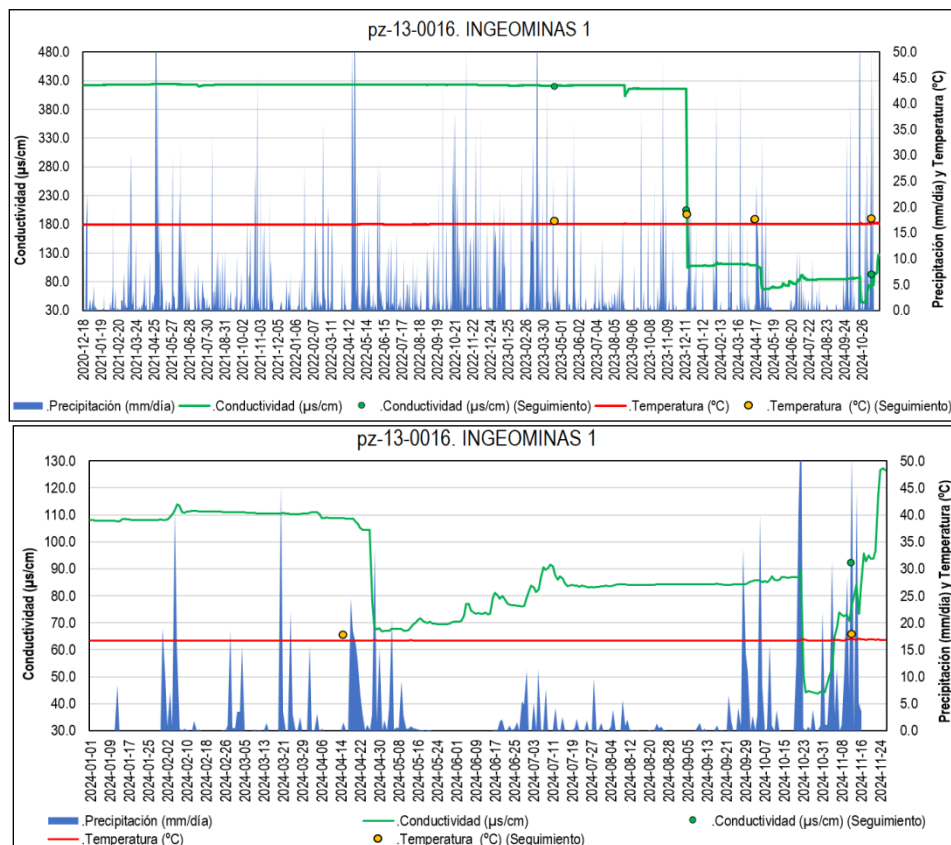
temperatura promedio constante de 16.66 °C y una conductividad eléctrica promedio de 341.90 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Esta última variable cambia de forma drástica en diciembre de 2023 cuando el grupo de aguas subterráneas realiza el mantenimiento preventivo (limpieza del cable y el dispositivo, retirando lodos y sólidos adheridos al equipo), pasando de 416.32 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 104.15 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Por este motivo, se incluye otra grafica donde se eliminan los datos del 2020 al 2023, evidenciando que la variación en la precipitación cambia el comportamiento de la conductividad eléctrica.

En las mediciones in-situ para verificar nivel, temperatura y conductividad eléctrica, se puede determinar que las variables conductividad eléctrica y temperatura observadas difieren muy poco de los valores registrados por el dispositivo (para la conductividad eléctrica menos de 2 $\mu\text{S}/\text{cm}$). En cambio, los valores observados de nivel piezométrico varían hasta 0.6 m. Frente a esta última variable se puede determinar que siempre ha mantenido una tendencia ascendente con algunas variaciones que deben ser investigadas a mayor detalle y más cuando no existe claridad del estado mecánico del pozo y el comportamiento es totalmente diferente al pozo pz-13-0017. INGEOMINAS 2 ubicado a menos de 36 m de longitud y con la misma profundidad.

Este punto de monitoreo no presenta cambios drásticos debido a la ejecución de pruebas de bombeo, sin embargo, se evidencia de mayo a septiembre de 2024 que la tendencia se estabiliza debido a la disminución en la frecuencia e intensidad de la precipitación.

Figura 34. Comportamiento del nivel piezométrico, temperatura y conductividad eléctrica del pozo pz-13-0016-Acuífero Formación Sabana.





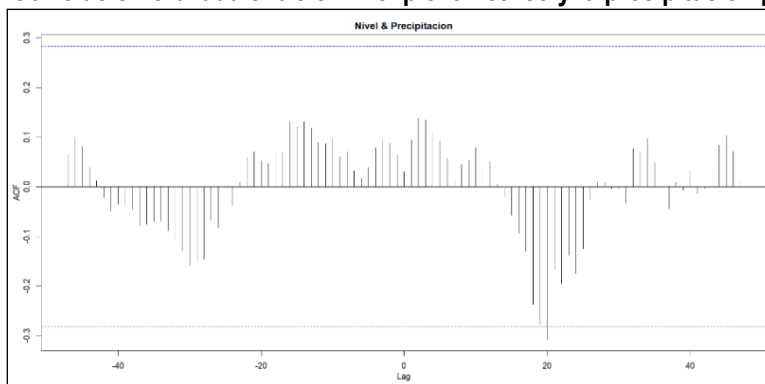
Fuente: SDA, 2024.

En relación con la serie temporal del nivel piezométrico se determina que esta presenta una tendencia ascendente significativa, ya que al aplicar la prueba de Mann-Kendall se obtiene un p-valor de 0.0026 (menor a 0.05, lo que indica significancia estadística) y un coeficiente tau de 0.95 (entre -1 (valores negativos tendencia descendente perfecta) y 1 (valores positivos tendencia ascendente perfecta)). Estos resultados proporcionan la suficiente evidencia estadística para concluir que el nivel piezométrico tiende a ser ascendente durante en el tiempo.

El análisis de correlación cruzada muestra que la conexión entre el nivel piezométrico y la precipitación se da de forma más notable entre el lag 19 y 20, con una correlación positiva significativa entre -0.27 y -0.30. En síntesis, se concluye que la conexión entre el acuífero y la precipitación es más notable después de casi 2 años, situación que debe ser investigada a profundidad debido a la proximidad con el punto de monitoreo pz-13-0017 (INGEOMINAS 2). Otros factores que pueden alterar las condiciones de recarga y que no son contemplados en este análisis son: Recarga a través de conexiones con otras unidades hidrogeológicas, los datos de precipitación no corresponden a la zona de

recarga del acuífero monitoreado, y posibles fugas de agua provenientes del sistema de acueducto y alcantarillado. En la siguiente figura se presenta el correlograma correspondiente.

Figura 35. Correlación cruzada entre el nivel piezométrico y la precipitación para 50 lag.



Fuente: SDA, 2024.

La estación de precipitación utilizada para correlacionar el nivel piezométrico, la temperatura y la conductividad eléctrica es el “Colegio Simón Rodríguez”, la cual está ubicada al oriente del punto de monitoreo (Localidad Chapinero-Barrio María Cristina).

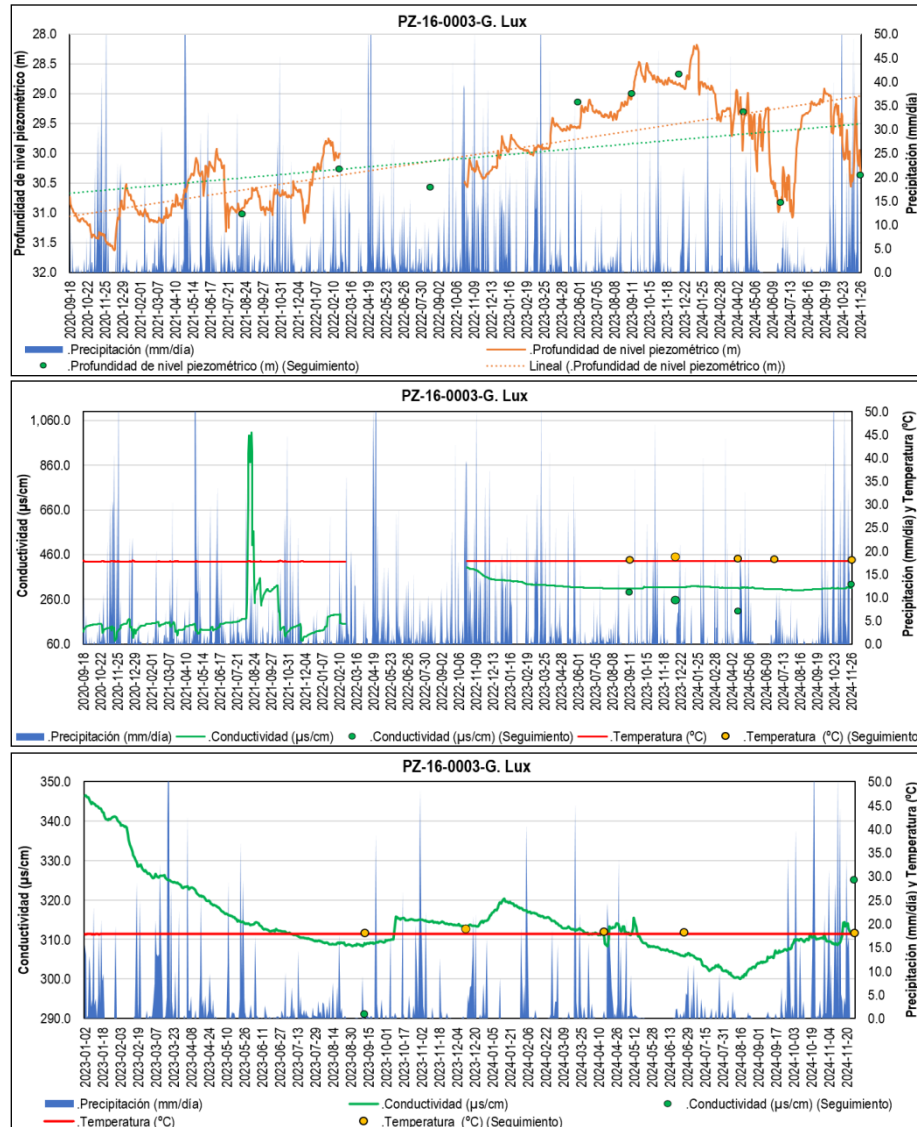
Pozo pz-16-0003. GASEOSAS LUX. Este punto de monitoreo con una profundidad total de 193 m capta del acuífero Formación Sabana y Tilatá entre los 73 m a los 186 m, donde el dispositivo instalado registra un ascenso total del nivel piezométrico de 0.41 m (a corte de enero de 2024 el nivel ascendió a máximo 2.55 m), una temperatura constante promedio de 17.81 °C y una conductividad eléctrica promedio de 259.21 $\mu\text{s/cm}$.

En las mediciones in-situ para verificar nivel, temperatura y conductividad eléctrica, se puede determinar que las variables nivel y temperatura observadas difieren muy poco de los valores registrados por el dispositivo (para nivel menos de 0.2 m). En cambio, los valores observados de conductividad eléctrica varían hasta en 100 $\mu\text{s/cm}$, debió a que, la sonda de nivel y el dispositivo se encuentran descalibrados. Por este motivo, se incluye otra grafica donde se eliminan los datos del 2020 al 2023, evidenciando que la variación en la precipitación cambia el comportamiento de la conductividad eléctrica.

Como complemento a lo anterior, se destaca que la explotación de agua subterránea en los pozos concesionados pz-16-0004 (Gaseosas Lux), ubicado a 193 m del pozo de observación, y en los pozos pz-16-0001 y pz-16-0002 (Gaseosas Colombianas 1 y 2), situados a 1.8 km de distancia, también generan alteraciones en el comportamiento del nivel piezométrico, ya que extraen agua del mismo acuífero a partir de los 77 m de profundidad.

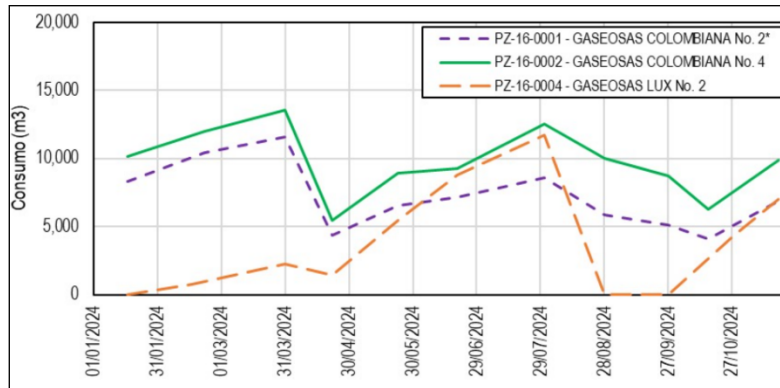
En las siguientes figuras se observa el comportamiento de las variables en el punto de monitoreo pz-16-0003 y los consumos en los pozos concesionados.

Figura 36. Comportamiento del nivel piezométrico, temperatura y conductividad eléctrica del pozo pz-16-0003-Acuífero Formación Sabana.



Fuente: SDA, 2024.

Figura 37. Comportamiento de los consumos en los pozos concesionados pz-16-0004, pz-16-0001 y pz-16-0002.



Fuente: SDA, 2024.

De acuerdo con las anteriores imágenes, se evidencia que el nivel piezométrico presenta un descenso de aproximadamente 2.75 m durante el año 2024. Este cambio puede ser atribuido a la disminución en la intensidad y frecuencia de la precipitación, así como al incremento en el consumo de agua subterránea del pozo concesionado pz-16-0004. Si bien este pozo concesionado ha registrado consumos muy inferiores a 1000 m³ desde la instalación del dispositivo, a partir de abril de 2024 se observa un aumento en la extracción, lo que ha generado alteraciones en la dinámica del acuífero.

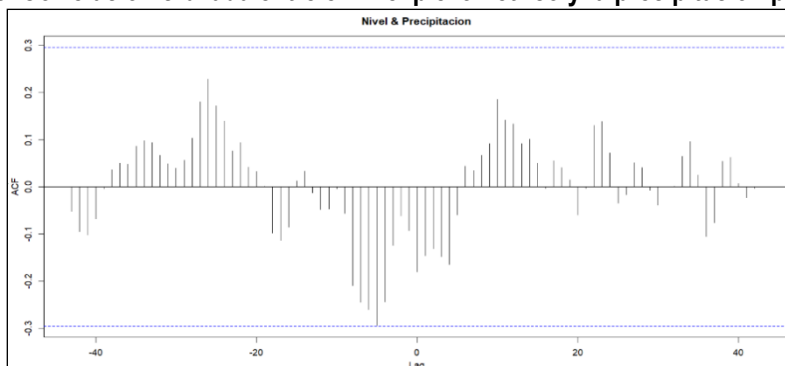
En relación con la serie temporal del nivel piezométrico se determina que esta presenta una tendencia ascendente significativa, ya que al aplicar la prueba de Mann-Kendall se obtiene un p-valor de 0.0032 (menor a 0.05, lo que indica significancia estadística) y un coeficiente tau de 0.61 (entre -1 (valores negativos tendencia descendente perfecta) y 1 (valores positivos tendencia ascendente perfecta)). Estos resultados ofrecen la suficiente evidencia estadística para concluir que el nivel piezométrico presenta una tendencia ligeramente ascendente a lo largo del tiempo.

El análisis de correlación cruzada muestra que la conexión entre el nivel piezométrico y la precipitación es más notable en los primeros lag (lag 1 al 4), con correlaciones negativas entre -0.13 y -0.18. Posteriormente, entre los lag 10 y 11, la correlación aumenta y es de tipo positiva, con valores entre 0.14 y 0.18. Sin embargo, ninguna estas relaciones supera los intervalos de confianza, lo que indica que la correlación entre ambas variables es débil.

En síntesis, se concluye que la conexión entre el acuífero y la precipitación es más notable del primer al cuarto mes y se repite después de 1 año. No obstante, esta relación no resulta estadísticamente significativa y podría estar influenciada por otros factores no contemplados en este análisis, tales como: Recarga a través de conexiones con otras unidades hidrogeológicas, los datos de precipitación no corresponden a la zona de recarga del acuífero

monitoreado, y posibles fugas de agua provenientes del sistema de acueducto y alcantarillado. En la siguiente figura se presenta el correlograma correspondiente.

Figura 38. Correlación cruzada entre el nivel piezométrico y la precipitación para 50 lag.



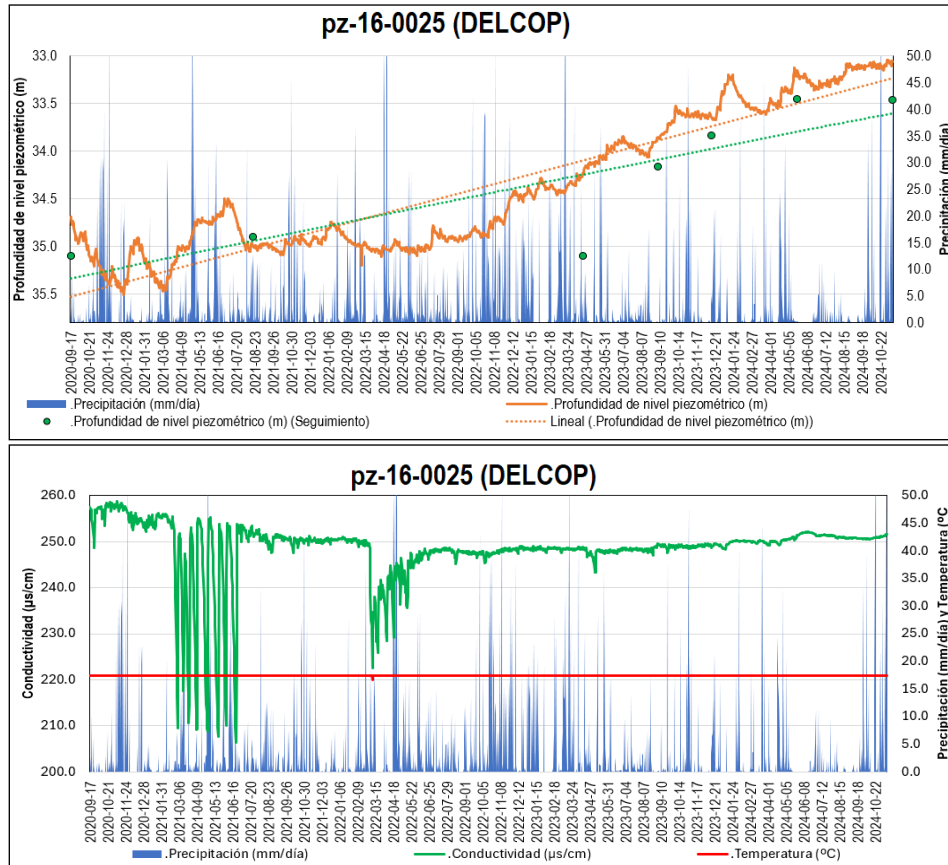
Fuente: SDA, 2024.

La estación de precipitación utilizada para correlacionar el nivel piezométrico, la temperatura y la conductividad eléctrica es el “*Colegio Simón Rodríguez*”, la cual está ubicada al oriente del punto de monitoreo (Localidad Chapinero-Barrio María Cristina).

Pozo pz-16-0025. DELCOP. Este punto de monitoreo con una profundidad total de 167 m capta de los acuíferos Formación Sabana-Fm. Tilatá entre los 66 m y los 161 m, donde el dispositivo instalado registra un ascenso total del nivel piezométrico de 1.66 m, una temperatura promedio constante de 17.43 °C y una conductividad eléctrica promedio de 248.48 $\mu\text{s/cm}$.

Las mediciones in-situ para verificar nivel, temperatura y conductividad eléctrica, indica que las variables nivel y temperatura observadas difieren muy poco de los valores registrados por el dispositivo (para nivel menos de 0.3 m). En cambio, los valores observados de conductividad eléctrica varían hasta en 100 $\mu\text{s/cm}$, ya que, la sonda de nivel implementada en las labores de campo se descalibra con facilidad. Por este motivo, en la figura de temperatura y conductividad eléctrica se eliminan los valores observados para diferenciar con mayor detalle los cambios en la variable. En la siguiente figura se observa el comportamiento de las variables en el punto de monitoreo pz-16-0025.

Figura 39. Comportamiento del nivel piezométrico, temperatura y conductividad eléctrica del pozo pz-16-0025-Acuíferos Fm. Sabana-Fm. Tilatá.



Fuente: SDA, 2024.

Como se observa en la serie de datos de nivel, al igual que el pozo de monitoreo ubicado en Gaseosas Lux, este punto presenta cambios debido a los consumos de agua subterránea en los pozos pz-16-0002 y pz-16-0003 (Gaseosas Colombianas – planta centro) ubicados a una distancia de 437 m.

También es importante destacar que, a pesar de los cambios en la dinámica ocasionados por la explotación de agua subterránea y las condiciones climáticas, se mantiene una tendencia ascendente en esta zona del Distrito Capital.

En relación con la serie temporal del nivel piezométrico se determina que esta presenta una tendencia ascendente significativa, ya que al aplicar la prueba de Mann-Kendall se obtiene un p-valor de 0.0052 (menor a 0.05, lo que indica significancia estadística) y un coeficiente tau de 0.78 (entre -1 (valores negativos tendencia descendente perfecta) y 1

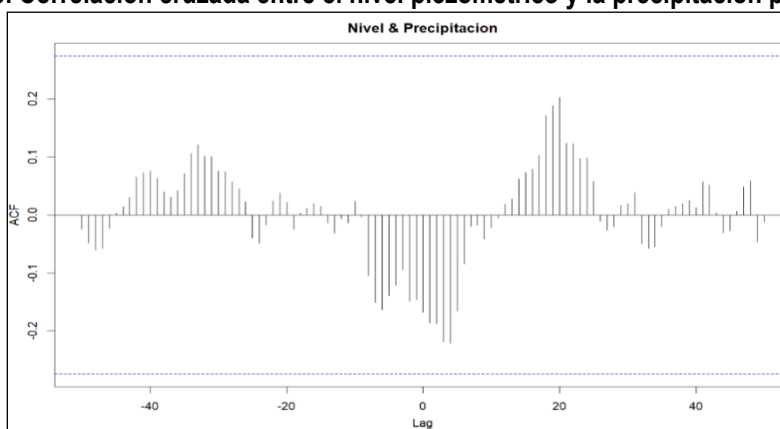
(valores positivos tendencia ascendente perfecta)). Estos resultados proporcionan la suficiente evidencia estadística para concluir que el nivel piezométrico incrementa de forma ascendente a lo largo del tiempo.

El análisis de correlación cruzada muestra que la conexión entre el nivel piezométrico y la precipitación es más notable en los primeros lag (lag 3 al 4), con correlaciones negativas entre -0.21 y -0.22. Posteriormente, en el lag 20, la correlación aumenta y es de tipo positiva, llegando a 0.20. Sin embargo, ninguna estas relaciones supera los intervalos de confianza, lo que indica que la correlación entre ambas variables es débil.

En síntesis, se concluye que la conexión entre el acuífero y la precipitación es más notable del tercer al cuarto mes y después de casi 2 años. No obstante, esta relación no resulta estadísticamente significativa y podría estar influenciada por otros factores no contemplados en este análisis, tales como: Recarga a través de conexiones con otras unidades hidrogeológicas, los datos de precipitación no corresponden a la zona de recarga del acuífero monitoreado, y posibles fugas de agua provenientes del sistema de acueducto y alcantarillado.

Los resultados de este punto de monitoreo, en relación con el análisis de correlación cruzada, son similares a los obtenidos en el punto PZ-16-0003 (Gaseosas Lux), lo que sugiere que la dinámica subterránea entre los 2 puntos es significativa. En la siguiente figura se presenta el correlograma correspondiente.

Figura 40. Correlación cruzada entre el nivel piezométrico y la precipitación para 50 lag.



Fuente: SDA, 2024.

La estación de precipitación utilizada para correlacionar el nivel piezométrico, la temperatura y la conductividad eléctrica es el "Colegio Simón Rodríguez", la cual está ubicada al oriente del punto de monitoreo (Localidad Chapinero-Barrio María Cristina).

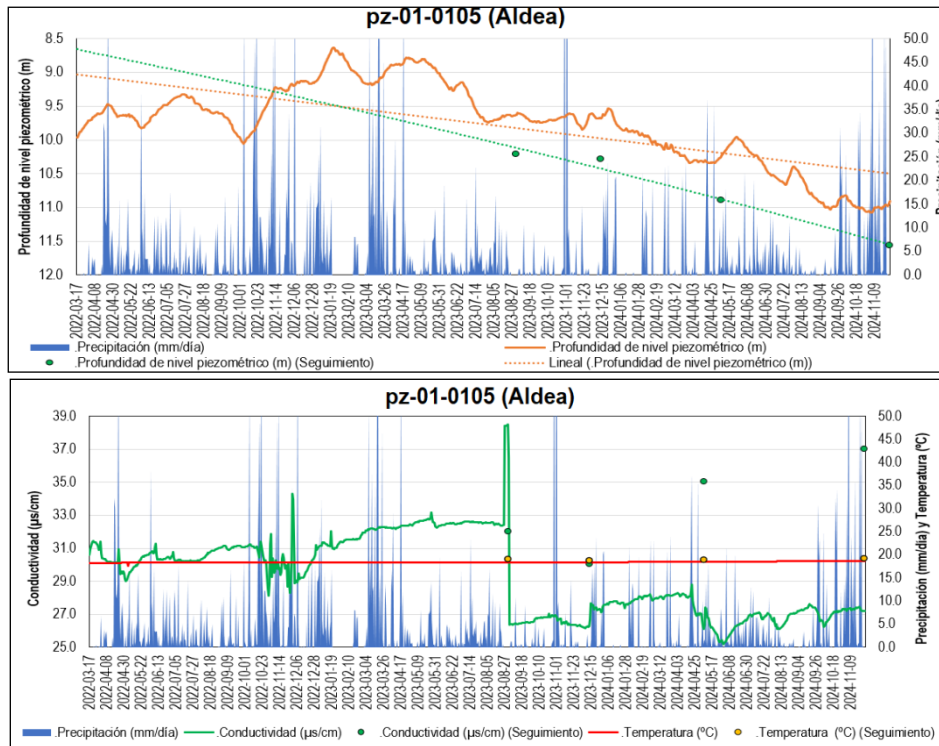
Pozo pz-01-0105. Aldea. Este punto de monitoreo ubicado al oriente del Distrito Capital, tiene una profundidad total de 120 m y capta del acuífero Formación Labor-Tierna entre los 30 m y 78 m de profundidad, donde el dispositivo

instalado registra un descenso total del nivel piezométrico de -0.97 m, una temperatura promedio constante de 18.41 °C y una conductividad eléctrica promedio de 29.32 $\mu\text{S}/\text{cm}$, la cual, varía según el comportamiento de la precipitación. Esta última variable cambia en agosto de 2023 debido a que el grupo de aguas subterráneas realiza una limpieza al dispositivo.

Las mediciones in-situ para verificar nivel, temperatura y conductividad eléctrica, indica que las variables observadas difieren de las calculadas por el dispositivo; por ejemplo, el nivel difiere máximo 0.6 m y la conductividad eléctrica 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en comparación con los datos registrados.

Es relevante destacar que el punto de monitoreo se encuentra en una zona donde los niveles piezométricos, dependiendo de la profundidad y del tipo de acuífero captado, pueden presentar características de tipo artesiano, con presiones registradas durante la construcción del proyecto que alcanzaron hasta 10 bares. En la siguiente figura se observa el comportamiento de las variables en el punto de monitoreo pz-01-0105.

Figura 41. Comportamiento del nivel piezométrico, temperatura y conductividad eléctrica del pozo pz-01-0105-Formación Labor-Tierna.



Fuente: SDA, 2024.

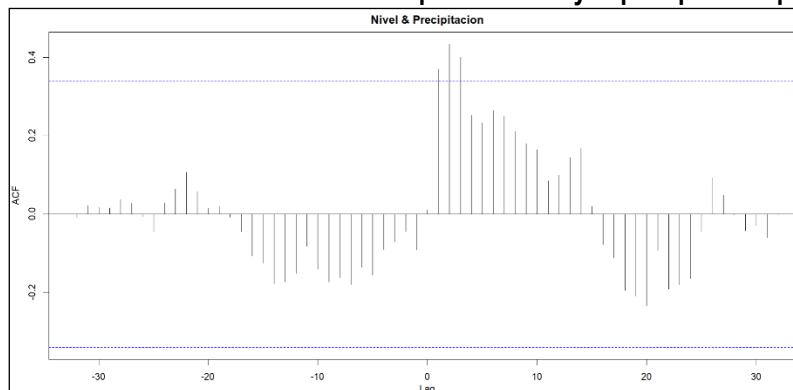
La serie de nivel piezométrico muestra que no se presentan cambios drásticos, aunque se evidencia una disminución a partir de abril de 2023, coincidiendo con la reducción en la intensidad y frecuencia de la precipitación. Durante este periodo, el nivel desciende de 8.78 m en abril de 2023 a 11.05 m en octubre de 2024. Posteriormente, se observa un leve ascenso en respuesta a las lluvias registradas en noviembre de 2024 en esta zona del Distrito Capital.

En relación con la serie temporal del nivel piezométrico se determina que esta presenta una tendencia ascendente significativa, ya que al aplicar la prueba de Mann-Kendall se obtiene un p-valor de 0.0013 (menor a 0.05, lo que indica significancia estadística) y un coeficiente tau de -0.53 (entre -1 (valores negativos tendencia descendente perfecta) y 1 (valores positivos tendencia ascendente perfecta)). Los resultados indican que el nivel piezométrico tiende a disminuir de forma moderada a lo largo del tiempo, lo que indica que la tendencia decreciente es consistente pero no extremadamente fuerte.

El análisis de correlación cruzada muestra que la conexión entre el nivel piezométrico y la precipitación es más notable en los primeros lag (lag 1 al 3), con correlaciones positivas que van de 0.37 a 0.43. Posteriormente, en entre el lag 19 y 20 la correlación pasa a ser negativa, llegando a valores de -0.21 a -0.23. En síntesis, se concluye que existe una conexión directa entre la precipitación y el nivel piezométrico en los primeros 3 meses, posiblemente reflejando un impacto inmediato de las lluvias sobre el acuífero.

Otros factores que podrían influir en la recarga y, por ende, en el nivel del acuífero, pero que no fueron considerados en este análisis, incluyen: Recarga a través de conexiones con otras unidades hidrogeológicas, los datos de precipitación no corresponden a la zona de recarga del acuífero monitoreado, y posibles fugas de agua provenientes del sistema de acueducto y alcantarillado.

Figura 42. Correlación cruzada entre el nivel piezométrico y la precipitación para 50 lag.



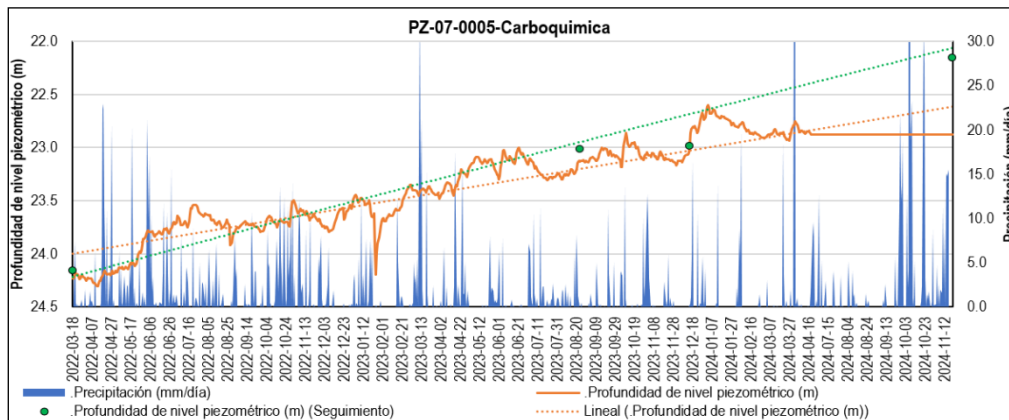
Fuente: SDA, 2024.

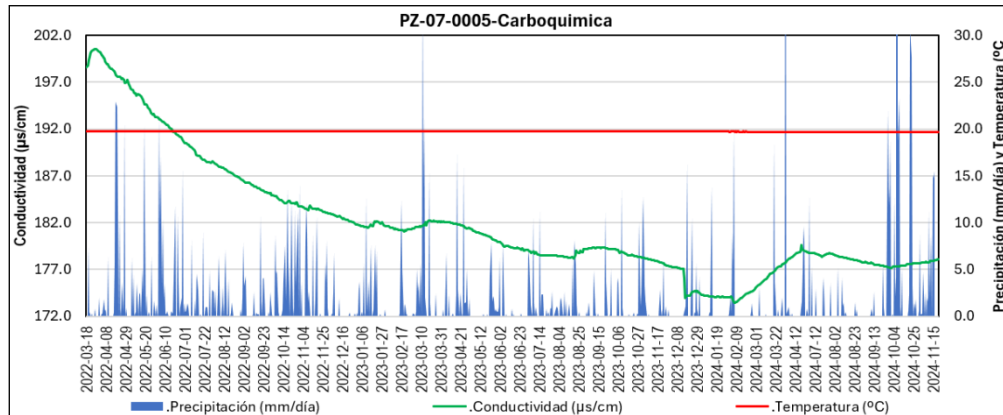
La estación de precipitación utilizada para correlacionar el nivel piezométrico, la temperatura y la conductividad eléctrica es la “Escuela Pedagógica Experimental”, la cual está ubicada al sur-oriental del punto de monitoreo (Localidad de Usaquén-Barrio Paramo).

Pozo pz-07-0005. Carboquímica. Este punto de monitoreo ubicado al sur-occidente del Distrito Capital tiene una profundidad total de 110 m y capta del acuífero Formación Sabana (filtros entre los 78 m a 110 m), donde el dispositivo instalado registra un ascenso total del nivel piezométrico de 1.35 m, una temperatura promedio constante de 19.71 °C y una conductividad eléctrica promedio de 181.89 $\mu\text{S}/\text{cm}$ que tiende a descender, registrando un valor mínimo de 173.43 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en febrero de 2024.

Las mediciones in-situ para verificar nivel, temperatura y conductividad eléctrica, indican que las variables nivel y temperatura observadas difieren muy poco de los valores registrados por el dispositivo, no obstante, desde abril de 2024 el valor observado difiere hasta 0.88 m. frente a la conductividad eléctrica los valores cambian en diferencia al calculado hasta en 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estas diferencias se presentan debido a que la sonda de nivel implementada en las labores y el dispositivo deben ser calibrados. Por este motivo en la figura de temperatura y conductividad eléctrica se eliminan los valores observados para diferenciar con mayor detalle la variable. En la siguiente figura se observa el comportamiento de las variables en el punto de monitoreo pz-07-0005.

Figura 43. Comportamiento del nivel piezométrico, temperatura y conductividad eléctrica del pozo pz-07-0005-Acuífero Formación Sabana.





Fuente: SDA, 2024.

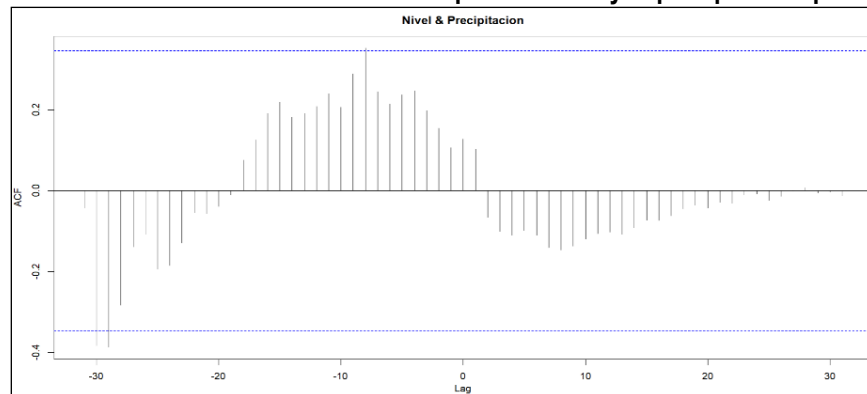
Otro aspecto relevante en la serie de datos de nivel es que, después del mes de abril de 2024, la tendencia se mantiene constante. Esta situación sugiere que el equipo de monitoreo podría haberse desconfigurado durante la descarga de datos en esa fecha, por lo que es necesario reprogramarlo para garantizar la precisión de los registros. También es de resaltar que el nivel permanece con una tendencia ascendente así la intensidad y frecuencia de la precipitación disminuya.

En relación con la serie temporal del nivel piezométrico se determina que esta presenta una tendencia ascendente significativa, ya que al aplicar la prueba de Mann-Kendall se obtiene un p-valor de 0.0057 (menor a 0.05, lo que indica significancia estadística) y un coeficiente tau de 0.82 (entre -1 (valores negativos tendencia descendente perfecta) y 1 (valores positivos tendencia ascendente perfecta)). Estos resultados proporcionan la suficiente evidencia estadística para concluir que el nivel piezométrico incrementa de forma ascendente a lo largo del tiempo.

El análisis de correlación cruzada muestra que la conexión entre el nivel piezométrico y la precipitación es más notable en los primeros lag (lag 0 al 1), con correlaciones positivas de 0.10. Posteriormente, en entre el lag 7 y 8 la correlación aumenta y es de tipo negativa, llegando a -0.14. Sin embargo, ninguna de estas relaciones supera los intervalos de confianza, lo que indica que la correlación entre ambas variables es débil.

En síntesis, se concluye que la conexión entre el acuífero y la precipitación es mayor en el primer mes, no obstante, esta relación no resulta estadísticamente significativa y podría estar influenciada por otros factores no contemplados en este análisis, tales como: Recarga a través de conexiones con otras unidades hidrogeológicas, los datos de precipitación no corresponden a la zona de recarga del acuífero monitoreado, y posibles fugas de agua provenientes del sistema de acueducto y alcantarillado.

Figura 44. Correlación cruzada entre el nivel piezométrico y la precipitación para 50 lag.



Fuente: SDA, 2024.

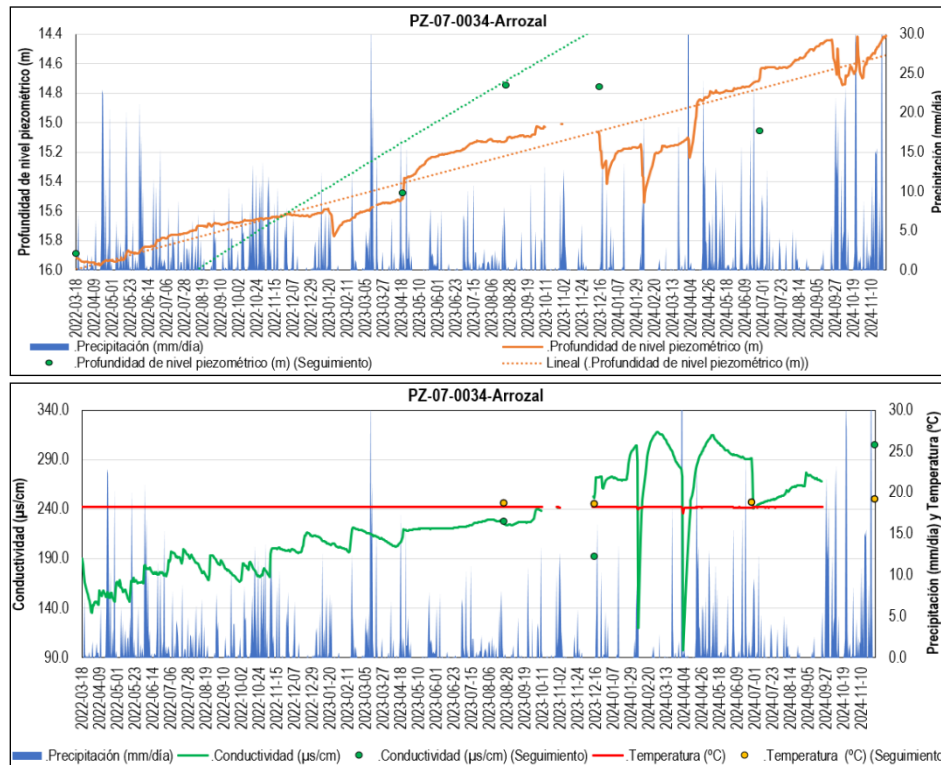
La estación de precipitación utilizada para correlacionar el nivel piezométrico, la temperatura y la conductividad eléctrica es el “*Colegio Sierra Morena*”, la cual está ubicada al sur del punto de monitoreo (Localidad de Ciudad Bolívar-Barrio la Pradera).

Pozo pz-07-0034. El Arrozal. Este punto de monitoreo ubicado al sur-occidente del Distrito Capital tiene una profundidad total de 150 m y capta del acuífero Formación Sabana (filtros entre 24 m y 66 m), donde el dispositivo instalado registra un ascenso total del nivel piezométrico de 1.52 m, una temperatura constante promedio de 18.24 °C y una conductividad eléctrica promedio de 223.74 $\mu\text{s/cm}$ que asciende durante toda la serie de datos y varía según el comportamiento de la precipitación como se observa en la siguiente figura.

Se debe aclarar que el dispositivo presenta desde octubre de 2023 interrupción en la lectura de datos, ya que, la batería presenta niveles inferiores a 10 % dificultando el funcionamiento adecuado del dispositivo. Por ejemplo, los datos de temperatura y conductividad eléctrica no registran desde septiembre de 2024.

Ahora bien, las mediciones in-situ para verificar nivel, temperatura y conductividad eléctrica, indica que las variables nivel, conductividad eléctrica y temperatura observadas difieren de los valores registrados por el dispositivo. En el caso de la conductividad eléctrica, se evidencia un desfase en diciembre de 2023 de 64 $\mu\text{s/cm}$. Ya para el nivel piezométrico el máximo desfase se da en julio de 2024 con un cambio de 0.35 m. Lo anterior indica la necesidad de calibrar los equipos de campo y dispositivos de medición para disminuir el error. En la siguiente figura se observa el comportamiento de las variables en el punto de monitoreo pz-07-0034.

Figura 45. Comportamiento del nivel piezométrico, temperatura y conductividad eléctrica del pozo pz-07-0034-Acuífero Formación Sabana.



Fuente: SDA, 2024.

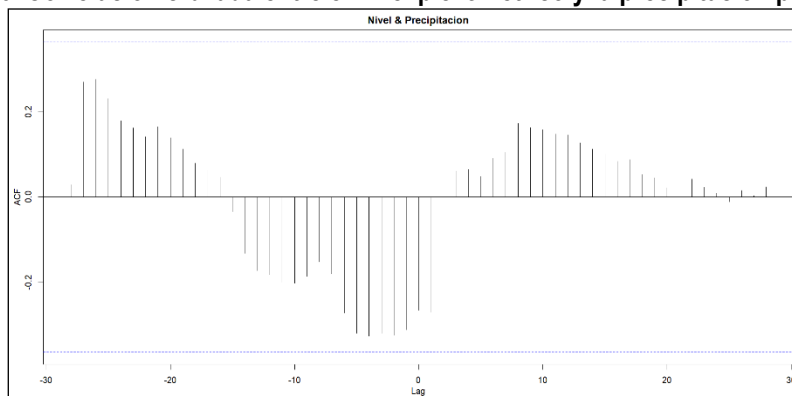
En relación con la serie temporal del nivel piezométrico se determina que esta presenta una tendencia ascendente significativa, ya que al aplicar la prueba de Mann-Kendall se obtiene un p-valor de 0.0012 (menor a 0.05, lo que indica significancia estadística) y un coeficiente tau de 0.89 (entre -1 (valores negativos tendencia descendente perfecta) y 1 (valores positivos tendencia ascendente perfecta)). Estos resultados proporcionan la suficiente evidencia estadística para concluir que el nivel piezométrico incrementa de forma ascendente a lo largo del tiempo.

El análisis de correlación cruzada muestra que la conexión entre el nivel piezométrico y la precipitación es más notable en los primeros lag (lag 0 al 1), con correlaciones negativas entre -0.26 y -0.27. Posteriormente, en el lag 8 la correlación aumenta y es de tipo positiva, llegando a 0.17. Sin embargo, ninguna estas relaciones supera los intervalos de confianza, lo que indica que la correlación entre ambas variables es débil.

En síntesis, se concluye que la conexión entre el acuífero y la precipitación es más notable en el primer mes y después de casi 1 año (mes 8). No obstante, esta relación no resulta estadísticamente significativa y podría estar influenciada

por otros factores no contemplados en este análisis, tales como: Recarga a través de conexiones con otras unidades hidrogeológicas, los datos de precipitación no corresponden a la zona de recarga del acuífero monitoreado, y posibles fugas de agua provenientes del sistema de acueducto y alcantarillado.

Figura 46. Correlación cruzada entre el nivel piezométrico y la precipitación para 50 lag.



Fuente: SDA, 2024.

La estación de precipitación utilizada para correlacionar el nivel piezométrico, la temperatura y la conductividad eléctrica es el “*Colegio Sierra Morena*”, la cual está ubicada al sur del punto de monitoreo (Localidad de Ciudad Bolívar-Barrio la Pradera).

En conclusión, la tendencia del nivel piezométrico de los acuíferos monitoreados se mantiene en ascenso, con los mayores incrementos registrados en el punto de monitoreo pz-06-0008 (General Motors), que supervisa el acuífero de la Formación Tilatá, donde el aumento desde el inicio del registro de datos es de 3.69 m. Los demás puntos muestran ascensos que no superan los 2 m o se mantienen sin descender por debajo del valor inicial registrado durante la instalación del dispositivo. Por otro lado, solo dos puntos de monitoreo presentan descensos en el nivel en comparación con el nivel inicial: el pz-08-0007 (Autoboyacá) con una disminución de -0.15 m y el pz-01-0105 (Aldea) con un descenso de -0.97 m.

Según el análisis estadístico de correlación cruzada, se concluye que la mayoría de los acuíferos monitoreados presentan una correlación con la precipitación durante los primeros cinco meses. Sin embargo, destaca el comportamiento del punto de monitoreo pz-13-00016 (ING1), donde la correlación es más alta entre los meses 19 y 20, es decir, aproximadamente dos años después.

Finalmente, se destaca la necesidad de llevar a cabo un mantenimiento integral de toda la Red de Monitoreo de Aguas Subterráneas (RMAS) con el objetivo de mejorar la calidad de los datos, tanto en los pozos que actualmente están en funcionamiento como en aquellos que no están transmitiendo. Esto permitirá garantizar la continuidad en la captura de

información, favoreciendo la toma de decisiones informadas para la conservación y protección del recurso hídrico subterráneo en el Distrito Capital.

6. HIDROGEOQUÍMICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA

La hidrogeoquímica permite integrar los conocimientos de la química, la hidrogeología y la geología, a partir de correlacionar los componentes físico-químicos del agua subterránea con su interacción con el medio poroso y su tiempo de residencia. El agua como compuesto es el solvente universal, y en las unidades hidrogeológicas encuentra el tiempo suficiente para disolver los minerales de la roca, debido a los bajos tiempos de tránsito entre los poros y al área de exposición en la granulometría de la roca. Una vez entendida la interacción entre agua-roca, es posible proponer escenarios que permitan explicar los resultados de la parametrización físico-química del agua a partir de la geología, la mezcla de aguas, el tiempo de tránsito, la interacción mineralógica a partir de disolución y el sistema de recarga y descarga del acuífero.

El procesamiento de la información de manera apropiada, requiere realizar una verificación de esta misma. Razón por la cual el primer paso del análisis consiste en la verificación de la calidad de los datos de aniones y cationes brindados por los usuarios y por el Programa de Afluentes y Efluentes de la SDA, para esta evaluación se utilizaron datos de muestreo de los **años 2022, 2023 y 2024**. Esta verificación se realiza mediante un balance iónico de los aniones: HCO_3^- , SO_4^- , y Cl^- , y de los cationes: Ca^+ , Mg^+ , Na^+ y K^+ . El análisis se basa en la tendencia natural del agua a la neutralidad eléctrica, la cual se genera tras una equivalencia proporcional entre aniones y cationes totales en solución, como resultado de la verificación de desbalance iónico, surge un porcentaje de error.

$$\text{Error } (\%) = \frac{\left| \sum \text{aniones} \left(\frac{\text{meq}}{\text{L}} \right) - \sum \text{cationes} \left(\frac{\text{meq}}{\text{L}} \right) \right|}{\sum \text{aniones} \left(\frac{\text{meq}}{\text{L}} \right) + \sum \text{cationes} \left(\frac{\text{meq}}{\text{L}} \right)} \cdot 100\%$$

Debido a la neutralidad eléctrica del agua es posible generar una correlación entre la conductividad eléctrica del agua in-situ con su porcentaje de error en el balance iónico, lo cual permitió considerar un rango de error analítico de hasta el 30% para aguas que tuvieran una conductividad eléctrica alta, lo cual es consecuente con el desbalance entre aniones y cationes. Esto se realizó con el objetivo de aumentar la cantidad de puntos a analizar.

En total se analizaron con la ecuación de balance iónico 82 muestras del Programa de Afluentes y Efluentes de la SDA y 32 muestras brindadas por Usuarios, en total son 11 muestras las que cumplen con un balance iónico inferior al 30%. Los pozos de los cuales se obtuvieron las muestras válidas para interpretación se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 2. Puntos que cumplen con el balance iónico para las muestras tomadas del año 2022 a 2024.

Año	Resultado Balance	Observación
2022	Cumplen 4 (aj-14-0005 (Servicentro Avenida Tercera), pz-01-0098 (Motel Rocamar), pz-05-0004 (Frigorífico San Isidro), pz-07-0028 (Héctor José León Piñeros)).	La información suministrada por el programa de afluentes y efluentes corresponde al pozo PZ-05-0004, PZ-07-0028, PZ-01-0098 y AJ-14-0005.
2023	Cumplen 6 (aj-14-0005 (Servicentro Avenida Tercera), aj-17-0002 (Aljibe la Mansión del Duende), pz-05-0004 (Frigorífico San Isidro), pz-07-0028 (Héctor José León Piñeros), pz-11-0136 (Sociedad PROMA No.1), pz-11-0190 (CEMEX COLOMBIA S.A.)).	La información suministrada por los usuarios corresponde a los pozos PZ-05-0004, PZ-11-0136 y PZ-07-0028. La información suministrada por el programa de afluentes y efluentes corresponde al pozo PZ-11-0190, AJ-17-0002 y AJ-14-0005.
2024	Cumple 1 (pz-07-0028 (Héctor José León Piñeros)).	La información suministrada por el programa de afluentes y efluentes corresponde al pozo PZ-07-0028.

Fuente: SDA 2024.

Para identificar como es la evolución química del agua subterránea en el Distrito Capital, la SDA con los puntos de agua que cumplen con el balance iónico, realizó diagramas de relaciones químicas, diagramas Piper y mapas con distribución espacial de los diagramas Stiff. Los resultados se describen y analizan a continuación.

6.1 Análisis Diagramas Stiff.

Los diagramas Stiff son una modalidad de representación gráfica simplificada de iones identificados en las muestras de agua, presenta las concentraciones en miliequivalentes por litro (meq/l) y se divide asignando el perfil de los cationes a la izquierda y el perfil de los aniones a la derecha. Se presentan de manera inicial debido a que su simplicidad permite la representación de su distribución espacial en cartografía, lo que permite generar una idea previa de la composición del agua y la ubicación del pozo del que se obtuvo la muestra.

El agua subterránea presenta variaciones químicas condicionada por el tiempo de residencia en el medio poroso, su origen y la mezcla con aguas de diversos orígenes. Para lograr evaluar en el tiempo esta evolución, se considera apropiado graficar la distribución geográfica de los resultados iónicos por año de las muestras de agua, como resultado se presentan 4 mapas con la ubicación de los diagramas de Stiff justo sobre la ubicación de los pozos de los cuales se obtuvo la muestra.

Para el **año 2022** se presentan 4 puntos (aj-14-0005 (Servicentro Avenida Tercera), pz-01-0098 (Motel Rocamar), pz-05-0004 (Frigorífico San Isidro) y pz-07-0028 (Héctor José León Piñeros), de los cuales 3 (aj-14-0005, pz-05-0004 y pz-07-0028) corresponden a aguas cloruradas-sódicas representadas en color rojo como se observa en la Figura 47.

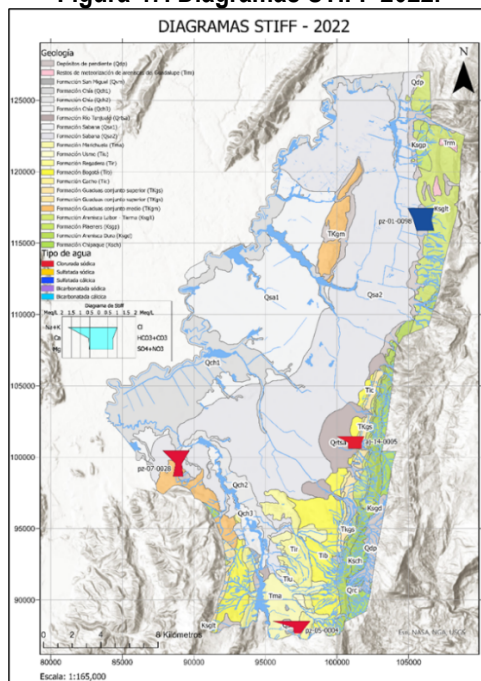
Para explicar con mayor detalle los resultados del agua se procede a analizar cada pozo por separado. Al sur-occidente de las planchas se presenta el pozo identificado como pz-07-0028, el cual tiene una profundidad de 130 metros y capta de la Formación Labor-Tierna, la cual en su sección superior (aproximadamente 50 m) se compone de areniscas clorítico-glaucónicas de grano muy fino, intercaladas con arcillolitas ligeramente carbonosas que pueden provenir debido a la bioturbación de la Formación Guaduas. Esta interacción entre el medio acuoso con las areniscas clorítico-glaucónicas de la Formación Labor-Tierna puede ser la razón por la cual las muestras de este pozo presentan una composición clorurada-sódica los tres años analizados en este trabajo (2022, 2023 y 2024).

Al sur-orienté del Distrito Capital, en la localidad de Usme, se encuentra el pozo pz-05-0004 (Frigorífico San Isidro) el cual presenta una profundidad de 53.5 metros y capta de la Formación Regadera, la cual para la zona se compone de una secuencia no consolidada de arenas de grano grueso y capas de conglomerados que permiten que sus aguas sean influenciadas por la precipitación y la escorrentía superficial. Como resultado se obtiene un agua clorurada-sódica.

El aljibe aj-14-0005 (Servicentro Avenida Tercera) ubicado en la localidad Santa Fe, se encuentra a 30 metros de profundidad, por su condición de aljibe tiene un mayor grado de interacción con el agua meteórica, lo cual deriva en aguas cloruradas-sódicas.

Al nor-este del Distrito Capital en la Localidad de Usaquén se encuentra el pozo pz-01-0098 (Motel Rocamar) que está construido a una profundidad de 152 metros y capta de la Formación Labor-Tierna. Esta unidad hidrogeológica en la zona norte del Distrito Capital se compone en el tope de Labor de areniscas arcillosas que composicionalmente se constituyen de cuarzo y feldespatos (plagioclasa $((Ca,Na)AlSi_3O_8)$). Respecto a su cementación y litificación, se presenta una matriz compuesta de caolinita $(Al_2Si_2O_5(OH)_4)$, carbonatos $(CaCO_3)$ y óxidos de hierro, y se encuentra en su composición la presencia de materia orgánica carbonosa y azufre. Esto se correlaciona a ambientes de formación reductores y anóxicos, los cuales son aptos para la formación de sulfatos, los cuales sufren procesos de reducción bacteriana, estas bacterias (Desulfobacter y Desulfobrio) utilizan sulfatos como aceptores de electrones en lugar de oxígeno, lo que da como resultado el origen de sulfuros. Como resultado de la interacción entre el agua subterránea y litologías con presencia de feldespatos cálcicos como la albita y una matriz carbonatada, adicional a la presencia de materia orgánica carbonosa y azufre, da como resultado aguas de tipo sulfatada-cálcica.

Figura 47. Diagramas STIFF 2022.



Fuente: SDA 2024.

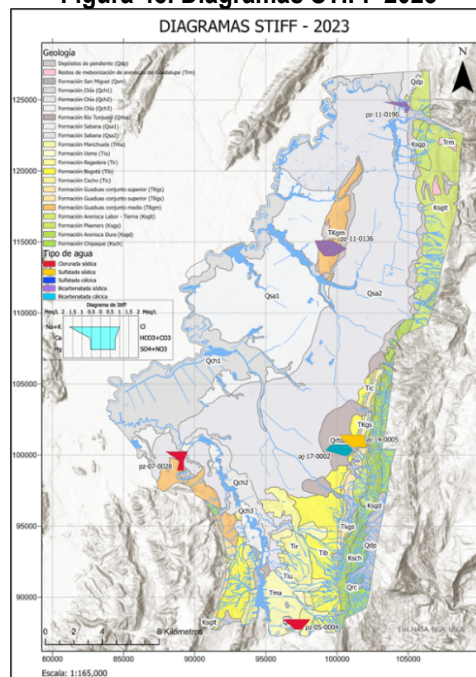
Para el **año 2023** se presentan 6 muestras, dos muestras corresponden a aguas cloruradas-sódicas, una muestra corresponde a sulfatada-sódica, una muestra corresponde a bicarbonatada-cálcica y las dos muestras ubicadas en la localidad de Suba al norte de la ciudad, corresponden a aguas bicarbonatadas sódicas.

En las localidades Ciudad Bolívar, Santa Fe y Usme se ubican 4 muestras, correspondientes a los pozos y aljibes identificados de la siguiente forma: pz-07-0028 (Héctor José León Piñeros), pz-05-0004 (Frigorífico San Isidro), aj-14-0005 (Servicentro Avenida Tercera) y aj-17-0002 (Aljibe la Mansión del Duende). Es posible identificar que 3 de estos puntos también aparecen en el análisis del año 2022 con los valores resultantes para ese año en mención, sin embargo, los pozos (pz-07-0028 y pz-05-0004) siguen manteniendo un agua clorurada-sódica, debido a que captan de los acuíferos Labor-Tierra y Regadera. En el caso del aljibe aj-14-0005, su mayor vulnerabilidad a la variación iónica, debido a su exposición ambiental, dio como resultado una caracterización de agua sulfatada-sódica. Por su parte, el aljibe aj-17-0002, ubicado en depósitos de pendiente muy cerca del aljibe aj-14-0005, presentó un agua bicarbonatada-cálcica según el muestreo. Este resultado es coherente con las características de los depósitos de pendiente no consolidados, los cuales, por su condición geológica, reflejan un flujo local de aguas jóvenes influenciadas por la precipitación.

En las localidades de Suba y Usaquén existen 2 pozos concesionados (pz-11-0136 (Sociedad PROMA No.1) y pz-11-0190 (Cemex Colombia S.A.)) donde el análisis permite evidenciar que las muestras del acuífero arrojan un agua de tipo bicarbonatada-sódica, donde el pozo pz-11-0136 a una profundidad de 200 metros capta el acuífero Formación Labor-Tierna, el cual presenta en su conjunto L3 (Sección superior de la Formación Labor), granulometrías gruesas y medias compuestas composicionalmente de cuarzo y feldespato potásico – microclina (KAlSi_3O_8) y plagioclasa ($(\text{Ca},\text{Na})\text{AlSi}_3\text{O}_8$), además de presentar una matriz de carbonato de calcio (CaCO_3). Un agua con un pH neutro a ligeramente ácido debido a la interacción con aguas meteóricas con presencia de CO_2 disuelto, favorece la disolución de feldespatos que podrían estar enriquecidos en sodio como es el caso de la albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), dando como resultado bicarbonatos y sodio, adicionalmente, la disolución de la matriz calcárea (CaCO_3) en presencia de agua y dióxido de carbono (ácido carbónico (H_2CO_3)), da como resultado bicarbonatos (HCO_3^-). Estos procesos explican la composición del agua analizada.

Frente al pozo concesionado pz-11-0190 (Cemex Colombia S.A.) que capta de la Formación Sabana a una profundidad de 174 metros, se evidencia que el agua es de tipo bicarbonatada-sódica, lo cual se correlaciona a la cercanía del punto de captación con la zona de recarga presente en los cerros orientales, lo que daría espacio a un bajo grado de disolución del medio poroso y a mezcla de aguas, resultando en un enriquecimiento del agua, sin embargo, se consideran aguas jóvenes de flujo local.

Figura 48. Diagramas STIFF 2023

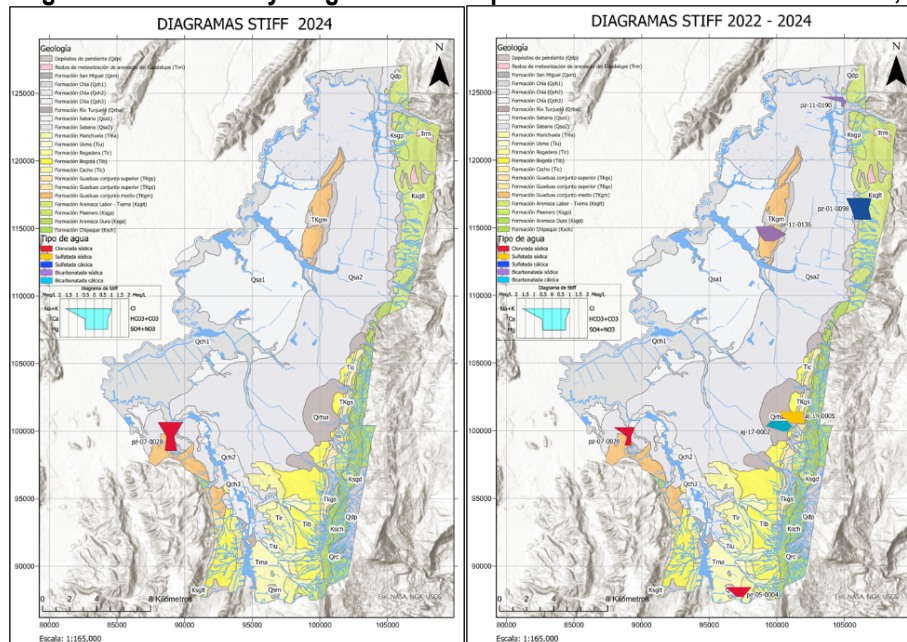


Fuente: SDA 2024.

Página 59 de 113

Para el año 2024 solamente el pozo pz-07-0028 (Héctor José León Piñeros) cumplió con el rango de desbalance iónico, ya que la muestra conserva el tipo de agua que se identificó para los años 2022 y 2023, la cual es clorurada-sódica como se observa en la siguiente figura.

Figura 49. Diagramas STIFF 2024 y Diagramas STIFF para las muestras de los años 2022, 2023 y 2024.



Fuente: SDA 2024.

En conclusión, los diagramas Stiff muestran una distribución espacial de los tipos de agua obtenidos para las muestras tal como se observa en la figura 49, pero debido a la falta de consistencia en los resultados en el tiempo, no es posible realizar un análisis de la evolución del agua a lo largo de los años. Solamente el pozo pz-07-0028 que presento resultados para aptos para los años 2022, 2023 y 2024, presentando siempre una caracterización iónica de tipo clorurada-sódica.

6.2 Relaciones Químicas.

Las relaciones químicas son diagramas que representan la interacción del agua subterránea con diversas fuentes de enriquecimiento iónico, que pueden ser indicios del tiempo de tránsito o de la interacción con el medio. Esto utiliza como base teórica la secuencia de Chebotarev en la cual las aguas de mayor tiempo de residencia en el medio poroso, debido al tiempo de interacción y disolución mineral se enriquecen en diversos iones. Para el siguiente informe se presentan las gráficas de Solidos Totales Disueltos – TDS versus $Cl/(Cl+HCO_3)$ y $Na+K$ vs $Cl+SO_4$. Debido a la baja

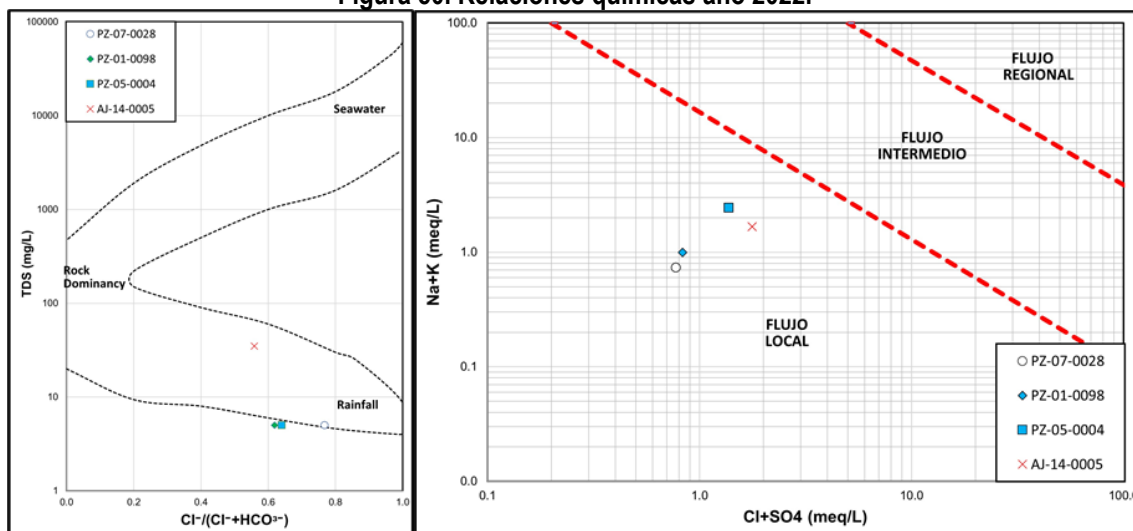
Página 60 de 113

cantidad de muestras con un balance iónico inferior al valor límite, los resultados no fueron sectorizados en zona norte y sur. Los gráficos y su respectivo análisis por año se observan a continuación.

Para el **año 2022** se presentan 4 muestras, de las cuales 3 puntos (pz-05-0004 (Frigorífica San Isidro), pz-01-0098 (Motel Rocamar) y pz-07-0028 (Héctor José León Piñeros)) debido a su bajo contenido de sólidos totales disueltos se consideran aguas de corto tiempo de tránsito y, por tanto, baja interacción con el medio poroso, lo que conlleva a determinar que el agua presenta un mayor grado de almacenamiento en la roca. La muestra restante, obtenida del aljibe aj-14-0005 (Servicentro Avenida Tercera) presenta una salinidad menor, pero aumenta su contenido de sólidos totales disueltos respecto al **año 2021**, donde su tendencia era totalmente relacionada a aguas locales con alta influencia de la precipitación, por lo cual su enriquecimiento en TDS, se interpreta como el mayor grado de exposición al medio al ser un aljibe que capta agua de tipo somera.

En la siguiente figura se observa la distribución de los puntos en el diagrama de relaciones químicas $Cl/(Cl+HCO_3)$ y $Na+K$ vs $Cl+SO_4$.

Figura 50. Relaciones químicas año 2022.



Fuente: SDA 2024.

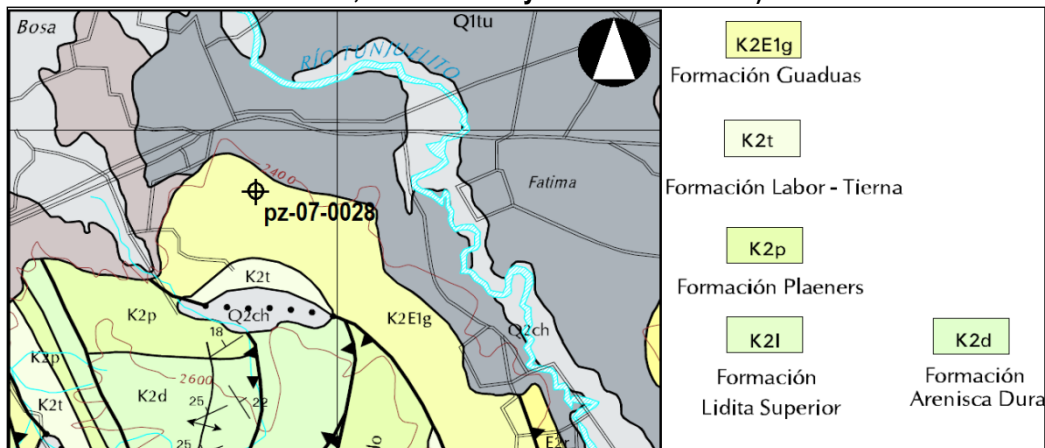
En el **año 2023**, se seleccionaron 6 muestras aptas para análisis, provenientes de los siguientes pozos: AJ-14-0005 (Servicentro Avenida Tercera), AJ-17-0002 (Aljibe La Mansión del Duende), PZ-05-0004 (Frigorífico San Isidro), PZ-07-0028 (Héctor José León Piñeros), PZ-11-0136 (Sociedad PROMA No.1) y PZ-11-0190 (CEMEX COLOMBIA S.A.). De estas dos muestras el aljibe AJ-14-0005 y AJ-17-0002 se encuentran en depósitos de pendiente y están separados por aproximadamente 900 metros. Cabe destacar que el aljibe AJ-14-0005 presenta resultados consistentes con los

obtenidos en 2022, mientras que el aljibe AJ-17-0002 muestra valores más elevados de sólidos totales disueltos en comparación con el punto AJ-14-0005.

El pozo pz-05-0004 ubicado en la localidad de Usme, capta de la Formación Regadera a 53.5 m de profundidad, Este punto con características de flujo local se encuentra cerca de la zona de recarga, motivo por el cual, presenta baja dominancia en la roca.

El pozo pz-07-0028 (Héctor José León Piñeros) se encuentra en la localidad de Ciudad Bolívar y capta de la Formación Labor-Tierna, es la muestra con mayor influencia de la precipitación, esto podría deberse a que se encuentra en una zona de alta complejidad estructural, donde se presentan sistemas de fallas de cabalgamiento delimitados por fallas de rumbo como la falla Cajitas, lo cual podría ser un indicativo también de la importancia de los sistemas de fallas en la Sabana para la recarga de las unidades acuíferas. Igualmente, se encuentra cerca de la zona de recarga que cada vez es más intervenida por la expansión urbana.

Figura 51. Mapa geológico donde se identifican las zonas donde aflora el grupo Guadalupe (Fm. Labor-Tierna, Fm. Plaeners y Fm. Arenisca Dura).

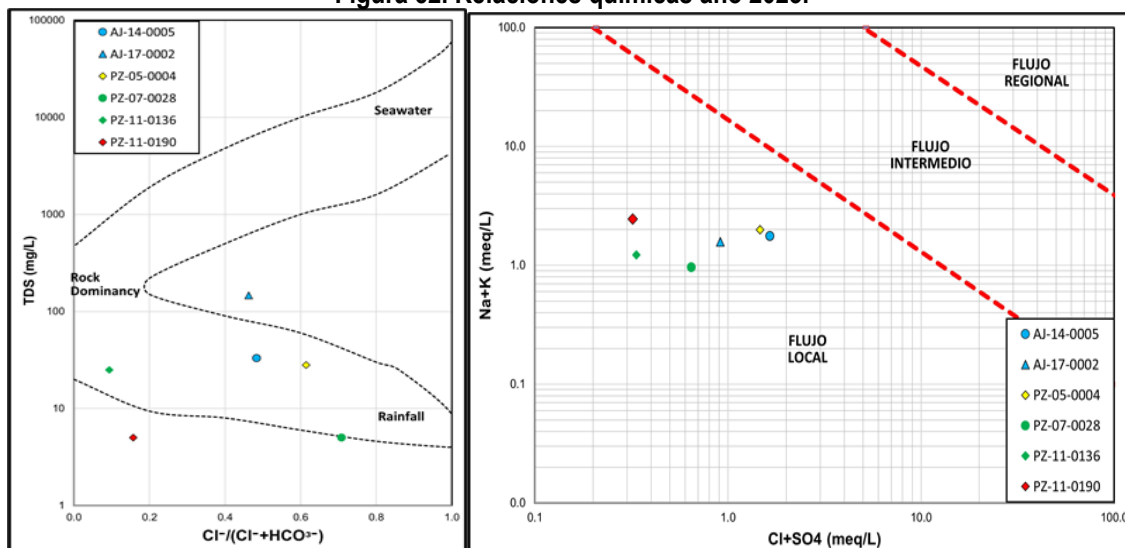


Fuente: INGEOMINAS, 2005.

El pozo pz-11-0136 (Sociedad PROMA No.1) capta de la Formación Labor-Tierna y presenta aguas de flujo local con un bajo grado de salinidad y un ligero enriquecimiento en TDS's, esto debido a que el pozo se encuentra en una zona que se estima de recarga, que corresponde a los cerros de Suba.

Finalmente, el pozo pz-11-0190 (Cemex Colombia S.A.) que se ubica en la localidad de Suba al norte del Distrito Capital, capta a una profundidad de 174 metros de la Formación Sabana en una zona próxima a los cerros orientales, presenta un flujo local con alta influencia de aguas por precipitación debido a su bajo contenido de STD's y su baja salinidad.

Figura 52. Relaciones químicas año 2023.

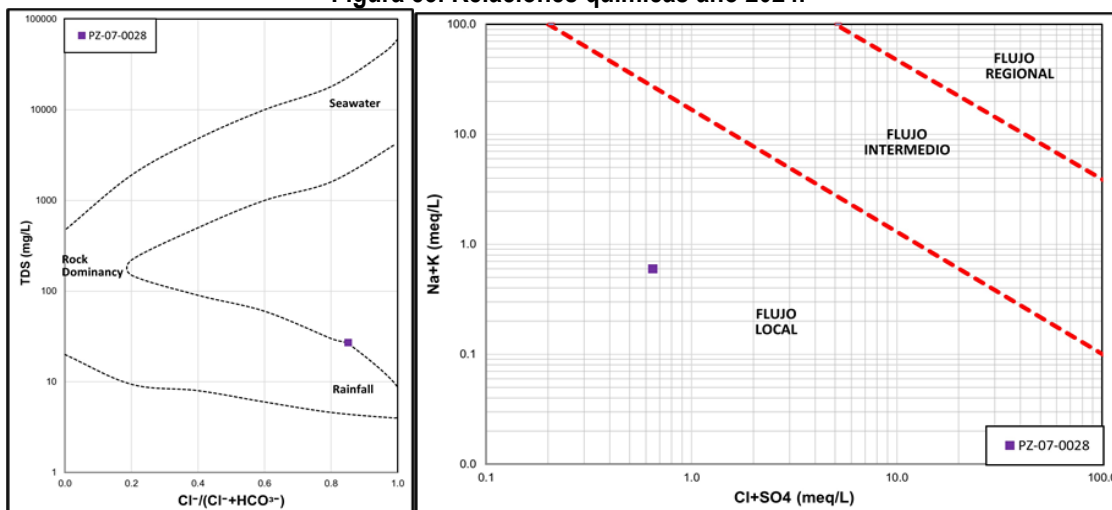


Fuente: SDA 2024.

Para el **año 2024** se presenta solamente el pozo pz-07-0028 (Héctor José León Piñeros), el cual, corresponde a la única muestra que estuvo por debajo del límite de tolerancia de desbalance iónico durante los 3 años, su relación química siempre fue coincidente tanto en el hecho de ser siempre determinada como flujo local, como en el aspecto de ser un agua altamente influenciada por la precipitación.

Se considera necesario y concluyente el factor de establecer investigaciones que consideren factores de mayor detalle que permitan correlacionar la hidrogeoquímica con factores como la isotopía o la hidráulica. Adicionalmente, es fundamental fortalecer el control sobre el balance iónico los parámetros físico-químicos tanto de los usuarios como de la SDA.

Figura 53. Relaciones químicas año 2024.

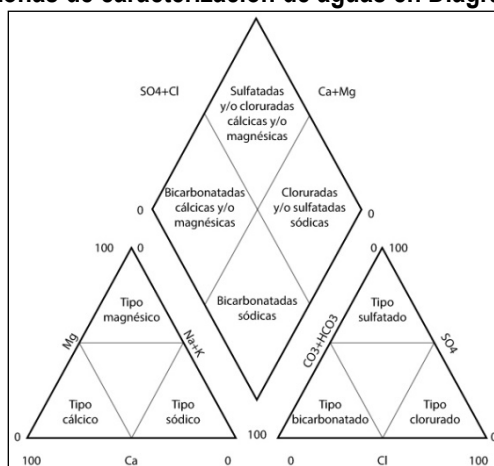


Fuente: SDA 2024.

6.3 Diagramas Piper.

Los diagramas Piper son representaciones gráficas que permiten la distribución en categorías de los iones identificados en las muestras de agua, lo que permite la agrupación y análisis de muestras con características químicas semejantes como se observa en la siguiente figura.

Figura 54. Zonas de caracterización de aguas en Diagrama de Piper.



Fuente: SDA 2024.

En términos generales, las aguas se dividen en tres grupos, cuyas características dependen de distintos procesos, pero dentro de lo principal, se describen de la siguiente manera:

- Aguas Bicarbonatadas: Corresponden a una zona con flujo activo superficial, generalmente de recorridos cortos influenciados por la precipitación (tránsito local), comuna menor disolución de minerales y cuya permanencia en el medio poroso podría ser relativamente corta. El agua de recarga de estos flujos proviene normalmente de la lluvia (el agua meteórica tiene baja concentración iónica) que atraviesa la zona no saturada en tiempos cortos. Estas aguas tienen una temperatura poco variable y muy similar a la temperatura atmosférica. Con respecto a la composición catiónica, tiene una evolución esperada donde predomina el ion calcio seguido por el magnesio.
- Las aguas de tipo sulfatadas de acuerdo a la secuencia de Chebotarev (1955) tienen un mayor tiempo de circulación, con mayor contenido de sólidos disueltos totales. Sin embargo, la presencia de sulfatos también puede estar asociada a descomposición de minerales ricos en sulfuros.
- Las aguas de tipo cloruradas se relacionan con un flujo de agua lento, con mayor contenido de sólidos disueltos totales, donde predomina el ion Cl^- .

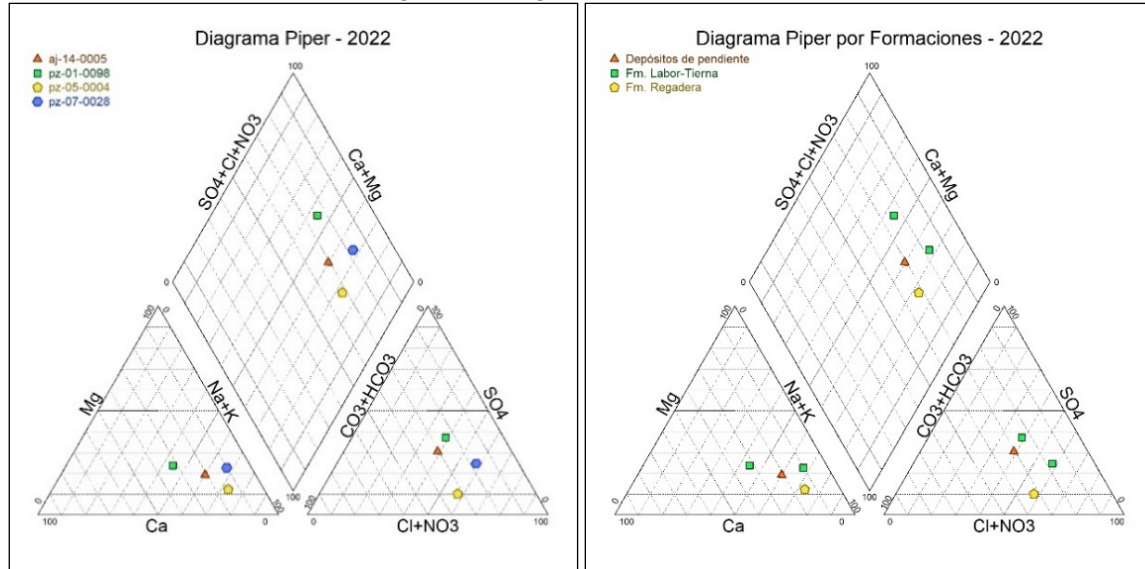
En este contexto y teniendo en cuenta los resultados del balance iónico de las muestras presentadas por los usuarios y por el Programa de Afluentes y Efluentes de la SDA, se grafican los diagramas Piper en donde se identifica el pozo y la unidad hidrogeológica captada.

En la figura 55 para el **año 2022** se observa una tendencia hacia un agua clorurada-sódica, caracterización que coincide para las 3 captaciones del bloque sur, a pesar de estar captando de formaciones diferentes. La composición iónica para la Formación Labor-Tierna, podría deberse a la interacción del medio poroso con el agua a la profundidad de captación, en donde se estima se encuentra el límite entre Labor y Tierna, zona en la cual se presentan areniscas clorítico-glaucioníticas de grano muy fino con intercalaciones de arcillolitas ligeramente carbonosas.

Respecto al pozo pz-01-0098 ubicado al norte del Distrito Capital en la localidad de Usaqué que capta de la Formación Labor-Tierna, principalmente del miembro superior de Labor, presenta como resultado de muestra un agua sulfatada-cálcica, lo cual es congruente con la composición de la matriz calcárea de la cual se compone la formación, adicionalmente, minerales como la plagioclasa pueden tener un componente cálcico, respecto al enriquecimiento en sulfatos, la sección superior de Labor presenta materia orgánica carbonosa y hay presencia de azufre, todo esto se relaciona a ambientes reductores de formación en donde los sulfuros podrían presentarse, y cuya reducción da como resultado sulfatos.

La ubicación de las muestras presentadas muestra una tendencia hacia ser aguas de tipo cloruradas sódicas, lo que correspondería a aguas de largos tiempos de residencia e interacción con el medio poroso, sin embargo, los diagramas de análisis químicos muestran flujos locales, por lo cual, se interpreta que los resultados de los muestreos corresponden a condiciones intrínsecas y mineralógicas del acuífero y no a condiciones de flujo regionales o largo tiempo de tránsito.

Figura 55. Diagrama Piper año 2022.

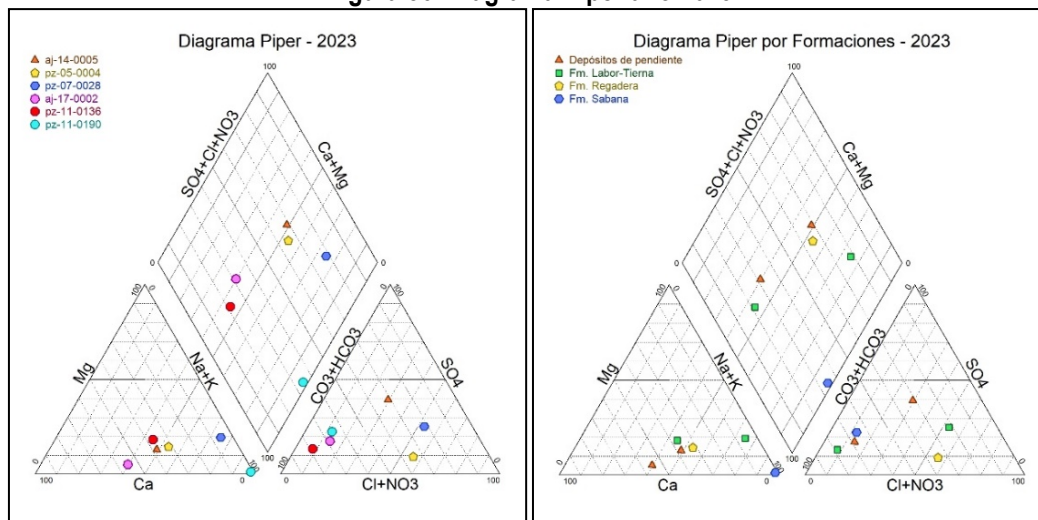


Fuente: SDA 2024.

En la figura 56 para el **año 2023**, las muestras representadas en color rojo y azul celeste (Imagen izquierda, Diagrama Piper - 2023) corresponden a los puntos de agua pz-11-0136 (Sociedad PROMA No.1) y pz-11-0190 (CEMEX COLOMBIA S.A.) ubicados al norte del Distrito Capital, los cuales son caracterizados como aguas bicarbonatadas-cálcicas y bicarbonatadas-sódicas respectivamente. La muestra del punto pz-11-0136 capta de la Formación Labor-Tierna, que mineralógicamente se compone de cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa en una matriz de carbonato de calcio, y en donde todas las muestras presentan un pH ligeramente ácido con tendencia a neutro, lo que favorece la disolución de feldespatos y de carbonatos. El pozo pz-11-0190 que capta de la Formación Sabana presenta un agua de tipo bicarbonatada-sódica que coincide con un agua de flujo local y dominancia en la roca que representa un corto recorrido.

El sector sur del Distrito Capital para el **año 2023** abarca 4 pozos, de los cuales los pozos pz-07-0028 (Héctor José León Piñeros) y pz-05-0004 (Frigorífico San Isidro) siguen siendo congruentes con los resultados previamente presentados en los diagramas Piper 2022, siendo el agua de tipo cloruradas-sódicas. Respecto a los aljibes el tipo de agua es sulfatadas-sódicas para el aljibe aj-14-0005 (Servicentro Avenida Tercera), el cual para el **año 2022** se había caracterizado como aguas clorurada-sódica, un aumento en los sulfatos podría deberse a fuentes de contaminación antrópica. El aljibe pz-17-0002 (Aljibe la mansión del Duende), presenta un agua bicarbonatada cálcica, lo cual es congruente con su ubicación geográfica, a los tiempos de tránsito estimados como flujo local y a la incidencia del agua meteórica sobre este punto.

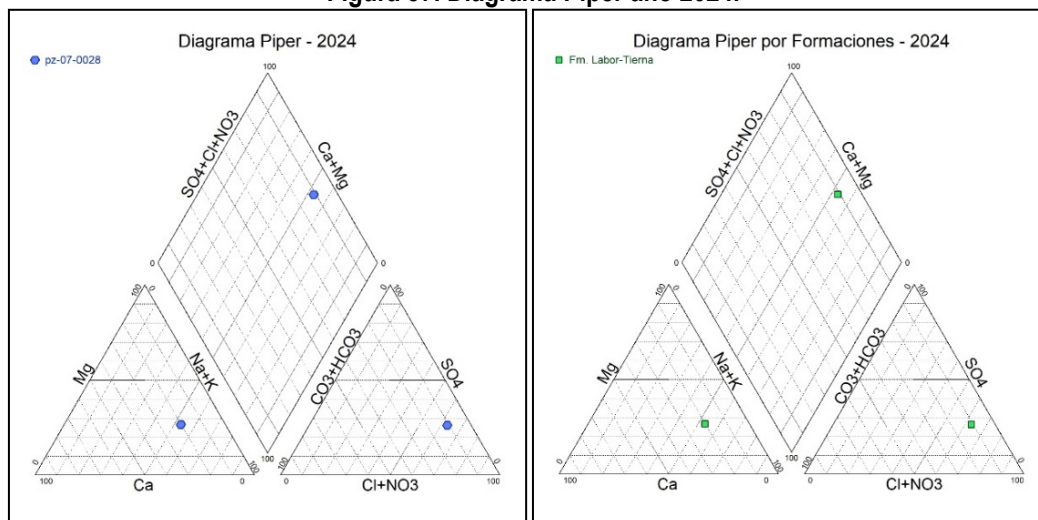
Figura 56. Diagrama Piper año 2023



Fuente: SDA 2024.

El año 2024 solamente presenta una muestra correspondiente al pz-07-0028 (Héctor José León Piñeros) sus resultados siguen siendo congruentes con los años anteriores con una ligera disminución en su catión Na^+ , sin embargo, continúa presentándose como un agua sulfatada-sódica.

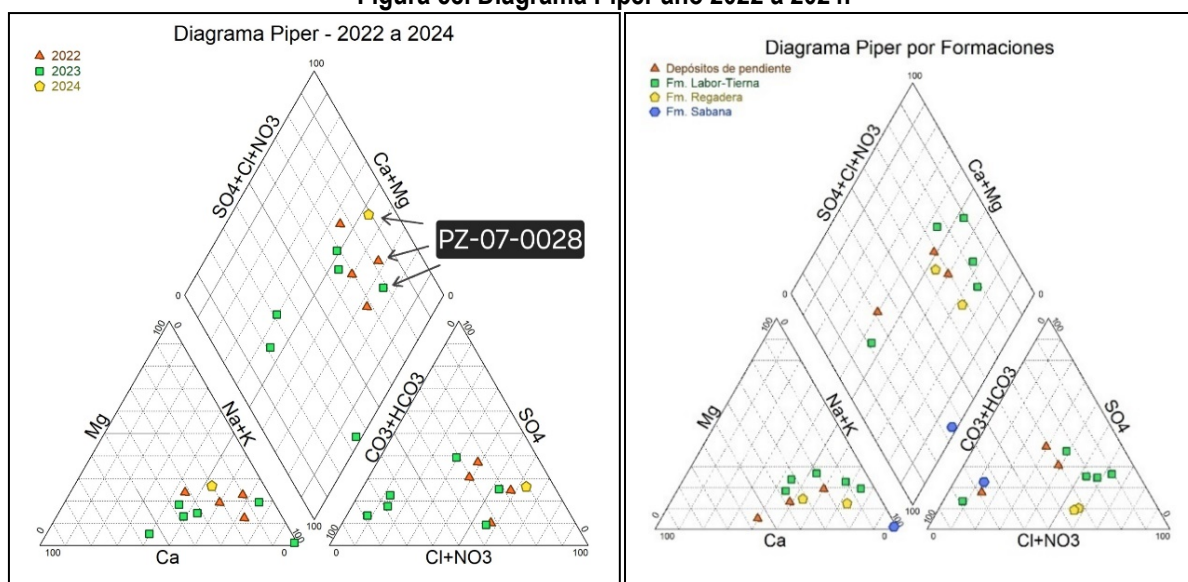
Figura 57. Diagrama Piper año 2024.



Fuente: SDA 2024.

Finalmente, para analizar los cambios en la composición del agua subterránea durante los tres años de estudio, se elaboraron dos diagramas de Piper. En el diagrama de la izquierda se representan los cambios anuales, mientras que en el diagrama de la derecha se muestran las unidades hidrogeológicas asociadas a cada pozo muestreado. Ambos diagramas se presentan en la siguiente figura.

Figura 58. Diagrama Piper año 2022 a 2024.



Fuente: SDA 2024.

Debido a la falta de consistencia en las muestras en el tiempo, el único pozo que pudo ser evaluado durante los **años 2022, 2023 y 2024** fue el pozo pz-07-0028 (Héctor José León Piñeros), sus características iónicas se ubicaron durante los tres años en la facie Clorurada-sódica. Respecto a las demás muestras, la tendencia general corresponde a aguas de tipo Cloruradas-sódicas y en una menor proporción aguas bicarbonatadas-cálcicas, lo cual se puede observar en el diagrama Piper de la derecha donde se agrupan los puntos. También se obtuvo una muestra de tipo bicarbonatada-sódica.

Se concluyen 2 aspectos generales: El primer aspecto corresponde a que los análisis muestran principalmente aguas de flujo local de baja dominancia en la roca, con rangos amplios de variación en los resultados de parámetros físico-químicos, principalmente en los aljibes. Un segundo aspecto que se puede concluir se relaciona a que la geología y la composición mineralógica de la roca es correlacionable a los resultados de las muestras de los pozos que captan de la Formación Labor-Tierna, lo que da por entendido que la química del agua se relaciona principalmente a un factor intrínseco de la interacción entre el agua y el medio poroso más que como resultado del tiempo de tránsito del recurso

hídrico en el subsuelo, por lo tanto, es necesario fortalecer la información geológica para poder tener una base que permita generar una correcta interpretación hidrogeoquímica del agua en el Distrito Capital.

7. CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN EL DISTRITO CAPITAL.

Con el objetivo de determinar la calidad del agua en los diferentes pozos dentro del perímetro urbano del Distrito Capital, se procesan y analizan 88 resultados de laboratorio provenientes del programa de monitoreo de afluentes y efluentes – PMAE, y 117 resultados entregados por los usuarios durante los años 2022, 2023 y 2024. Además, se analiza la información teniendo en cuenta cuatro parámetros; Grasas y Aceites, Coliformes Fecales, Nitratos y Cloro residual. Estos parámetros son seleccionados debido a su importancia en la contaminación del agua subterráneas y su recurrencia en los muestreos.

La distribución de las muestras considerando su año y origen se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3. Distribución de las muestras por año y origen.

Año	Programa Afluentes y Efluentes SDA	Usuarios	TOTAL
2022	47	45	92
2023	31	63	94
2024	10	9	19

Fuente: SDA 2024.

A continuación, se presenta la geología del Distrito Capital junto con su respectiva leyenda con el objetivo de mostrar puntalmente las Formaciones Geológicas que también estarán presentes en las figuras de ubicación de las muestras.

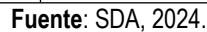


Tabla 4. Distribución de los pozos que superan el límite de 10 mg/l en grasas y aceites de acuerdo a su año y origen.

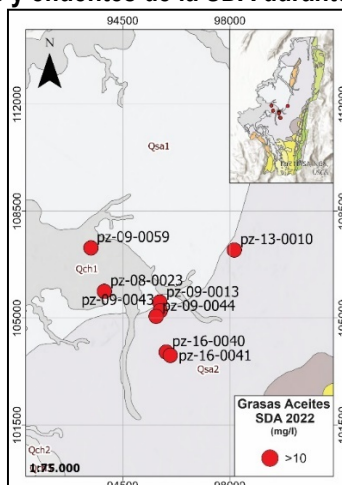
PROGRAMA AFLUENTES Y EFLUENTES SDA		USUARIO	
2022		2022	
Pozo	mg/l	Pozo	mg/l
pz-08-0023 Textiles Lafayette SAS	12	pz-11-0143 Club Los Lagartos	11
pz-09-0013 Textiles Romanos SA	13	pz-10-0027 EDS Biomax – Inverniza SAS	47
pz-09-0043 Manufacturas Eliot SA 1	19	2023	
pz-09-0044 Manufacturas Eliot SA 2	13	pz-08-0012 Gaseosas Colombianas SAS	13
pz-09-0059 Coltanques SA	14	pz-08-0023 Textiles Lafayette SAS	12
pz-13-0010 Parque Simón Bolívar	13	pz-11-0026 Club Los Lagartos	12
pz-16-0040 Textilía SAS 1	13	pz-11-0047 Club Campestre Cafam	53
pz-16-0041 Textilía SAS 2	11	pz-11-0080 Club Campestre Cafam 2	25

Fuente: SDA 2024.

En la figura 61, se grafican los pozos que superan el límite de referencia reportados por el programa de afluentes y efluentes de la SDA. Cabe mencionar que, durante los años 2022, 2023 y 2024, este programa solamente identificó resultados superiores a 10 mg/l en pozos durante el año 2022.

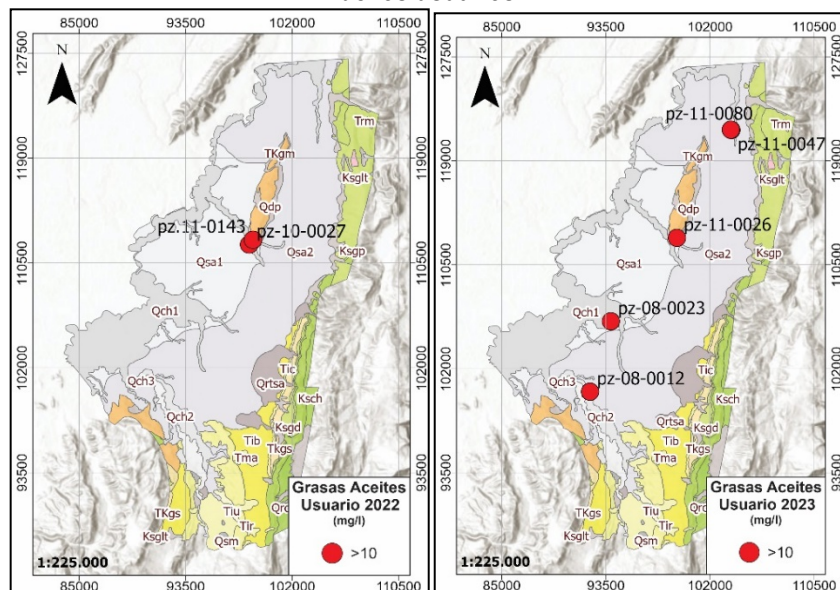
Por otro lado, en las figuras 62 y 63, se muestran los pozos que superan el límite de referencia reportados por los usuarios. Para este caso, los usuarios reportaron resultados superiores a los 10 mg/l durante los años 2022 y 2023.

Figura 61. Comportamiento de las grasas y aceites superando el límite de referencia de acuerdo al programa de afluentes y efluentes de la SDA durante el año 2022.



Fuente: SDA 2024.

Figuras 62, 63. Comportamiento de las grasas y aceites durante el 2022, 2023 y 2024 de acuerdo al muestreo de los usuarios.



Fuente: SDA 2024.

Según lo anterior, la mayoría de las muestras arrojan valores inferiores a 10 mg/l para grasas y aceites, mientras que los pozos que superan este límite no presentan continuidad en el tiempo, pues no concurren durante los años 2023 y 2024. En relación con los pozos que exceden este umbral, se destaca el pz-08-0023 (Textiles Lafayette SAS), el cual alcanzó un valor de 12 mg/l en 2022, según el programa de afluentes y efluentes de la SDA (ver Figura 61), y nuevamente reportó 12 mg/l en 2023, de acuerdo con el muestreo realizado por el usuario (ver Figura 63). Cabe destacar que no se analizaron los parámetros de grasas y aceites para este pozo concesionado, ya que, al momento de elaborar el presente informe, los resultados del usuario y de la SDA aún no habían sido reportados. Por este motivo, es importante para futuros análisis la condición del agua subterránea en el pozo.

En síntesis, el análisis realizado evidencia que el soluto de grasa y aceites solamente persiste en el pozo pz-08-0023 (Textiles Lafayette SA), que capta de la Formación Sabana y Tilatá. Por ello, en el marco del control y seguimiento, resulta fundamental implementar medidas de manejo que eviten la persistencia de estos valores. Esto permitirá, tras el mantenimiento, determinar si el acuífero podría presentar algún impacto o si existe un foco de contaminación en la superficie.

7.2 Coliformes Fecales.

Para analizar el soluto Coliformes Fecales se utiliza como límite el valor reportado en el artículo 2.2.3.3.9.5 del Decreto 1076 del 2015, el cual se toma como límite de referencia 1000 NMP (número más probable). De esta manera de los 205 análisis de laboratorios analizados, se procesan 191 resultados, de las cuales solamente 4 reportan superar el límite de los 1000 NMP durante los años 2022, 2023 y 2024 como se muestra en la Tabla 5. Se descartan 14 resultados de laboratorio, pues en ellos no había parámetros de coliformes fecales.

Tabla 5. Distribución de los pozos con resultados superiores a 1000NMP de Coliformes Fecales.

PROGRAMA AFLUENTES Y EFLUENTES SDA		USUARIO	
2023		2022	
Pozo	NMP	Pozo	NMP
pz-01-0055 Autolavado 161	5040	pz-19-0005 Frigorífico Guadalupe 1	1042
pz-09-0059 Coltanques SAS	6020	2023	
-		pz-07-0028 Soluciones Liquidas SAS	4960

Fuente: SDA 2024.

A continuación, se grafican los pozos de agua subterránea que presentan un resultado superior a los 1000 NMP de Coliformes Fecales reportados por el programa de afluentes y efluentes de la SDA. Es importante mencionar que este programa solamente reportó dos pozos con resultados superiores al límite de referencia durante el año 2023.

Por otro lado, las figuras 65 y 66 grafican los resultados superiores al límite de referencia reportado por los usuarios. Estos resultados corresponden a los años 2022 y 2023.



Según lo anterior, se identifica que los pozos pz-01-0055 (Autolavado 161), pz-09-0059 (Coltanques SAS), pz-19-0005 (Frigorífico Guadalupe 1) y pz-07-0028 (Soluciones Liquidas SAS) presentan valores que superan los 1000 NMP. Sin embargo, se identifica que estos valores no son constantes en el tiempo, descartando focos puntuales de contaminación. Esta situación debe ser corregida y monitoreada a lo largo del tiempo mediante la implementación de medidas de manejo que eliminen el soluto presente en el agua subterránea, garantizando que no vuelva a detectarse en futuros muestreos.

Es importante mencionar que durante la realización de este informe aún no se habían recibido la totalidad de reportes de laboratorio, tanto del programa de afluentes y efluentes de la SDA, como de los usuarios. Por lo tanto, es necesario llevar a cabo un seguimiento constante en los puntos de agua evaluados, con el objetivo de confirmar la continuidad o la ausencia de coliformes fecales.

En conclusión, los pozos pz-01-0055 (Autolavado 161), pz-09-0059 (Coltanques SAS) y pz-07-0028 (Soluciones Liquidas SAS) que captan al acuífero de la Formación Sabana (los dos primeros) y de la Formación Labor Tierna, deben ser objeto de medidas de manejo durante las actividades de control y seguimiento. Estas acciones deben estar encaminadas a la limpieza y mantenimiento del pozo teniendo en cuenta lo siguiente: limpieza de filtros, ciegos y mantenimiento preventivo de la bomba, el cableado y la tubería de succión.

6.3 Nitratos.

Según la Organización Mundial de la Salud, el límite permisivo para este parámetro no debe sobrepasar los 10 mg/l para aguas subterráneas. Entonces, de los 205 análisis de laboratorio recibidos, se procesan 80 resultados en relación a los Nitratos en los pozos de agua subterránea en la ciudad, de los cuales 2 superan el límite determinado por la OMS. Se descartan 205 resultados de laboratorio ya que no se encontró resultados del parámetro en cuestión

Tabla 6. Distribución de los pozos con resultados superiores a 10 mg/l de Nitratos.

PROGRAMA AFLUENTES Y EFLUENTES SDA		USUARIO	
2022		2023	
Pozo	mg/l	Pozo	mg/l
pz-16-0041 Textilía SAS	10	pz-10-0027 EDS Biomax – Inverniza SAS	32

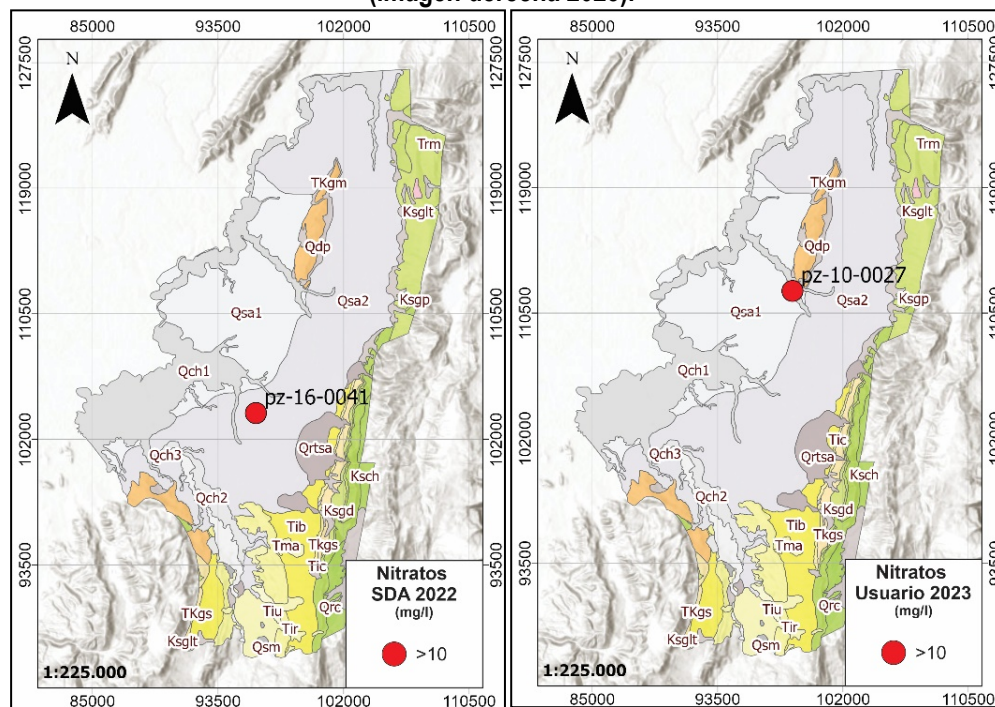
Fuente: SDA 2024.

A continuación, se muestra la ubicación de los dos pozos con resultados superiores al límite de referencia, siendo la primera reportada por el programa de afluentes y efluentes de la SDA durante el año 2022, y la segunda reportada por la Estación de Servicio Biomax – Inverniza SAS durante el año 2023.

Según lo anterior, se determina que el único punto que sobrepasa el límite de nitratos con un valor de 32.8 mg/l es el pz-10-0027 (EDS Biomax), el cual capta del acuífero Formación Sabana. Por este motivo es fundamental verificar en la vigencia 2025 si recurre este parámetro para determinar la necesidad de implementar medidas de manejo.

En relación con el pozo pz-16-0041 (Textilia SAS) que capta del acuífero Fm. Sabana presenta un resultado superior al límite permitido durante el año 2022, sin embargo, no es continúa durante el tiempo ya que en el año 2023 presenta una reducción del casi 90% con respecto al resultado del año inmediatamente anterior, pues pasa de 10.1 mg/L a 1.4 mg/l.

Figuras 67 y 68. Comportamiento de los Nitratos que superan el límite de referencia de acuerdo a los resultados del programa de afluentes y efluentes de la SDA (imagen izquierda 2022) y de los usuarios (imagen derecha 2023).



Fuente: SDA 2024.

Lo anterior indica la necesidad de implementar medidas de manejo en el año 2025 si se registra nuevamente nitratos que superen el límite. Esto debido a que la presencia de nitratos en el agua tiene consecuencias negativas en la salud humana, pudiendo desarrollar efectos en bebés interfiriendo con la capacidad de la hemoglobina para transportar oxígeno. Adicionalmente, el consumo prologando de nitratos puede desarrollar cáncer y compuestos cancerígenos en el cuerpo como la nitrosamina, aumentando las probabilidades de desarrollar cáncer de colon y de vejiga. En síntesis, la presencia

Página 76 de 113

de nitratos en el agua subterránea representa una amenaza significativa para la salud humana y el medio ambiente y, es de suma importancia monitorear de cerca estos resultados ya que la principal causa de aumento en los niveles de nitratos en aguas subterráneas es: uso de fertilizantes químicos en la agricultura, la escorrentía agrícola junto con desechos humanos, vertimientos de aguas residuales, efluentes urbanos e industriales que pueden contener nitratos, uso indiscriminado de pesticidas y herbicidas entre otros.

6.4 Cloro residual

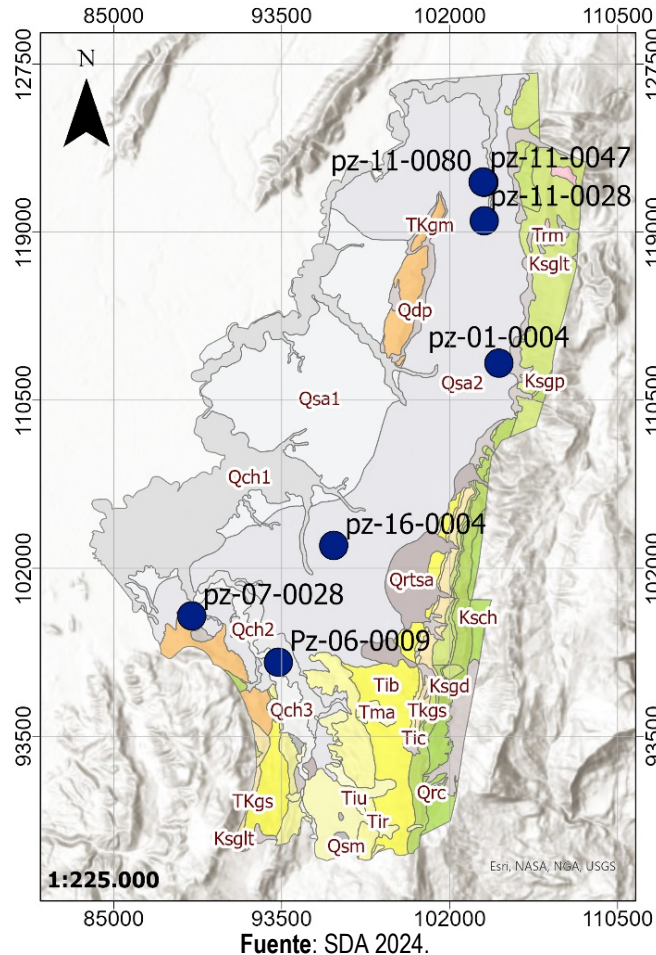
Teniendo en cuenta la Resolución No. 3035 del 26 de diciembre de 2023, los usuarios concesionados de aguas subterráneas en el Distrito Capital deben realizar y reportar Cloro residual. En este sentido se analiza la información presentada por los usuarios obteniendo como resultado 7 puntos que reportan durante el año 2024 el parámetro de cloro residual en los pozos de agua subterránea concesionados. A continuación, se listan los pozos en cuestión, su valor reportado y la ubicación de estos en la ciudad.

Tabla 7. Distribución de los pozos que analizaron parámetro de Cloro Residual.

Cloro Residual reportado durante el año 2024 por los usuarios.	
Pozo	mg/l
pz-01-0004 (Conutry Club No. 2).	< 0.3
Pz-06-0009 (IDRD).	0.1
pz-07-0028 (Soluciones Liquidas SAS).	0.0
pz-11-0028 (Club El Rancho No. 1).	< 0.3
pz-11-0047 (Club Cafam No. 1).	< 0.2
pz-11-0080 (Club Cafam No. 2).	< 0.2
pz-16-0004 (Gaseosas Lux No. 2).	0.27

Fuente: SDA 2024.

Figuras 69. Ubicación de los pozos muestreados para el parámetro de Cloro Residual en el Distrito Capital durante el año 2024.



Ahora bien, teniendo en cuenta la Resolución 2115 de 2007, “por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano”, el valor aceptable de cloro residual libre para consumo humano deberá estar comprendido entre 0.3 y 2.0 mg/l, por lo tanto, según los datos reportados por los usuarios durante el año 2024, los valores encontrados no representan riesgo alguno para el consumo humano. Además, solamente en los pozos pz-16-0004 (Gaseosas Lux No. 2) y Pz-06-0009 (IDRD) se reporta un valor puntual de cloro, siendo este 0.27 mg/l y 0.1 mg/l respectivamente. Adicionalmente, se verificará en un futuro cuál es el comportamiento de cloro en los otros 5 pozos ya que sus resultados no son valores puntuales.

Adicionalmente, los resultados relacionados con cloro residual serán corroborados en próximos muestreos con el objetivo de tener mayor información y tomar decisiones sobre si existe contaminación de los sistemas de acueducto y alcantarillado a ciertos acuíferos en el Distrito Capital. Esto debido a la corta frecuencia de los mismos, en la vigencia 2025, se confirmará si las tendencias se mantienen y así tener mayor información para tomar decisiones desde las actividades de control y seguimiento. Entonces, es evidente que existe una serie de datos corta que no permite analizar ni concluir si existe conexión del sistema de acueducto y alcantarillado a las unidades hidrogeológicas en el Distrito Capital. Por este motivo, a medida que se obtenga mayor información del cloro residual libre en el agua subterránea se podrá abordar con mayor detalle cuales son los acuíferos que presentan mayor conexión con este tipo de recarga artificial.

En conclusión, teniendo en cuenta el análisis realizado para los parámetros de Grasas y Aceites, Coliformes Fecales, Nitratos y cloro residual, no es concluyente un comportamiento recurrente en el transcurso del tiempo desde el año 2022 al 2024 para la mayoría de los puntos analizados.

Con respecto al parámetro de Grasas y Aceites, fueron 15 resultados de laboratorio cuyos valores superaron el límite permitido, representando el 7 % de las 201 muestras analizadas, además, únicamente el pozo pz-08-0023 (Textiles Lafayette SAS) que capta la Fm. Sabana y Tilatá presentó durante el año 2022 y 2023 consecutivamente valores superiores al límite, por lo que se recomienda desarrollar medidas de manejo.

Por otro lado, con respecto al parámetro de Coliformes Fecales, se procesaron 191 resultados de laboratorio, donde el 2 % de estas muestras, es decir 4 pozos, presentaron valores superiores al número de referencia (1000 NMP's). Estos pozos captan del acuífero de la Formación Sabana (pz-01-0055 Autolavado 161 y pz-09-0059 Coltanques SA), Formación Labor Tierna (pz-07-0028 Soluciones Liquiditas SAS) y de los depósitos del cono del Tunjuelo (pz-19-0005 Frigorífico Guadalupe 1).

Por otra parte, en cuanto al parámetro de Nitratos, 2.5% de las muestras procesadas para analizar el soluto de Nitratos presentaron valores por encima del límite de referencia durante los años 2022 y 2023. Los pozos fueron pz-16-0041 Textilía SAS y pz-10-0027 EDS Biomax – Inverniza SAS, por lo tanto, se hace una enfática recomendación en monitorear rigurosamente futuros resultados de laboratorio en relación a este parámetro y en impulsar mantenimientos exhaustivos particularmente al pz-10-0027 EDS Biomax – Inverniza SAS cuyo resultado fue 3 veces superior al límite.

Finalmente, teniendo en cuenta los resultados de laboratorio procesados, se concluye que la calidad del agua subterránea en el Distrito Capital no muestra un foco de contaminación constante, no obstante, es necesario implementar de forma local medidas de manejo durante la vigencia 2025, donde se desarrolle como mínimo las siguientes actividades: limpieza de filtros, ciegos y mantenimiento preventivo de la bomba, el cableado y la tubería de succión.

8. PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE LAS BRIGADAS DE NIVELES REALIZADAS EN EL DISTRITO CAPITAL.

Con el objetivo de identificar y analizar la dinámica hídrica subterránea de las unidades hidrogeológicas en el Distrito Capital, se llevan a cabo las brigadas de niveles dónde se suspende la extracción de agua subterránea en los pozos concesionados durante 4 días consecutivos y se hace la medición del nivel del agua con sonda de nivel calibrada al milímetro. Esta medición se realiza desde el año 2017 para los pozos de la zona sur, y desde el año 2019 en la zona norte.

Es importante mencionar algunas dificultades enfrentadas durante el ejercicio de la actividad que pudieron generar datos anómalos tales como: la dificultad al ingresar las sondas de nivel a las tuberías, pues no todas tienen los mismos diámetros. Adicionalmente, durante los 4 días se evidenció la producción de agua en algunos pozos tales como: pz-01-0022 (Hermanas Misioneras Consolata), pz-11-0144 (Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito No. 2), entre otros, lo que influencia la recuperación del nivel no solo en los pozos mencionados, sino también en los circundantes.

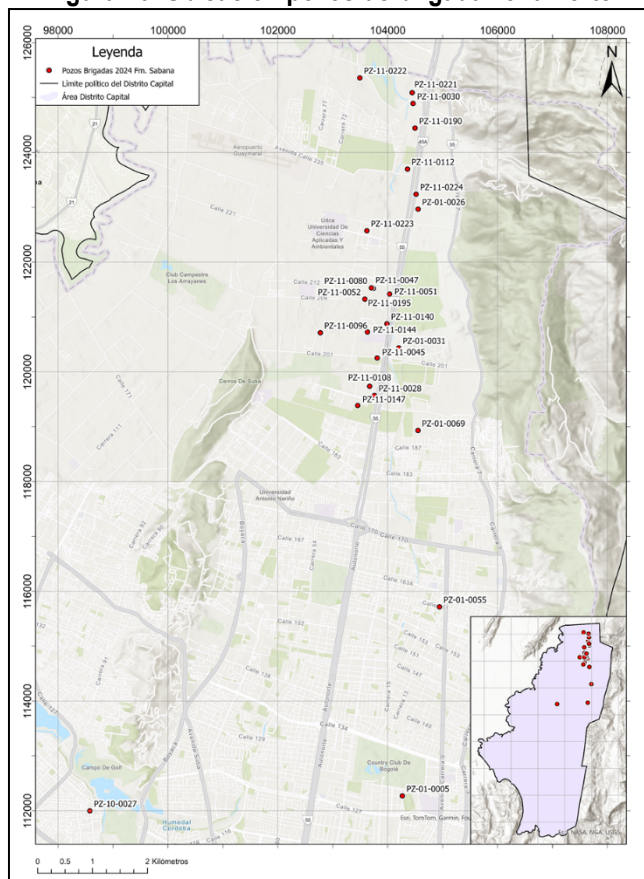
Esta Autoridad decide realizar las brigadas de niveles en noviembre de 2024 con el objetivo de identificar el estado de los acuíferos frente a las condiciones climáticas presentadas en el Distrito Capital. Los tiempos y la ubicación de las actividades fueron las siguientes:

Brigada Zona Norte: La campaña de medición de niveles se realizó durante los días 22, 23, 24 y 25 de noviembre de 2024 en las localidades de Usaquén y Suba.

Brigada Zona Sur: La campaña de medición de niveles para la zona sur se desarrolló durante los días 15, 16, 17 y 18 de noviembre en las localidades de Santa fe, Tunjuelito, Bosa, Ciudad Bolívar, Fontibón, Kennedy, Los Mártires, Puente Aranda y Teusaquillo.

Así las cosas, se realiza la medición a 86 pozos; 40 en la zona sur y 46 en la zona norte. En las siguientes tablas se describen las principales características y la ubicación de las captaciones subterráneas.

Figura 70. Ubicación pozos de brigada zona norte.



Fuente: SDA 2024.

Tabla 8. Características de las captaciones subterráneas de la Zona Norte.

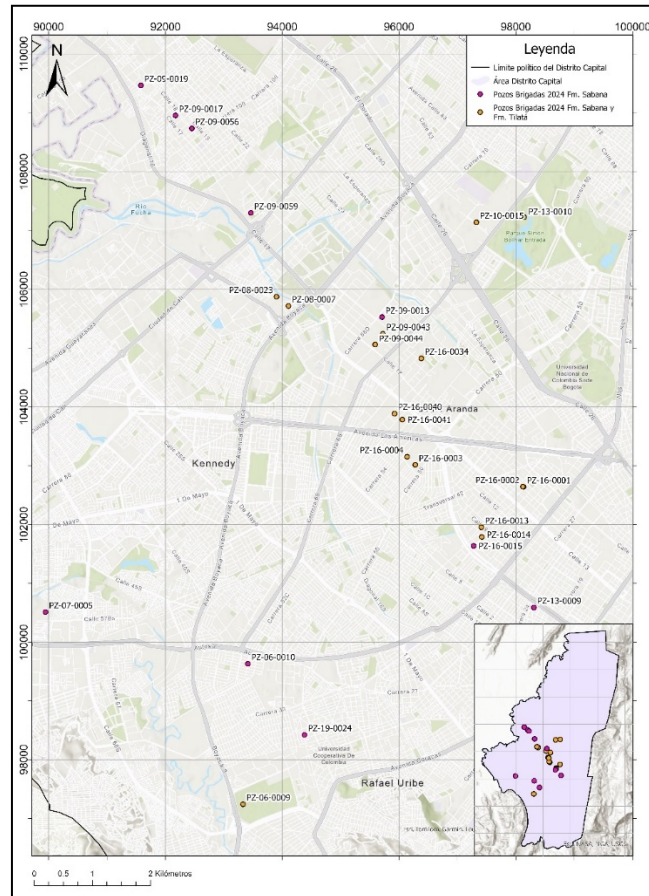
ITEM	Código Pozo	Razón Social	Unidad Hidrogeológica	Norte	Este	Profundidad (m)
1	PZ-01-0004	COUNTRY No. 2	Fm. Sabana-Fm. Tilatá	112356.66	104542.03	144
2	PZ-01-0009	AUTO CENTRO SANTANA	Fm. Labor Tierna	110090.33	104673.99	27
3	PZ-01-0010	UNICENTRO	Fm. Labor Tierna	111532.41	104160.88	86
4	PZ-01-0011	PARMALAT	Fm. Labor Tierna	117984.00	103754.72	80
5	PZ-01-0022	HERMANAS MISIONERAS CONSOLATA	Fm. Labor Tierna	116984.80	105349.29	84

6	PZ-01-0023	UNIVERSIDAD SAN BUENAVENTURA	Fm. Labor Tierna	117147.97	105342.9	167
7	PZ-01-0025	FUNDACIÓN UNIVERSITARIA SANITAS/COLEGIO MARIA AUXILIADORA	Fm. Labor Tierna	116712.62	105579.62	90
8	PZ-01-0026	FINCA LA GLORIA No. 1	Fm. Sabana	122965.68	104553.4	78
9	PZ-01-0031	JARDINES DE PAZ	Fm. Sabana	120435.62	104199.90	80
10	PZ-01-0005	PARQUE METROPOLITANO EL COUNTRY	Fm. Sabana	112271	104270	66
11	PZ-01-0055	AUTOLAVADO LA 161	Fm. Sabana	115746	104969	110
12	PZ-01-0058	COMUNIDAD HIJAS DE SANTA MARIA PROVIDENCIA No. 1	Fm. Labor Tierna	116642.36	105758.36	101
13	PZ-01-0069	MONASTERIO BENEDICTINO DE TIBATI	Fm. Sabana	118929.67	104551.67	100
14	PZ-01-0076	SEDE SOCIAL Y DEPORTIVA NIMAJAY No. 1	Fm. Labor Tierna	123401.11	104973.08	89
15	PZ-01-0089	GIMNASIO JOSE JOAQUIN CASAS	Fm. Labor Tierna	117189.55	105944.39	57
16	PZ-01-0098	AMOBADOR ROCAMAR	Fm. Sabana-Fm. Labor Tierna	116597.58	106072.32	152
17	PZ-01-0104	COLEGIO MIGUEL ANTONIO CARO SOCIEDAD TECNOLÓGICA Y EDUCATIVA	Fm. Labor Tierna	124160.57	105015.62	100
18	PZ-10-0027	COOTRANSNIZA LTDA	Fm. Sabana	111996.61	98576.41	100
19	PZ-11-0011	CARMEL CLUB CAMPESTRE No. 1	Fm. Sabana-Fm. Tilata	116231.27	102970.20	187
20	PZ-11-0012	CARMEL CLUB CAMPESTRE No. 2	Fm. Sabana-Fm. Tilata	116022.83	102927.29	151
21	PZ-11-0026	CLUB LOS LAGARTOS No. 2 – HOYO 17	Fm. Labor Tierna	112692.34	99293.91	60
22	PZ-11-0028	CLUB EL RANCHO No. 1	Fm. Sabana	119568.90	103759.21	127
23	PZ-11-0030	TENNIS CLUB No. 2	Fm. Sabana	124890.76	104461.24	88.5
24	PZ-11-0045	SUPER CENTRO COMERCIAL MAICAO S.A.- EN LIQUIDACIÓN	Fm. Sabana	120252.79	103808.53	120
25	PZ-11-0047	CAFAM No. 1	Fm. Sabana	121519.17	103737.47	177
26	PZ-11-0051	COLEGIO SAN VIATOR No. 2	Fm. Sabana	121424.26	104019.79	140.
27	PZ-11-0052	SOCIEDAD EDUCACIONAL ANDINA S.A – GIMNASIO DE LOS ANDES	Fm. Sabana	121323.65	103584.23	120
28	PZ-11-0058	CLUB CAMPESTRE GUAYMARAL	Fm. Sabana-Fm. Guaduas	125297.08	103754.58	98

29	PZ-11-0080	CAFAM No. 2	Fm. Sabana	121530.17	103703.20	176
30	PZ-11-0096	ORDEN COMUNIDAD MARÍA NUESTRA SEÑORA – COLEGIO LA ENSEÑANZA	Fm. Sabana	120712.29	102773.76	110
31	PZ-11-0101	UNICERVANTES	Fm. Labor Tierna	121446.98	101219.77	144
32	PZ-11-0108	CLUB EL RANCHO No. 2	Fm. Sabana	119736.71	103670.77	134
33	PZ-11-0112	HYUNDAI DE COLOMBIA AUTOMOTRIZ S.A	Fm. Sabana	123695.18	104359.94	70
34	PZ-11-0136	PROMA No. 1	Fm. Sabana	114460.93	99381.09	200
35	PZ-11-0140	PARQUES Y FUNERARIAS S.A. – JARDINES DEL RECUERDO	Fm. Sabana	120875.89	103986.77	110
36	PZ-11-0143	CLUB LOS LAGARTOS No. 3	Fm. Labor Tierna	112368.40	98872.22	39
37	PZ-11-0144	ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA	Fm. Sabana	120726.87	103630.55	109.3
38	PZ-11-0147	CONGREGACION SRA DEL SANTISIMO No. 1	Fm. Sabana	119,385,79	103454.37	70
39	PZ-11-0190	CEMEX	Fm. Sabana	124443	104498	174
40	PZ-11-0195	COLEGIO SAN VIATOR No. 3	Fm. Sabana	121418.38	104032.70	153.8
41	PZ-11-0214	ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIARIA JULIO GARAVITO	Fm. Sabana – Fm. Guaduas	120621.66	103775.96	221
42	PZ-11-0217	COLEGIO SANTA MARIANA DE JESUS No. 2	Fm. Sabana	119411.03	103545.02	80
43	PZ-11-0221	COLSUBSIDIO No. 2	Fm. Sabana	125089.26	104446.13	147
44	PZ-11-0222	CLUB CAMPESTRE GUAYMARAL No. 2	Fm. Sabana	125297.08	103754.58	205
45	PZ-11-0223	SAN ANGELO No. 2	Fm. Sabana	122572.17	103620.01	97
46	PZ-11-0224	MULTIPARQUE	Fm. Sabana	2089173.5 6	4885070.54	8.5

Fuente: SDA, 2024.

Figura 71. Ubicación pozos de brigada zona sur.



Fuente: SDA 2024.

Tabla 9. Características de las captaciones subterráneas de la Zona Sur.

ITEM	Código Pozo	Razón Social	Unidad Hidrogeológica	Norte	Este	Profundidad (m)
1	AJ-14-0005	SERVICENTRO ESSO AV. TERCERA	Depósitos de Pendiente	100918.51	101171.00	30
2	PZ-05-0004	CONSTRUCCIONES E INVERSIONES IBERIA S.A.S.	Fm. Usme - Fm. Regadera	97139.47	88032.59	53.5
3	PZ-06-0005	ACEGRASAS No. 2	Depósitos Cono del Tunjuelo	99831.69	92599.49	106

4	PZ-06-0009	PARQUE EL TUNAL	Fm. Sabana - Fm. Tilatá	97241.20	93327.49	150.74
5	PZ-06-0010	MOTEL RIALTO / SANTA LAURA IPS S.A.S	Fm. Sabana	99630.00	93411.00	108
6	PZ-07-0005	CARBOQUIMICA SAS	Fm. Sabana	100509.07	89945.26	110
7	PZ-07-0008	JARDINES DEL APOGEO No. 2	Depósitos Cono del Tunjuelo	100451.56	89308.41	89
8	PZ-07-0028	HECTOR JOSE LEON PIÑEROS	Fm. Labor Tierna	99495.36	88872.92	130
9	PZ-08-0007	MEGACENTRO AUTOBOYACA	Fm. Sabana – Fm. Tilatá	105714.06	94106.41	454
10	PZ-08-0012	GASEOSAS COLOMBIANA No. 2	Depósitos Cono del Tunjuelo	100125.37	92213.90	180
11	PZ-08-0013	GASEOSAS COLOMBIANA No. 3	Depósitos Cono del Tunjuelo	99911.62	92267.42	142
12	PZ-08-0023	TEXTILES LAFAYETTE SA No. 1	Fm. Sabana - Fm. Tilatá	105871.01	93901.46	513
13	PZ-09-0013	TEXTILES ROMANOS	Fm. Sabana	105524.08	95709.96	80.8
14	PZ-09-0017	DUQUESA SA	Fm. Sabana	108952.43	92173.68	202
15	PZ-19-0019	FLOTA LA MACARENA	Fm. Sabana	109464.10	91579.83	140
16	PZ-09-0043	MANUFACTURAS ELIOT SA No.1	Fm. Sabana - Fm. Tilatá	105240.19	95724.13	214
17	PZ-09-0044	MANUFACTURAS ELIOT SA No.2	Fm. Sabana - Fm. Tilatá	105058.00	95591.91	239
18	PZ-09-0056	HOGAR SANTA TERESA DEL JORNET No. 2	Fm. Sabana	108733.92	92451.26	200
19	PZ-09-0059	COLTANQUES No. 2	Fm. Sabana	107296.29	93461.609	262
20	PZ-09-0060	MANUFACTURAS ELIOT SA No. 3	Fm. Tilatá	105410	95640	239
21	PZ-10-0015	COMPENSAR No. 1	Fm. Sabana – Fm. Tilatá	107136.84	97326.21	201
22	PZ-10-0055	COMPENSAR No. 2	Fm. Sabana - Fm. Tilatá-Bogota	107053.1	97422.1	399
23	PZ-13-0009	LAVADERO AUTO RAPIDO OEA	Fm. Sabana	100587.09	98310.33	205
24	PZ-13-0010	IDRD PARQUE SIMON BOLIVAR	Fm. Sabana – Fm. Tilatá	107223.7	98141.6	216.11
25	PZ-14-0003	CENTRO CAR 19 LTDA	Depósitos Cono del Tunjuelo	101755.59	99746.74	140

26	PZ-16-0001	GASEOSAS COLOMBIANA SAS No. 2 - PLANTA CENTRO	Fm. Sabana - Fm. Tilatá	102638.19	98131.58	233
27	PZ-16-0002	GASEOSAS COLOMBIANA SAS No. - PLANTA CENTRO	Fm. Sabana - Fm. Tilatá	102641.91	98123.06	280
28	PZ-16-0003	GASEOSAS LUX No. 1	Fm. Sabana - Fm. Tilatá	103013.04	96279.69	199
29	PZ-16-0004	GASEOSAS LUX No. 2	Fm. Sabana - Fm. Tilatá	103150.33	96139.518	199
30	PZ-16-0013	GRASCO No. 1	Fm. Sabana - Fm. Tilatá	101950.948	97411.51	120
31	PZ-16-0014	GRASCO No. 2	Fm. Sabana - Fm. Tilatá	101787.17	97417.799	126.5
32	PZ-16-0015	GRASCO No. 3	Fm. Sabana	101634.50	97277.04	80
33	PZ-16-0034	TINTORERIA ASITEX No. 2	Fm. Sabana - Fm. Tilatá	104823.16	96381.40	238
34	PZ-16-0040	TEXTILIA No. 2	Fm. Sabana - Fm. Tilatá	103884.51	95924.57	340
35	PZ-16-0041	TEXTILIA No. 1	Fm. Sabana - Fm. Tilatá	103780.37	96057.49	230
36	PZ-19-0005	FRIGORIFICO GUADALUPE No. 1	Depósitos Cono del Tunjuelo	99645.77	91804.46	134
37	PZ-19-0021	FRIGORIFICO GUADALUPE No. 2	Fm. Tunjuelo	99696.22	91689.27	115.9
38	PZ-19-0024	PETCO / DM INVERSIONES SAS	Fm. Sabana	98420.76	94380.90	115
39	PZ-19-0026	PARQUEADERO Y ABASTECIMIENTO DE AGUA LA SABANA	Fm. Labor Tierna	99351.80	90603.58	152.5
40	PZ-19-0027	FRIGORIFICO GUADALUPE No. 3	Depósitos Cono del Tunjuelo	99717.00	911708.00	156
41	PZ-07-0036	JARDINES DEL APOGEO No. 3	Fm. Tunjuelo	100432.25	989278.12	92

Fuente: SDA 2024.

8.1. Metodología

Las campañas de medición de niveles en los pozos se desarrollaron de la siguiente manera:

- El primer día de brigada, se verificó que las captaciones subterráneas estuvieran apagadas, además, se consignó el valor del volumen reportado por los medidores instalados en la boca de los pozos de agua subterránea. Adicionalmente, se reportó la marca y serial de los equipos de medición. Finalmente, se registró el nivel estático





desde el día de apagado de las captaciones con el objetivo de evaluar y analizar el comportamiento del nivel de agua en cada punto una vez suspendida su producción.



- Los siguientes 3 días se verificó:
 - Que el sistema de producción (bomba sumergible o compresor) estuviera apagado.
 - El valor del volumen reportado por el medidor fuera constante durante los 3 días con el fin de cerciorarse el no bombeo de los pozos.
 - La profundidad del nivel en cada pozo.

A continuación, se relaciona un registro fotográfico de algunos pozos de agua subterránea donde se desarrollaron las actividades.

Tabla 10. Registro fotográfico Zona Norte.

Código Pozo	Nombre de la Captación	Registro Fotográfico
pz-01-0069	San Carlos No. 3	
pz-01-0011	Parmalat	





pz-01-0012	Carmel Club	
pz-01-0004	Club El Country	
pz-01-0055	Autolavado 161	
pz-11-0221	Club Bellavista Colsubsidio	

pz-01-0058	Santa María de la Provincia	
pz-11-0136	Proma SAS	

Fuente: SDA 2024.

Tabla 11. Registro fotográfico Zona Sur.

Código Pozo	Nombre de la Captación	Registro Fotográfico
Aj-14-0005	Servicentro Av. Tercera	

Pz-19-0027	Frigorífico Guadalupe	
Pz-07-0005	Carboquímica SAS	
Pz-16-0004	Gaseosas Lux	
Pz-08-0012	Gaseosas Colombianas SAS	

Pz-19-0026	Parqueadero y abastecimiento de agua La Sabana	
Pz-13-0010	IDRD Parque Simón Bolívar	
Pz-09-0013	Textiles Romanos	

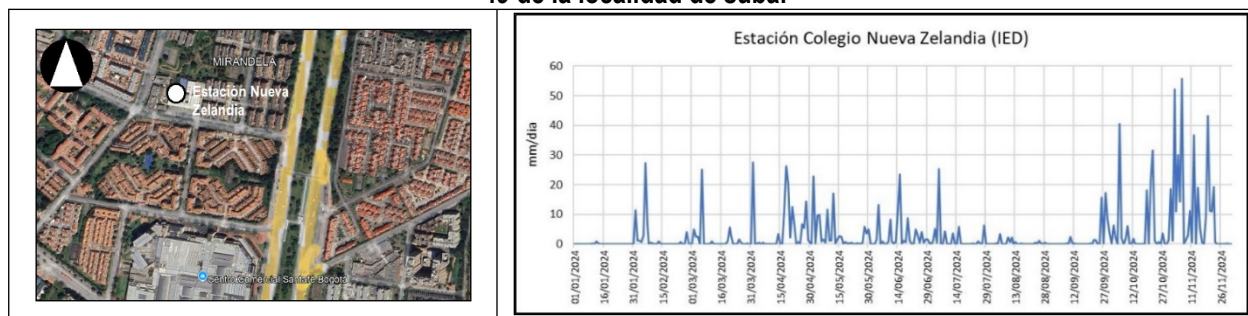
Fuente: SDA 2024.

8.2. Interpretación del Nivel Piezométrico - Brigadas Zona Norte.

En la zona norte se tomaron niveles para 46 puntos de agua, de los cuales 33 captan de la Formación Sabana y 13 captan de la Formación Labor – Tierna. En este contexto, a continuación, se muestran las isopiezas y direcciones de flujo calculadas para el acuífero de la Fm. Sabana, formación con la mayor demanda en esta zona del distrito capital (71.7% de los pozos analizados en la zona norte). Para estas salidas graficas se implementó el método de interpolación Kriging, el cual, ajusta los niveles registrados en el segundo semestre del año 2024, a una muestra de datos de tipo local-determinístico donde se resaltan los valores extremos.

También, es importante mencionar que las precipitaciones durante el año 2024 no fueron continuas, presentándose una temporada de baja precipitación que resalta desde julio a septiembre, y una temporada corta de altas precipitaciones en octubre y noviembre como se observa a continuación. La estación que se escoge como referencia para interpretar los datos es la ubicada en el Colegio Nueva Zelandia al norte de la ciudad.

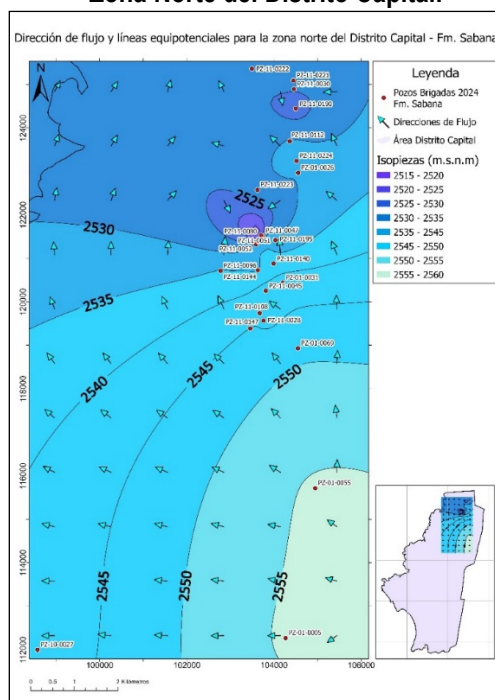
Figura 72. Distribución de la precipitación en la estación del Colegio Nueva Zelandia ubicado en la calle 187 # 49 de la localidad de suba.



Fuente: Gráfico generado por la SDA con información de las estaciones del IDIGER.

En la siguiente figura se observa el comportamiento de las líneas equipotenciales y direcciones de flujo del acuífero de la Formación Sabana.

Figura 73. Isopiezas y direcciones de flujo del acuífero Formación Sabana para el segundo semestre de 2024 – Zona Norte del Distrito Capital.



Fuente: SDA, 2024.

Con base en la anterior figura, se concluye que la explotación de agua subterránea en los pozos PZ-11-0047 (Club Campestre Cafam No. 1) y PZ-11-0080 (Club Campestre Cafam No. 2), construidos a profundidades de 177 m y 176 m respectivamente, y separados por una distancia de 36 m, genera los mayores cambios en las direcciones de flujo del agua subterránea en el acuífero de la Formación Sabana. Estos cambios alcanzan un radio de influencia de hasta 1562 m, alterando significativamente la dinámica hídrica. Por otro lado, el pozo pz-11-00190 (Cemex Colombia S.A.) también genera alteraciones en el acuífero, aunque su radio de influencia es menor, alcanzando los 925 m.

Como complemento al anterior análisis, en las siguientes figuras, se compara la relación entre el nivel piezométrico de los pozos ya mencionados y sus respectivos consumos. Lo anterior con el objetivo de identificar si existe correspondencia entre las variables o si los cambios se deben a condiciones climáticas.

Figura 74. Nivel piezométrico pozo pz-11-0047 (Cafam No. 1).

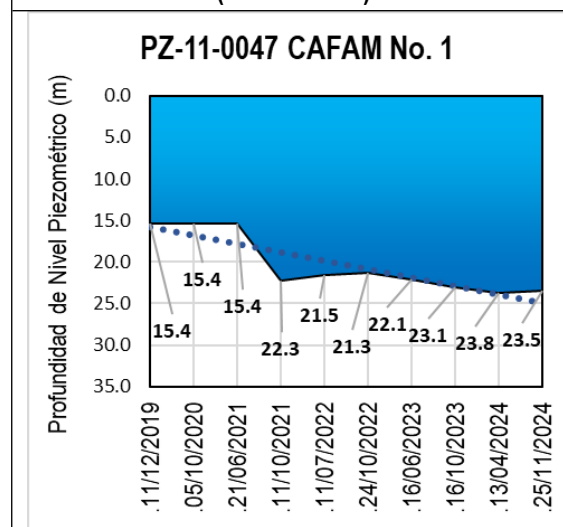
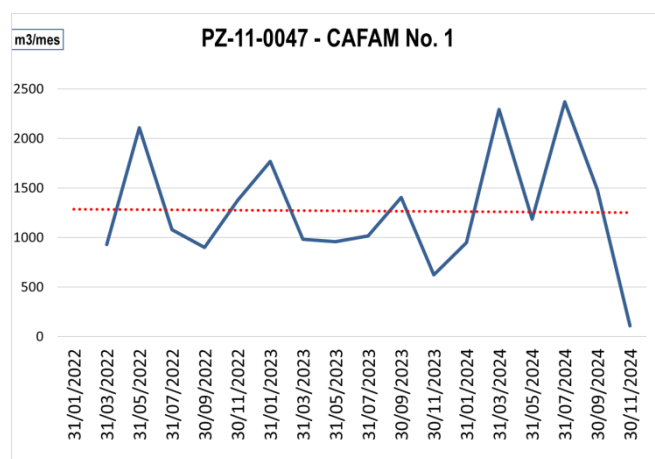


Figura 75. Consumos pozo pz-11-0047 (Cafam No. 1).



Fuente: SDA, 2024.

Figura 76. Nivel piezométrico pozo pz-11-0080 (Cafam No. 2).

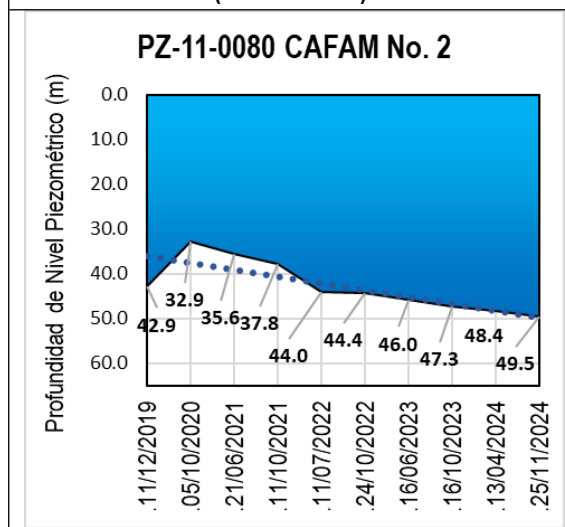
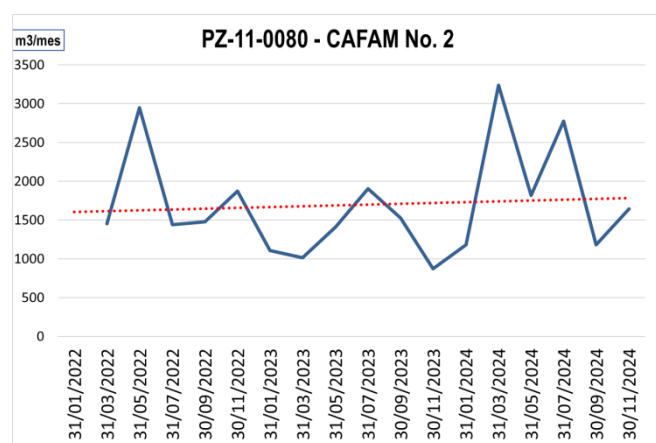


Figura 77. Consumos pz-11-0080 (Cafam No. 2).



Fuente: SDA, 2024.

Así las cosas, se identifica que el nivel piezométrico en los pozos pz-11-0047 (Cafam No. 1) y pz-11-0080 (Cafam No. 2) presentan descensos acumulados de 8.10 m y 6.60 m respectivamente, entre 2019 y 2024. Durante el segundo semestre de 2024, se observa una disminución significativa en los consumos del pozo pz-11-0047. Por ejemplo, en julio de 2024, el consumo era 2368 m³/mes, mientras que en noviembre del mismo año bajó a 106 m³/mes. Esta reducción en el consumo ha contribuido a mitigar el descenso drástico que se ha venido presentando en los niveles piezométricos, que pasaron de 23.8 m en abril de 2024 a 23.5 m en noviembre de 2024. Adicionalmente, el consumo del pozo pz-11-0080 (Cafam No. 2) ha tenido una tendencia al alza desde registros del 2022 hasta septiembre del 2024. Además, teniendo en cuenta el volumen concesionado para este pozo (2103 m³/mes), los consumos reportados en el año 2024 presentan picos superiores al volumen concesionado en los meses de marzo (3241 m³/mes), y julio (2772 m³/mes).

Lo anterior sugiere que el aumento en el consumo en algunos meses del pozo pz-11-0080 (Cafam No. 2) durante el 2024 ha impactado significativamente el nivel de los pozos ubicados en el Club Cafam, pues, a pesar de tener un consumo equilibrado en el pozo No. 1 (pz-11-0047), estos están a 36 m de distancia entre sí. Es importante monitorear el consumo de este pozo durante la vigencia 2025 y tomar las medidas necesarias desde seguimiento y control para evitar cambios en la dinámica del acuífero Formación Sabana.

Por otro lado, el pozo pz-11-0190 (Cemex) está iniciando a generar cambios en la dinámica del agua subterránea con un descenso acumulado que llega a ser hasta de 5.7 m. Asimismo, es relevante mencionar que existe una tendencia al alza del consumo de agua en el pozo desde el año 2022. Por este motivo se considera necesario desarrollar medidas

de manejo, como disminución en el tiempo de bombeo o verificar las condiciones de la concesión frente a los consumos que se hacen en este pozo.

Figura 78. Nivel piezométrico pozo pz-11-0190.

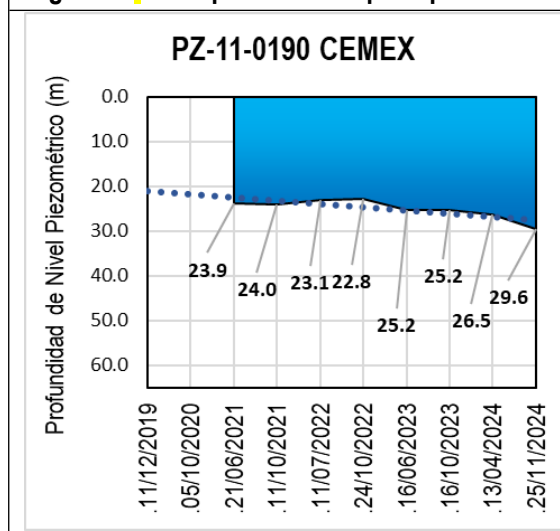
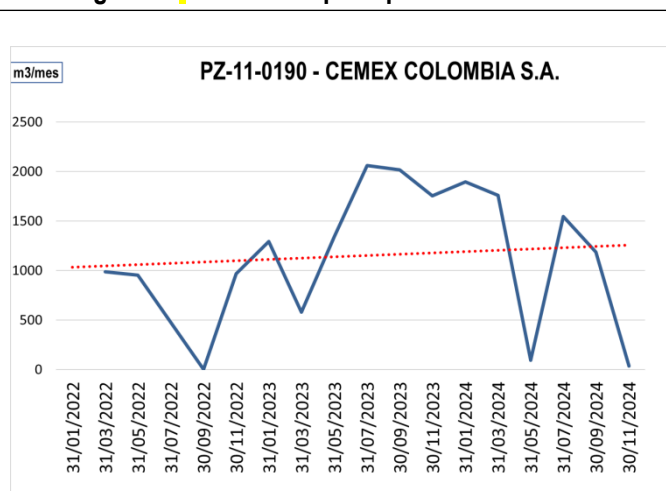


Figura 79. Consumos pozo pz-11-0190 CEMEX.



Fuente: SDA, 2024.

Es importante mencionar que los consumos no sobrepasan los valores licenciados como se describe a continuación, sin embargo, estos deben ser ajustados para evitar impacto en la dinámica hídrica subterránea del acuífero Fm. Sabana.

De forma preliminar se puede concluir que no se evidencian impactos generalizados en la dinámica hídrica subterránea del acuífero de la Formación Sabana en la zona norte del Distrito Capital. Sin embargo, se observan cambios locales en el nivel piezométrico que requieren la implementación de medidas de manejo preventivo y de control, puntualmente para el pozo 2 del Club Cafam (pz-11-0080), pues durante los meses de marzo y julio del año 2024 el volumen producido es superior al volumen concesionado. Es por esto que los cambios en la dinámica hídrica alcanzan un descenso máximo de 8.1 m en un periodo de 5 años, con diámetros de influencia de hasta 1562 m en la zona donde operan los pozos ubicados en el Club CAFAM.

Por otro lado, se identifica un descenso significativo del nivel del pozo pz-01-0004 (Country Club No. 2) con respecto a los datos de brigadas anteriores: Siendo esta diferencia, desde el año 2022 hasta de 10 m. Si bien este descenso no influye en la dinámica del agua subterránea, como se puede evidenciar en las isopiezas y direcciones de flujo, es importante seguir realizando actividades de control y seguimiento a este pozo con el objetivo de evitar impactos sobre los acuíferos Fm. Sabana y Fm. Tilatá. Es relevante mencionar que el consumo del pozo en cuestión no supera el volumen concesionado mensual durante el año 2024.

Figura 80. Nivel piezométrico pozo pz-01-0004 Country Club No. 2

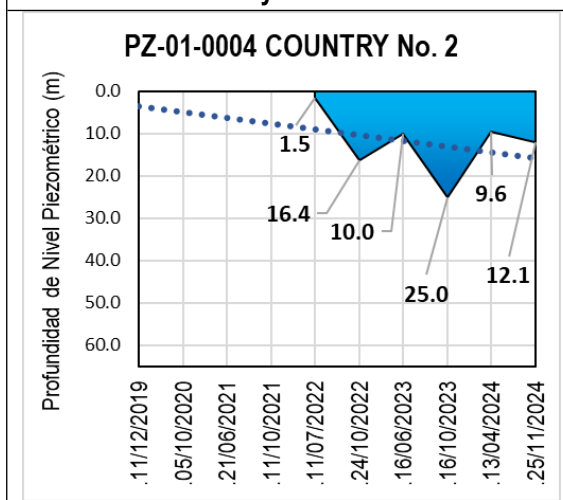
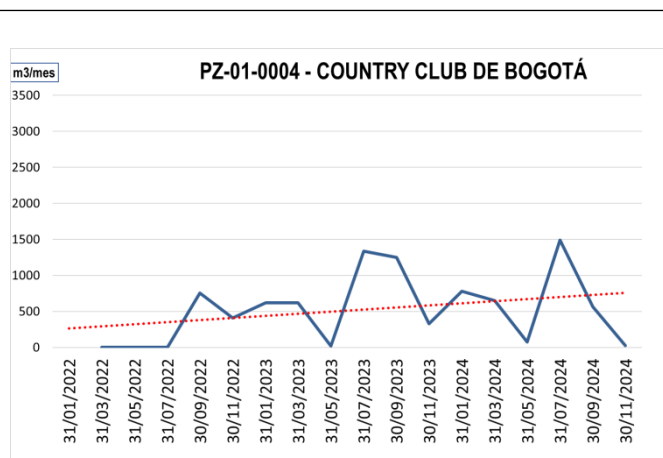


Figura 81. Consumos pozo pz-01-0004 Country Club No. 2



Fuente: SDA, 2024.

En conclusión, la baja intensidad y frecuencia de la precipitación registrada a mediados del año 2024 no generó cambios drásticos en la dinámica del agua subterránea del acuífero, manteniendo niveles estables en la mayoría de los pozos del sector norte, con excepción de los mencionados anteriormente. Cabe señalar que el pico máximo de precipitaciones en 2024 ocurrió a mediados de noviembre, y este análisis se basa en los datos recopilados durante la brigada de niveles realizada en el mismo mes. Por lo tanto, es probable que la recarga generada por dicho pico en las precipitaciones aún no se haya reflejado en los datos analizados.

Por otra parte, es importante resaltar la fuerte influencia de los pozos del Club Campestre Cafam (PZ-11-0047 y PZ-11-0080) y CEMEX (PZ-11-0190), no solo en la dinámica del agua subterránea, sino también en el descenso constante de los niveles desde el año 2022. Además, aunque los pozos del Country Club No. 2 y Club El Rancho No. 1 (PZ-01-0004 y PZ-11-0028) no afectan directamente la dinámica general del agua subterránea, han mostrado descensos significativos en sus niveles desde años anteriores. Por lo anterior, es necesario implementar acciones inmediatas para estos cinco pozos, con el fin de evitar cambios en la dinámica del agua subterránea del acuífero de la Formación Sabana.

8.3. Interpretación del Nivel Piezométrico - Brigadas Zona Industrial

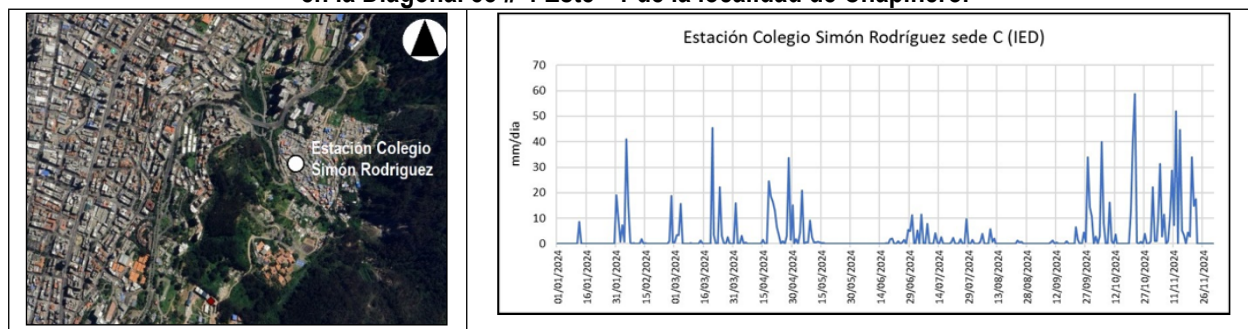
En la zona industrial se registraron 41 puntos de agua, de los cuales 16 captan de las Formaciones Sabana y Tilatá, 10 de la Formación Sabana, 7 de Depósitos cono del Tunjuelo, 2 de Formación Labor - Tierna, 2 de Formación Río Tunjuelo, 1 de Formaciones Usme y Regadera, 1 de Formaciones Sabana, Tilatá, Bogotá, 1 de Formación Sabana y

Labor – Tierna y 1 de depósitos de pendiente. Es importante resaltar que a corte del 19 de diciembre de 2024 existe un total de 30 pozos con concesión de aguas subterráneas vigente en esta zona del Distrito Capital. Los 11 pozos faltantes para completar los 41 puntos de la zona industrial se encuentran en trámite de concesión, en sellamiento temporal o hacen parte de la RMAS.

Para la realización de mapas de líneas equipotenciales y direcciones de flujo en la zona industrial y su respectiva interpretación, se realizó la diferenciación entre pozos que captan solamente de la Formación Sabana de los pozos que captan de la Formación Sabana y la Formación Tiltatá en sus filtros ranurados.

Se presenta en la Figura 82 la precipitación para el año 2024 registrada en la estación “Colegio Simón Rodríguez (IED) Sede C” ubicado en el oriente de la capital. Se observan dos temporadas de alta precipitación entre los meses de marzo y abril y posteriormente desde finales de septiembre hasta finales de noviembre, sin embargo, este año tuvo una alta duración e impacto la temporada de estiaje, donde el promedio de precipitación corresponde a valores por el orden de 10 mm/día.

Figura 82. Distribución de la precipitación en la estación del Colegio Simón Rodríguez Sede C (IED) ubicado en la Diagonal 58 # 4 Este - 1 de la localidad de Chapinero.



Fuente: Gráfico generado por la SDA con información de las estaciones del IDIGER.

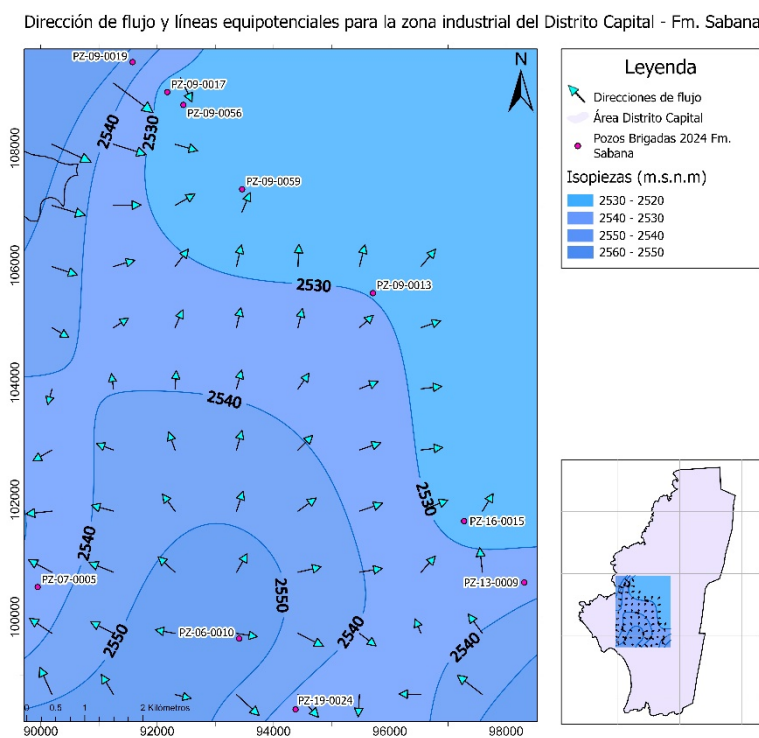
La Formación Sabana al sur del Distrito Capital presenta una menor conductividad hidráulica debido a una gradación granulométrica en donde su composición textural es más fina en comparación con la zona norte, motivo por el cual su demanda generalmente es combinada con otras unidades hidrogeológicas como lo es la Formación Tiltatá. El acuífero Formación Sabana de oriente a occidente presenta variaciones en su espesor, pasando de aproximadamente 80 m en la localidad de Puente Aranda a 300 m en las localidades de Fontibón y Kennedy.

La metodología de interpolación utilizada para genera las direcciones de flujo corresponde a Minimum Curvature (Curvatura mínima), el cual es generado a partir de ecuaciones diferenciales parciales que minimizan la curvatura en el sistema a partir de aproximaciones numéricas mediante el método de diferencias finitas, el cual aproxima la solución mediante una malla de puntos. En la siguiente figura se observa la dinámica hídrica subterránea en la zona industrial del Distrito Capital generada a partir de los pozos que únicamente captan de la Formación Sabana.

Análisis Acuífero Formación Sabana.

La unidad hidrogeológica Formación Sabana dentro de la zona industrial no presenta pozos en el costado nor-oriental de la zona de estudio que capten exclusivamente de esta Formación, razón por la cual se limitó la interpolación de las líneas equipotenciales y las direcciones de flujo para esta zona nor-oriental, debido a que cualquier resultante en este costado no tendría una razón consecuente con los resultados a partir de los cuales se generó la figura 83.

Figura 83. Isopiezas y direcciones de flujo del acuífero Formación Sabana para el segundo semestre de 2024 – Zona Industrial.



Fuente: SDA 2024.

A partir de la anterior figura es posible observar una tendencia predominante en la dirección de flujo de la unidad hidrogeológica Formación Sabana hacia el nor-oriental, y la única zona con variación de la dirección de flujo se presenta en la parte sur-occidental de la figura 83, debido a una diferencia de nivel estático de aproximadamente 18 metros entre los pozos PZ-06-0010 (MOTEL RIALTO) y PZ-07-0005 (CARBOQUIMICA SAS).

La correlación directa entre el nivel estático y el consumo de agua de los pozos se presenta a continuación para los pozos concesionados que presentan un descenso o ascenso, la evaluación de esta relación se realiza a partir de valores históricos que permitan observar un cambio en el comportamiento de los pozos en el tiempo.

Figura 84. Nivel estático histórico para el pozo PZ-09-0017 DUQUESA S.A.

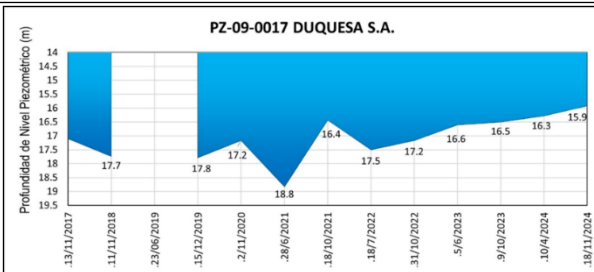
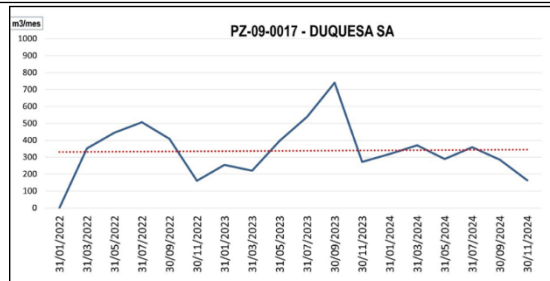


Figura 85. Gráfico de consumo en m³/mes para el pozo PZ-09-0017 DUQUESA S.A.



Fuente: SDA 2024.

En el caso del pozo pz-09-0017 DUQUESA S.A. presenta en 2024 el consumo más bajo de los últimos años, lo cual se ve representado en la figura 85, donde los registros del año 2024 se encuentran por debajo del promedio, cuando en años anteriores presentaba picos o niveles de consumo superiores a la línea de tendencia de los últimos 3 años. Por esta razón, a pesar de que la línea de tendencia presenta un ligero ascenso, no representa los volúmenes de consumo actuales, sino que esta línea de tendencia ascendente es el resultado de los altos niveles de consumo durante los años 2022 y 2023 en donde se alcanzaron valores de 500 y 700 m³/mes, mientras que para el último año los valores máximos rondan los 370 m³/mes.

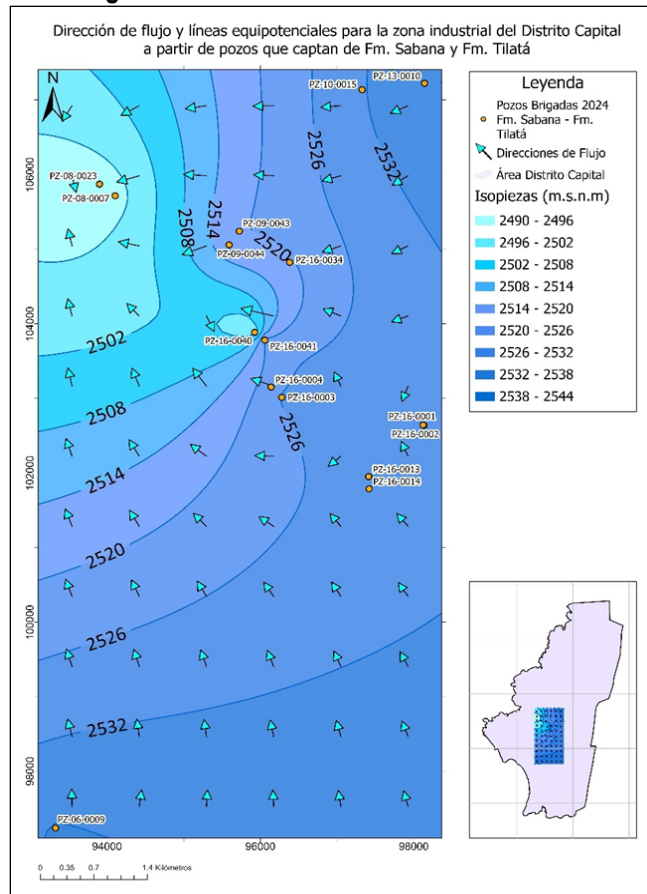
Respecto a los valores de nivel estático que ha presentado el pozo, se observa que en julio de 2022 se presentó un pico alto y constante de consumo y así mismo esto se vio reflejado en el comportamiento del nivel, el cual presentó un descenso respecto al último registro de octubre de 2021. A partir de este punto de inflexión y la disminución en el consumo, se ha presentado una tendencia de recuperación de nivel, el cual se recuperó 1.6 metros en comparación con el nivel más bajo de 2022, el cual se presentó en el mes de julio, y ha recuperado 2.9 metros respecto al punto máximo de descenso registrado el cual fue de 18.8 m en junio del año 2021.

En conclusión, los niveles estáticos de los pozos responden de manera positiva al descenso en los consumos registrados por los usuarios, lo que genera una recuperación en la cota de agua de la unidad acuífera Formación Sabana, esto se puede ver evidenciado en la figura 83, en donde no se presentan ojos de buey en el mapa o líneas equipotenciales de poco espaciamiento que reflejen un punto de descenso o afectación.

Análisis Acuíferos Formación Sabana-Formación Tiltatá.

La Formación Tilatá es descrita como una unidad no consolidada cuya granulometría variable abarca desde finas capas arcillosas hasta conglomerados, y cuyo espesor máximo ronda los 200 m en promedio (otros autores hablan de 300 m). Debido a su granulometría presenta un alto potencial hidrogeológico con transmisividades que pueden superar los 900 m²/día.

Figura 86. Isopiezas y direcciones de flujo del acuífero Formación Sabana – Formación Tilatá para el segundo semestre de 2024 – Zona Industrial.



Fuente: SDA 2024.

Para la zona industrial los pozos que captan de la Formación Sabana y de la Formación Tilatá, presentan profundidades entre los aproximadamente entre los 200 m y los 400 m. En la figura 86 se logra observar que las direcciones de flujo presentan una componente sur-oeste y este-oeste que coincide con las hipótesis que se han planteado en el modelo hidrogeológico conceptual, donde las zonas de recarga natural provienen de las zonas donde aflora el Grupo

Guadalupe (sur y oriente del Distrito Capital). Ahora bien, se evidencia un cambio local en las direcciones de flujo y líneas equipotenciales debido a la explotación de agua subterránea en el pozo concesionado pz-16-0040 (TEXTILIA No. 2). Este cambio genera un diámetro de influencia que llega a máximo 540 metros desde el punto de captación.

A continuación, se presentan las gráficas de nivel estático y consumo de los pozos pz-16-0002 (Gaseosas Colombiana SAS No. 1 – Planta Centro), pz-16-0013 (Grasco No. 1) y pz-16-0014 (Grasco No. 2), los cuales son pozos que se encuentran muy próximos entre sí y cuyos registros de nivel piezométrico presentan un alto grado de recuperación en los últimos años.

Figura 87. Nivel estático histórico para el pozo PZ-16-0002 GASEOSAS COLOMBIANA SAS No. 1 – PLANTA CENTRO.

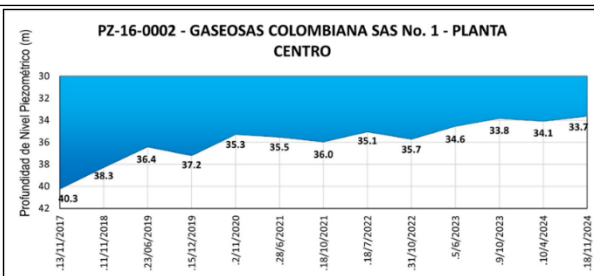
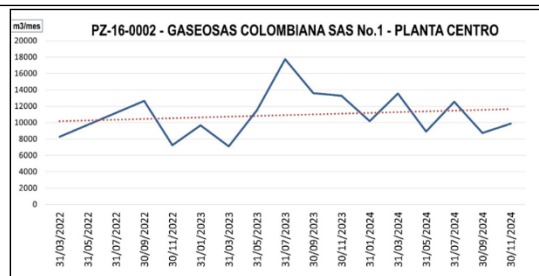


Figura 88. Gráfico de consumo en m³/mes para el pozo PZ-16-0002 GASEOSAS COLOMBIANA SAS No. 1 – PLANTA CENTRO.



Fuente: SDA 2024.

Figura 89. Nivel estático histórico para el pozo PZ-16-0013 GRASCO No. 1

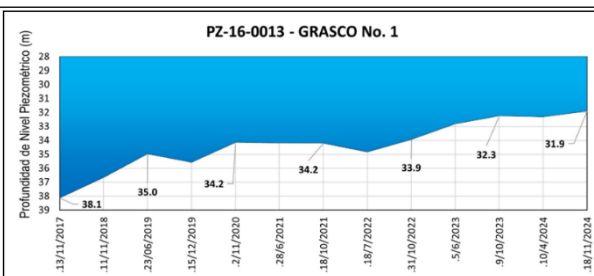
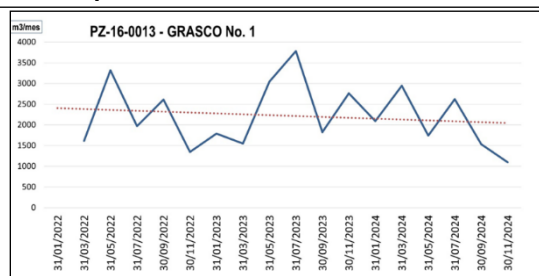


Figura 90. Gráfico de consumo en m³/mes para el pozo PZ-16-0013 GRASCO No. 1



Fuente: SDA 2024.

Figura 91. Nivel estático histórico para el pozo PZ-16-0014 GRASCO No. 2

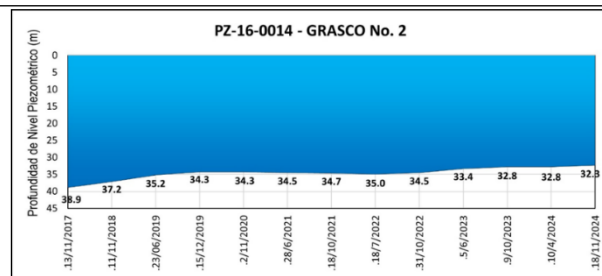
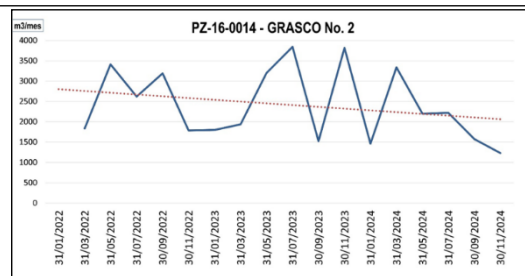


Figura 92. Gráfico de consumo en m³/mes para el pozo PZ-16-0014 GRASCO No. 2



Fuente: SDA 2024.

Como se observa en las anteriores figuras, los 3 pozos presentan una tendencia ascendente de aproximadamente 7 metros para cada uno, esta tendencia de recuperación del nivel coincide con la disminución de consumo de volumen de agua que se presentó para el 2024. Ahora bien, la figura 88, la cual representa el consumo del pozo pz-16-0002, presenta una línea de tendencia ascendente en el consumo a pesar de que para el último año los valores de consumo se redujeron en comparación con el año 2023, esto se presenta debido a un pico de consumo para el mes de agosto de 2023 en donde se alcanzaron valores de 18.000 m³/mes cuando el promedio de consumo del pozo ronda los 11.000 m³/mes, a pesar de esto, los niveles piezométricos se mantienen en ascenso.

Para identificar con mayor detalle el por qué se generan cambios en la dinámica hídrica en la zona donde explota el pozo pz-16-0040 (Textilia No. 2), se analizan los consumos y niveles estáticos registrados en las brigadas de niveles, determinando que el consumo ha aumentado desde mediados del año 2023 y que esta tendencia en el aumento del consumo presenta un punto de inflexión de tipo descendente para el mes de julio de 2024. Esta información es consecuente con la recuperación del nivel estático para el segundo semestre del 2024 en donde se presenta un ascenso de 3.3 m aproximadamente, este pozo pz-16-0040 presenta el nivel piezométrico más bajo respecto a la zona central del polígono, su nivel piezométrico se encuentra alrededor de 2497.8 m.s.n.m. (nivel estático de 54.27 metros), cuando pozos próximos como pz-16-0041 y pz-16-0004 presentan niveles entre 2520 m.s.n.m. y 2525 m.s.n.m. respectivamente, y cuyo nivel estático se encuentra por el orden de 32 metros para ambos pozos. Esta diferencia superior a 20 metros en una distancia de 177 metros horizontales respecto al pozo pz-16-0040 (Textilia No. 2) puede ser un indicativo de afectación puntual al acuífero, lo que podría verse reflejado en la reevaluación de los volúmenes concesionados.

Figura 93. Nivel estático histórico para el pozo PZ-16-0040 TEXTILIA No. 2

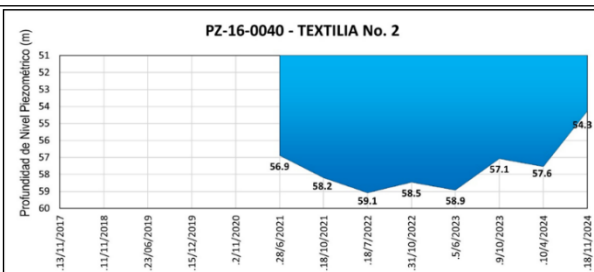
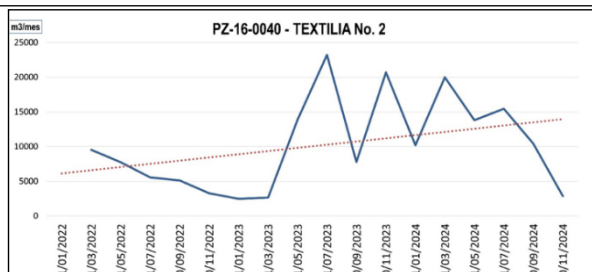


Figura 94. Gráfico de consumo en m³/mes para el pozo PZ-16-0040 TEXTILIA No. 2



Fuente: SDA 2024.

Para concluir, se puede mencionar que las brigadas al sur del Distrito Capital presentan dos tendencias generales las cuales consisten en una disminución en el consumo de aguas subterráneas, lo que conlleva a la segunda tendencia y es la recuperación del nivel estático a causa de estas disminuciones. Estas tendencias reflejan un impacto positivo para las unidades hidrogeológicas captadas (Formación Sabana y Formación Tilatá), dentro de cuyo análisis solo se presenta un pozo PZ-16-0040 (Textilia No. 2), el cual debe ser objeto de medidas de manejo para prevenir alteraciones en la dinámica hídrica de los acuíferos captados, incluso cuando la tendencia del nivel piezométrico sea de tipo ascendente. Estas medidas deben estar enfocadas a la forma en la que se debe explotar el acuífero, como tiempo y consumo.

9. ÍNDICE DE EXTRACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS (IEAS).

El índice de extracción de aguas subterráneas también conocido como índice de estrés de un acuífero, se define como el cálculo del caudal extraído con relación a la recarga directa y es considerado un parámetro de suma importancia para evaluar la sostenibilidad de recurso hídrico subterráneo. Se calcula a través de la siguiente formula y se clasifica de acuerdo con los rangos y categorías presentados en la tabla 12.

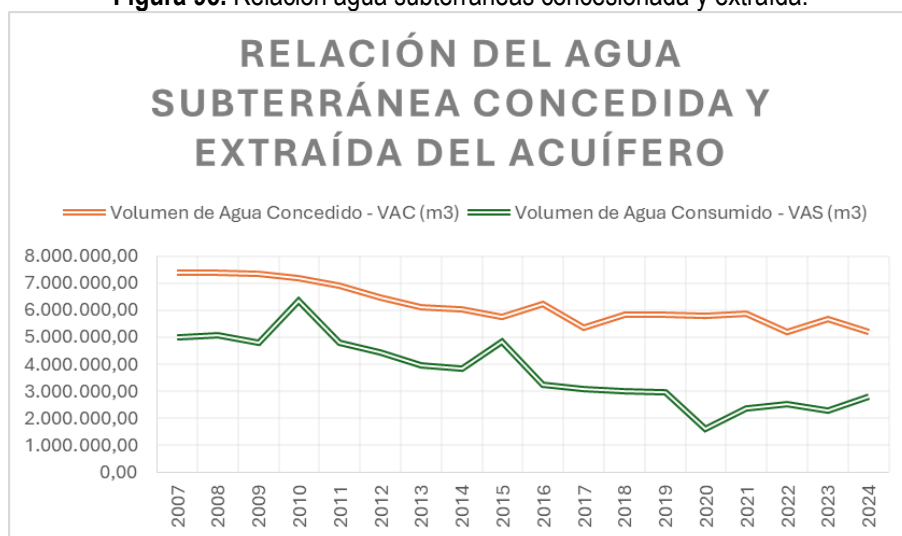
$$IEAS = \frac{ExtracciónTotaldeA.S}{Recarga} \times 100$$

Donde *Extracción Total de A.S.* corresponde al caudal total extraído de los pozos concesionados, y la *Recarga* utilizada en este análisis será la recarga potencial.

Actualmente, el Distrito Capital cuenta con 64 puntos de captación de aguas subterráneas concesionados, cuyo número ha variado a lo largo del tiempo. Desde 2007 hasta 2024, la tendencia muestra que se consume aproximadamente el 50% del volumen total concesionado en metros cúbicos. En este contexto, se estima que el consumo total para el año 2024 será de alrededor de 20.000 m³/día, incluyendo los volúmenes asociados a las pruebas

de bombeo realizadas en los diferentes puntos de captación durante las actividades de control, seguimiento y evaluación. En la siguiente figura se observa el comportamiento del caudal concesionada frente al consumido.

Figura 95. Relación agua subterráneas concesionada y extraída.

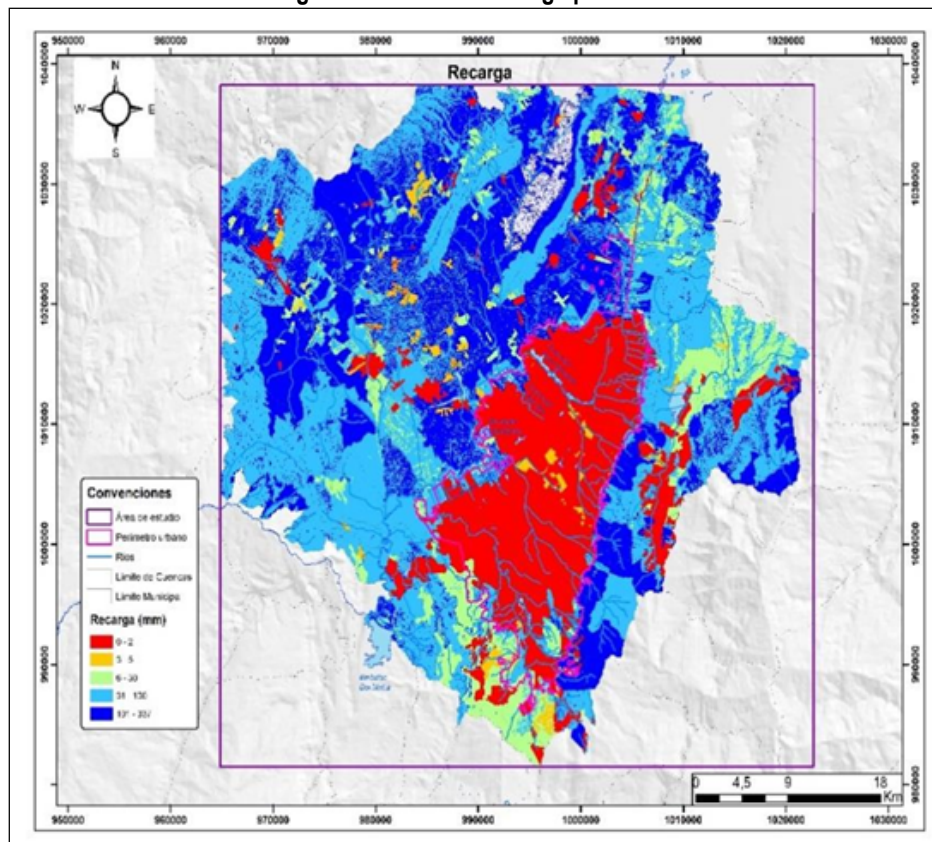


Fuente: SDA 2024.

De acuerdo con lo establecido en el informe de la Pontificia Universidad Javeriana (2018) “*Modelo hidrogeológico conceptual del acuífero subsuperficial o somero en el perímetro urbano del Distrito Capital 2018*”, la recarga potencial se concentra en las zonas donde afloran las unidades hidrogeológicas en el Distrito Capital. A partir estas zonas, se determina el área según el perímetro urbano definido en el modelo hidrogeológico conceptual, obteniendo como resultado un valor de 0.000290411 m/día para un área de 155.599.388 m². Cabe aclarar que la zona de recarga de las unidades hidrogeológicas explotadas en el Distrito Capital puede ser mayor, sin embargo, no se cuenta con estudios que definan estos límites.

En la siguiente figura se puede observar las zonas de recarga potencial calculadas para el Distrito Capital a corte del año 2018.

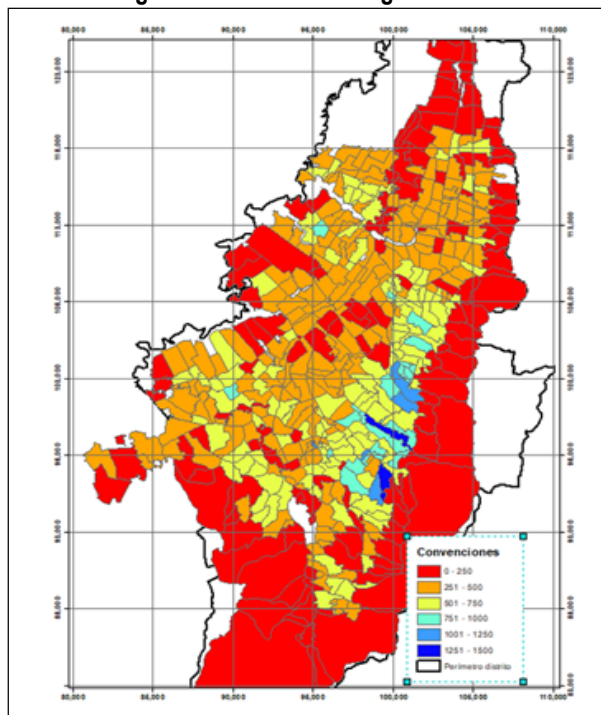
Figura 96. Zonas de recarga potencial.



Fuente: Modelo hidrogeológico conceptual del acuífero subsuperficial o somero en el perímetro urbano del Distrito Capital. Convenio de asociación No SDA-CV 20161264. Noviembre de 2018.

Como complemento a la recarga natural existe recarga artificial en el Distrito Capital, esta se da por la fuga del agua que circula en las tuberías del acueducto y alcantarillado del Bogotá. En este sentido y de forma conservadora se toma un valor de 250 mm/año (0.0006849 m/día), ya que no se tiene certeza de cuánta agua de las pérdidas llega a las unidades hidrogeológicas con alto potencial hídrico. En la siguiente figura se observa la distribución de la recarga artificial en el Distrito Capital a corte del año 2018.

Figura 97. Zonas de recarga artificial.



Fuente: Modelo hidrogeológico conceptual del acuífero subsuperficial o somero en el perímetro urbano del Distrito Capital.
 Convenio de asociación No SDA-CV 20161264. Noviembre de 2018.

Teniendo en cuenta lo anterior, se obtiene una recarga potencial de 151.763 m³/día en un área estimada de 155.599.388 m². De esta manera se realiza el cálculo del Índice de extracción de aguas subterráneas (IEAS) para la vigencia 2024 obteniendo como resultado lo siguiente:

$$IEAS = \frac{20.000 \text{ m}^3/\text{día}}{151.763 \text{ m}^3/\text{día}} \times 100$$

$$IEAS = 13.17 \text{ m}^3/\text{día}$$

Tabla 12. Rangos y categorías del índice de extracción de aguas subterráneas.

Rango IEAS (%)	CATEGORÍA	SIGNIFICADO
>50	Muy Alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la recarga.

20.01 – 50	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la recarga.
10.1 – 20	Moderado	La presión de la demanda es moderada con respecto a la recarga.
1 – 10	Bajo	La presión de la demanda es baja con respecto a la recarga.
≤ 1	Muy Bajo	La presión de la demanda no es significativa con respecto a la recarga.

Fuente: IDEAM, Lineamientos conceptuales y metodológicos para la evaluación regional del agua, 2013

En conclusión, el Índice de Extracción de Aguas Subterráneas (IEAS) es de 13.17 m³/día, lo que indica que la presión de la demanda sobre el recurso es **moderada** en relación con la recarga. Esto sugiere que la extracción de aguas subterráneas es sostenible a corto plazo, considerando el equilibrio entre la oferta y la demanda. Sin embargo, es importante continuar con un monitoreo constante del comportamiento del acuífero y de los niveles piezométricos, especialmente ante posibles variaciones en la disponibilidad de recarga debido a factores climáticos o antrópicos. Mantener este balance es clave para evitar sobreexplotación, proteger la calidad del recurso y prevenir fenómenos como la subsidencia.

9.1. ÍNDICE DE RESERVAS TEMPORALMENTE APROVECHABLE (IRTA).

El IRTA se expresa generalmente como un porcentaje o un índice que refleja la relación entre la oferta y la demanda de agua subterránea en una cuenca específica y se define como el uso de una parte o fracción de agua que se encuentra almacenada durante un tiempo determinado, es decir, la gestión no sostenible de aguas subterráneas (IDEAM, Lineamientos conceptuales y metodológicos para la evaluación regional del agua, 2013).

Es por ello por lo que permite establecer una medida para evaluar la disponibilidad de reservas de agua subterránea que pueden ser aprovechadas temporalmente en una cuenca hidrográfica; para lo cual se deben tener en cuenta factores tales como: Determinación de las reservas de agua subterránea, cálculo de la recarga de agua subterránea, evaluación de la demanda de agua, análisis de transferencias de agua, consideración de pérdidas del sistema y cálculo del Balance Hídrico, en el entendido que:

- **Determinación de las reservas de agua subterránea:** Se evalúan las reservas existentes de agua subterránea en la cuenca. Esto incluye la cantidad de agua almacenada en los acuíferos.
- **Cálculo de la recarga de agua subterránea:** Se estima la cantidad de agua que se infiltra y recarga los acuíferos. Este valor puede variar según las condiciones climáticas, el tipo de suelo y la vegetación.
- **Evaluación de la demanda de agua:** Se analiza la demanda de agua en la cuenca, considerando todos los usos, como el agrícola, industrial, doméstico y ambiental.
- **Análisis de transferencias de agua:** Se tienen en cuenta las transferencias de agua entre diferentes subunidades espaciales dentro de la cuenca, así como las importaciones y exportaciones de agua.

- **Consideración de pérdidas del sistema:** Se incluyen las pérdidas de agua debido a fugas en los sistemas de distribución, que pueden afectar la cantidad de agua disponible.
- **Cálculo del Balance Hídrico:** Se realiza un balance hídrico que compara la oferta (reservas + recarga) con la demanda y las pérdidas. Este balance ayuda a determinar la cantidad de agua que puede ser aprovechada temporalmente sin comprometer la sostenibilidad del recurso.

Su cálculo se realiza siguiendo la siguiente forma:

$$IRTA = \frac{Da}{Vta},$$

Donde *Da* equivale a la demanda y *Vta* el volumen temporal aprovechable, expresados en m³/s, y se clasifica según los siguientes rangos y categorías.

Tabla 13. Rangos y categorías del índice de extracción aguas subterráneas (IRTA).

Rango de Valores IRTA (%)	CATEGORÍA	SIGNIFICADO
>50	Muy Alto	El uso de las reservas de agua subterránea amenaza con su agotamiento a mediano o largo plazo.
20.01 - 50	Alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a las reservas temporalmente disponibles.
10.1 - 20	Moderado	Las reservas disponibles para cubrir la demanda en periodos críticos son bajas.
1 - 10	Bajo	Existen reservas disponibles, aunque limitadas para cubrir la demanda, en periodos críticos.
≤ 1	Muy Bajo	Existen reservas disponibles para cubrir la demanda, durante periodos críticos.

Fuente: IDEAM, Lineamientos conceptuales y metodológicos para la evaluación regional del agua, 2013.

Teniendo en cuenta lo anterior, es importante señalar que para la vigencia 2024 no es posible calcular el Índice de Reservas Temporalmente Aprovechables, ya que actualmente no se dispone del cálculo del volumen almacenado de aguas subterráneas. Este valor se tiene proyectado estimar mediante un modelo numérico de flujo de aguas subterráneas, cuyo desarrollo está previsto para el año 2025.

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

10.1. CONCLUSIONES.

RMAS.

- La mayoría de los acuíferos monitoreados en la RMAS presentan una tendencia ascendente en los niveles piezométricos, con incrementos destacados en el pozo pz-06-0008 (General Motors) hasta de 3.69 m, mientras que solo dos puntos muestran descensos que no superan 1 m. Estos resultados indican que no existen cambios drásticos en la dinámica subterráneas de los acuíferos monitoreados ya sea debido a la explotación del recurso hídrico o condiciones climáticas.
- El análisis de correlación cruzada revela que los niveles piezométricos en la mayoría de los acuíferos están correlacionados con la precipitación en los primeros cinco meses, mientras que algunos puntos, como el pz-13-00016 (ING1), presentan respuestas diferidas de hasta 20 meses.

Hidrogeoquímica.

- La dinámica del agua subterránea en el Distrito Capital presenta un flujo de tipo local con baja influencia en la roca. Asimismo, se ha identificado una variación en las facies de los aljibes, lo que sugiere posibles signos de contaminación debido a su alta exposición a la superficie.
- La geología y la composición mineralógica de la roca es correlacionable a los resultados de las muestras de los pozos que captan de la Formación Labor-Tierna, lo que da por entendido que la química del agua se relaciona principalmente a un factor intrínseco de la interacción entre el agua y el medio más que como resultado del tiempo de tránsito del recurso hídrico en el subsuelo.

Calidad Del Agua.

- El comportamiento de los parámetros analizados: Grasas y Aceites, Coliformes Fecales, Nitratos y Cloro residual en 205 muestras de laboratorio provenientes de los usuarios y del programa de Afluentes y Efluentes de la Secretaría de Ambiente para los años 2022, 2023 y 2024, permiten determinar que no existe una fuente de contaminación puntual en los acuíferos analizados. Sin embargo, es importante monitorear activamente, durante la vigencia 2025, el pozo pz-08-0023 (Textiles Lafayette SAS) ya que durante los años 2022 y 2023 reportó valores superiores al límite de referencia para el parámetro de Grasas y Aceites.
- La presencia de Nitratos no es frecuente ni recurrente en las muestras analizadas durante los años 2022, 2023 y 2024, sin embargo, es importante monitorear, durante la vigencia 2025, el comportamiento de este parámetro en los pozos pz-16-0041 (Textilia SAS) y pz-10-0027 (EDS Biomax – Inverniza SAS), teniendo en

Página 109 de 113

cuenta que, presentaron valores superiores al límite de referencia y, la baja frecuencia de muestras durante la vigencia 2024 en comparación con el año 2022 y 2023.

Brigadas De Nivel

- La dinámica del agua subterránea en la zona norte Bogotá, se ve influenciada de forma negativa debido a la explotación de agua subterránea de los pozos del Club Campestre Cafam (pz-11-0080 y pz-11-0047) siendo evidente una constante disminución en los niveles del agua. Esto se asocia al consumo por parte del pozo pz-11-0080. Adicionalmente, a pesar de reportar un constante descenso del nivel para el pozo pz-11-0190 (Cemex) y pz-01-0004 (Country Club No. 2), estos pozos aún no son influyentes en el cambio de la dinámica subterránea de acuífero de la Formación Sabana.
- La zona industrial del Distrito Capital presenta dos tendencias interrelacionadas. La primera es la reducción en el consumo de agua por parte de los usuarios de pozos concesionados durante el año 2024. Esta disminución ha dado lugar a la segunda tendencia destacable: un ascenso general en los niveles piezométricos en dicha zona.
- Dentro de la zona industrial se presenta una afectación a la dinámica del sistema hídrico subterráneo, el cual es ocasionado de forma leve debido a la explotación del pozo pz-16-0040 (Textilia No. 2), el cual genera un diámetro de afectación de 540 metros aproximadamente, así el comportamiento del nivel sea de tipo ascendente.

Índices.

- El índice de extracción de agua Subterráneas (IEAS) para la vigencia 2024 en el Distrito Capital es moderado, lo que indica que es sostenible a corto plazo considerando el equilibrio entre la oferta y la demanda, sin embargo, se requiere de monitoreo constante con el fin de verificar el comportamiento de los acuíferos y del nivel piezométrico.

10.2. RECOMENDACIONES.

RMAS.

- Realizar un mantenimiento integral de la Red de Monitoreo de Aguas Subterráneas (RMAS) para asegurar datos de calidad que respalden decisiones eficaces en la gestión y conservación del recurso hídrico subterráneo en el Distrito Capital.

Hidrogeoquímica.

- Fortalecer la investigación geológica para tener interpretar y analizar con mayor certeza el análisis hidrogeoquímico del agua subterránea en el Distrito Capital.
- Fortalecer la adquisición de información de parámetros físico-químicos tanto para el programa de afluentes y efluentes, como para las muestras brindadas por los usuarios, debido a que se presentó un alto porcentaje de error en el cálculo de desbalance iónico, lo cual impidió analizar el 90% de las muestras totales para los años 2022, 2023 y 2024, lo cual aumenta en alto grado el vacío de información hidrogeoquímica analizada para la ciudad.
- El aljibe aj-14-0005 (Servicentro Avenida Tercera) presentó variación en sus resultados de parámetros físico-químicos durante los años 2022 y 2023, y no cumplió con el rango mínimo de aceptación de error para evaluar su muestra en 2024 desde el aspecto hidrogeoquímico, por lo cual se recomienda llevar control y seguimiento a los resultados de calidad del agua del aljibe, con la finalidad de identificar si el aumento en los resultados de sulfatos se debe a un evento puntual, o es una condición constante.

Calidad Del Agua.

- Implementar medidas de manejo al pozo pz-08-0023 (Textiles Lafayette SAS), ya que es el único pozo que presenta recurrencia en resultados que superan los límites de referencia (2022-2023), específicamente para el parámetro de Grasas y Aceites durante el año 2022 y 2023.
- Realizar un mantenimiento exhaustivo al pozo pz-10-0027 EDS Biomax – Inverniza SAS, pues presentó durante el año 2023 un reporte de laboratorio, en relación a los Nitratos, tres veces superior al límite de referencia. Además, teniendo en cuenta cuan perjudicial son los Nitratos para la salud, se recomienda seguir monitoreando de cerca este pozo en resultados de laboratorio venideros y así prevenir posibles focos puntuales de contaminación que afecten la calidad del agua subterránea.

Brigadas De Nivel.

- Implementar las acciones necesarias frente al consumo del volumen concesionado para el pozo No. 2 del Club Campestre Cafam (pz-11-0080). Esto debido al cambio que genera sobre la dinámica hídrica del acuífero Fm. Sabana. Además, es recomendable reevaluar el volumen concesionado para los dos pozos de este usuario (pz-11-0080 y pz-11-0047) debido a su evidente influencia en la dinámica del agua subterránea para el acuífero de la Formación Sabana.
- Se recomienda recalcular el volumen concesionado de 15705 m³/mes al pozo pz-16-0040 (Textilia No. 2), debido a que a pesar de que el consumo del usuario durante el año no supera el volumen concesionado, sigue presentando una afectación sobre las unidades hidrogeológicas Fm. Sabana y Fm. Tilatá, generando

descensos en la cota de agua superiores a 20 m en menos de 200 m horizontales donde se encuentra el pozo pz-16-0041 (Textilia No. 1).

- Los consumos que se están presentando en el pozo No 2. del Club Campestre Cafam (pz-11-0080), cambian la dinámica hídrica en el acuífero de la Formación Sabana, por este motivo es fundamental que desde las actividades de control y seguimiento se tomen las acciones necesarias.
- Reevaluar el volumen concesionado de los pozos en el Distrito Capital y así evitar posibles influencias mayores en la dinámica del agua subterránea.
- El pozo pz-16-0040 (Textilia No. 2) está modificando la dinámica hídrica del sector industrial con un diámetro de influencia de 540m, esto se observa en las variaciones que presentan las líneas equipotenciales y las direcciones de flujo de la zona, las cuales se acomodan al drástico descenso que se está presentando en ese punto. Se deben ejecutar las acciones necesarias de evaluación desde el área de control y seguimiento.

Índices.

- Se recomienda realizar evaluación periódica de la relación entre la extracción total de aguas subterráneas (Cantidad concesionada y/o extraída) y la recarga, con el fin de garantizar que no se exceda la capacidad de los acuíferos.
- Se recomienda realizar los estudios correspondientes para desarrollar el modelo numérico de flujo de aguas subterráneas, el cual permita calcular el volumen almacenado de aguas subterráneas en el Distrito Capital y así, proceder con el cálculo del Índice de Reservas Temporales Aprovechables (IRTA).



FABIAN MAURICIO CAICEDO CARRASCAL
SUBDIRECCION DE RECURSO HIDRICO Y DEL SUELO

(Sin Anexos):

Elaboró:

YAMILETH CAMPOS VARGAS

CPS:

SDA-CPS-20242475

FECHA EJECUCIÓN:

23/12/2024

Página 112 de 113

Revisó:

JUAN GABRIEL ALVARADO CARDENAS CPS: SDA-CPS-20242148 FECHA EJECUCIÓN: 29/12/2024

Aprobó:

Firmó:

FABIAN MAURICIO CAICEDO CARRASCAL CPS: FUNCIONARIO FECHA EJECUCIÓN: 29/12/2024

Elaboró:

JESÚS ALIRO LEAL SIERRA CPS: SDA- CPS- 20242533 FECHA EJECUCIÓN 23/12 /2024
PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA RED DE MONITOREO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

CARLOS ALBERTO CORTES GOMEZ CPS: SDA- CPS- 20242650 FECHA EJECUCIÓN 23/12 /2024
PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA RED DE MONITOREO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

NICOLAS CENDALES CORREA CPS: SDA- CPS- 20242394 FECHA EJECUCIÓN 23/12 /2024
HIDROGEOQUÍMICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA E INTERPRETACIÓN BRIGADAS ZONA INDUSTRIAL

DANIEL SANTIAGO RODRIGUEZ GOMEZ CPS: SDA- CPS- 20242529 FECHA EJECUCIÓN 23/12 /2024
CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA E INTERPRETACIÓN BRIGADAS ZONA NORTE

ERIKA JULIETH MAHECHA HERNANDEZ CPS: SDA- CPS- 20242448 FECHA EJECUCIÓN 23/12 /2024
ÍNDICE DE EXTRACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS – IEAS

YAMILETH CAMPOS VARGAS CPS: SDA- CPS- 20242475 FECHA EJECUCIÓN 23/12 /2024

Revisó:

JESÚS ALIRO LEAL SIERRA CPS: SDA- CPS- 20242533 FECHA EJECUCIÓN 23/12 /2024