



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MANIZALES

SISTEMA INTEGRADO DE MONITOREO AMBIENTAL DE CALDAS – SIMAC



Red de Estaciones de Monitoreo de Aguas Subterráneas



Boletín anual año 2024

Febrero 2024

Documento producido por la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, elaborado por:

Jeannette Zambrano Nájera, I. C., Ph. D., Directora del SIMAC, Profesora del departamento de Ingeniería Civil

Daniel Botero Gómez, Estudiante auxiliar de Maestría en recursos hidráulicos, Operador de la red de monitoreo de aguas subterráneas.



TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	3
INDICE DE TABLAS	4
INDICE DE FIGURAS	4
1 PRESENTACIÓN DE LA RED DE ESTACIONES DE MONITOREO DE AGUA SUBTERRÁNEA -REMAS-.....	6
1.1 LOCALIZACIÓN GENERAL	6
1.2 LOCALIZACIÓN ESPECÍFICA.....	7
1.3 DIAGNÓSTICO DEL FUNCIONAMIENTO DE LA REMAS Y PROTOCOLOS DE MONITOREO	9
2 DATOS DE LA RED DE MONITOREO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE MANIZALES (REMAS)	12
2.1 ESTACIONES UBICADAS EN EL BARRIO LA ESTRELLA	12
2.2 ESTACIONES UBICADAS EN EL BARRIO PALERMO.....	14
2.3 ESTADÍSTICAS SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE LOS NIVELES DE AGUA FREÁTICOS.....	18
2.4 MAPA DE LOS NIVELES INTERPOLADOS Y TRANSECTOS.	19
3 CONCLUSIONES	22

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. FICHA DE LA CONFIGURACIÓN ACTUAL DE LA RED DE MONITOREO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	9
TABLA 2. MODO DE FUNCIONAMIENTO DE LA RED POR ESTACIÓN DURANTE EL AÑO 2024.	11
TABLA 3. COMPARACIÓN DE LOS NIVELES FREÁTICOS: MÁXIMOS, MEDIOS, Y MÍNIMOS, DE LA ESTACIÓN EST-01, JARDÍN BOTÁNICO - U. DE CALDAS, CON RESPECTO AL AÑO 2022 Y 2023. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	13
TABLA 4. COMPARACIÓN DE LOS NIVELES FREÁTICOS: MÁXIMOS, MEDIOS, Y MÍNIMOS, DE LA ESTACIÓN PAL – 02 (C.C. ROGELIO SALMONA - U. DE CALDAS) Y PAL – 05 (CAI DE PALERMO), CON RESPECTO AL AÑO 2022 Y 2023. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	16
TABLA 5. ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS DEL COMPORTAMIENTO DEL NAF (REFERENCIADO EN MSNM), 2024. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	18
TABLA 6. ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS DEL COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA DEL AGUA FREÁTICA (EN GRADOS CELSIUS), 2024. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	18
TABLA 7. PROMEDIOS DEL NIVEL FREÁTICO POR TRIMESTRE HIDROLÓGICO. DE LAS ESTACIONES DEL BARRIO LA ESTRELLA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	22
TABLA 8. PROMEDIOS DEL NIVEL FREÁTICO POR TRIMESTRE HIDROLÓGICO. DE LAS ESTACIONES DEL BARRIO LA ESTRELLA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	22

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 : DISTRIBUCIÓN DE PROVINCIAS HIDROGEOLÓGICAS POR ÁREA HIDROGRÁFICA. FUENTE: (IDEAM, 2014).	7
FIGURA 2. LOCALIZACIÓN DE LOS SEIS PIEZÓMETROS DE MONITOREO DE LA REMAS EN EL BARRIO LA ESTRELLA. FUENTE: ADAPTADO DEL PORTAL WEB DEL SIMAC.	8
FIGURA 3. LOCALIZACIÓN DE LOS SEIS PIEZÓMETROS DE MONITOREO DE LA REMAS EN EL BARRIO PALERMO. FUENTE: ADAPTADO DEL PORTAL WEB DEL SIMAC.	8
FIGURA 4. VARIACIÓN DEL NIVEL MEDIO DIARIO DE AGUA FREÁTICA DE LA ESTACIÓN EST-01 (JARDÍN BOTÁNICO) EN COMPARACIÓN CON LA LLUVIA DIARIA, DURANTE EL 2024. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	12
FIGURA 5. NAF PROMEDIO MENSUAL DE LA ESTACIÓN EST - 01, JARDÍN BOTÁNICO - U. DE CALDAS, CON RESPECTO A LA PRECIPITACIÓN ACUMULADA REGISTRADA EN LA ESTACIÓN POSGRADOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	13
FIGURA 6. NAF DE LAS ESTACIONES DEL BARRIO LA ESTRELLA A PARTIR DE MEDICIONES MANUALES Y DEL DIVER MÓVIL, EN COMPARACIÓN CON LA PRECIPITACIÓN DIARIA REGISTRADA EN LA ESTACIÓN POSGRADOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	14
FIGURA 7. VARIACIÓN DEL NIVEL MEDIO DIARIO DE AGUA FREÁTICA DE LA ESTACIÓN PAL-02 (C.C. ROGELIO SALMONA) - U. DE CALDAS, EN COMPARACIÓN CON LA LLUVIA DIARIA, DURANTE EL 2024. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	15
FIGURA 8. VARIACIÓN DEL NIVEL MEDIO DIARIO DE AGUA FREÁTICA DE LA ESTACIÓN PAL-05 (CAI- PALERMO) EN COMPARACIÓN CON LA LLUVIA DIARIA, DURANTE EL 2024. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	15

FIGURA 9. NAF PROMEDIO MENSUAL DE LA ESTACIÓN PAL - 02, C.C. ROGELIO SALMONA - U. DE CALDAS, CON RESPECTO A LA PRECIPITACIÓN ACUMULADA REGISTRADA EN LA ESTACIÓN POSGRADOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	16
FIGURA 10. NAF PROMEDIO MENSUAL DE LA ESTACIÓN PAL-05, CAI DE PALERMO, CON RESPECTO A LA PRECIPITACIÓN ACUMULADA REGISTRADA EN LA ESTACIÓN POSGRADOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	17
FIGURA 11. NAF DE LAS ESTACIONES DEL BARRIO PALERMO A PARTIR DE MEDICIONES MANUALES Y DEL DIVER MÓVIL, EN COMPARACIÓN CON LA PRECIPITACIÓN DIARIA REGISTRADA EN LA ESTACIÓN POSGRADOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	17
FIGURA 12. MAPA DE NIVELES FREÁTICOS MEDIOS DEL 2024 INTERPOLADOS PARA EL BARRIO LA ESTRELLA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	19
FIGURA 13. MAPA DE NIVELES FREÁTICOS MEDIOS DEL 2024 INTERPOLADOS PARA EL BARRIO PALERMO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	19
FIGURA 14. TRANSECTO PROMEDIO ANUAL DEL 2024 DEL NAF EN EL BARRIO LA ESTRELLA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	20
FIGURA 15. TRANSECTO PROMEDIO ANUAL DEL 2024 DEL NAF EN EL BARRIO PALERMO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	21

1 Presentación REMAS

La ciudad de Manizales está expuesta a lluvias intensas que afectan la estabilidad de las laderas que generan alto riesgo a sus habitantes ante procesos de deslizamiento de tierra; por ello, en el año 2014 se decidió implementar la primera Red de monitoreo del nivel de aguas subterráneas del municipio con el objetivo de obtener información acerca de cómo varía el nivel de agua freática en el subsuelo y poder aprovechar esa información en la investigación hidrogeológica, como aporte al conocimiento de las amenazas geotécnicas e hidrogeológicas con el fin de generar información útil para el diseño de sistemas de alerta temprana para la gestión del riesgo.

La Red de Estaciones de Monitoreo de Aguas Subterráneas (REMAS) permite conocer las fluctuaciones de los Niveles de Agua Freáticos (NAF), los sensores con los que cuenta la red los que almacenan un dato cada 30 minutos esto es un nivel de detalle suficiente para apreciar la existencia de niveles de agua estáticos y dinámicos comunes en las formaciones acuíferas que subyacen en la región. Los registros que se obtienen en cada lectura de datos son procesados y proporcionados en forma gráfica para apreciar la tendencia del nivel freático. Los datos se pueden descargar de forma gratuita en la página:

<https://cdiac.manizales.unal.edu.co/indicadores/public/SearchGroundWater>

El agua subterránea cumple un papel fundamental en el ciclo hidrológico, y es una fuente importante de abastecimiento de agua para todos los usos, por lo tanto, no se hará énfasis en ese marco teórico. Este documento presenta estadísticas del NAF registrados en los puntos de monitoreo ubicados en los barrios Palermo y la Estrella de Manizales, presenta su variación con respecto a la lluvia registrada por una estación meteorológica cercana y un mapa con una interpolación de los NAF medios de la zona de estudio que permite apreciar la dirección del flujo.

En este boletín también se presenta información general acerca del estado de la red, información específica sobre la configuración y el funcionamiento de cada estación.

1.1 Localización general

La red de aguas subterráneas se ubica en la ciudad de Manizales, municipio capital del departamento de Caldas, el cual se ubica en la provincia hidrogeológica de Basamento –

Acuifugas, según el mapa de distribución de provincias hidrogeológicas por área hidrográfica del IDEAM (ver Figura 1).

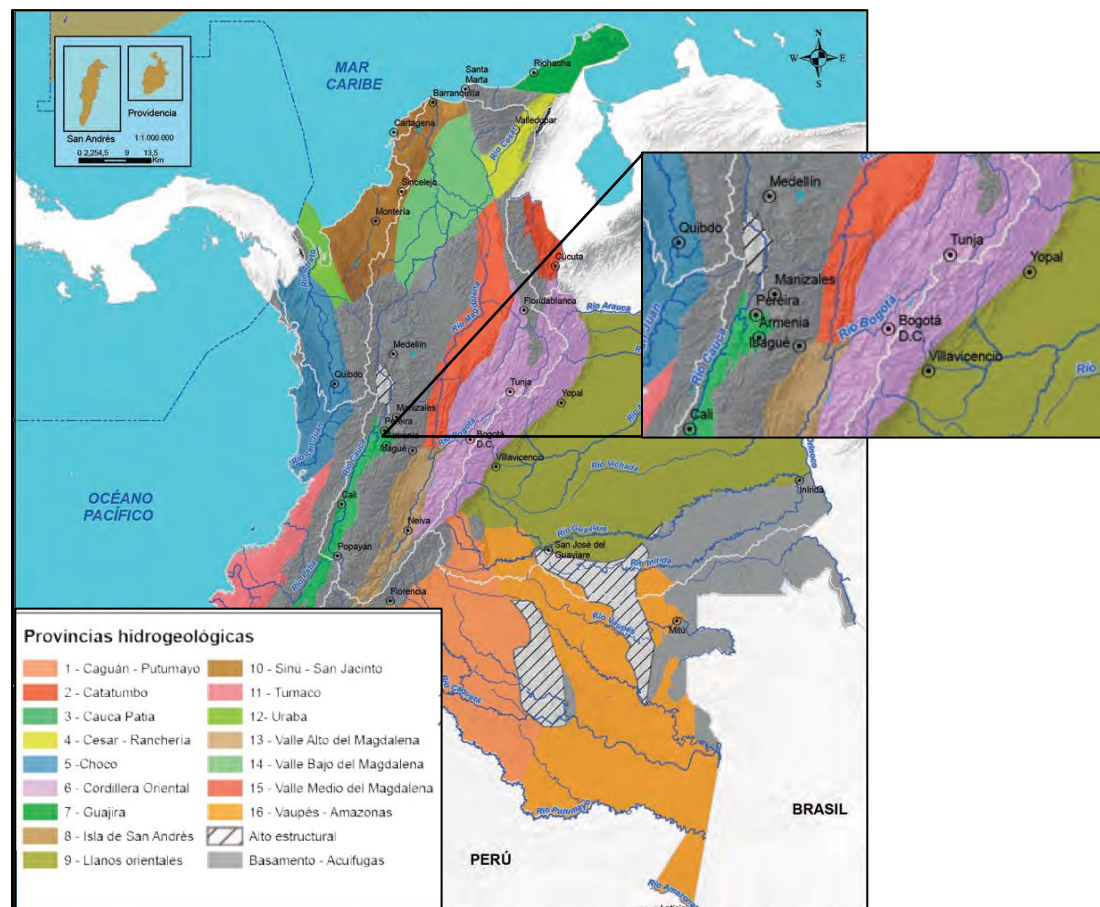


Figura 1 : Distribución de provincias hidrogeológicas por área hidrográfica.
Fuente: (IDEAM, 2014).

1.2 Localización específica

La red cuenta con doce (12) piezómetros de monitoreo de nivel freático, ubicados en dos barrios centrales de la ciudad de Manizales, el barrio La Estrella y el barrio Palermo cada uno con 6 piezómetros, distribuidos estratégicamente como se puede ver en la Figura 2 y Figura 3 respectivamente.

La profundidad de los piezómetros varía entre 3.50 m y 18 metros aproximadamente dependiendo de la ubicación, algunos de los más profundos son los de aguas abajo donde circula la mayor cantidad de agua freática por efectos gravitatorios. En los barrios mencionados existieron quebradas que fueron canalizadas y/o sufrieron procesos de llenos mecánicos con material de sitio para luego ser urbanizados, por lo que la red también puede

consultar: <https://cdiac.manizales.unal.edu.co/geoportal-simac/>

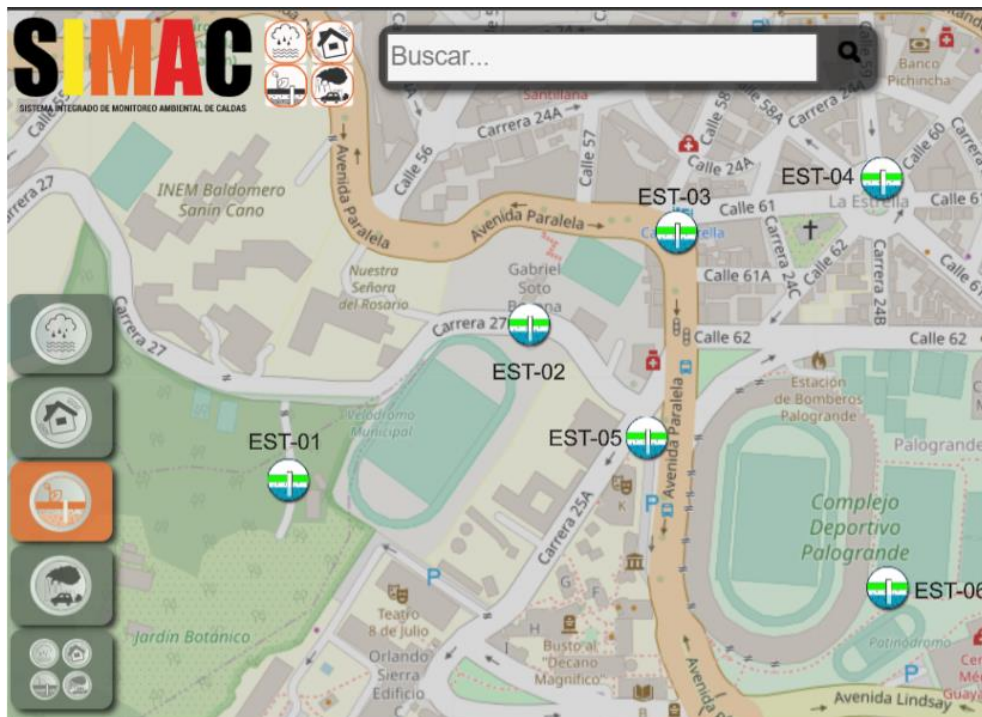


Figura 2. Localización de los seis piezómetros de monitoreo de la REMAS en el barrio La Estrella.
Fuente: adaptado del Geoportal SIMAC.

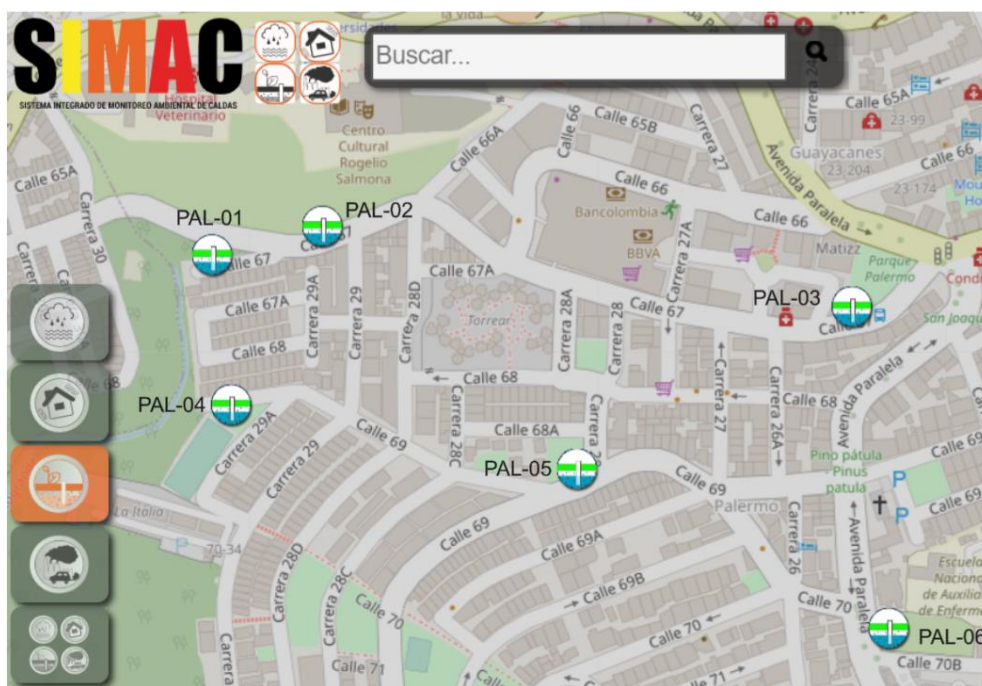


Figura 3. Localización de los seis piezómetros de monitoreo de la REMAS en el barrio Palermo.
Fuente: adaptado del portal web del SIMAC.

Los equipos con los que cuenta la red son Divers (equivalente a Levellogger o sensor de presión absoluta) y barómetros, en la Tabla 1 se puede observar la profundidad de cada piezómetro, la profundidad a la que está suspendido el sensor y la cota de la tapa del sensor (o cabeza del piezómetro), en metros y metros sobre el nivel del mar.

Tabla 1. Ficha de la configuración actual de la Red de Monitoreo de Aguas Subterráneas.
Fuente: elaboración propia.

ID Estación (Piezómetro)	Sitio de Referencia	Tipo de Punto de Monitoreo	Profundidades modificadas (m) (03/02//2016)			Cotas en msnm (origen Buenaventura) (03/02//2016)			
			Piezómetro	Sensor Registrador	NAF al instalar	Cabeza de Piezómetro (msnm)	Fondo de Piezómetro (msnm)	Sensor - Registrador (msnm)	NAF al instalar (msnm)
Est-01	Jardín Botánico (Universidad de Caldas)	Freatímetro	9.80	5.00	3.54	2091.94	2082.14	2086.94	2088.40
Est-02	Velódromo (Universidad de Caldas)	Freatímetro	11.26	10.00	5.33	2108.73	2097.47	2098.73	2103.40
Est-03	Avenida Paralela Calle 58	Freatímetro	9.30	8.60	6.15	2115.12	2105.82	2106.52	2108.97
Est-04	Parque de la Estrella	Freatímetro	8.56	5.00	3.32	2129.81	2121.25	2124.81	2126.49
Est-05	Auditorio (UN)	Freatímetro	6.91	5.000	3.07	2114.90	2107.99	2109.90	2111.83
Est-05_Baro	Auditorio (UN)	Dos Barómetros	6.91	1.00	3.07	2114.90	2107.99	2113.90	2111.83
Est-06	Patinódromo UDP	Freatímetro	9.83	5.00	2.56	2128.59	2118.76	2123.59	2126.03
Pal-01	Conexión Palermo - Fátima	Freatímetro	9.90	8.19	7.10	2063.76	2053.86	2055.57	2056.66
Pal-02	Biblioteca Salmona (Universidad de Caldas)	Freatímetro	9.66	8.83	6.11	2076.48	2066.82	2067.65	2070.37
Pal-03	Parque de las Garzas	Freatímetro	10.08	8.53	7.33	2110.97	2100.89	2102.44	2103.63
Pal-04	Cancha de La Italia	Freatímetro	17.96	17.75	16.90	2066.20	2048.24	2048.45	2049.30
Pal-05	CAI de Palermo	Freatímetro	7.53	5.00	3.08	2093.41	2085.88	2088.41	2090.32
Pal-05_Baro	CAI de Palermo	Barómetro	7.53	1.00	3.08	2093.41	2085.88	2092.41	2090.32
Pal-06	Escuela de Enfermería	Freatímetro	9.91	5.00	4.31	2120.52	2110.61	2115.52	2116.21

1.3 Diagnóstico de funcionamiento de la REMAS

Inicialmente, en cada piezómetro se instaló un sensor sumergible digital que se encarga de hacer mediciones de presión y temperatura, y almacenar el dato para su posterior descarga y procesamiento (compensación barométrica: consiste en hallar la columna de agua por encima del sensor restando la presión relativa que toma el barómetro a la absoluta

que toma el Diver, en mH₂O). Actualmente algunos piezómetros se encuentran sin equipo por el fin de la vida útil de la batería sin posibilidad de reemplazarla, y problemas de comunicación para descargar los datos. Con el fin de tener una base de datos de todas las estaciones, se están tomando mediciones manuales periódicas en los puntos de monitoreo que no cuentan con diver.

La estación Est – 01 (Jardín Botánico de la Universidad de Caldas) y la estación PAL - 05 (CAI de Palermo) tuvieron divers fijos durante todo el 2024.

La estación Pal – 02 (C.C. Rogelio Salmona - U.Caldas) quedó con diver fijo a partir del 09 de abril de 2024, gracias a que se logró rehabilitar un diver y un barómetro de los que se encontraban fuera de servicio, (el barómetro se colocó en la estación Est 05, auditorio K U. Nacional). Estos equipos se colocaron de nuevo en operación tras realizar varias pruebas de resistencia a infiltración (en un ambiente controlado) y de calidad de los datos en el tiempo (Colocando un equipo original y uno rehabilitado a la misma altura en un mismo pozo durante una semana). También se intentó rehabilitar dos leveloggers más, pero estos no pasaron las pruebas preliminares por lo que aún no se cuenta con ellos, se está trabajando en las correcciones respectivas.

La Tabla 2 presenta el modo de funcionamiento de las estaciones de la red durante el 2024:

- **DF:** significa que tuvo un diver fijo, es decir, que hubo monitoreo el 100% del tiempo, o poco menos, (en algunas ocasiones se extrajo un diver fijo por unos días para realizar pruebas comparativas con los divers que se intentaron rehabilitar, eso explica los vacíos de la Figura 4).
- **DM:** significa que la estación fue visitada por el diver móvil, es decir, quedó monitoreado entre el 25 y el 50 % del mes (depende de la cantidad de días que haya estado el diver).
- **MM:** significa que se realizaron visitas en la que se realizaron mediciones manuales en la estación.
- **N:** significa que no se tienen datos automáticos ni manuales por el periodo en cuestión.

Tabla 2. Funcionamiento REMAS durante el año 2024.

Fuente: elaboración propia

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Est-01 Jardín Botánico - U. de Caldas	DF	DF	DF	DF	DF	DF	DF	DF	DF	DF	DF	DF
Est-02 Velódromo - U. de Caldas	MM	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Est-03 Separador Avenida Paralela	MM	MM	MM	DM	MM	DM	MM	MM	N	MM	MM	MM
Est-04 Parque de La Estrella	MM	MM	DM	DM	MM	DM	MM	MM	N	MM	MM	MM
Est-05 Auditorio K - U. Nacional	MM	DM	MM	MM	MM	DM	MM	MM	N	MM	MM	MM
Est-06 Patinódromo	MM	MM	DM	DM	DM	MM	MM	DF	DF	DF	MM	MM
Pal-01 Conexión Palermo - Fátima	MM	MM	MM	MM	DM	MM	MM	MM	N	MM	MM	MM
Pal-02 C.C. Rogelio Salmona - U. Caldas	DF	MM	MM	DF	DF	DF	DF	DF	DF	DF	DF	DF
Pal-03 Parque de las Garza	MM	DM	DM	DM	DM	MM	DM	MM	N	MM	MM	DF
Pal-04 Cancha de la Italia	MM	MM	DM	MM	MM	MM	DM	MM	N	MM	DF	MM
Pal-05 CAI de Palermo	DF	DF	DF	DF	DF	DF	DF	DF	DF	DF	DF	DF
Pal-06 Escuela de Enfermería	MM	MM	DF	MM	MM	MM	DM	MM	N	MM	MM	MM

(Uso de colores para facilitar la visualización)

La razón por la que la estación Est – 02 (Velódromo), no tiene datos, es porque a finales de 2023 los encargados del mantenimiento general de la zona, realizaron una nivelación del terreno, no tuvieron precaución con la estación y la sepultaron bajo una gruesa capa de tierra, la solución no es quitarle la tierra de encima únicamente, porque en la primera lluvia se formaría un charco allí, hay que hacer una caja en concreto, que quede por encima del nivel del suelo unos centímetros, para que la tapa de la estación esté visible en todo momento y no se inunde fácilmente.

En septiembre de 2024 la sonda que se utiliza para medir la profundidad a la que se encuentra el nivel freático, se dañó, entonces durante ese mes no fue posible medir manualmente, hasta que se encontró un taller que reparara la sonda.

2 Datos registrados 2024

A continuación, se presenta en forma gráfica la fluctuación del nivel freático medio diario registrado en las estaciones que tuvieron Diver fijo a lo largo del 2024, en comparación con la precipitación diaria registrada por la estación Posgrados (Palogrande) (ver Figura 4). Posteriormente, se presenta un análisis estadístico descriptivo de los datos, es decir, medidas de tendencia central y de dispersión para entender la forma en que se distribuye el NAF, un mapa con la interpolación de los niveles freáticos medios por estación y finalmente unos transectos que facilitan la interpretación de los datos.

2.1 Estaciones ubicadas en el Barrio la Estrella

En la Figura 4 se presenta la variación del promedio diario del NAF en la estación del Jardín Botánico y la lluvia diaria registrada. Se observa que después de los episodios de lluvia de gran magnitud hay un incremento rápido del NAF y este se demora varias semanas en estabilizarse. Se observa un valor medio de 2089.32 m y valores mínimos de 2088.65 en marzo y septiembre de 2024 y valores máximos de 2090.09 en Julio y noviembre, lo cual concuerda con el comportamiento bimodal del clima en la región. El rango de fluctuación del NAF medio diario a lo largo del año para esta estación fue de 144 cm.

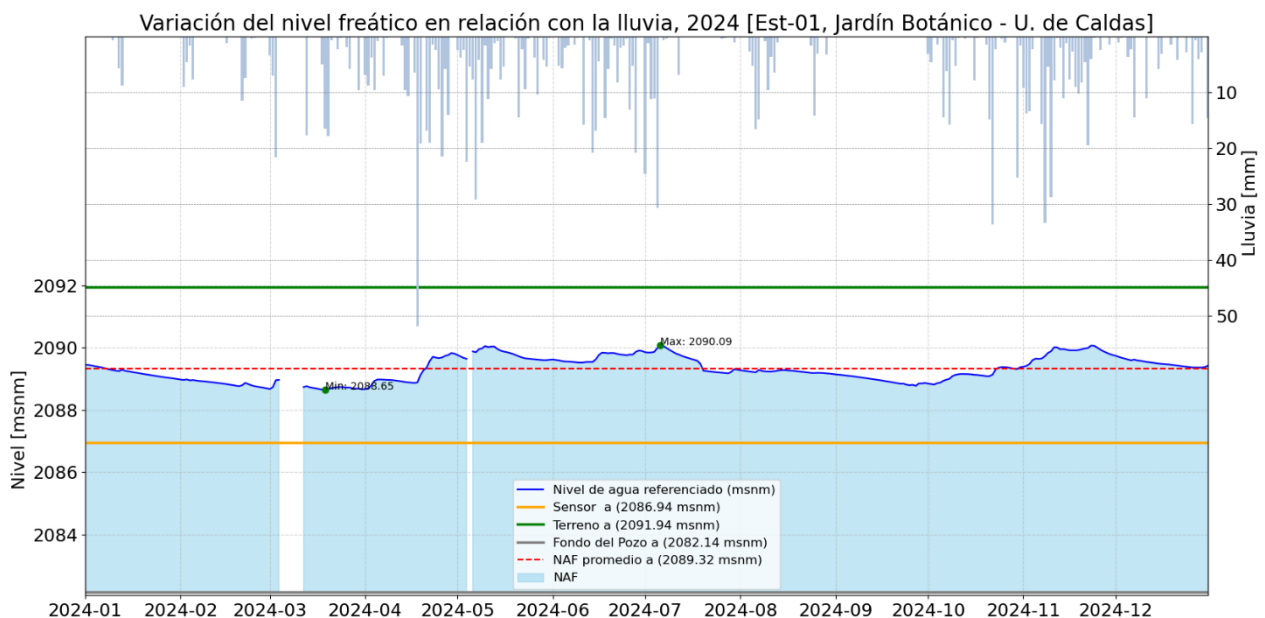


Figura 4. Variación del Nivel medio diario de agua freática de la estación Est-01 (Jardín botánico) en comparación con la lluvia diaria, durante el 2024. Fuente: elaboración propia

Comparando el comportamiento del NAF durante el 2024 de esta estación, con el de los últimos años, se observa que la media fue igual a la del 2023 y ambas fueron significativamente menores a la del 2022, y el rango de fluctuación fue mucho menor al de otros años (**Tabla 3**).

Tabla 3. Comparación de los niveles freáticos: máximos, medios, y mínimos, de la estación Est-01, Jardín Botánico - U. de Caldas, con respecto al año 2022 y 2023. Fuente: elaboración propia

Est-01, Jardín Botánico - U. de Caldas			
Año	Mínimo	Promedio	Máximo
2022	2089.31	2089.61	2089.96
2023	2088.30	2089.32	2090.54
2024	2088.62	2089.32	2090.10

(Verde oscuro es el mayor valor de la columna y blanco es el menor valor)

En la Figura 6 se compara el NAF medio mensual de dicha estación con las lluvias registradas en Posgrados. Allí se observa que el NAF no se estabiliza tan rápido, pues la lluvia de julio fue muy similar en magnitud a la de agosto, sin embargo, el NAF no fue constante, ya que disminuyó bastante porque estaba drenando el exceso de saturación generado entre abril y junio.

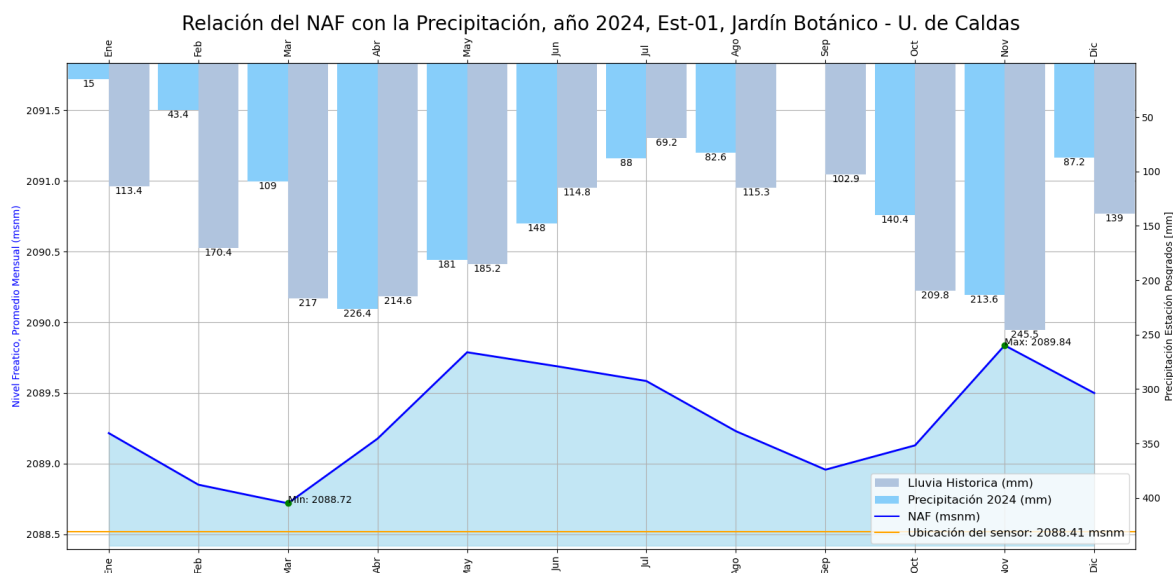


Figura 5. NAF promedio mensual de la estación Est - 01, Jardín Botánico - U. de Caldas, con respecto a la precipitación acumulada registrada en la estación Posgrados. Fuente: elaboración propia

En la Figura 6 se puede ver que el comportamiento de las demás estaciones es similar al de la estación Est – 01.

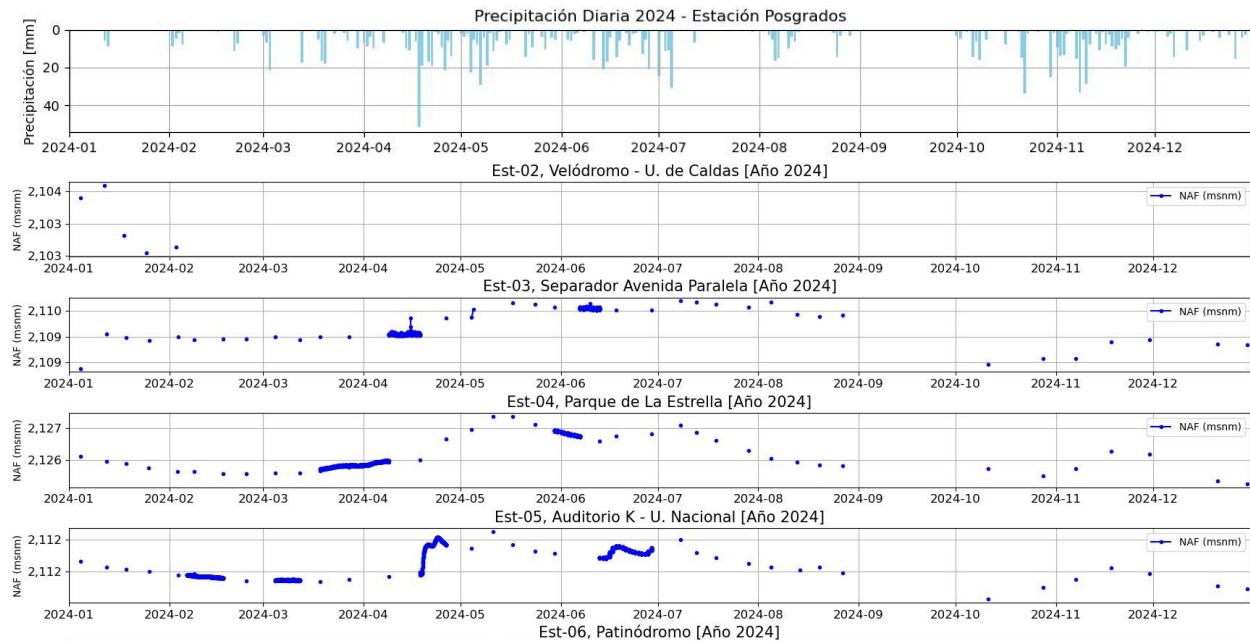


Figura 6. NAF de las estaciones del barrio La Estrella a partir de mediciones manuales y del Diver móvil, en comparación con la precipitación diaria registrada en la estación Posgrados.

Fuente: elaboración propia

2.2 Estaciones ubicadas en el Barrio Palermo

En la Figura 7 se presenta la variación del promedio diario del NAF en la estación Pal-02 (C.C. Rogelio Salmona - U. de Caldas) y la lluvia diaria registrada. A diferencia de las otras estaciones esta es más estable, pues su rango de fluctuación fue de solo 114 cm. En la gráfica se puede apreciar un valor medio de 2070.75 m, mínimos de 2070.51 durante septiembre de 2024 y valores máximos de 2071.65 en mayo, julio y noviembre.

En la Figura 8 se presenta la variación del promedio diario del nivel de agua freática en la estación del CAI de Palermo y la lluvia diaria registrada. Se observa que después de los episodios de lluvia de gran magnitud hay un incremento rápido del NAF y este se demora menos semanas en estabilizarse que las estaciones de La Estrella. Se observa un valor medio de 2089.66 m y valores mínimos de 2088.95 en febrero, marzo y septiembre de 2024 y valores máximos de 2091.07 en mayo, julio y noviembre, lo cual concuerda con el

comportamiento bimodal del clima en la región. El rango de fluctuación del NAF medio diario a lo largo del año para esta estación fue de 212 cm.

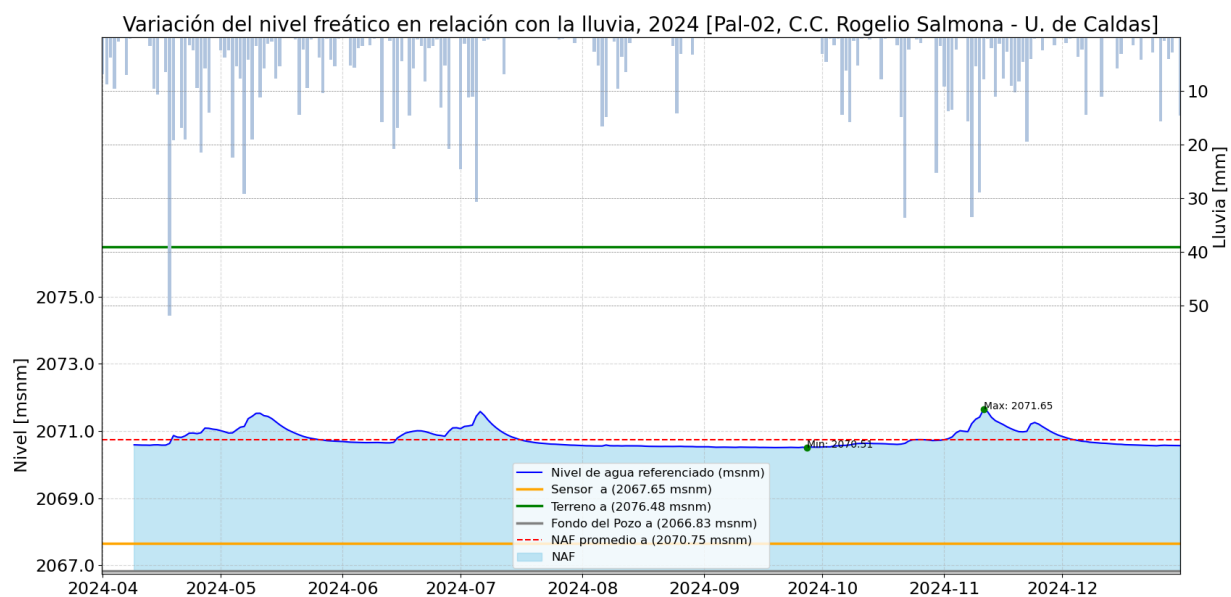


Figura 7. Variación del Nivel medio diario de agua freática de la estación Pal-02 (C.C. Rogelio Salmona) - U. de Caldas, en comparación con la lluvia diaria, durante el 2024.
Fuente: elaboración propia

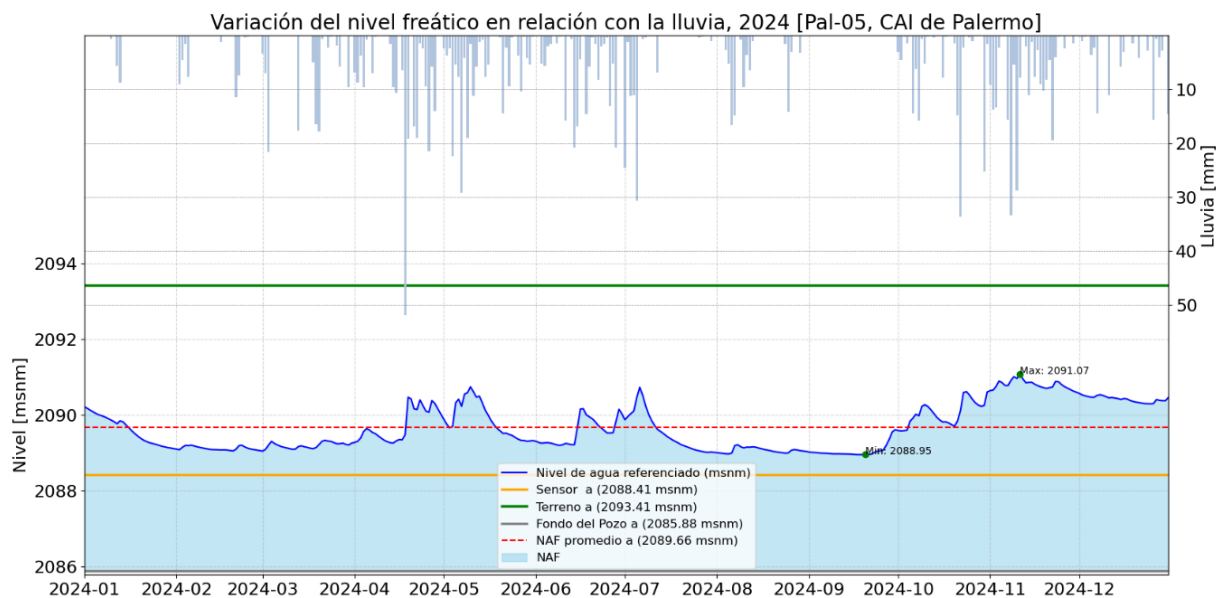


Figura 8. Variación del Nivel medio diario de agua freática de la estación Pal-05 (CAI-Palermo) en comparación con la lluvia diaria, durante el 2024.
Fuente: elaboración propia

Comparando el comportamiento del NAF durante el 2024 de las estaciones de Palermo, con el comportamiento de los últimos años, se observa que la media del 2024 fue 14 cm mayor a la del 2023 en la estación Pal-02, mientras que en la estación Pal-05 la media ha disminuido cada año (Tabla 4).

Tabla 4. Comparación de los niveles freáticos: máximos, medios, y mínimos, de la estación Pal – 02 (C.C. Rogelio Salmona - U. de Caldas) y PAL – 05 (CAI de Palermo), con respecto al año 2022 y 2023. Fuente: Elaboración propia

Estación	Pal-02, C.C. Rogelio Salmona - U. de Caldas			Pal-05, CAI de Palermo		
Año	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo
2022	ND	ND	ND	2089.55	2090.11	2091.01
2023	2070.49	2070.61	2071.28	2088.91	2089.80	2091.03
2024	2070.49	2070.75	2071.69	2088.94	2089.66	2091.10

(Verde oscuro es el mayor valor de la columna y blanco es el menor valor)

En la Figura 9 se compara el NAF medio mensual de la estación Pal-02 con las lluvias registradas acumuladas de la estación Posgrados. Allí también se observa que el NAF no se estabiliza tan rápido, a pesar de que la lluvia de julio fue prácticamente la misma que la de agosto, el NAF no fue constante, ya que disminuyó bastante probablemente porque estaba drenando el exceso de saturación generado entre abril y junio, pero entre agosto y septiembre el NAF si fue casi constante. La Figura 10 muestra lo mismo pero para la estación Pal – 05, CAI de Palermo.

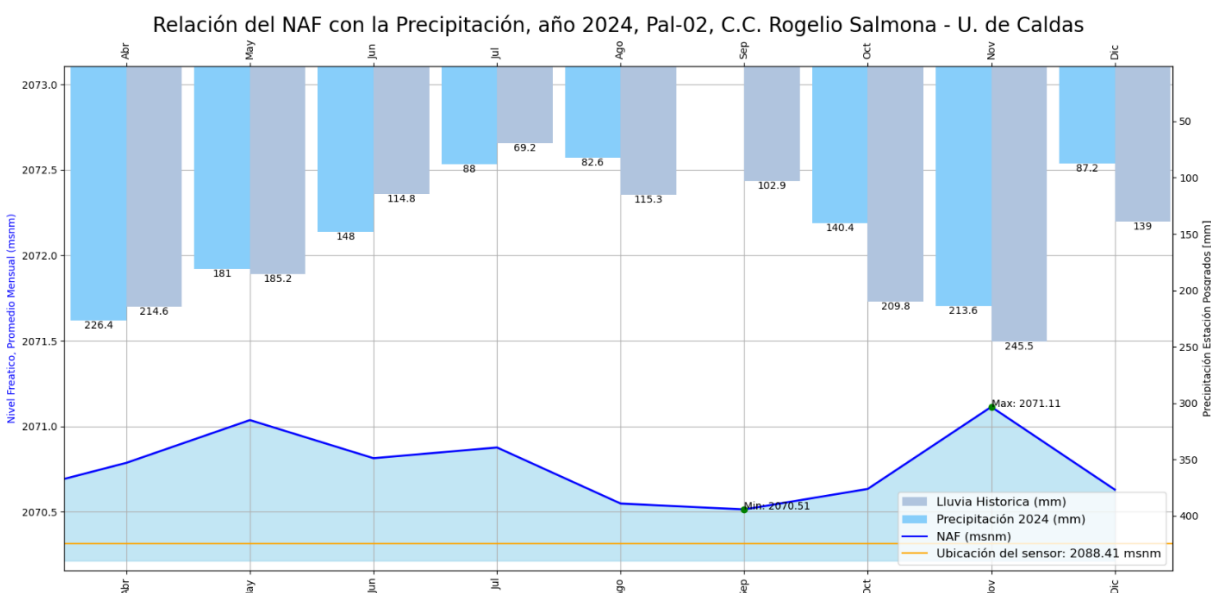


Figura 9. NAF promedio mensual de la estación Pal - 02, C.C. Rogelio Salmona - U. de Caldas, con respecto a la precipitación acumulada registrada en la estación Posgrados.

Fuente: elaboración propia

En la Figura 11 se puede ver el comportamiento de las demás estaciones, y se observa que es similar al de la estación Pal – 02 y Pal – 05.

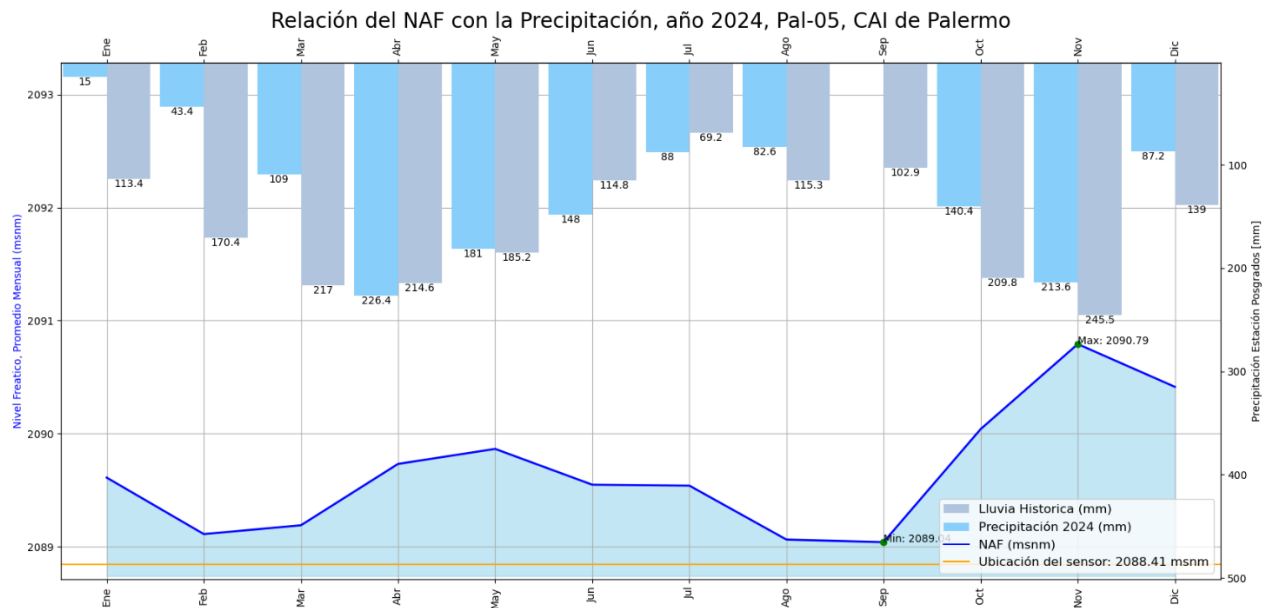


Figura 10. NAF promedio mensual de la estación Pal-05, CAI de Palermo, con respecto a la precipitación acumulada registrada en la estación Posgrados.

Fuente: elaboración propia

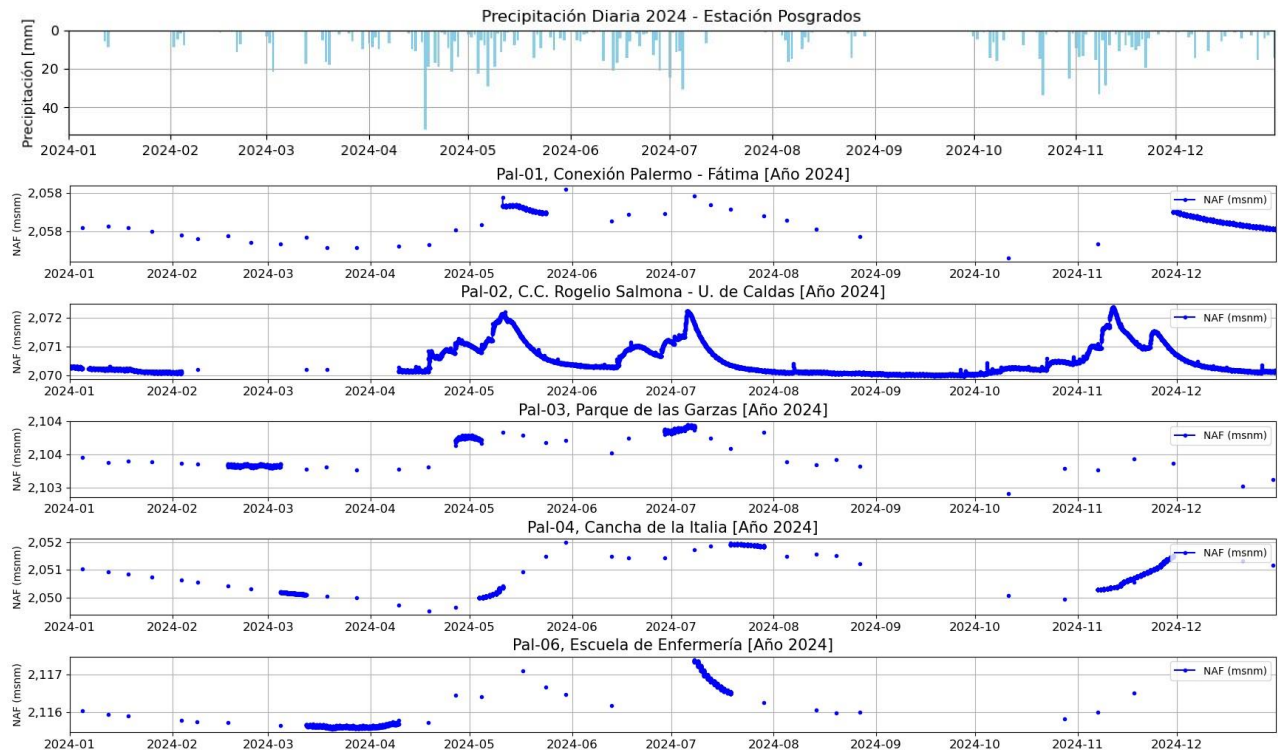


Figura 11. NAF de las estaciones del barrio Palermo a partir de mediciones manuales y del Diver móvil, en comparación con la precipitación diaria registrada en la estación Posgrados.

Fuente: elaboración propia

2.3 Estadísticas sobre el comportamiento de los niveles de agua freáticos

En la Tabla 5 se pueden observar estadísticas del NAF y en la Tabla 6 estadísticas de la temperatura. Las estadísticas incluyen el rango de fluctuación, el valor medio, máximo, mínimo, percentiles, cantidad de datos registrados y la desviación estándar de estos. La temperatura promedio del 2024 del agua freática registrada en la red es de 20.20 °C. Esto es 0.07°C más a la media del año pasado.

Tabla 5. Estadísticas descriptivas del comportamiento del NAF (referenciado en msnm), 2024.
Fuente: Elaboración propia.

Estación	# de Datos	Media [msnm]	Desviación estándar [m]	Mínimo [msnm]	Percentil 25%	Percentil 50%	Percentil 75%	Máximo [msnm]	Rango de Fluctuación [m]
Est-01	17099	2089.32	0.39	2088.62	2088.97	2089.27	2089.65	2090.10	1.48
Est-02	5	2103.40	0.09	2103.31	2103.33	2103.36	2103.48	2103.52	0.21
Est-03	803	2109.37	0.13	2108.94	2109.27	2109.28	2109.52	2109.60	0.66
Est-04	1432	2126.55	0.22	2126.13	2126.41	2126.42	2126.87	2127.19	1.06
Est-05	2096	2112.14	0.23	2111.56	2111.90	2112.21	2112.35	2112.63	1.07
Est-06	4638	2126.27	0.17	2125.88	2126.14	2126.24	2126.39	2126.89	1.01
Pal-01	2166	2058.17	0.10	2057.65	2058.08	2058.16	2058.25	2058.55	0.90
Pal-02	14324	2070.75	0.26	2070.49	2070.56	2070.63	2070.91	2071.69	1.20
Pal-03	1622	2103.58	0.25	2102.91	2103.33	2103.71	2103.83	2103.95	1.04
Pal-04	2329	2050.80	0.67	2049.50	2050.18	2050.62	2051.37	2051.99	2.49
Pal-05	17566	2089.66	0.60	2088.94	2089.14	2089.46	2090.21	2091.10	2.16
Pal-06	1895	2116.48	0.29	2116.27	2116.30	2116.31	2116.77	2117.20	0.93

Tabla 6. Estadísticas descriptivas del comportamiento de la Temperatura del agua freática (en grados Celsius), 2024. Fuente: Elaboración propia.

Estación	# de Datos	Media [°C]	Desviación estándar [m]	Mínimo [°C]	Percentil 25%	Percentil 50%	Percentil 75%	Máximo [°C]	Rango de Fluctuación
Est-01	17099	19.46	0.18	18.85	19.36	19.47	19.52	20.46	1.61
Est-03	765	19.20	0.05	19.15	19.18	19.21	19.22	20.47	1.32
Est-04	1394	19.38	0.10	19.29	19.32	19.33	19.50	19.63	0.34
Est-05	2058	20.26	0.06	20.16	20.19	20.27	20.33	20.40	0.24
Est-06	4608	20.90	0.06	20.66	20.90	20.91	20.93	21.15	0.49
Pal-01	2133	19.89	0.08	19.75	19.78	19.93	19.95	20.01	0.27
Pal-02	14317	19.36	0.18	18.87	19.29	19.41	19.49	19.85	0.98
Pal-03	1584	19.91	0.15	19.75	19.77	19.90	20.10	20.17	0.42
Pal-04	2292	20.33	0.02	20.29	20.31	20.32	20.34	20.97	0.67
Pal-05	17565	21.69	0.29	21.16	21.39	21.79	21.88	22.18	1.01
Pal-06	1869	19.36	0.02	19.32	19.34	19.36	19.37	19.40	0.08

2.4 Mapa de los niveles interpolados y Transectos.

En busca de facilitar la comprensión y correcta interpretación de los datos de NAF, a continuación, se presenta una interpolación IDW de los valores medios del nivel freático registrados durante el 2024 por barrio, ver Figura 12 y Figura 13.

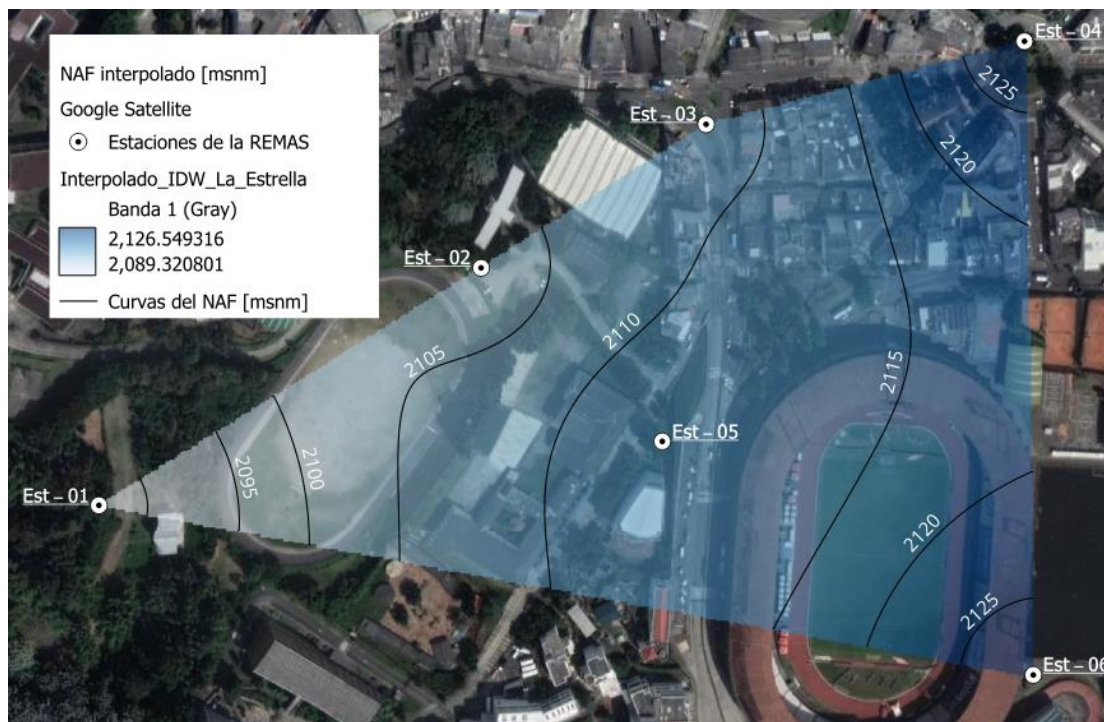


Figura 12. Mapa de niveles freáticos medios del 2024 interpolados para el barrio La Estrella.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 13. Mapa de niveles freáticos medios del 2024 interpolados para el barrio Palermo.

Fuente: Elaboración Propia

Observando las curvas de nivel, del nivel freático, se puede observar la dirección del flujo (el flujo es perpendicular a las curvas de nivel).

Los transectos que se presentan en la Figura 14 y Figura 15 se construyeron obteniendo el promedio de todos los datos registrados durante el 2024 por estación, esta es una buena aproximación del comportamiento del nivel freático durante el año, debido a que las fluctuaciones del nivel freático no son tan altas en la mayoría de estaciones (ver Tabla 5).

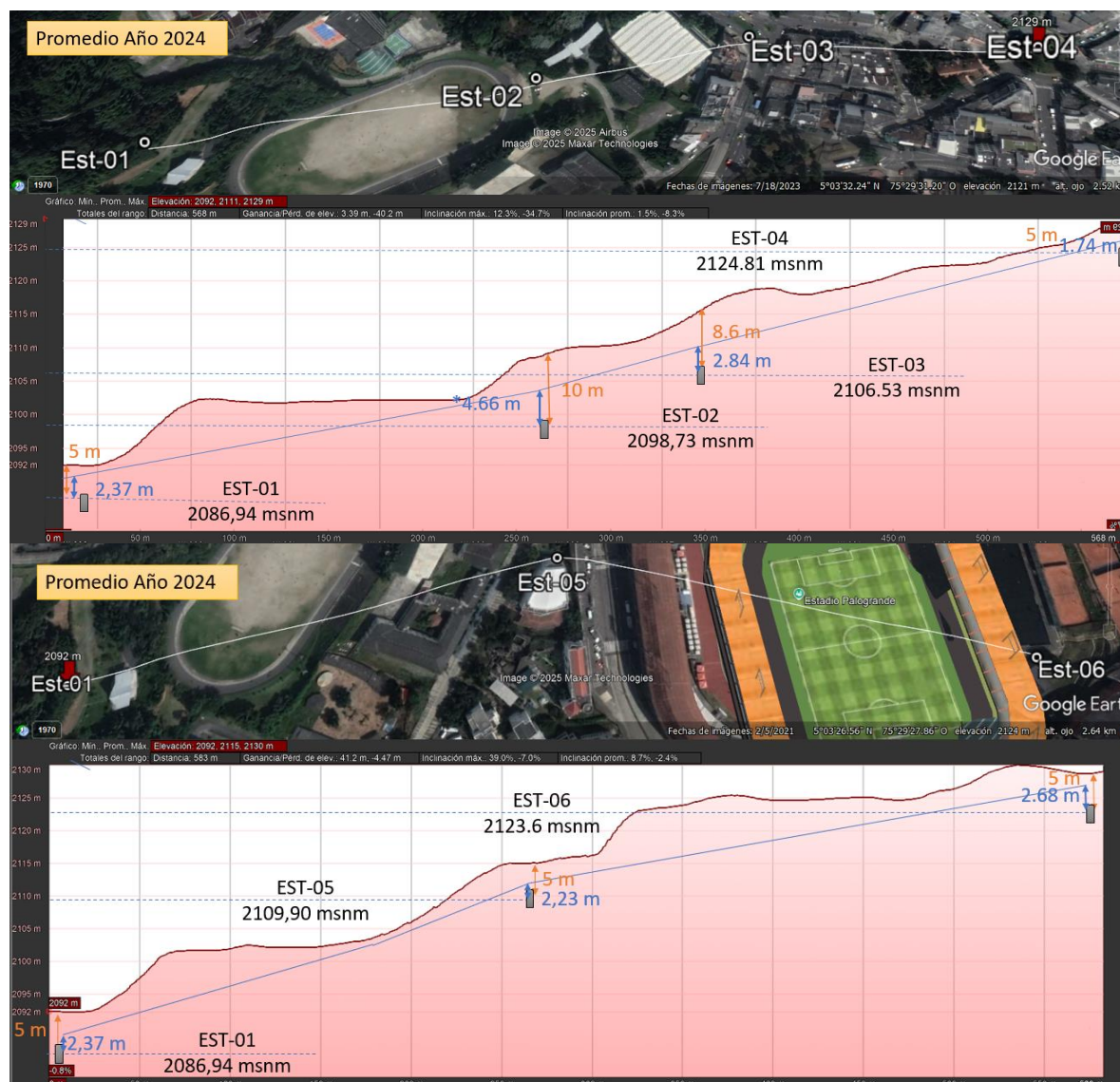


Figura 14. Transecto promedio anual del 2024 del NAF en el barrio la Estrella.

Fuente: Elaboración propia

Es importante mencionar que el dato de la Est-02 no es representativo porque la estación solo estuvo operativa durante un mes. En las figuras mencionadas los rectángulos grises

(qué son atravesados por las líneas punteadas azules) son una representación del sensor, a partir de este se calcula la columna de agua, y para efectos prácticos es este boletín se ha hecho alusión a esa lámina en m.s.n.m.

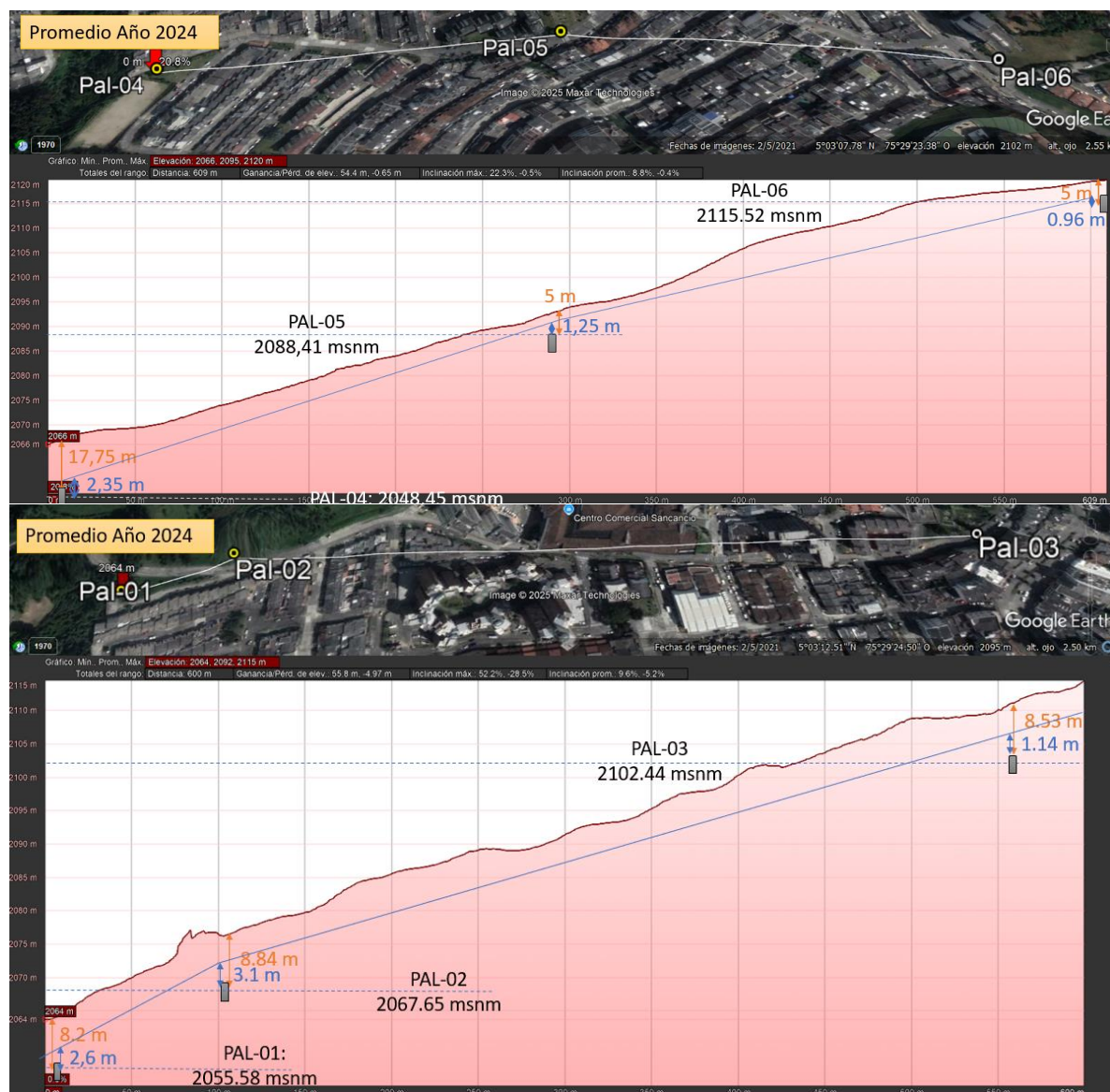


Figura 15. Transecto promedio anual del 2024 del NAF en el Barrio Palermo.
Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 7 se presenta el NAF promedio de la Estrella por trimestre hidrológico. El trimestre SON presentó NAF inferiores a la media siendo septiembre el que tuvo los niveles más bajos y el trimestre JJA el que tuvo el promedio ampliamente mayor, en casi todas las estaciones. En Palermo el comportamiento fue levemente distinto, fue un poco más diverso porque la mitad de las estaciones presentaron los mayores niveles en el trimestre MAM y

la otra mitad en el trimestre JJA y a diferencia de La Estrella, estos presentaron menores niveles en el trimestre DEF que en el trimestre SON (ver (Verde oscuro es el mayor valor de la columna y blanco es el menor valor)

Tabla 8).

Tabla 7. Promedios del nivel freático por trimestre hidrológico. De las estaciones del Barrio La Estrella. Fuente: Elaboración propia

Trimestre	Est - 01	Est - 02	Est - 03	Est - 04	Est - 05	Est - 06
Dic 2023 - Ene 2024 - Feb 2024	2089.18	2103.49*	2109.13	2126.84	2111.92	2126.40
Mar 2024 - Abr 2024 - May 2024	2089.26		2109.28	2126.46	2112.13	2126.49
Jun 2024 - Jul 2024 - Ago 2024	2089.50		2109.53	2126.90	2112.30	2126.23
Sep 2024 - Oct 2024 - Nov 2024	2089.30		2109.10	2126.44	2111.84	2126.24

(Verde oscuro es el mayor valor de la columna y blanco es el menor valor)

Tabla 8. Promedios del nivel freático por trimestre hidrológico. De las estaciones del Barrio La Estrella. Fuente: Elaboración propia

Trimestre	Pal - 01	Pal - 02	Pal - 03	Pal - 04	Pal - 05	Pal - 06
Dic 2023 - Ene 2024 - Feb 2024	2058.03	2070.61	2103.33	2051.18	2089.70	2116.45
Mar 2024 - Abr 2024 - May 2024	2058.29	2070.93	2103.61	2050.13	2089.59	2116.31
Jun 2024 - Jul 2024 - Ago 2024	2058.20	2070.75	2103.87	2051.88	2089.38	2116.92
Sep 2024 - Oct 2024 - Nov 2024	2058.17	2070.75	2103.25	2050.76	2089.95	2116.55

(Verde oscuro es el mayor valor de la columna y blanco es el menor valor)

En el año 2021, y en el 2022 también fue el trimestre DEF el que presentó los menores niveles freáticos.

3 Conclusiones

- Los mayores niveles freáticos se presentaron en mayo y noviembre (similar al 2022), correspondientes a la primera y segunda temporada de lluvias altas, y los meses con los menores niveles fueron febrero, y septiembre (igual que en 2022), como respuesta a las bajas lluvias de enero y el mismo septiembre.
- La dirección del flujo subterráneo en las estaciones de la red es similar a la topografía y converge a las quebradas locales sin fugas evidentes hacia otras cuencas.
- Una posible explicación al hecho de que la estación Est – 06 patinódromo haya presentado los mayores NAF (con amplia diferencia) en el trimestre MAM, y que se haya diferenciado de las demás del barrio en ese aspecto, puede ser porque la estación se encuentra aguas arriba, por lo tanto, le afecta principalmente lo que

ocurre en el sitio (en el corto plazo), mientras que las demás al encontrarse aguas abajo se tardan unos meses en recibir los efectos de temporadas húmedas ocurridas aguas arriba.

- El rango de fluctuación (RF) promedio de las estaciones de la red a lo largo del año fue de 1.27 m, siendo mucho más variables las estaciones del barrio Palermo (RF = 1.45 m) (pues la estrella tuvo un RF de 1.05 m), y siendo más fluctuantes las de aguas abajo.
- Antes de hacer análisis e interpretaciones de datos, se debe tener presente que los piezómetros tienen diferentes profundidades y los sensores se encuentran a diferentes elevaciones, se sugiere consultar los transectos del título 2.4 y las gráficas del título 2.
- Se observó una relación directamente proporcional entre la precipitación y los NAF, en algunas ocasiones con tiempos de tránsito de aproximadamente 3 semanas o inferiores dependiendo de la ubicación de la estación, y de la cantidad de saturación del suelo.
- En el primer trimestre del año se logró rehabilitar un diver, y a mediados del año 2 barómetros, gracias a eso en este momento hay cuatro diver y tres barómetros que están funcionando correctamente, estos equipos cuentan con más del 80 % de batería y con memorias disponibles de hasta 72000 datos por lo que se espera sigan funcionando correctamente durante varios años más.
- Cada año las estaciones que mayor fluctuación presentan son Pal – 05 y Pal – 04.
- El promedio anual de la estación Jardín Botánico se conservó exactamente igual al del 2023, en la estación CAI de Palermo disminuyó 14 cm, mientras que en la estación Pal -02 Rogelio Salmona aumentó 14 cm.
- Fue acertada la decisión de recorrer la red periódicamente tomando datos manualmente, y cambiando de lugar el diver, pues muchos de los análisis aquí presentados no hubieran sido posibles sin esos datos. Y seguramente serán muchos más los análisis que se realizarán en el futuro.