



Boletín
Ambiental

Fotografía: sonda
Fuente: propia

Instituto de Estudios Ambientales -IDEA- Sede Manizales

209 | noviembre de
2023

Actualización de la red de Estaciones de
Monitoreo de Aguas Subterráneas de la
zona urbana de Manizales-REMAS

IDEA
Instituto de Estudios Ambientales

Actualización de la red de Estaciones de Monitoreo de Aguas Subterráneas de la zona urbana de Manizales-REMAS

Daniel Botero Gómez

Estudiante de Ingeniería Civil

Operador de la red de Estaciones de Monitoreo de Agua Subterránea -REMAS- Administrada por el Sistema Integrado de Monitoreo Ambiental de Caldas SIMAC- Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

dboterog@unal.edu.co

Aldemir Vargas Eudor

Ingeniero Electrónico, MSc

Investigador del Grupo GAIA

Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales

avargase@unal.edu.co

Jeannette Zambrano Nájera Ingeniera Civil, M.Sc., Ph.D

Profesora Asociada Departamento de Ingeniería Civil Investigadora Instituto de Estudios Ambientales -IDEA- Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales

jdzambrana@unal.edu.co

1. Generalidades del agua subterránea en el mundo

Solo un 3,5 % del agua de la Tierra es dulce, y de esta, un 30 % se encuentra en el subsuelo, en pozos o acuíferos y, por supuesto, en las cuencas hidrográficas en forma de arroyos y ríos (García, 2019). Se estima que, el volumen de agua subterránea en el mundo es más de 30 veces mayor que el de todas las fuentes de aguas superficiales como lagos, ríos y arroyos juntos y, aunque el agua subterránea es una fuente abundante de agua dulce, representa menos del 1 % de toda el agua de la Tierra (Richter & D. Ho, 2022). Este volumen se estima puede abarcar un volumen total de 23 millones de kilómetros cúbicos, de los cuales, 0,35 millones de kilómetros cúbicos son de menos de 50 años y se ubican a 2 km bajo la superficie; esa cantidad es suficiente para aumentar el nivel del mar en 50 metros; estos volúmenes se encuentran, sobre todo, en regiones montañosas y tropicales y los depósitos más grandes están en la cuenca del Amazonas, el Congo, Indonesia y a lo largo de las fronteras occidentales de América del Norte y del Sur (Gleeson et al., 2016) ver Figura 1.

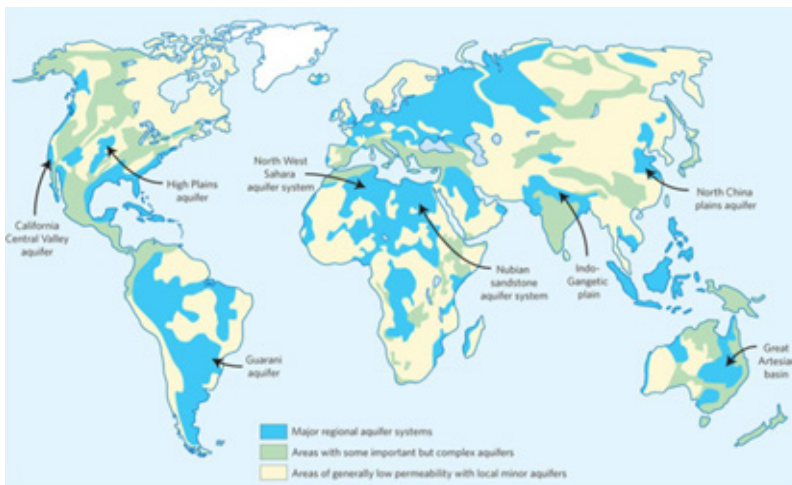


Figura 1. Distribución estimada del agua subterránea en el mundo
Fuente: (Taylor et al., 2013)

Los acuíferos se pueden clasificar según

1. Las características litológicas (Figura 2):

- **Detrítico:** acuíferos de rocas o sedimentos detríticos conformados por materiales como arenas, arcosas, areniscas, gravas, conglomerados, etc., muy permeables y zonas de materiales limosos y arcillosos poco permeables.
- **Fisurado y/o Cárstico:** acuíferos en rocas carbonatadas (calizas/dolomías) o bien, otro tipo de rocas que presenten diaclasado, fracturación y/o disolución. Poseen permeabilidad debida a grietas y fisuras, tanto de origen mecánico como de disolución.

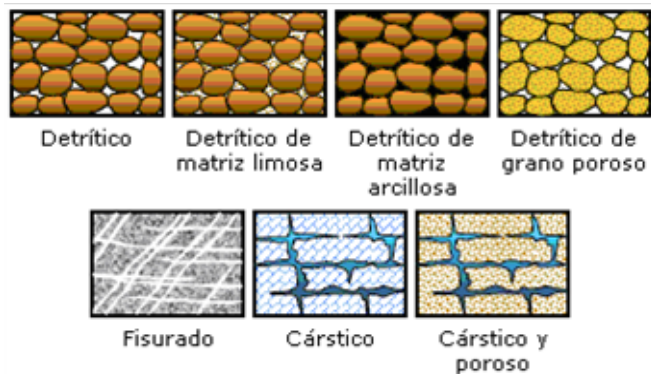


Figura 2. Tipos de acuíferos según las características litológicas. Fuente: (Hispagua, 2021)

En la REMAS monitoreamos el acuífero detrítico.

Las presiones hidrostáticas:

- **Libres:** también llamadas no confinadas o freáticas.

- **Confinadas:** hay capas impermeables por encima y por debajo del acuífero que confinan el agua.

En la REMAS monitoreamos la presiones hidrostáticas libres.

Los suelos por porosidad pueden almacenar agua y por permeabilidad pueden transmitirla; de acuerdo con esto, existen cuatro tipos diferentes de formaciones hidrogeológicas:

Tabla 1. Resumen de formaciones hidrogeológicas
Fuente: elaboración propia a partir de (Sánchez San Román, n.d.)

FORMACIÓN	Porosidad	ALMACENA	Permeabilidad	TRANSMITE	TIPO DE SUELO
ACUÍFERO	Alta o moderada	SÍ	Alta	SÍ	Arenas, gravas
ACUITARDO	Alta o moderada	SÍ	Baja	Más o menos	Arenas limosas, Arenisca
ACUICLUDO	Alta	SÍ	Baja o Nula	NO	Limos, Arcillas
ACUIFUGO	Nula o muy baja	NO	Nula	NO	Rx ígneas, Metamórficas

Una permeabilidad muy baja puede ser un problema si es para abastecimiento, pero puede ser adecuada para ciertos cultivos cuyas raíces son capaces de extraer el agua.

Las aguas subterráneas antiguas yacen a gran profundidad y extraerlas es imposible en muchos casos. Además, las aguas antiguas pueden ser más saladas que el agua del océano y en ocasiones contienen arsénico o uranio, muchos metales y otras sustancias químicas disueltas (Gleeson et al., 2016). El tratamiento de estas aguas puede llegar a ser muy costoso. Contaminantes comunes son nitratos, hierro, bromuro, bacterias etc., provenientes de diversas fuentes como pesticidas, lixiviación de vertederos, aguas residuales domésticas o industriales que se infiltraron contaminadas, salinización, etc. Se considera moderna una muestra de agua subterránea menor de 500 años y agua relativamente vieja si la edad es superior a los 5000 años (Rodríguez & Jiménez, 1986).

La edad del agua subterránea se determina, generalmente, utilizando métodos de datación de isótopos radiactivos como el tritio, el carbono 14, el argón 39, el criptón 81 (Figura 3). Estos métodos se basan en el hecho de que cada átomo radiactivo tiene “una vida media”. Para aguas jóvenes se usan trazadores como los CFC (clorofluorocarbonos) y el SF₆ (hexafluoruro de azufre).

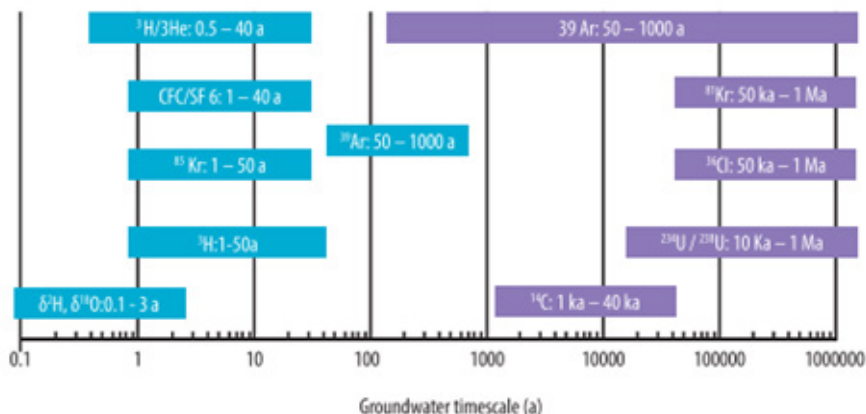


Figura 3. Trazadores isotópicos y químicos para estimar la edad del agua subterránea
Fuente: (Herrera, 2021)

Adicionalmente, el agua subterránea tiene mucho CO₂ que proviene de diversas fuentes, pero principalmente de la actividad biológica del suelo. Una muestra de agua subterránea es más ácida cerca de la zona de recarga, que cerca de la zona de descarga. En la zona de descarga está mineralizada.

Es importante el estudio de las aguas subterráneas porque las Naciones Unidas prevé que en el 2050 más de la mitad de la población sufrirá escasez de agua

(García, 2019). De manera que, se vienen utilizando las aguas subterráneas cada vez con mayor frecuencia. Los países que utilizan los mayores volúmenes de agua subterránea son, la India, Estados Unidos, Pakistán, China, Irán, Arabia Saudita, y México (Richter & D. Ho, 2022). Este uso incremental genera gran preocupación, como es expresado por Gleeson: "Estamos usando nuestros recursos de agua subterránea muy rápido, más rápido de lo que están siendo renovados" ya que solo un uno por ciento del agua subterránea hallada cerca de la superficie de la Tierra es renovable durante la vida de una persona (2015).

En EE. UU., por ejemplo, se perforan cerca de 400 000 pozos al año, y se extraen más de 120 billones de metros cúbicos al año, suministrando más del 70 % del abastecimiento público y de las industrias. Y en el mundo, tres de cada diez seres humanos (unos 2100 millones de personas) no disponen de acceso al agua potable en sus hogares; 6 de cada 10 no tienen un suministro limpio, potable y seguro (García, 2019, para National Geographic).

En Colombia, según el Estudio Nacional del Agua (ENA) 2018, aunque se han identificado 60 sistemas de acuíferos, el 71,7 % no son aprovechables debido a su conocimiento insuficiente. De hecho, aunque se reconoce que al menos el 75 % del territorio tiene condiciones favorables para el almacenamiento de aguas subterráneas, también hay "bajos niveles de conocimiento, preparación técnica y académica" al respecto, y un escaso trabajo articulado entre los niveles local, regional y nacional para generar información y soporte institucional que facilite una mejor gestión del recurso hídrico subterráneo. (WWF - World Wildlife Fund, 2021).

Se concluye entonces, que el monitoreo de la cantidad y calidad de las aguas subterráneas es muy importante, principalmente, para procesos de planificación y gestión de recursos hídricos, y también para otros estudios específicos como, por ejemplo, los asentamientos por desecación de estructuras construidas sobre suelos arcillosos, la estabilidad de una ladera o de una mina, el potencial del suelo para un tipo de cultivo, la prohibición o no del *fracking* en una

zona específica, comportamiento sísmico de una cuenca (las ondas S no atraviesan líquidos), entre otros.

1. Sobre el monitoreo del agua subterránea en Manizales

En Manizales tenemos una Red de Estaciones de Monitoreo del Agua Subterránea - REMAS -

1.1 Descripción de la red

La Red de Estaciones de Monitoreo del Agua Subterránea -REMAS- ha reportado información del nivel de aguas freáticas desde el 13 de agosto del 2015, momento en que fue creada como un proyecto piloto entre Corpocaldas y el Instituto de Estudios Ambientales - IDEA -, de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Su objetivo es monitorear los cambios en el nivel de las aguas subterráneas en los barrios Palermo y La Estrella en zonas construidas sobre rellenos hidráulicos. Manizales está sometida de manera frecuente a lluvias intensas que afectan la estabilidad de las laderas y generan un alto riesgo a sus habitantes ante procesos de deslizamiento de tierra. La REMAS tiene como fin obtener información constante acerca de cómo varía la capa freática del agua en el suelo y poder aprovecharla en la investigación hidrogeológica para aportar al conocimiento de las amenazas geotécnicas y hacer parte del diseño de sistemas de alerta temprana y la gestión del riesgo.

Actualmente, la REMAS cuenta con doce pozos de monitoreo (Figura 4, Figura 5, Figura 6), con profundidades entre 7.5 y 18 metros y algunos de estos están equipados con sensores sumergibles digitales (Figura 13) que miden presión y temperatura del agua, configurados para que tomen el dato cada 30 minutos y lo almacenen en la memoria.

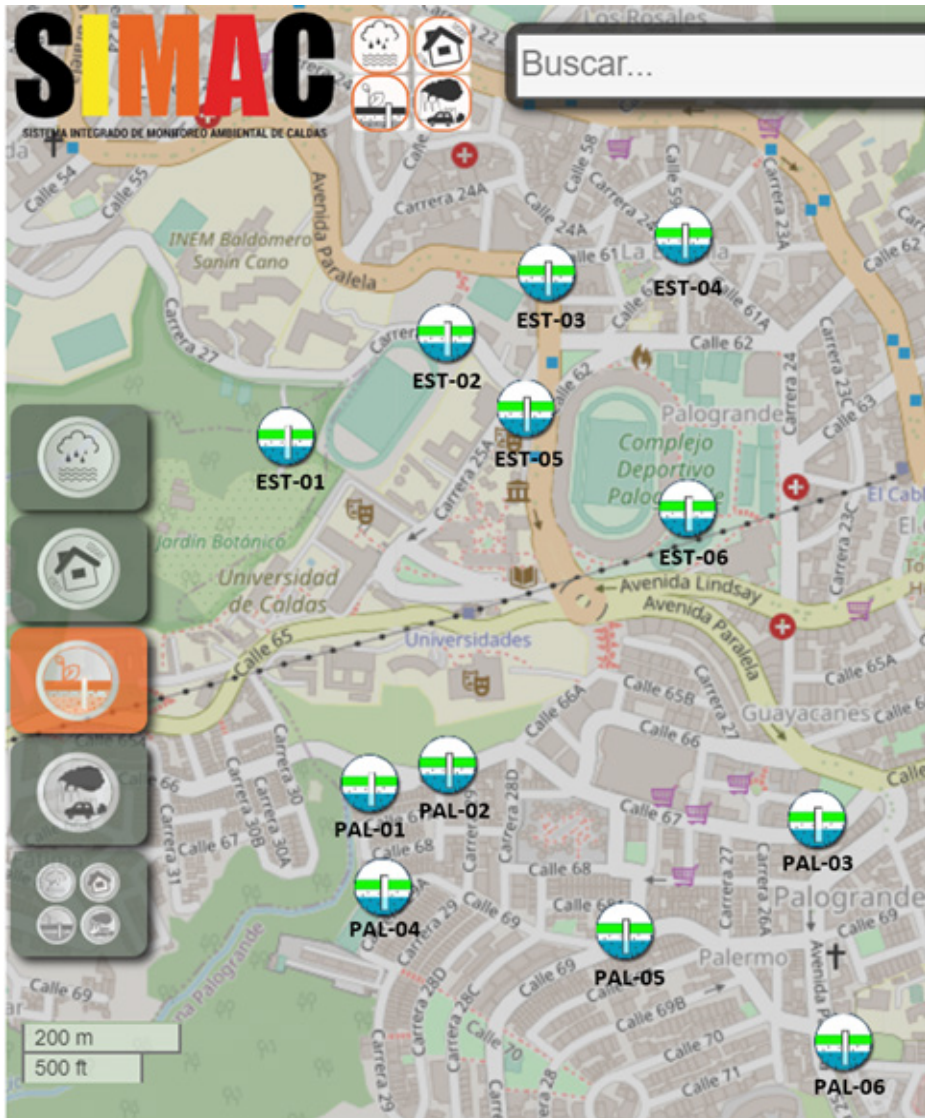


Figura 4. Ubicación de los pozos de monitoreo (piezómetros) de la REMAS
Fuente: (SIMAC & Universidad Nacional de Colombia, 2023)

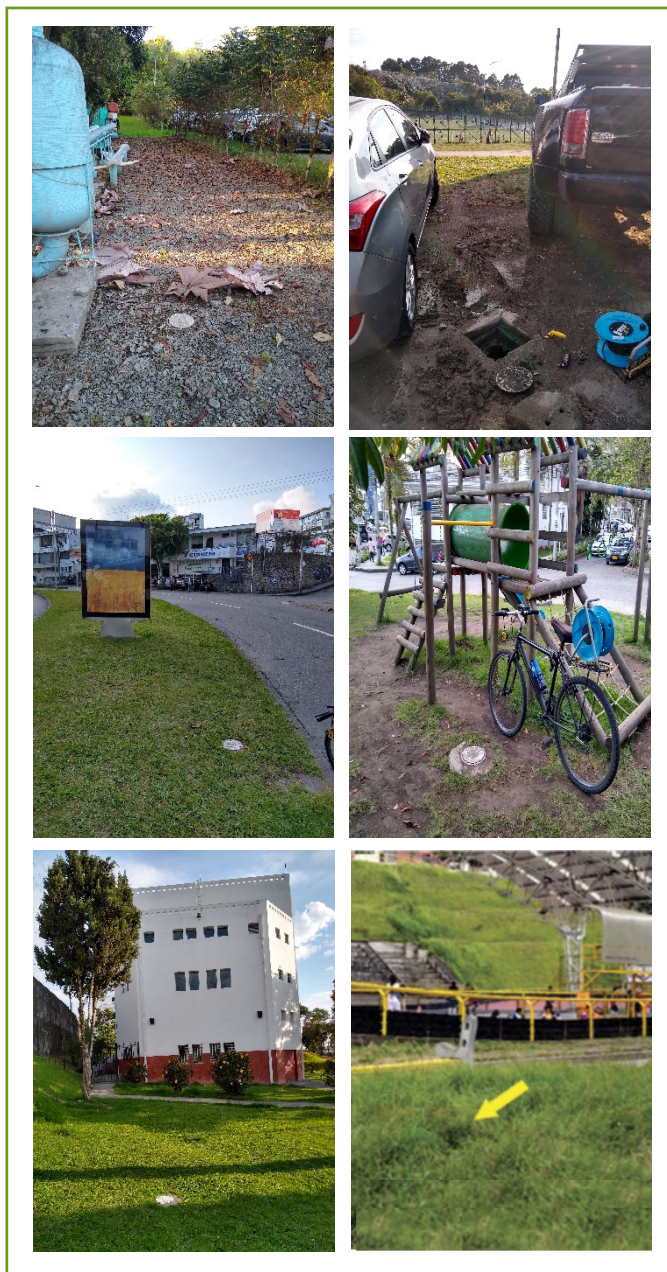


Figura 5. Estaciones del barrio La Estrella
Fuente: fotografías propias



Figura 6. Estaciones del barrio Palermo
Fuente: fotografías propias

Un piezómetro es una perforación de diámetro pequeño, que está revestida con tubería PVC (2") de arriba abajo, esta tiene ranuras que le permiten al agua fluir a través de él, en la parte inferior tiene una tubería especial perforada. Tiene un relleno exterior de gravilla y arena. Y sobre el material filtrante está sellado con arcilla y luego con un mortero hasta la superficie. En la Figura 7 se presentan dos diseños comunes de piezómetros para el monitoreo de niveles freáticos. Los piezómetros que no tienen sensor se monitorean de forma manual (Figura 8), con una sonda que suena cuando toca el agua (Figura 9), de esta manera se sabe a qué profundidad está el nivel freático. Este monitoreo se realiza cada 5 días.

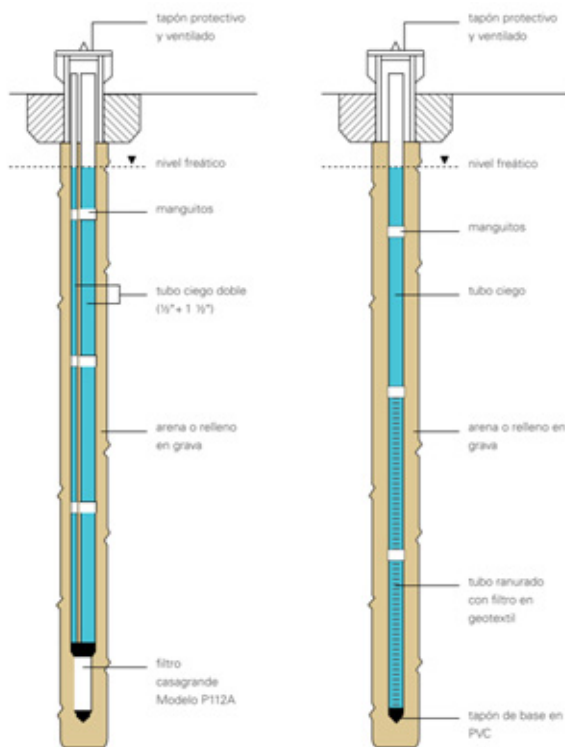


Figura 7. Diseños comunes de pozos de monitoreo de nivel freático

Fuente: (SISGEO, 2014)



Figura 8. Medición manual del nivel freático (izquierda). Descarga de datos almacenados en los sensores (derecha). Fuente: propia



Figura 9. Sonda: suena y alumbra cuando toca el agua. Fuente: propia

2.2 ¿Dónde encontrar y cómo interpretar los datos?

La columna de agua por encima del diver (CA en Figura 10) es el resultado de tomar la presión absoluta que toma el diver y restarle la presión atmosférica que toma el barómetro exactamente al mismo tiempo, ambos en cmH₂O. A este proceso se le llama compensación barométrica, se puede hacer manualmente o con el software propio de los fabricantes.

La configuración de cada una de las estaciones se encuentra descrita en la hoja de vida, la cual se puede consultar en el geoportal del SIMAC: <https://cdiac.manizales.unal.edu.co/geoportal-simac/>, y los datos medidos en el Centro de Datos e Indicadores de Caldas CDIAIC (<https://cdiac.manizales.unal.edu.co/indicadores/public/SearchGroundWater>). La Figura 10 muestra la configuración de la estación Pal - 05 (CAI de Palermo).

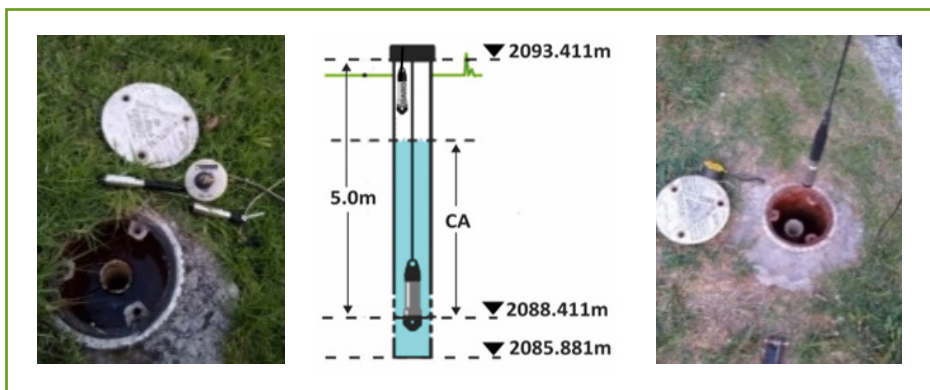


Figura 10. Configuración de la estación Palermo - 05 (CAI de Palermo)

Fuente: REMAS

Anualmente se hace un informe técnico con gráficas y estadísticas sobre la forma en que varía el NAF en los pozos de la red, y se relaciona este con la precipitación registrada en las estaciones meteorológicas cercanas; este informe se puede descargar desde <https://cdiac.manizales.unal.edu.co/publicaciones.php>

2.3 Comportamiento del nivel freático con relación a la lluvia en el primer semestre del año 2023

Hay varias metodologías para relacionar el nivel freático con la lluvia, una podría ser tomando pequeños intervalos de tiempo (con la mejor resolución de datos posible) y calculando coeficientes de correlación lo que permitiría estimar el tiempo que se tarda la infiltración. En general, para estudiar el flujo del agua subterránea se pueden extraer muestras de suelo a diferentes profundidades y, con ensayos de laboratorio o pruebas en campo, determinar la transmisividad, permeabilidad, porosidad, límite líquido, entre otros; con los niveles medidos en los piezómetros también se pueden realizar mapas de dirección del flujo (trazando líneas perpendiculares a las equipotenciales).

El monitoreo de los niveles freáticos que estudia la red es relativamente simple porque se trata de una formación local (que depende directamente de la lluvia en el sector. Por ejemplo, para la estación de La Estrella (Est-05 - Auditorio K) y la estación de Palermo (Pal-05 - CAI) -ambas tienen en común que están en la zona intermedia con respecto a las demás del mismo barrio- la variación del nivel freático diario, en comparación con las lluvias diarias se presenta en la Figura 11 y Figura 12. Los datos de precipitación se tomaron de la estación meteorológica de Posgrados.

De acuerdo con la Figura 11 en la estación de La Estrella se puede observar un nivel freático con poca variación (más o menos a dos metros de profundidad), de donde se deduce que, la permeabilidad del suelo en los alrededores de esta estación es moderada porque el nivel freático no se incrementa de manera instantánea con la lluvia, sino que, este comienza a crecer gradualmente alcanzando su máximo en las próximas 24 - 48 horas, también se observa que el agua queda retenida y disminuye lentamente.



Figura 11. Variación del Nivel de Aguas Freáticas en la estación del barrio La Estrella Est-05 (Auditorio K UNAL), 2023-1. Fuente: propia

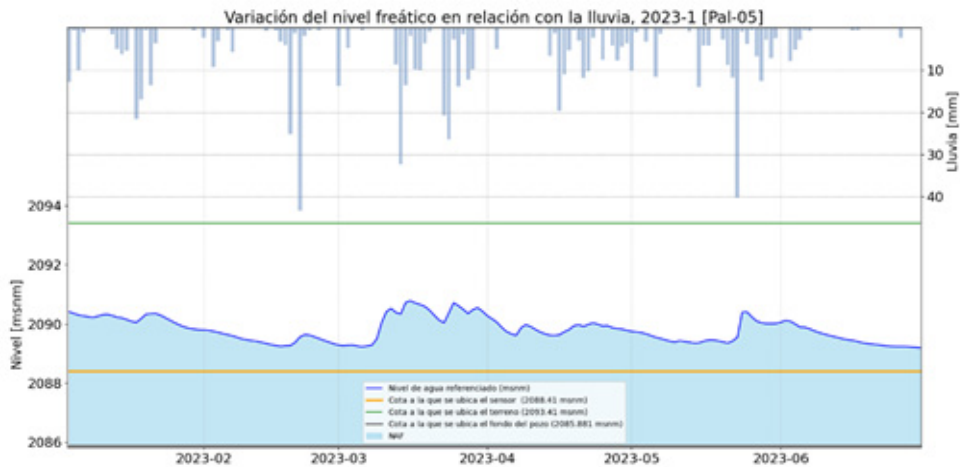


Figura 12. Variación del NAF en la estación del barrio Palermo Pal-05 (CAI de Palermo) 2023-1. Fuente: propia

En la Figura 12 se observa que el NAF en la estación de Palermo es más variable y se encuentra a una profundidad de 3 metros aproximadamente; en tiempos secos el NAF disminuye con rapidez, igualmente, después de una lluvia el NAF crece alcanzando valores máximos en poco menos de 24 horas.

En ambos barrios se puede observar que hubo una disminución del nivel freático durante enero y febrero, a mediados de marzo hubo un aumento significativo, durante abril y mayo disminuyó, y a principios de junio estuvo alto, pero después continuó bajando.

En las estadísticas presentadas a continuación, se observa la cantidad de datos registrados, el promedio, la desviación estándar, el mínimo, los cuartiles y el máximo; los valores están en metros columna de agua. En la Tabla 2 se puede observar que el comportamiento del nivel freático cambia bastante de un barrio a otro, mientras que, el rango de fluctuación en la estación de La Estrella fue de 55 cm en Palermo fue de 1.63 m.

Tabla 2. Estadísticas sobre el NAF durante el 2023-1

Estadística	EST 05	PAL 05
# de datos	8540.00	8412.00
NAF Promedio (m)	2.32	1.40
Desviación estándar (m)	0.13	0.42
Mínimo (m)	2.11	0.77
25 %	2.20	1.02
50 %	2.32	1.36
75 %	2.40	1.71
Máximo	2.66	2.40

3. Desarrollo alternativo de divers

3.1 Aspectos generales

Un diver (o levelogger) consta de un sensor de presión, un sensor de temperatura, una memoria interna para almacenar las mediciones y una batería no recargable. Cuando un Diver no está sumergido en agua, mide la presión atmosférica de manera similar al barómetro (llamado Baro-Diver). En la Figura 13 se pueden observar estos equipos. La compensación barométrica para determinar la columna de agua (o nivel freático, según un nivel de referencia) se explica en la sección 2.2.



Figura 13. El diver va sumergido y se requiere uno por estación; el barómetro no va sumergido y es suficiente uno por barrio. Fuente: propia

Los valores corregidos se pueden relacionar con un punto de referencia específico, como la parte superior del pozo de monitoreo, o con un nivel de referencia vertical, como el Nivel del Agua del Datum Vertical de Norteamérica de 1988 (NAVD 88), según sea necesario.

3.2 Desarrollo

El Diver se aloja en un cilindro protector equipado con una argolla de suspensión en su parte superior. La argolla de suspensión es removible y está diseñada para facilitar la instalación de este en un pozo de monitoreo, al mismo tiempo que protege el conector óptico del dispositivo. Dentro del cilindro, todos los componentes electrónicos, los sensores y la batería están completamente sellados de forma hermética, lo que impide su acceso o apertura. Es crucial tener en mente que, con el tiempo, el dispositivo dejará de registrar mediciones, dado que la batería alcanzará inevitablemente el final de su ciclo de vida. Como resultado, aunque los componentes electrónicos y otros elementos estén en buen estado, el dispositivo se tornará inoperable.

Frente a esta situación se ha explorado la posibilidad de desarrollar una carcasa análoga a la del Diver, con la finalidad de albergar la sección de sensores necesaria para capturar las variables de interés. Esta propuesta innovadora plantea una característica distintiva: además de contar con un sellado hermético, se diseñaría la carcasa de tal forma que sea desmontable, permitiendo así la sustitución de la batería una vez que llegue al final de su vida útil. Esto constituye una solución a un desafío importante que se ha identificado en el diseño original del dispositivo, donde la imposibilidad de cambiar la batería después de agotada limita significativamente la duración y usabilidad a largo plazo del equipo. Con esta mejora, no solo se extiende la vida útil del dispositivo, sino que también se facilita su mantenimiento y reduce la necesidad de reemplazar todo el equipo en caso de fallo de la batería.

En el proceso de desarrollo se han evaluado diversas alternativas para lograr la combinación ideal de hermeticidad y facilidad de mantenimiento. Una de las soluciones que hemos explorado ha sido la fabricación de la carcasa mediante tecnología de impresión 3D. Esta técnica permite la creación de carcasas personalizadas y precisas en diferentes materiales, garantizando un ajuste perfecto de los componentes internos y una hermeticidad fiable. Además, la impre-

sión 3D brinda flexibilidad en la geometría de la carcasa, lo que nos permite incorporar un mecanismo de apertura y cierre seguro para facilitar el acceso a la batería. En la Figura 14 y la Figura 15 se tienen los resultados del diseño impreso en dos materiales: resina y PLA.



Figura 14. Carcasa en impresión 3D en resina. Fuente: propia



Figura 15. Impresión 3D en material PLA. Fuente: propia



Figura 16. Agrietamiento en la carcasa plástica por la inmersión en el pozo durante varios días
Fuente: propia

Con las opciones de impresión 3D se realizaron pruebas de inmersión en los pozos, sin embargo, los resultados no fueron exitosos; algunas fallaron porque no resistieron la torsión al atornillarlas al cable (Figura 16). Ante esta situación, otra opción que se ha investigado es la mecanización de piezas que conforman la carcasa. Esta metodología se ha mostrado efectiva para crear una estructura resistente y durable, asegurando al mismo tiempo la hermeticidad necesaria. Mediante procesos de maquinado de precisión, se ha logrado diseñar una carcasa que combina la robustez con la facilidad de desmontaje para el reemplazo de la batería. (Figura 17 y Figura 18).



Figura 17. Carcasa en bronce. Proceso de fabricación mecanizado. Fuente: elaboración propia



Figura 18. Piezas separables. Fuente: elaboración propia

Es importante destacar que, estas mejoras en el diseño de la carcasa no solo extienden la vida útil del dispositivo, sino que también simplifican su mantenimiento, reducen costos a largo plazo y disminuyen la necesidad de reemplazar el equipo completo en caso de fallo de la batería. Este enfoque se alinea con nuestra misión de proporcionar soluciones tecnológicas más eficientes y sostenibles que benefician tanto al grupo como al medio ambiente.

3.3 Pruebas de funcionalidad

En el marco de nuestro estudio comparativo entre dos dispositivos, uno proveniente directamente del fabricante y otro el dispositivo recuperado, hemos llevado a cabo mediciones para evaluar su rendimiento y fiabilidad. Los resultados obtenidos han sido cuidadosamente registrados y presentados de manera visual en una gráfica que destaca las diferencias y similitudes entre ambos dispositivos.

En el análisis de los datos, se observa que el dispositivo del fabricante mantiene una consistencia notoria en las mediciones, demostrando una estabilidad y precisión notables. Por otro lado, el dispositivo reacondicionado muestra un buen rendimiento, sin embargo, se presentan algunas variaciones que podrían vincularse con su proceso de reacondicionamiento.



Figura 19. Resultados de las medidas de los dos sensores. Fuente: elaboración propia

4. Referencias

García, S. (2019, March 15). 11 datos interesantes sobre el agua. National Geographic. <https://www.nationalgeographic.es/photoaquae/2019/03/11-datos-interesantes-sobre-el-agua>

Gleeson, T., Befus, K. M., Jasechko, S., Luijendijk, E., & Cardenas, M. B. (2016). The global volume and distribution of modern groundwater. *Nature Geoscience*, 9(2), 161–167. <https://doi.org/10.1038/ngeo2590>

Herrera, C. (2021). Edades de las aguas subterráneas en el norte de Chile. *Revista Vertiente*. <https://casub.s3.amazonaws.com/media/documentos/edad.pdf>

Hispagua, Sistema Español de Información sobre el Agua (2021). Hidrogeología. Sistema Integrado de Información del Agua – SIA, España.

IDEAM, Invemar (2021). Protocolo de Monitoreo y Seguimiento del Agua. Bogotá, D. C., 2021. 436 – 500.

IDEAM. Principios básicos para el conocimiento y monitoreo de las aguas subterráneas - Contenidos del Taller de Formación. 61 - 85. Diciembre 2015. Bogotá, D. C., Colombia 2015, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM.

María Victoria Vélez Otálvaro, Carolina Ortiz Pimienta, & María Consuelo Vargas Quintero. (211 C.E.). *Las aguas subterráneas un enfoque práctico*.

Richter, B., & D. Ho, M. (2022). Sustainable groundwater management for agriculture. https://files.worldwildlife.org/wwfcmprod/files/Publication/file/9bzipayei7i_Sustainable_Groundwater_Management_for_Agriculture_ONLINE2.2.pdf?_ga=2.16662198.109877390.1694203555-2138850230.1692287051

Rodríguez, C., & Jiménez, G. A. (1986). Geología Colombiana. Datación del agua subterránea en la sabana de Bogotá y sus implicaciones hidrogeológicas, 205–218. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/geocol/article/view/30599/30728>

Sánchez San Román, F. J. (n.d.). Conceptos Fundamentales de Hidrogeología. Dpto. Geología - Universidad de Salamanca (España).

SISGEO. (2014). Piezómetros Casagrande y Abiertos. In P100. Retrieved September 8, 2023, from www.sisgeo.com

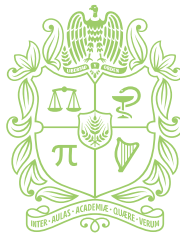
Taylor, R. G., Scanlon, B., Döll, P., Rodell, M., van Beek, R., Wada, Y., Longuevergne, L., Leblanc, M., Famiglietti, J. S., Edmunds, M., Konikow, L., Green, T. R., Chen, J., Taniguchi, M., Bierkens, M. F. P., MacDonald, A., Fan, Y., Maxwell, R. M., Yechieli, Y., ... Treidel, H. (2013). Ground water and climate change. *Nature Climate Change*, 3(4), 322–329. <https://doi.org/10.1038/nclimate1744>

SIMAC, & Universidad Nacional de Colombia. (2023). SIMAC - Geoportal. CDIAC - Centro de Datos e Indicadores Ambientales de Caldas.

Universidad Nacional de Colombia, & CORPOCALDAS. (2015). CDIAC - Centro de Datos e Indicadores Ambientales de Caldas. Recuperado de cdiac.manizales.unal.edu.co/ el 25 de octubre de 2023.

Van Essen Instrument. (2016). Product Manual Diver. <https://www.vanessen.com/images/PDFs/Diver-ProductManual-en.pdf>

WWF - World Wildlife Fund. (2021, February 9). Los Acuíferos, El Agua Que “No Vemos.” <https://www.wwf.org.co/?365850/Los-acuiferos-el-agua-que-no-vemos>



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Instituto de Estudios Ambientales - IDEA -
Teléfono: 8879300 Ext. 50190
Cra 27 #64-60 / Manizales - Caldas
<http://idea.manizales.unal.edu.co>
idea_man@unal.edu.co

Edición, Diseño y Diagramación: IDEA Sede Manizales
Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales