



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MANIZALES**

**INSTITUTO DE ESTUDIOS AMBIENTALES - IDEA**

**SISTEMA INTEGRADO DE MONITOREO AMBIENTAL DE CALDAS -  
SIMAC**

**Monitoreo de Aguas Subterráneas**

**Boletín informativo No. 1**



Abril de 2020

## Boletín informativo No. 1

- Abril de 2020 -

Documento producido por el Instituto de estudios Ambientales IDEA de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, con la participación de:

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

Fernando Mejía Fernández, I. C., M. Sc., Profesor jubilado U. N., Asesor del IDEA

Miguel Ángel Otaya Mora, I. C., Operador de redes de monitoreo en el SIMAC

En representación del IDEA y de su grupo de trabajo:



**REMAS**  
Red de Estaciones de Monitoreo del Agua Subterránea

## 1 PRESENTACIÓN

El Sistema Integrado de Monitoreo Ambiental de Caldas SIMAC bajo la dirección del Instituto de Estudios Ambientales IDEA de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, es financiado y respaldado por entidades del orden regional y municipal como Corpocaldas, Gobernación de Caldas, Alcaldía de Manizales, CHEC – EPM, Aguas de Manizales y la Empresa Metropolitana de Aseo EMAS, desarrolla actividades de operación y el mantenimiento de diversas redes de monitoreo (hidrometeorológico, sísmico, de calidad del aire y de aguas subterráneas), lo cual permite la obtención sistemática de información abundante y valiosa en tiempo real sobre variables físicas asociadas a esos fenómenos, información que evidentemente es de interés para autoridades y tomadores de decisión del municipio de Manizales en temas cruciales como la planificación territorial, la ordenación ambiental, la gestión integral del riesgo de desastres, la mitigación y adaptación al cambio climático y a los efectos de la variabilidad climática, pero también, entre otros, resulta de interés de la comunidad en general como actora fundamental de estos procesos.

Pensando en ello, se presenta aquí el primer boletín informativo de aguas subterráneas del SIMAC para el año 2020, como un primer paso para lograr difundir la información que se logra obtener con el equipo de trabajo asociado a la Red de monitoreo de las aguas subterráneas en la ciudad de Manizales. Se busca además, dar a conocer cómo funciona y opera la red hasta lograr obtener la información organizada proveniente de los sensores de monitoreo, y por último, se muestra un análisis del comportamiento del nivel de aguas freáticas a partir de la información histórica recogida por la Red. Se espera que el contenido aquí divulgado sea de interés para la academia y el público en general.

### 1.1 ¿Qué ilustra este boletín?

En este primer boletín de la Red de Estaciones de Monitoreo del Agua Subterránea de Manizales – REMAS se hace una presentación sobre la importancia de la información obtenida por la red y su posible utilidad en diferentes campos de la ingeniería, luego se da a conocer cómo es el trabajo de operación y funcionamiento de la red, mencionando entre otras cosas, los equipos y sensores con los que cuenta la Red, y finalmente, se presenta un análisis gráfico de los valores históricos que hasta la fecha se han obtenido del nivel de aguas freáticas en las doce estaciones de monitoreo realizando un análisis comparativo entre la cantidad de lluvia contabilizada por las estaciones Meteorológicas y el nivel de aguas freáticas durante un periodo de tiempo.

## 1.2 Antecedentes

En el año 2017 durante el mes de abril se presentó en Manizales un fuerte aguacero que dejó grandes afectaciones en varios barrios de la ciudad debido a los movimientos de tierra de un suelo inestable y también un aumento en los niveles de los ríos como el Chinchiná. La catástrofe acabó con la vida de 14 personas y generó varias afectaciones en las viviendas de la comunidad.

El deterioro en las laderas provocadas por las fuertes lluvias son responsables de procesos de movimientos de tierra que atentan con la integridad de los habitantes de la ciudad, así, se hace menester conocer cómo varía el nivel freático en el tiempo debido a las lluvias y a la actividad humana, pudiendo incluso caracterizar un suelo al identificar cuán susceptible es ante un incremento de su nivel freático.

## 1.3 ¿Cuál es la importancia de la REMAS?

El agua se encuentra en constante movimiento debido a las actividades que desarrollan los seres humanos y la naturaleza en general, plantas, animales y todo ser vivo tienen al agua como un elemento principal para su existencia. Por otro lado, fenómenos geológicos y climáticos también son responsables de los constantes cambios (fases) por los cuales pasa el agua. A pesar de estos procesos la cantidad de agua en el planeta no cambia pues solo se encuentra en circulación pasando por distintas fases. Esta circulación y conservación de agua en la Tierra se llama ciclo hidrológico, o ciclo del agua.

En la figura 1 se muestra el ciclo del agua cuyas fases principales son: evaporación, condensación, precipitación, escorrentía, interceptación, infiltración y circulación subterránea.



Figura 1: Fases del Ciclo Hidrológico.

Es interesante puntualizar que durante el ciclo hidrológico, el agua ha sufrido un fraccionamiento del total presente en la tierra, concentrándose en los ríos, glaciares, acuíferos entre otros, por ello, es muy posible establecer una correlación entre la cantidad de agua que llega a la superficie de la tierra por medio la precipitación y el agua que se infiltra en el suelo y subsuelo.

En el contexto del municipio de Manizales, la ciudad está expuesta a fenómenos de lluvias intensas que afectan la estabilidad de las laderas y generan un alto riesgo a sus habitantes ante procesos de deslizamiento de tierra, por ello, se decidió implementar la primera Red de monitoreo del nivel de aguas subterráneas con el objetivo de obtener información acerca de cómo varía la capa freática del suelo y poder ser aprovechada en la investigación hidrogeológica, para aportar al conocimiento de las amenazas geotécnicas y para hacer parte del diseño de sistemas de alerta temprana y la gestión del riesgo.

Así nace la Red de Estaciones de Monitoreo del Agua Subterránea de Manizales (REMAS), la que actualmente se encuentra enlazada al Sistema Integrado de Monitoreo Ambiental de Caldas (SIMAC), donde se articulan todas las estaciones meteorológicas e hidrometeorológicas, sísmicas y de calidad del aire de la ciudad.

#### 1.4 ¿Cómo está compuesta la REMAS?

La red cuenta con doce pozos de monitoreo del nivel freático los cuales se ubican en los barrios Palermo y la Estrella ya que allí se identificaron rellenos hidráulicos, ver Figura 2. En cada pozo se instaló un sensor sumergible digital que se encarga de hacer mediciones de presión y temperatura dado un intervalo de tiempo.



Figura 2: Localización de los doce pozos de monitoreo de la REMAS barrio La Estrella y Palermo. Fuente: SIMAC.

En la Figura 3 se observa una de las estaciones de monitoreo en la cual se instala el sensor (freatímetro) que se encarga de medir los cambios del nivel freático. Para su construcción, en cada estación se perforó un pozo de 15 cm de diámetro con profundidades que varían entre los 6 y 18 m. Cada uno cuenta con una tubería insertada en su interior y sujeta con arena para permitir la entrada del agua.



Figura 3: Instalación de los sensores (freatímetros).

### 1.5 Medición del nivel de aguas freático

Todos los sensores establecen la altura de una columna de agua (CA) midiendo la presión del agua con el sensor de presión integrado (freatímetro). Mientras el sensor no está sumergido en el agua mide la presión atmosférica como si fuera un barómetro. Una vez sumergido empieza a registrar la presión del agua más la presión atmosférica, mientras más alta sea la columna de agua, mayor será la presión medida. La altura de la columna de agua por encima el sensor se determina en función de la presión medida. En la Figura 5 y la Figura 4 se muestra una configuración de los sensores dentro del pozo.

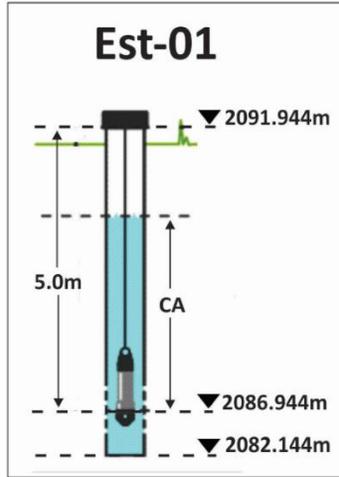


Figura 5: Dimensiones y configuración del pozo Est-01.



Figura 4: Configuración Diver y Baro - Diver dentro de un pozo de monitoreo.

Para medir las variaciones en la presión atmosférica, se instaló un Baro-Diver, información necesaria para realizar la compensación barométrica para estas variaciones en la presión atmosférica. Este proceso se logra posteriormente utilizando el paquete de software Diver-Office. Los valores compensados se pueden relacionar con un punto de referencia, como la parte superior del pozo de monitoreo, o con un nivel de referencia vertical.

### 1.6 Descarga de datos

La red no es telemétrica ni automática, lo que quiere decir que cada mes aproximadamente una persona especializada se encarga de extraer la información que se almacena en los sensores. Este descargue de datos se realiza retirando el sensor (Diver) del pozo para luego conectarlo a través del lector óptico con un datalogger, bien sea el Pocket o computador. El software Diver-Office permite comunicarse con los Divers para gestionar su programación en la medición y descargue de la información. En la Figura 6 se muestra la interfaz del software.

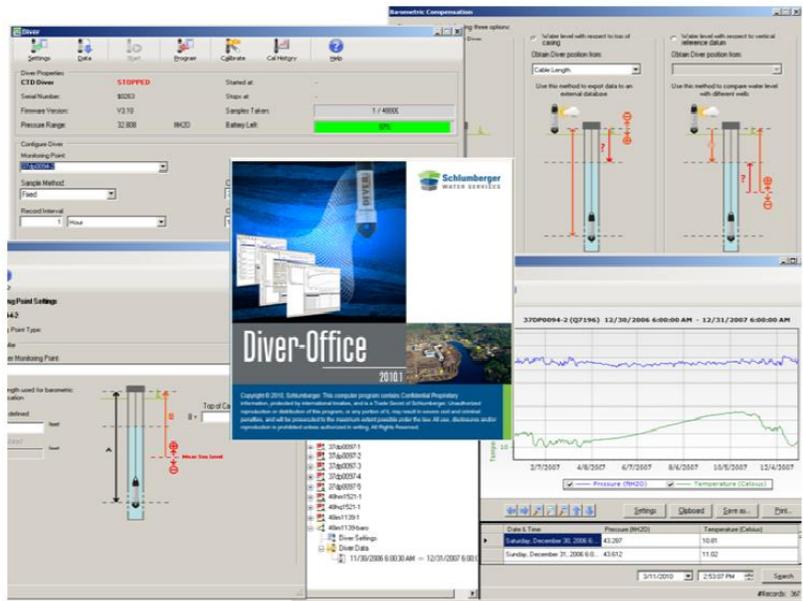


Figura 6: Interfaz del software Diver Office.

### 1.7 Presentación de la información

Las series de datos temporales se organizan en un libro de cálculo de Excel como se muestra en la Figura 7 para ser luego enviadas al personal encargado de gestionar la base de datos de las redes de monitoreo del SIMAC para finalmente ser almacenadas en el Centro de datos e Indicadores Ambientales de Caldas – CDIAC, ver Figura 8. Esta es una plataforma online que permite visualizar la información ambiental del departamento de Caldas. (Página CDIAC: <http://cdiac.manizales.unal.edu.co>).

	A	B	C	D	E	F
	fecha	hora	temperatura (°C)	Cabeza de Agua (cm)	Cabeza de Agua (m)	Nivel del Agua referenciado (msnm)
1						
2	23/10/2019	9:35:00	21.243			
3	23/10/2019	10:05:00	20.203			
4	23/10/2019	10:35:00	20.19	221.879	2.21879	2089.16
5	23/10/2019	11:05:00	20.177	222.571	2.22571	2089.17
6	23/10/2019	11:35:00	20.177	222.804	2.22804	2089.17
7	23/10/2019	12:05:00	20.177	223.054	2.23054	2089.17
8	23/10/2019	12:35:00	20.177	223.15	2.2315	2089.18
9	23/10/2019	13:05:00	20.177	223.325	2.23325	2089.18
10	23/10/2019	13:35:00	20.17	223.933	2.23933	2089.18
11	23/10/2019	14:05:00	20.17	224.371	2.24371	2089.19
12	23/10/2019	14:35:00	20.17	225.088	2.25088	2089.19
13	23/10/2019	15:05:00	20.17	224.808	2.24808	2089.19
14	23/10/2019	15:35:00	20.17	225.35	2.2535	2089.20
15	23/10/2019	16:05:00	20.17	224.983	2.24983	2089.19
16	23/10/2019	16:35:00	20.17	225.262	2.25262	2089.20

Figura 7. Presentación final de la información reportada por la REMAS.



Figura 8: Consultas a la bodega de datos de aguas subterráneas. Fuente: CDIAC

## 2 Análisis gráfico de las series históricas de la red

A continuación se presentan las variaciones mensuales promedio del nivel freático junto con la lluvia promedio mensual reportada por la estación Meteorológica de Posgrados asociada al SIMAC. Se escogieron los años 2017 y 2018 para cada sector por ser el periodo con mayor número de datos reportados por la REMAS.

### CORRELACIÓN PRECIPITACIÓN – NIVELES FREÁTICOS

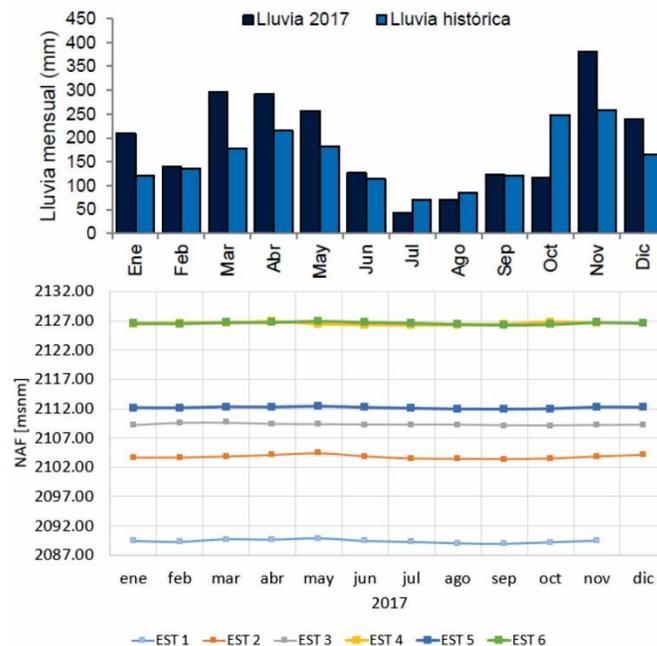


Figura 9: Correlación mensual de la precipitación y el nivel de aguas freático barrio la Estrella.

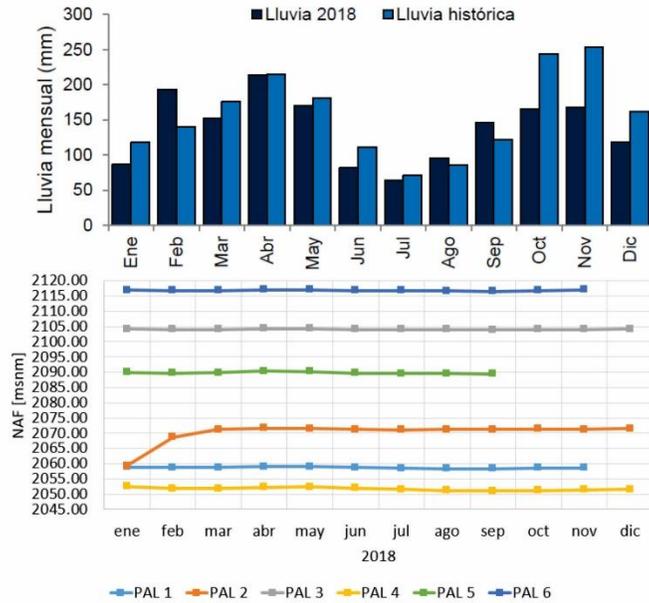


Figura 10: Correlación mensual de la precipitación y el nivel de aguas freáticas, barrio Palermo.

Para observar mejor los cambios en el NAF se graficaron los datos de una sola estación, en este caso aquella que se ubica en la parte baja de las cuencas, pues es por esta zona donde se concentra la mayor cantidad del agua infiltrada.

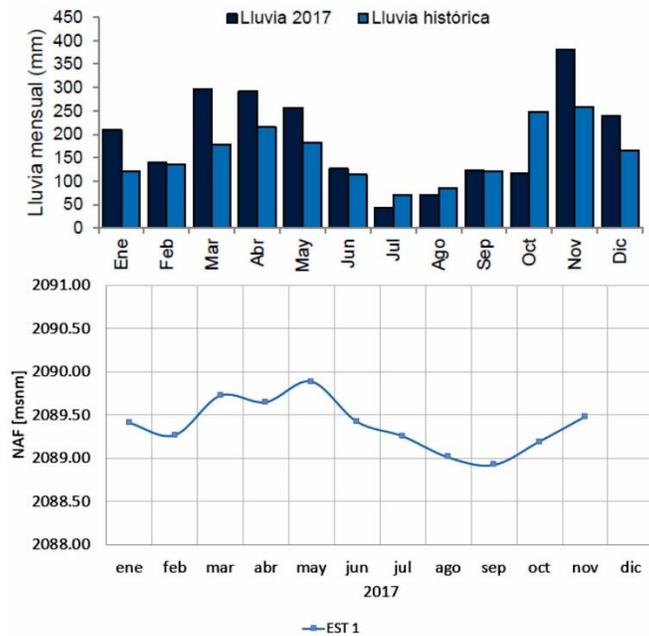


Figura 11: Correlación Lluvia – NAF mensual para la estación Estrella 1.

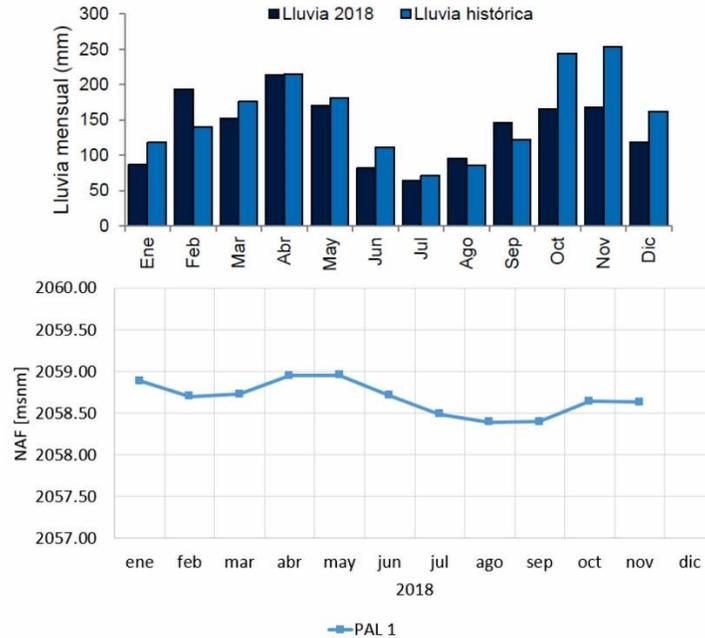


Figura 12: Correlación Lluvia – NAF mensual para la estación Palermo.

En las últimas dos gráficas se observa que los aumentos y descensos en la precipitación se correlacionan con el aumento y descenso en el nivel freático, como se esperaba, ambos gráficos de precipitación y niveles freáticos presentan desfases debido al tiempo que le toma a la lluvia en infiltrarse en el suelo hasta encontrar el nivel freático.

De igual manera como información adicional se obtuvieron los transectos para cada uno de los pozos de la red, los cuales representan los cambios del nivel freático por cada trimestre de un año en específico.

Debido a la posición geográfica en la que se encuentra Colombia dentro de la zona intertropical, el clima se ve afectado por los vientos alisios, la humedad y los diversos pisos térmicos, así, Colombia posee un régimen bimodal en donde se tienen dos temporadas de lluvias altas entre los meses de marzo hasta mayo (MAM) y de septiembre hasta noviembre (SON) y dos periodos de lluvias bajas entre los meses de diciembre hasta febrero (DEF) y de junio hasta agosto (JJA).

# Transectos La Estrella año 2017

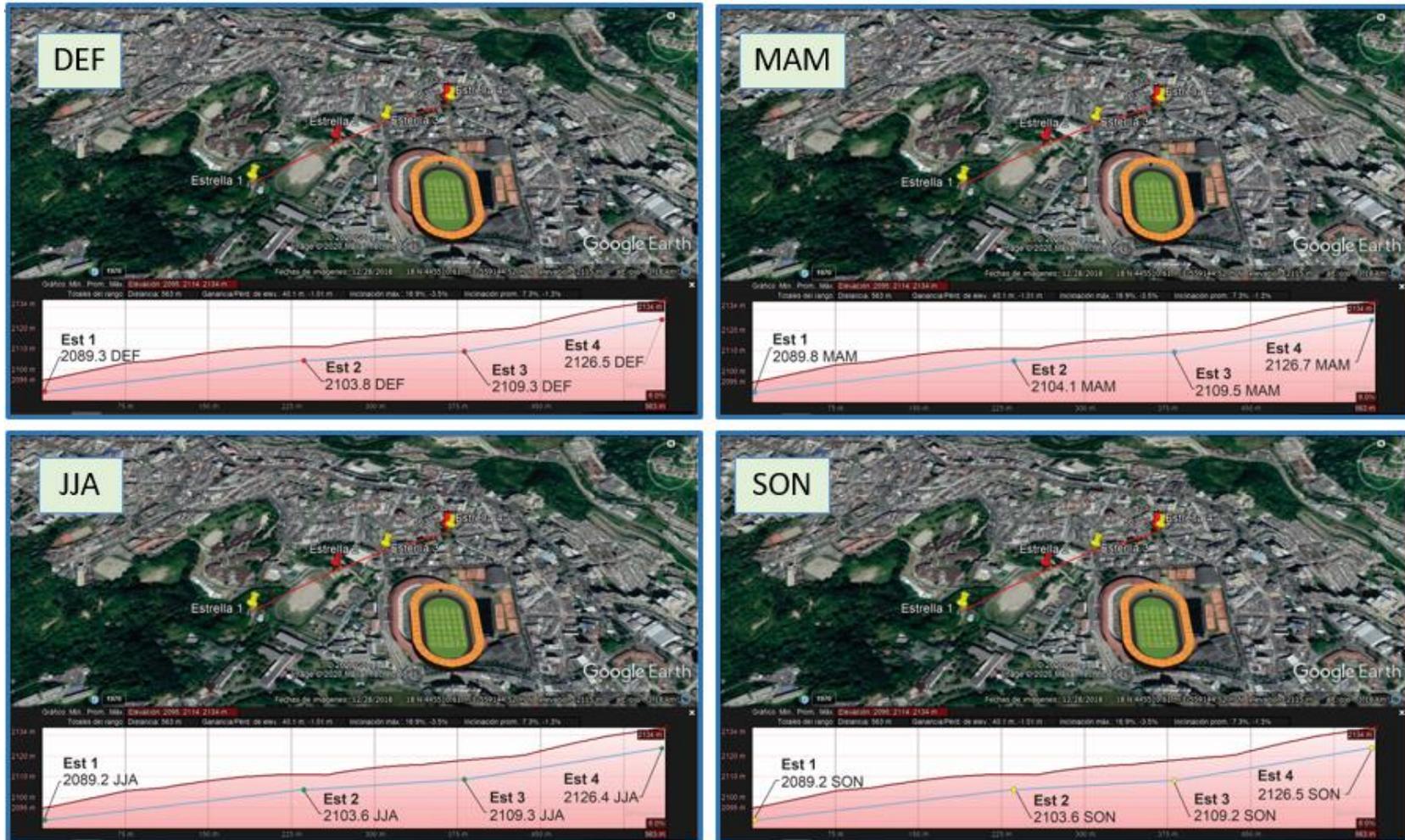


Figura 13: Transectos pozos Est4, Est3, Est2, Est1.

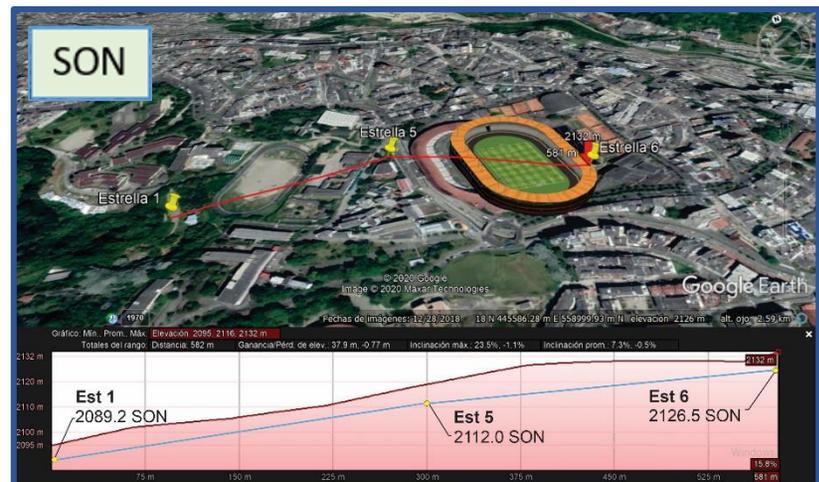
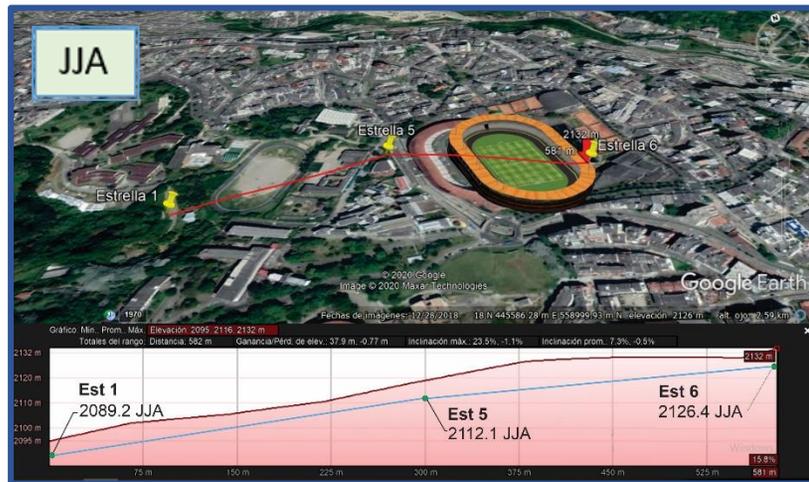
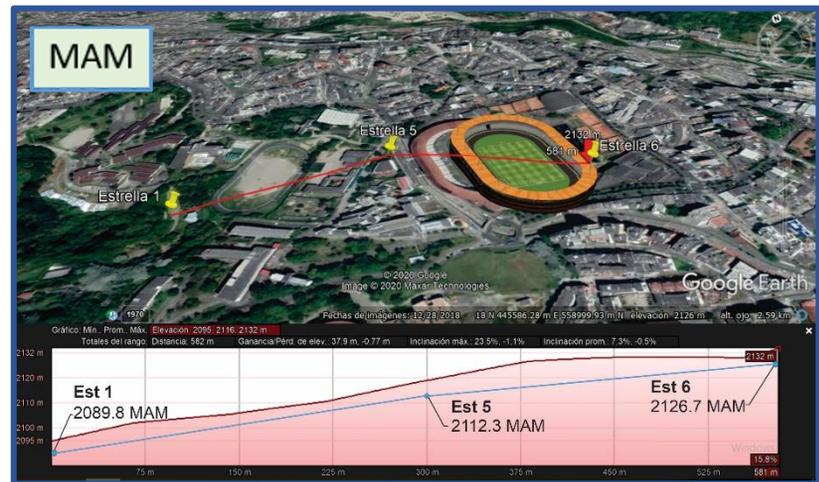
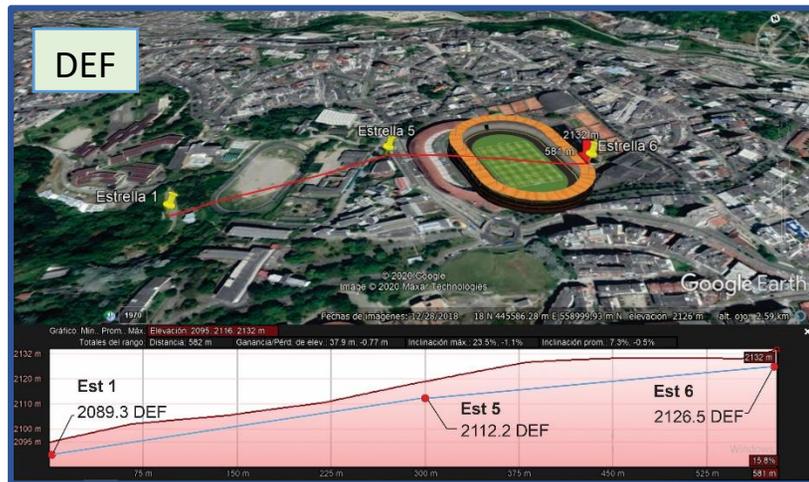


Figura 14: Transectos pozos Est6, Est5, Est1.

# Transectos Palermo año 2018

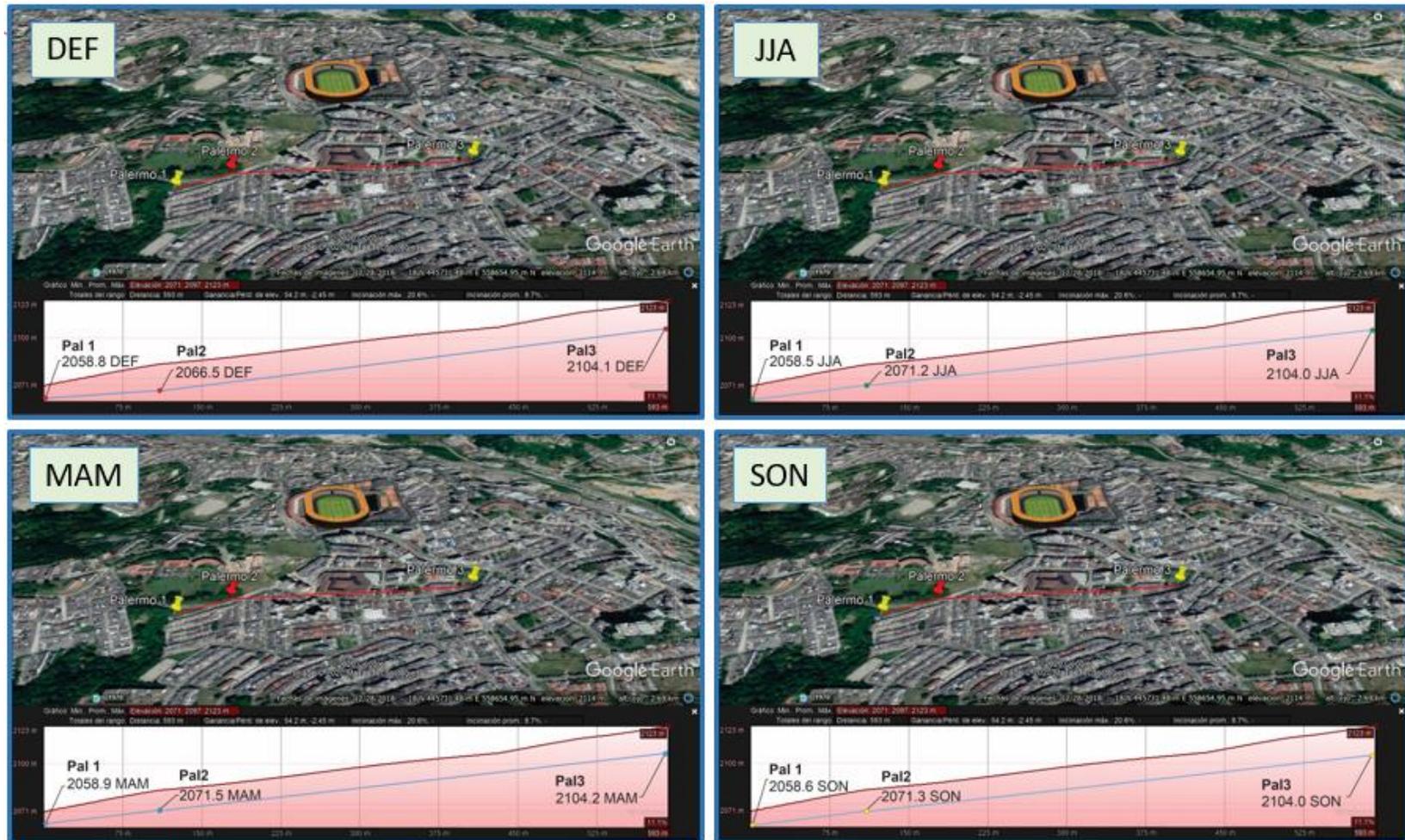


Figura 15: Transectos pozos Pal3, Pal2, Pla1.

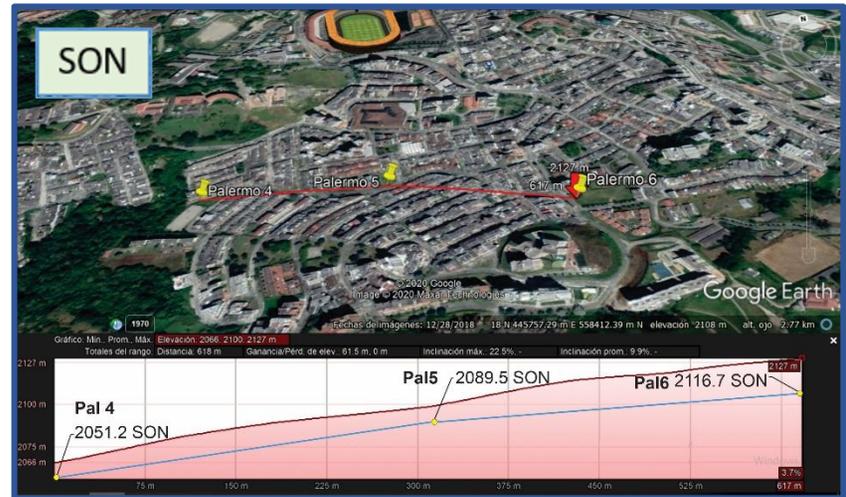
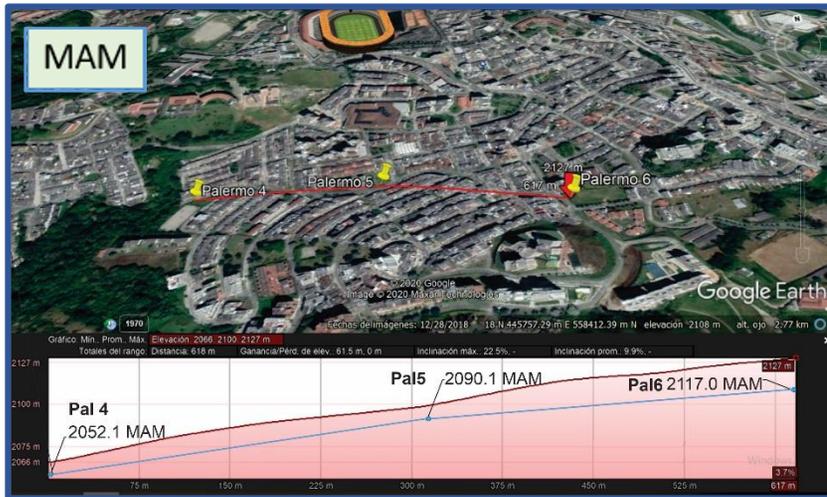
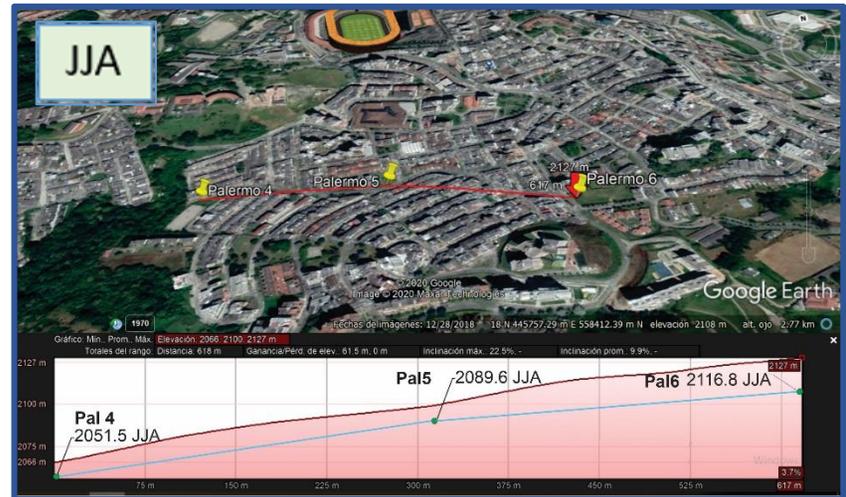
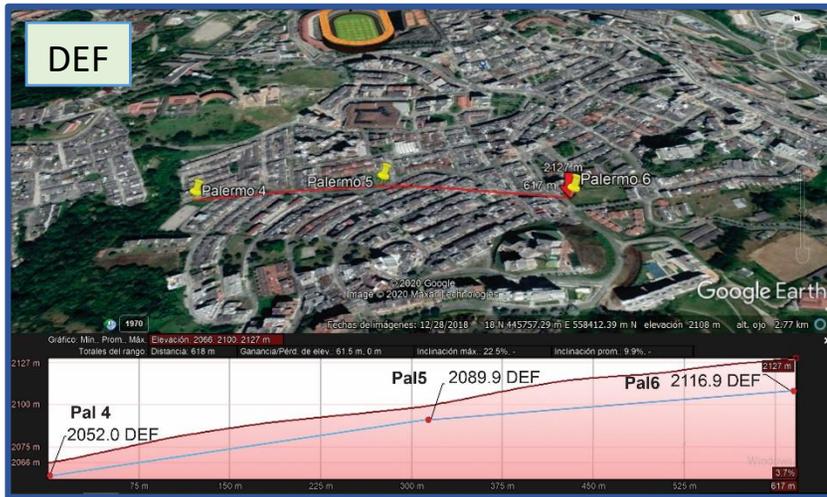


Figura 16: Transectos pozos Pal 6, Pal5, Pal4.

### 3 CONCLUSIONES

- Gráficamente se observa que existe una correlación entre las precipitaciones registradas y los niveles de agua subterránea medidos, lo cual señala, que es posible establecer una relación lineal entre los dos eventos.
- Para establecer una función que relacione los cambios en el nivel freático con las precipitaciones es necesario conocer otros factores como las variaciones en los niveles de los ríos cercanos que se abastecen de la cuenca, también se hace necesario conocer otras propiedades de los suelos, como el tipo de vegetación, su permeabilidad entre otros, para entender mejor el proceso de infiltración. A partir de dicho modelo se busca obtener proyecciones de los niveles freáticos ante posibles eventos de lluvia, información que es de gran valor para hacer parte del diseño de sistemas de alerta temprana y la gestión del riesgo.
- En los transectos se observa que el nivel freático promedio mensual no cambia mucho entre cada trimestre del año, pero los pequeños cambios registrados concuerdan con los periodos de lluvias altas donde el nivel freático medido fué el más alto y durante los periodos de lluvias bajas donde los niveles medidos fueron los más bajos.