



El sitio monitoreado se encuentra en el sector Planta de acueducto vereda San José, corregimiento de San Antonio de Prado, sur de Medellín. El monitoreo geotécnico se realiza a través de instrumentación remota por medio de 2 acelerómetros, el primero instalado (566) el 12/01/2021 y el segundo (594) el 27/04/2022. 1 cable TDR (100553) instalado el 07/05/2021, 1 sensor de humedad (568) del suelo instalado el 01/12/2021 y un pluviómetro (565) instalado el 01/12/2021 (Figura 1). No se han realizado más sobrevuelos en el sector.

Figura 1. Ortofoto del sitio monitoreado, en la esquina inferior izquierda se encuentra la planta de acueducto de la vereda San José.

Se reporta la actualización de las lecturas desde el 15 de junio hasta el 13 de julio del 2022.

El pluviómetro 565 se encuentra ubicado dentro de la planta de tratamiento de agua de la vereda San José y registró una precipitación acumulada superior a 200 mm. Durante este periodo de tiempo ocurrió un evento significativo de precipitación entre el 25 y 28 de junio que registró una intensidad mayor a 80 mm/h y otras que superaron los 60 mm/h (Figura 2).

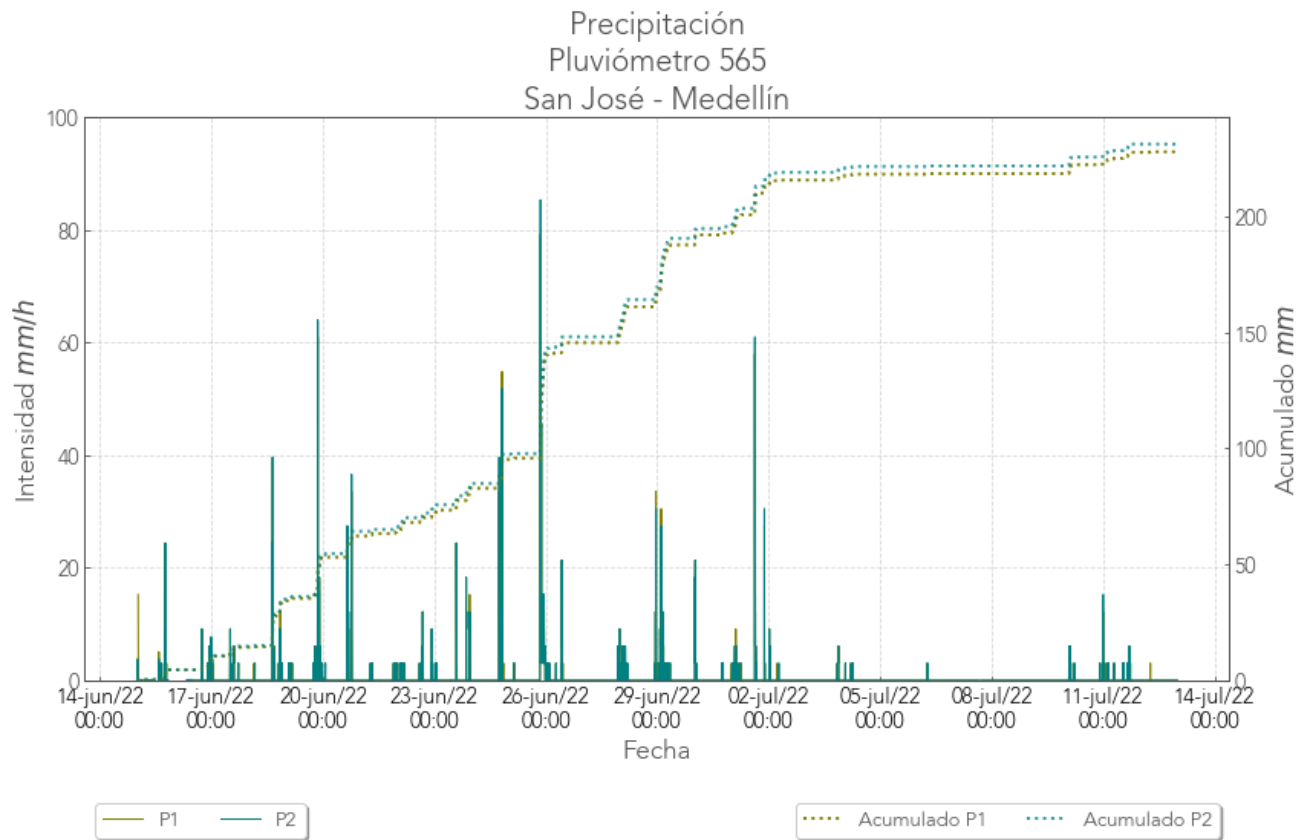


Figura 2. Registro pluviómetro 565 San José-Medellín.

La precipitación registrada entre el 15 de junio y 13 de julio (Figura 2) muestra un constante aumento en el sector. Esta lluvia adiciona al contenido de humedad y saturación del suelo, además, del flujo de agua continuo que hay en el sector por los cuerpos de agua ubicados en el área.

La Figura 3 muestra el registro histórico del pluviómetro 565, donde, se observó una precipitación acumulada cercana a 2000 mm desde su instalación hasta el 04 de julio, junto a diferentes eventos diarios con intensidades que superan los 100 mm/h.

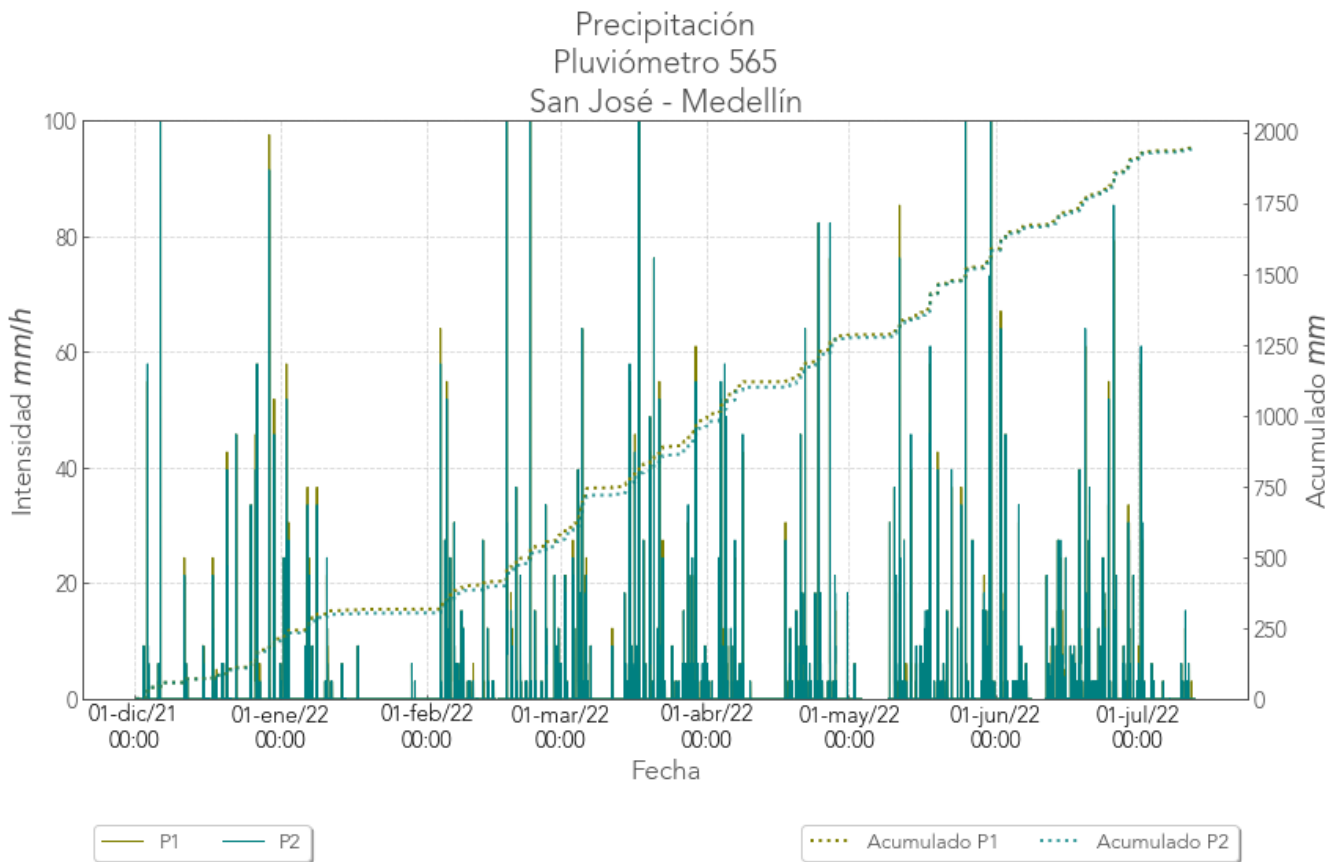


Figura 3. Histórico pluviométrico 565. Tanque vereda San José.

El acelerómetro o sensor de movimiento inercial es un instrumento capaz de medir la inclinación respecto al eje gravitacional. Estos instrumentos son instalados en el terreno y son capaces de medir cambios en la inclinación de este, los cuales representan movimientos en el terreno. El instrumento mide la inclinación en dos direcciones perpendiculares, representadas en cabeceo y balanceo. Ambos equipos se encuentran instalados dentro de la planta de tratamiento de agua de la vereda San José.

Del 15 al 13 de julio de 2022 el acelerómetro 566 registró cambios en la inclinación del cabeceo y balanceo entre el 22 y 25 de junio. El primero registró actividad de aproximadamente 4° durante estas fechas. Para el balanceo se observó cambios de hasta 4° que coinciden con las mismas fechas del cabeceo (Figura 3).

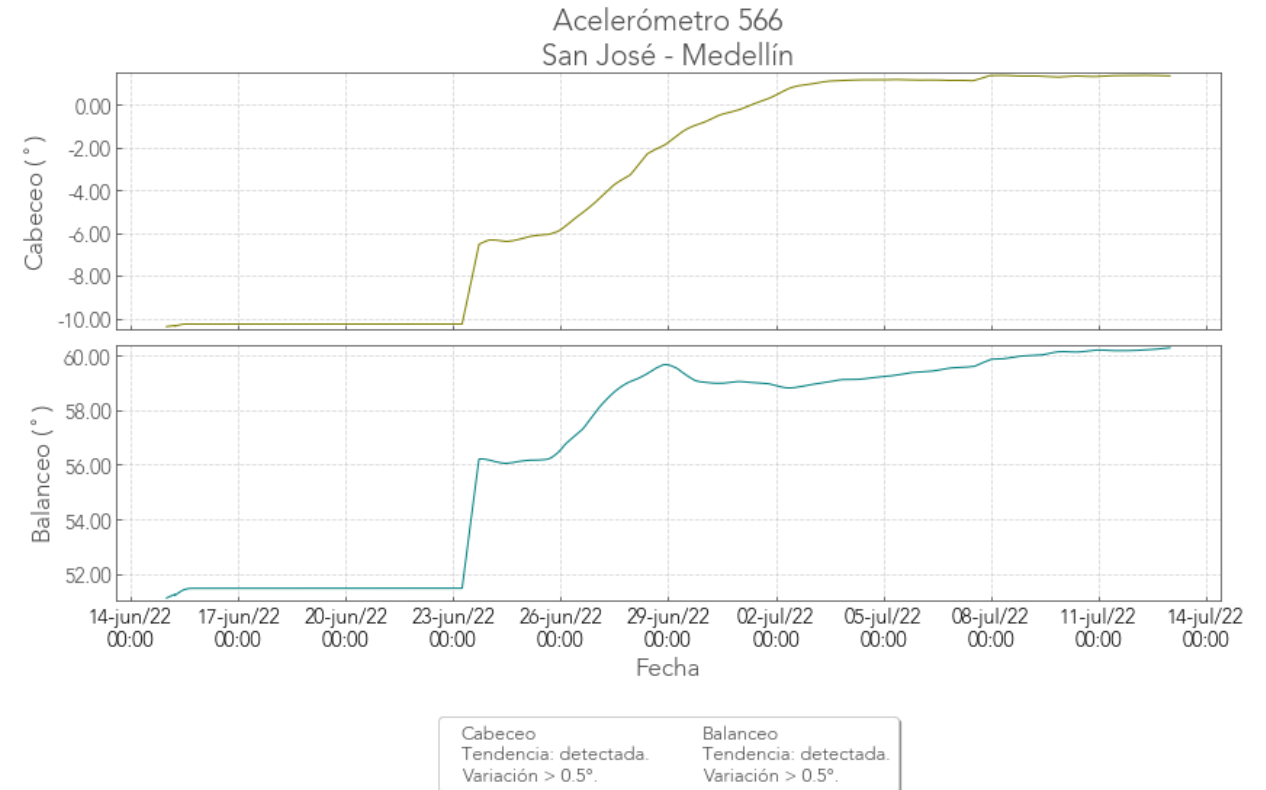


Figura 4. Registro del acelerómetro 566 San José-Medellín.

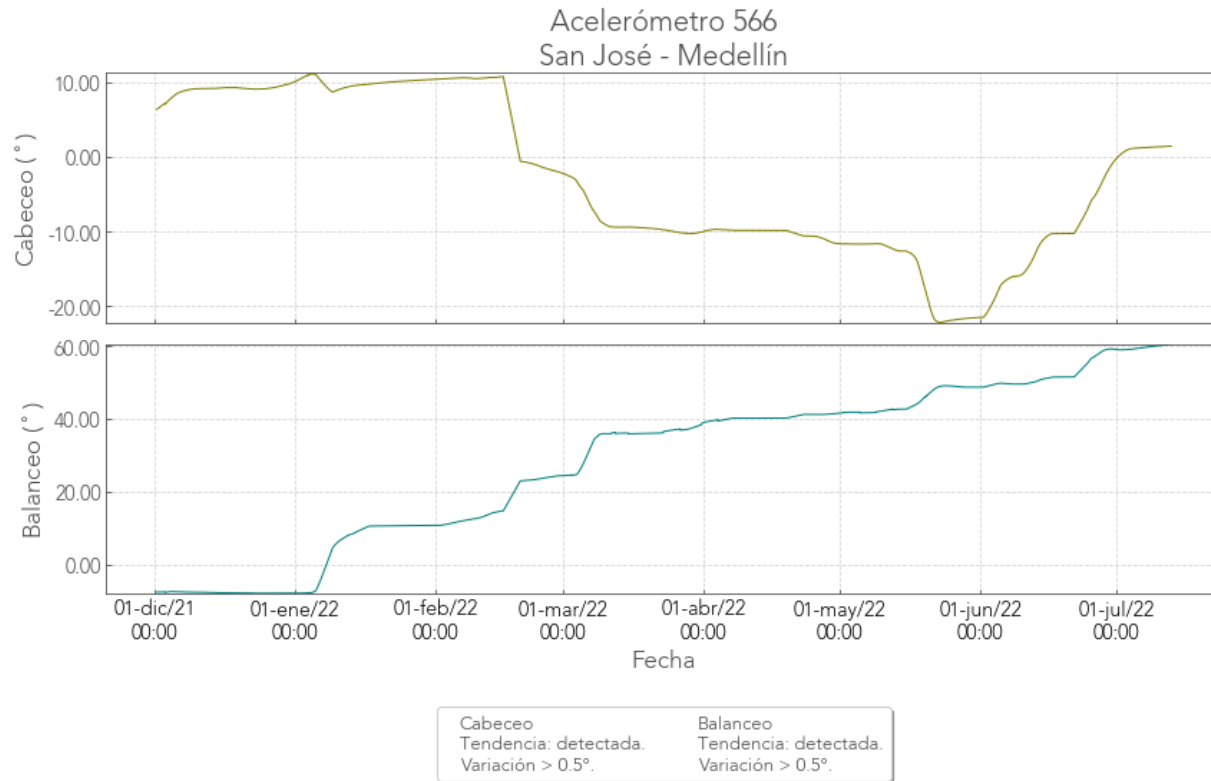


Figura 5. Histórico acelerómetro 566. Tanque vereda San José.

Entre el 15 de junio y 14 de julio se han registrado variaciones significativas en el cabeceo ($>0.5^\circ$) y el balanceo ($>0.5^\circ$) del acelerómetro 566 (Figura 4).

Comparado con el registro histórico (Figura 5), se observó una inclinación contraria a la registrada inicialmente ($\geq 10^\circ$) para el cabeceo desde la instalación del equipo hasta mayo del 2022. Para el balanceo se observó cambios significativos ($>40^\circ$) que actualmente siguen en aumento. Estas variaciones sugieren desplazamiento del terreno en distintos intervalos de tiempo.

Sin embargo después del 1 de junio de 2022 se observa un cambio en el sentido de la inclinación del terreno. Por esta razón se recomienda una visita al sector para revisar el estado de los equipos y las estructuras.

Este movimiento se clasifica de tipo rotacional por sus superficies de falla definidas.

El segundo acelerómetro se encuentra instalado en una pared del tanque fuera del proceso de inestabilidad. Con el fin de monitorear la estructura. Este equipo registró movimientos oscilatorios en el cabeceo y balanceo entre 0.1° y 0.5° que son propios de la estructura en la que se instaló el equipo. (Figura 6). Sin embargo no representan desplazamientos significativos.

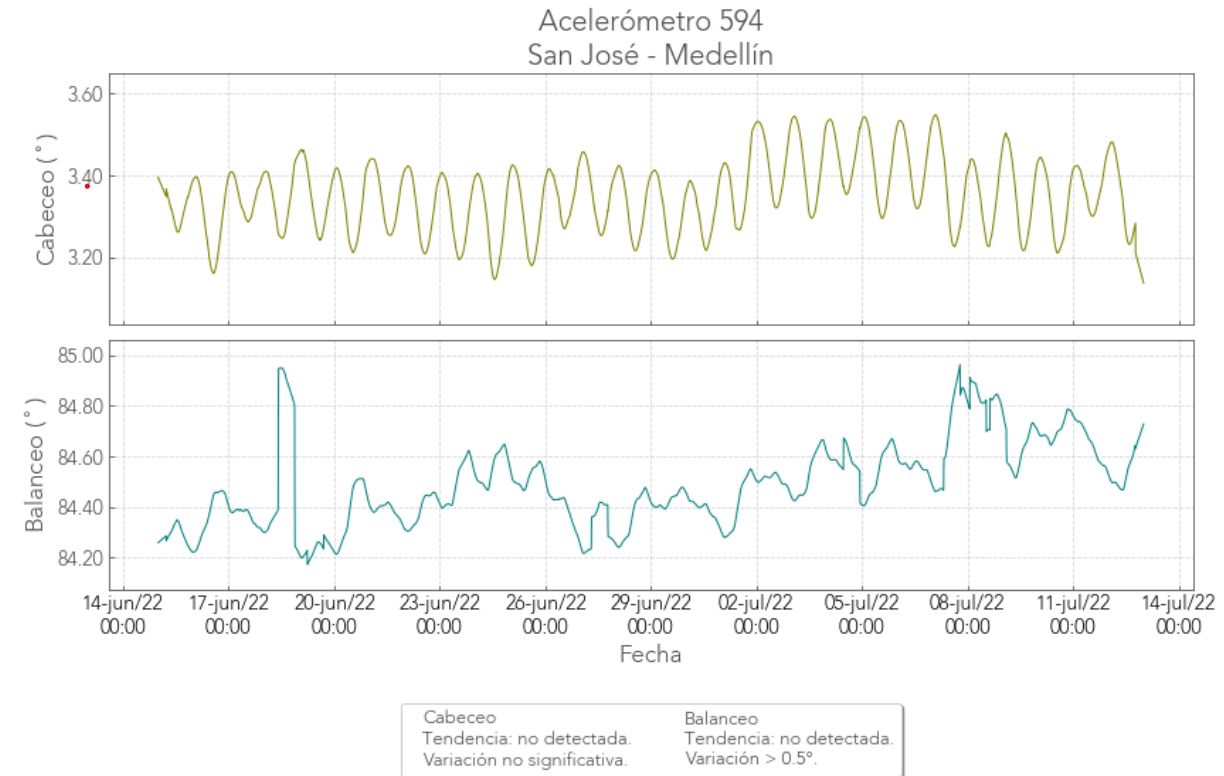


Figura 6. Registro acelerómetro 594 San José-Medellín.

Entre el 15 de junio y 13 de julio el acelerómetro 594 registró variaciones significativas en el balanceo y cabeceo (Figura 6); Sin embargo, se observó que la gráfica tiene un patrón que se refleja de manera oscilatoria durante el monitoreo.

Este patrón también se puede observar en el registro histórico (Figura 7) con ventanas de tiempo más extensas. Las oscilaciones son asociadas a intervenciones externas o cambios diurnos y nocturnos que no reflejan el comportamiento del terreno, por lo tanto, no se han registrado variaciones resultantes de movimientos en masa o caída de la estructura dónde se encuentra instalado.

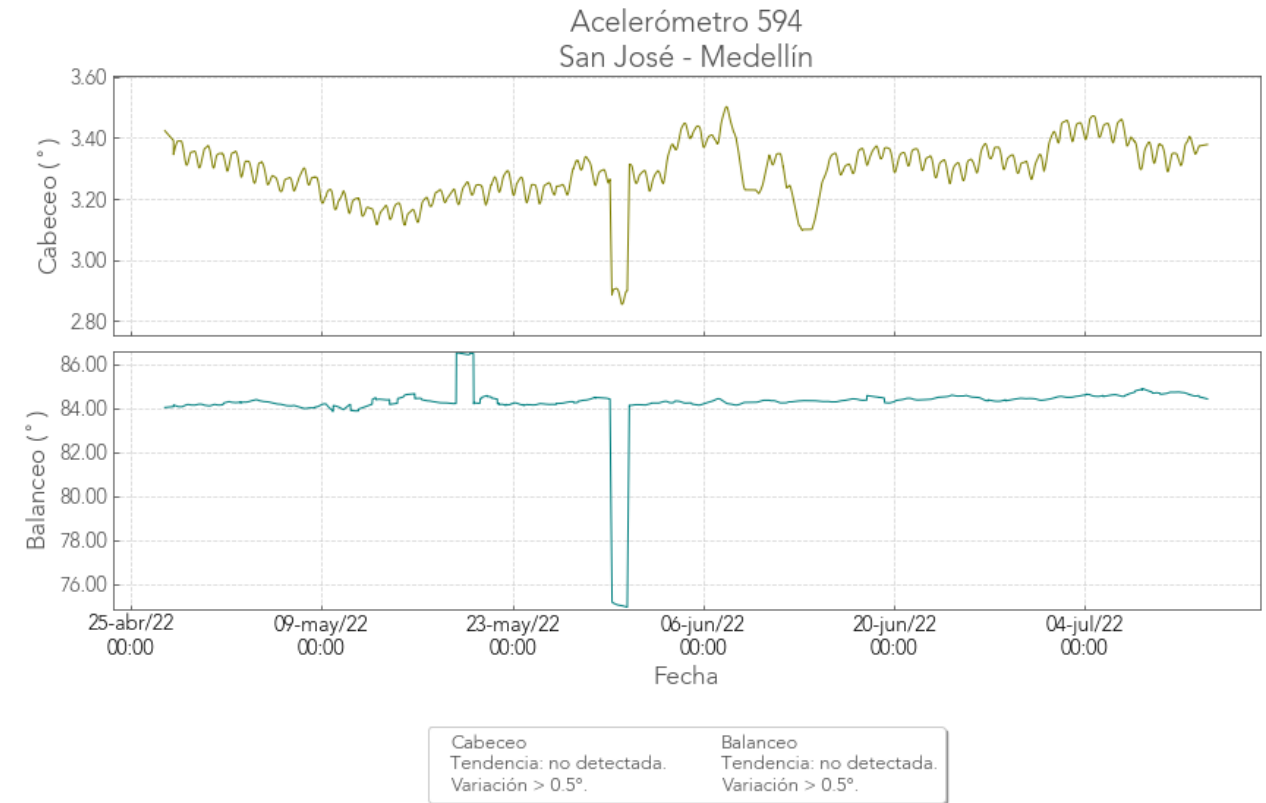


Figura 7. Histórico acelerómetro 594. Tanque vereda San José.

El cable TDR genera un pulso electromagnético de corto tiempo de subida (el tiempo de subida es el tiempo que necesita una onda para pasar del 10% al 90% del valor final, puede ser desde micro a picosegundos, en este caso ≤ 85 ps), que se aplica a un cable coaxial para medir la deformación de una masa de suelo. Este equipo se ha usado durante los últimos años en el proyecto para estudiar los desplazamientos horizontales en profundidad de los movimientos en masa en sus superficies de falla, complementando así la información obtenida con los sensores en superficie. En la Figura 8 se observa el esquema de instalación de un sensor TDR en un movimiento en masa

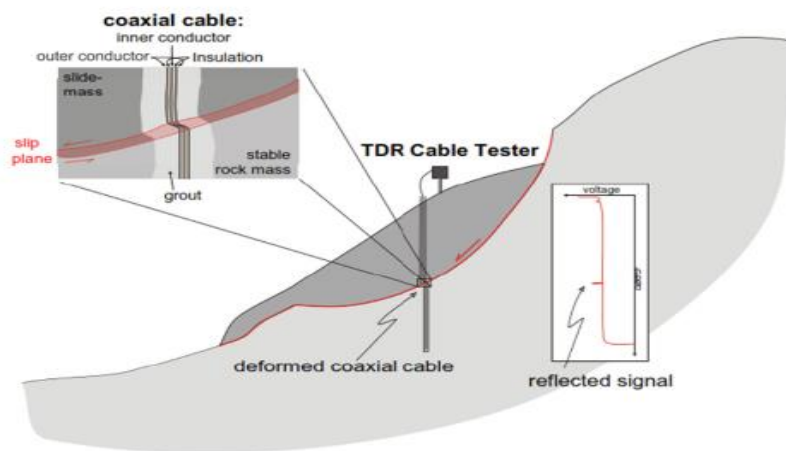


Figura 8. Esquema de instalación de un cable TDR.

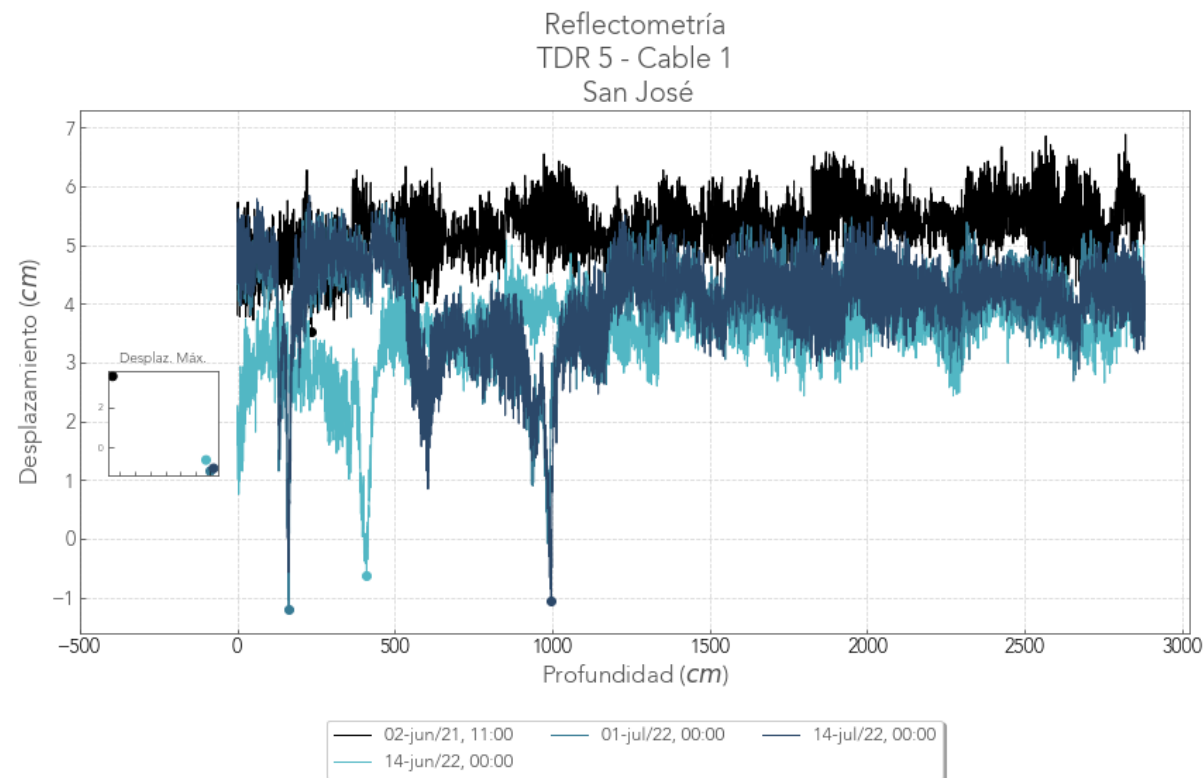


Figura 9. Registro histórico del cable 1 TDR 5 instalado en el sector Tanque San José.

Actualmente se encuentra instalado un cable de 30 m en el terreno (Figura 9). El registro consta de una posición inicial (líneas negras) y la forma de ese cable en diferentes momentos, lo cual permite ver los cambios de este a través del tiempo e identificar la magnitud y momento en el cual ocurrió la deformación subsuperficial del terreno.

Actualmente existe una zona de deformación comprendida entre 0 y 10 m de profundidad con tres zonas de rotura identificadas a 4, 7 y 10 m.

La primera profundidad (4 m) no registró cambios dentro de este último periodo de monitoreo, para la segunda (7 m) se observó un aumento de 2 cm aproximadamente. Finalmente a los 10 m de profundidad se observa un aumento de 4 cm.

La deformación que se observa a 2 m de profundidad está relacionada a una adición de metros de cable en el sensor TDR. Razón por la cual no se ajusta a la primera lectura realizada el día de la instalación, Tampoco se relaciona a algún desarrollo de una nueva superficie de falla.

La Figura 10 es un acercamiento de la gráfica de desplazamiento máximo acumulado durante el periodo de monitoreo que se encuentra incluida en la Figura 9.

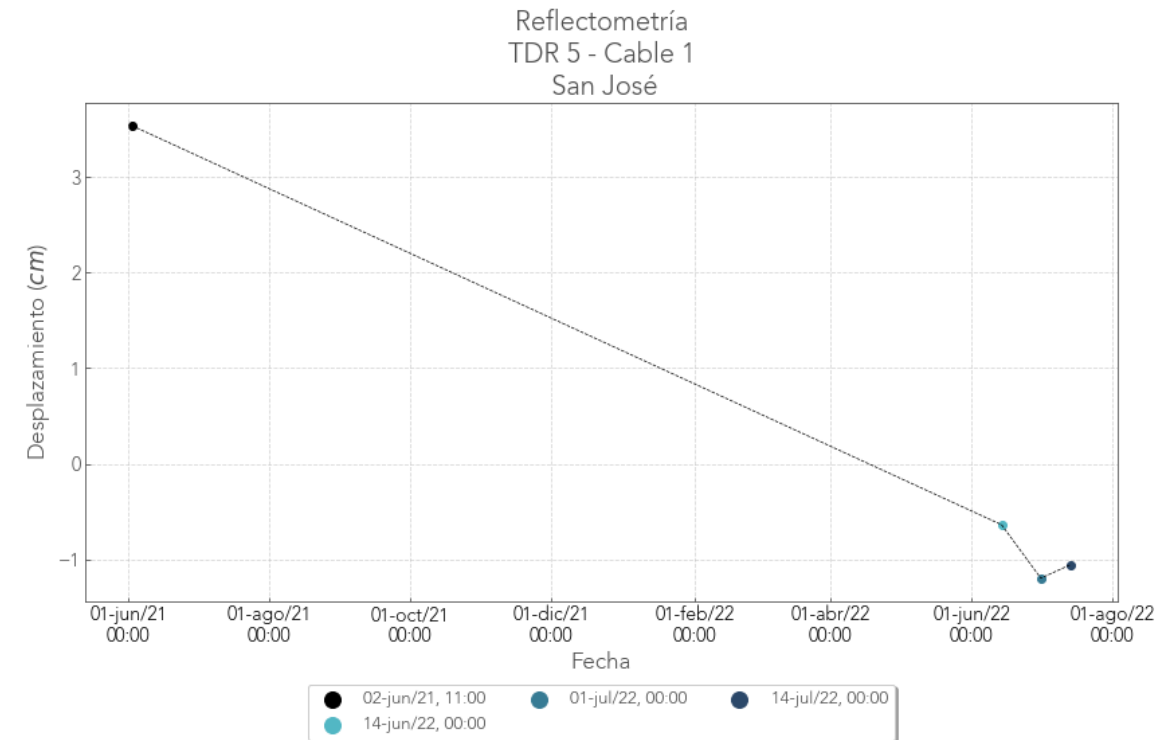


Figura 10. Registro del desplazamiento máximo cable 1 TDR 5 instalado en el sector Tanque San José.

El registro de la estación de humedad instalado en el sector San José se muestra en la Figura 11. El sensor de humedad es capaz de medir contenido volumétrico de agua a partir de la conductividad eléctrica. Durante el 18 y 24 de junio se registraron variaciones del volumen de agua a 1.1 y 0.6 m de profundidad que oscilaron entre 52% y 57.5% (Figura 7). Después de estas fechas el contenido se mantuvo constante en un 57% para ambas profundidades.

Esto puede indicar que el suelo en superficie se encontraba cercano a saturación desde el 25 de junio hasta el 14 de julio y por eso no se observaron cambios durante este periodo de tiempo.

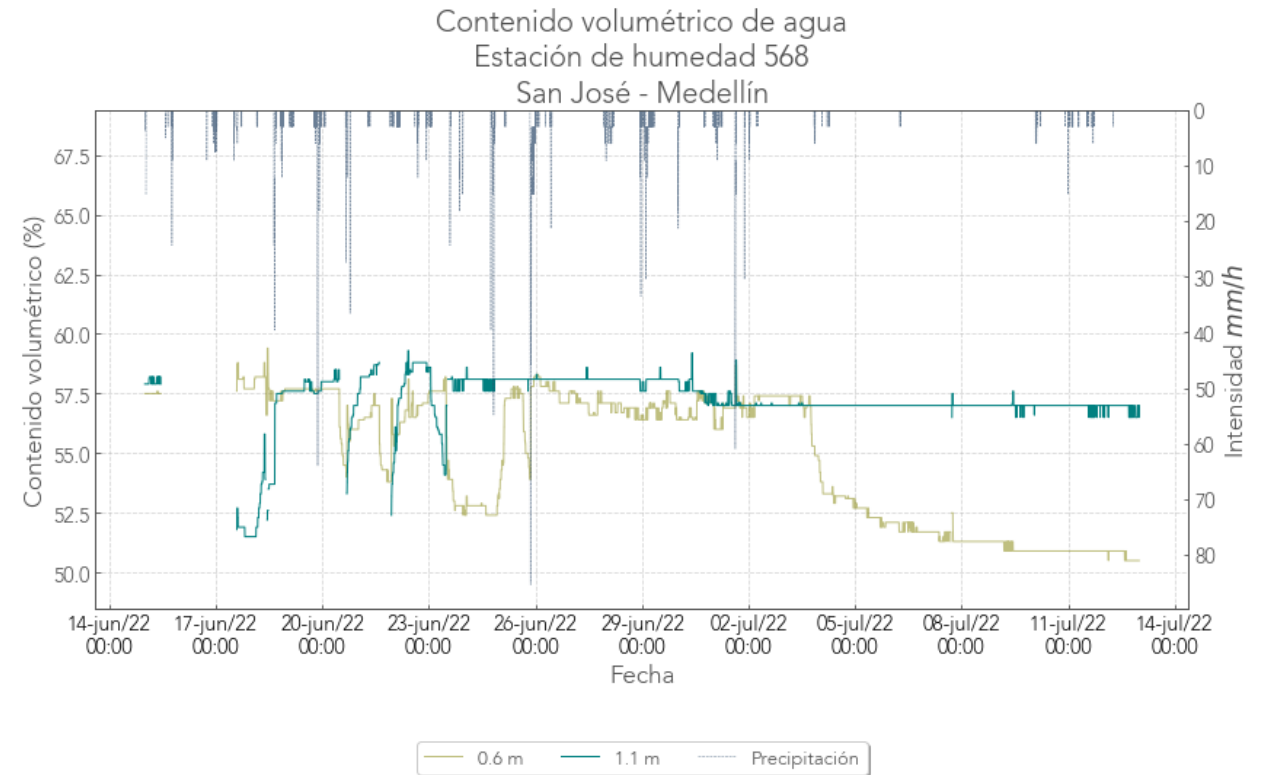


Figura 11. Registro de estación de humedad 568 San José-Medellín.

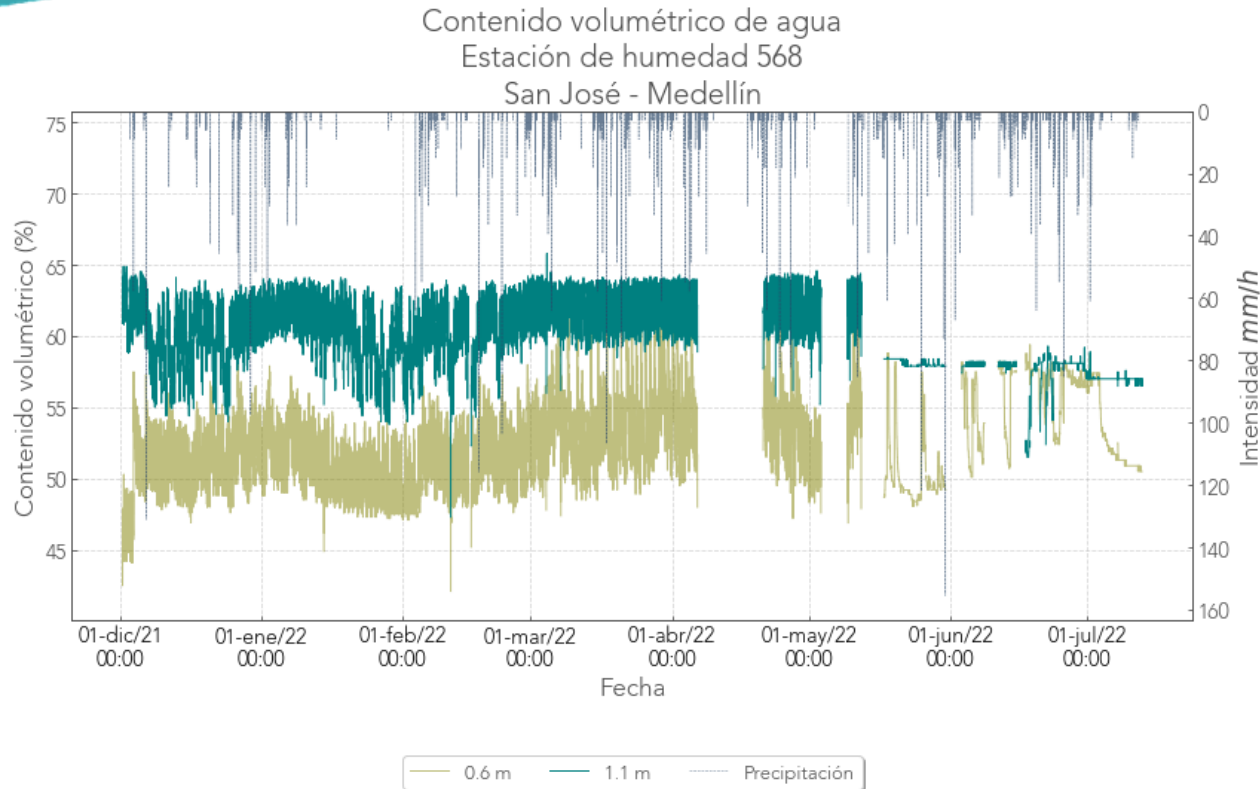


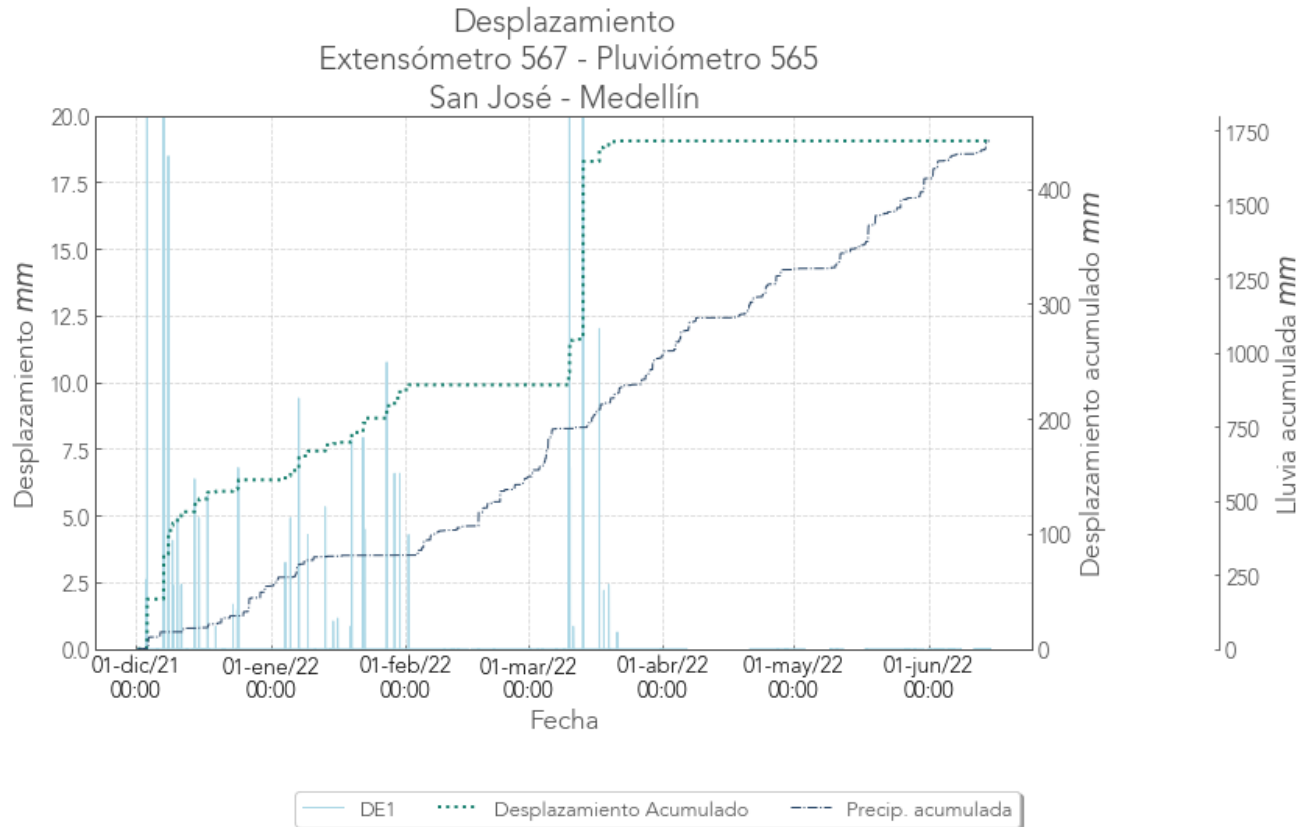
Figura 12. Registro histórico del sensor de humedad 568. Tanque vereda San José.

Entre el 15 de junio y 13 de julio el inventario de la estación de humedad 568 (Figura 11) registró contenido volumétrico de agua entre el 52% y 57% con ligeras oscilaciones.

El registro histórico (Figura 12) de estos sensores tiende a ser estable en ambas profundidades. A 1.1 m de profundidad muestra variaciones temporales del contenido volumétrico de agua entre el 55% y 65%, mientras que a 0.6 m de profundidad los valores se mantienen entre el 55% y 47% desde su instalación hasta el inicio del mes de abril de 2022. También se observa una pérdida en el set de datos durante el mes de abril por fallas intermitentes en la transmisión de información que se relaciona por pérdida de señal en el área. Para solucionar este problema en el mes de mayo se cambió la tarjeta Raspberry del sensor, mejorando la calidad de la información transmitida.

Sin embargo se recomienda la revisión del equipo ya que al final del periodo los valores son constantes pero están por debajo de los máximos históricos del sensor.

Finalmente el suelo superficial de este sector se interpreta como un suelo saturado, debido a la cercanía de un canal con flujo de agua continuo y las altas precipitaciones que han ocurrido.



En la planta de tratamiento de agua de la Vereda San José en el municipio de San Antonio de Prado se encontraba instalado un extensómetro (567) cuya función era el monitoreo remoto del movimiento en masa que se desarrolla.

Este sensor se instaló el 01/12/2021 y actualmente se encuentra en mantenimiento y no ha sido reinstalado. El registro histórico del extensómetro muestra un desplazamiento acumulado superior a 400 mm, junto a un aumento mensual de la precipitación acumulada en el área (Figura 13).

Se observa que durante diferentes intervalos de tiempo se dieron desplazamientos en el terreno. Los más significativos se dieron entre los meses de diciembre y febrero; Y un segundo evento a mediados del mes de marzo de 2022.

Figura 13. Registro histórico del extensómetro 567. Tanque Vereda San José.

Conclusiones

- Debido a que la precipitación fue constante durante el periodo de monitoreo, no se encontró una correlación directa de esta con la instrumentación instalada que se pueda relacionar con el aumento de los movimientos. Sin embargo no se descarta que esto ayude a los procesos erosivos.
- Realizar una visita de campo al sector para ver el estado del tanque, además, de una revisión del estado del sensor de humedad y acelerómetro (566) debido a las anomalías que muestran.
- A partir de los registros de cada sensor se puede concluir que el movimiento sigue activo y se puede clasificar como un movimiento de tipo rotacional.

Nota: El seguimiento de este monitoreo se realizara de manera quincenal para cada mes.
Los registros históricos se mostraran desde su fecha de instalación hasta la fecha de entrega de cada informe.