



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

Introducción

El sitio de monitoreo se encuentra al suroccidente de Medellín en área rural del corregimiento de San Antonio de Prado, específicamente en la Planta de Acueducto de la vereda San José.

Se presenta un reporte con las principales novedades de la zona desde la información registrada por los sensores, las visitas de campo realizadas los días 16 y 29 de agosto y las imágenes tomadas con dron. Durante el mes de septiembre se han registrado diferentes eventos de precipitación sobre la zona con intensidades mayores a los 100 mm/h y un acumulado durante el mes de 250 mm. A nivel superficial, el acelerómetro registró cambios significativos en el grado de inclinación de la ladera y en profundidad el cable TDR presentó desplazamiento de hasta 5 cm en 12.5 m de profundidad.

Características geológicas y geomorfológicas del sitio

La zona se compone de depósitos de vertiente tipo flujos de lodo, con algunos clastos de hasta 30 cm de diámetro compuestos de rocas volcánicas meteorizadas embebidas en una matriz arcillosa.

Geomorfológicamente, el proceso morfodinámico activo se caracteriza como un deslizamiento rotacional con múltiples superficies de fallas. En algunos casos estas se manifiestan en superficie como escarpes. El escarpe principal tiene un salto de aproximadamente 9 m de altura, y al menos 3 escarpes con saltos superiores a 1 m de altura (uno cerca al perímetro de la edificación principal del acueducto, otro cercano a la entrada del acueducto y otro a 70 m de la entrada del acueducto por la vía vehicular hacia el norte).

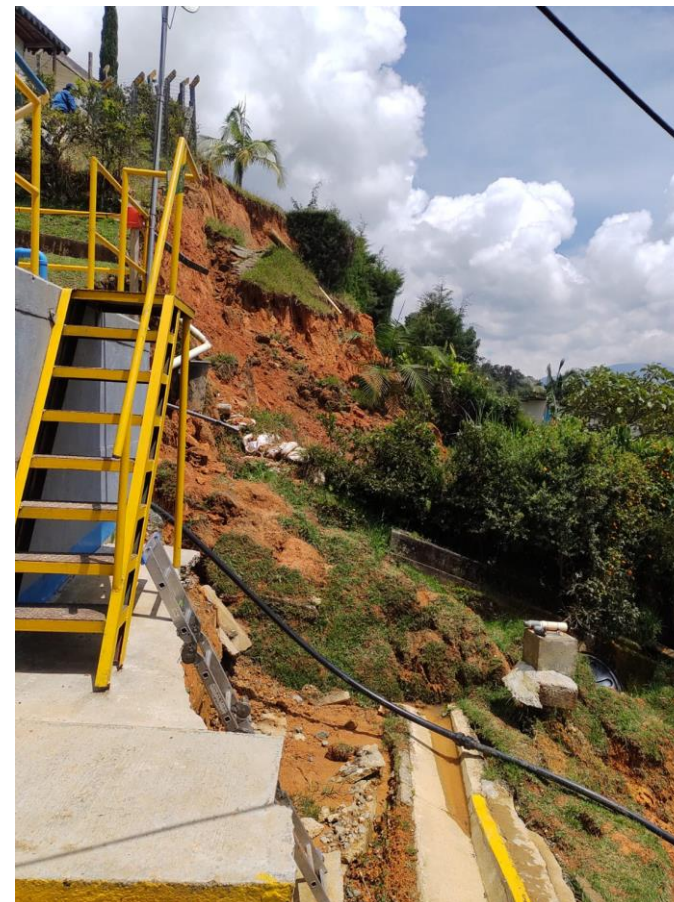


Figura 4. Escarpe principal del deslizamiento

Ubicación sensores

Actualmente, en la zona se encuentra instalada la siguiente instrumentación que opera de manera remota:

- 2 Acelerómetros: estación 566 instalado el 12 de diciembre del año 2021 y la estación 594 instalado el 27 de abril del año 2022.
- 1 cable TDR5 (Time Domain Reflectometry): instalado el 7 de mayo del año 2021.
- 1 sensor de humedad del suelo: instalado el día 1 de diciembre del año 2021.
- 1 pluviómetro: estación 565 instalado el día 1 de diciembre del año 2021.

En la Figura 2 se observa la zona monitoreada con la ubicación de los sensores en las zonas afectadas. Nota: El sensor de humedad en los últimos días ha perdido comunicación, por lo tanto, no se realizó descripción ni ubicación en este reporte.



Figura 2. Ubicación de los sensores en la zona afectada.

Precipitación

Primer semestre 2022

Pluviómetro: En la Figura 3 se presenta la información de la lluvia registrada por el pluviómetro instalado en la zona durante el primer semestre del año. En los meses de marzo, abril y mayo se presentaron varios eventos de precipitación con intensidades superiores a los 120 mm/h. En el mes de julio también se registraron algunos eventos con intensidades superiores a los 120 mm/h y uno de estos eventos superó los 150 mm/h. El acumulado total de lluvia para este primer semestre fue superior a los 1600 mm.

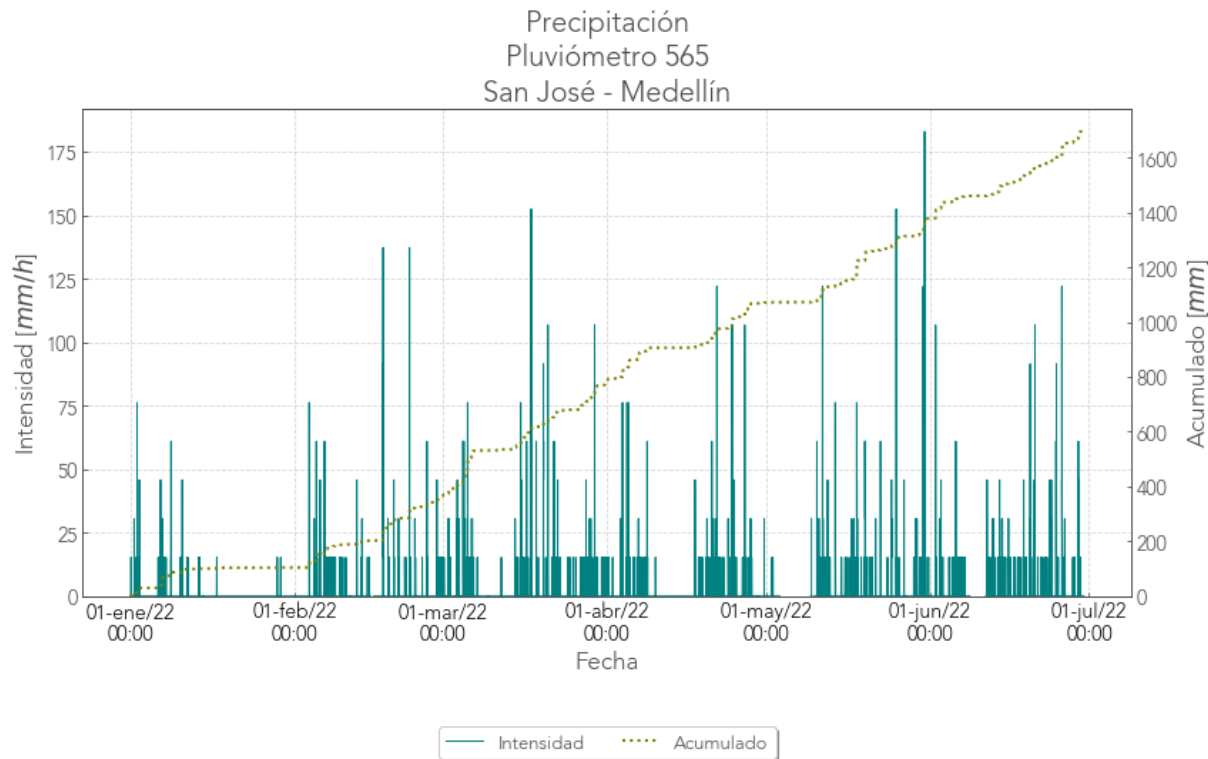


Figura 3. Registro del pluviómetro Tanque San José, primer semestre del año.

Precipitación

En la Figura 4 se presenta la información de la lluvia registrada por el pluviómetro instalado en la zona durante el mes de septiembre. Se destacan 5 eventos de precipitación con acumulados mayores a los 100 mm/h, dos de estos superaron los 150 mm/h y se presentaron durante los primeros 10 días del mes. De estos 5 eventos, 3 registraron acumulados cercanos a los 50 mm.

El acumulado total de lluvia durante este mes es de aproximadamente 250 mm. Durante el mes de agosto el acumulado total fue de 175 mm.

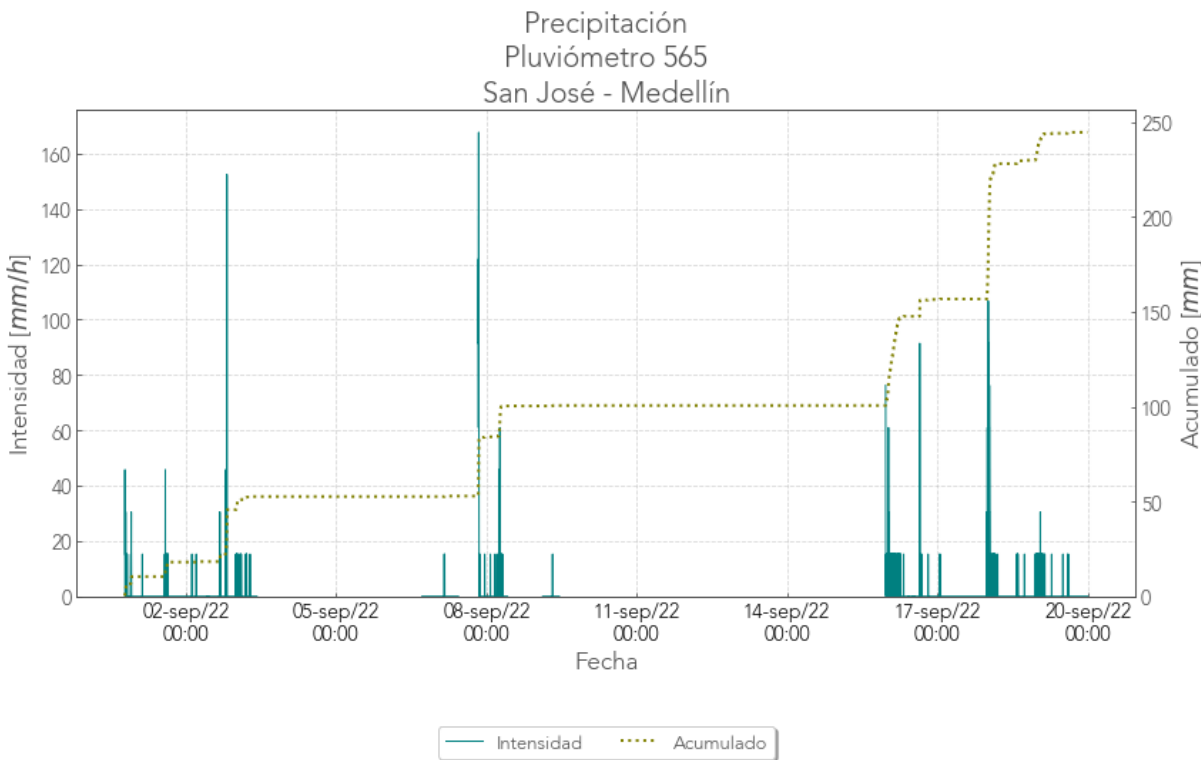


Figura 4. Registro del pluviómetro Tanque San José, mes de septiembre.

Monitoreo geotécnico

Acelerómetro: El acelerómetro es un instrumento capaz de medir cambios en la inclinación de la ladera, los cuales representan movimientos en el terreno. El instrumento mide la inclinación en dos direcciones perpendiculares, representadas en cabeceo y balanceo.

En la Figura 5 se presenta el histórico del acelerómetro 566 ubicado en la parte baja cerca de la entrada a los tanques (ver Figura 2). Las líneas grises representan datos faltantes, como se observa a partir del mes de abril el sensor ha registrado muchos datos faltantes y esto es por qué la zona por estar en área rural presenta interferencia con la señal del sensor.

Cambios significativos en el grado de inclinación de la ladera se dan entre los meses de marzo, abril y mayo, a partir de junio hasta septiembre el cambio es ascendente y de manera pronunciada.

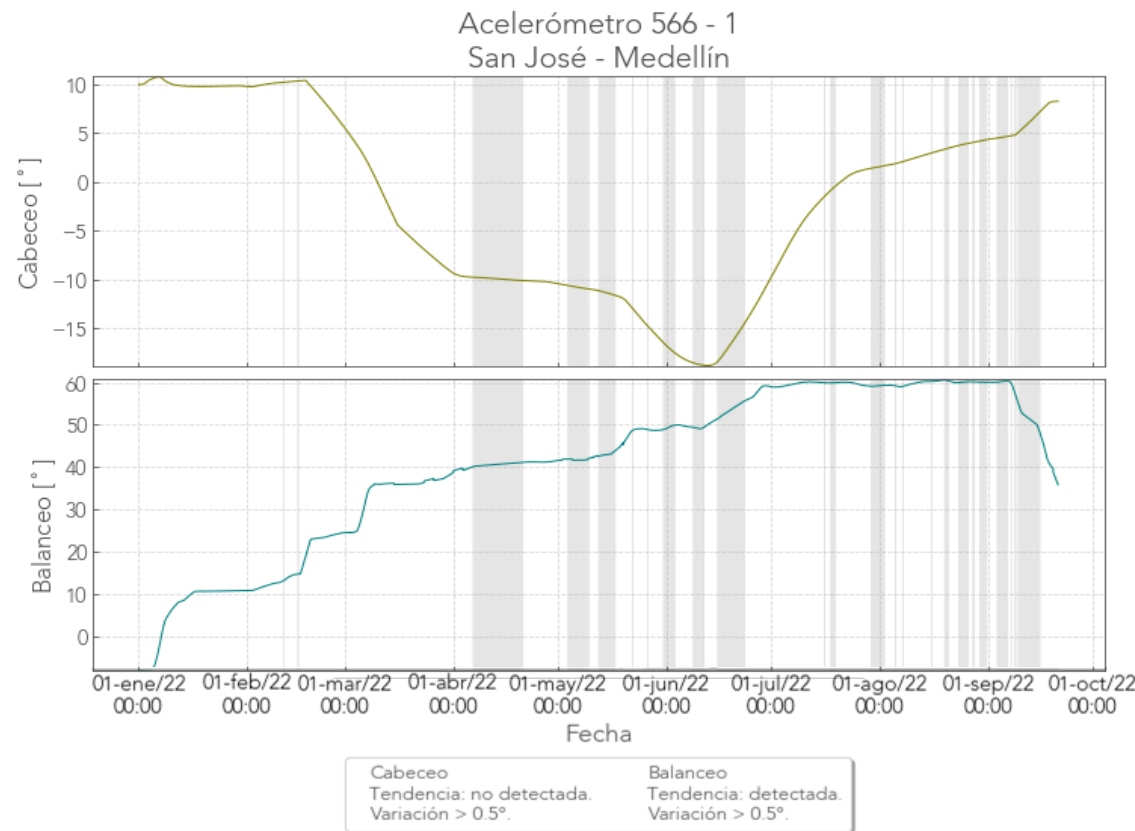


Figura 5. Registro histórico del acelerómetro 566 San José-Medellín.

Monitoreo geotécnico

Durante el mes de septiembre, los acelerómetros presentaron intermitencias en la comunicación de los datos en los primeros 15 días del mes. Sin embargo, a partir del día 15 se observaron cambios importantes en la inclinación. En la Figura 6 se presenta la gráfica del acelerómetro 566 con variaciones cercanas a 8° en el cabeceo y 10° en el balanceo, la mayor variación se dio sobre los días 17 y 18 para el cabeceo y 16 y 17 para el balanceo.

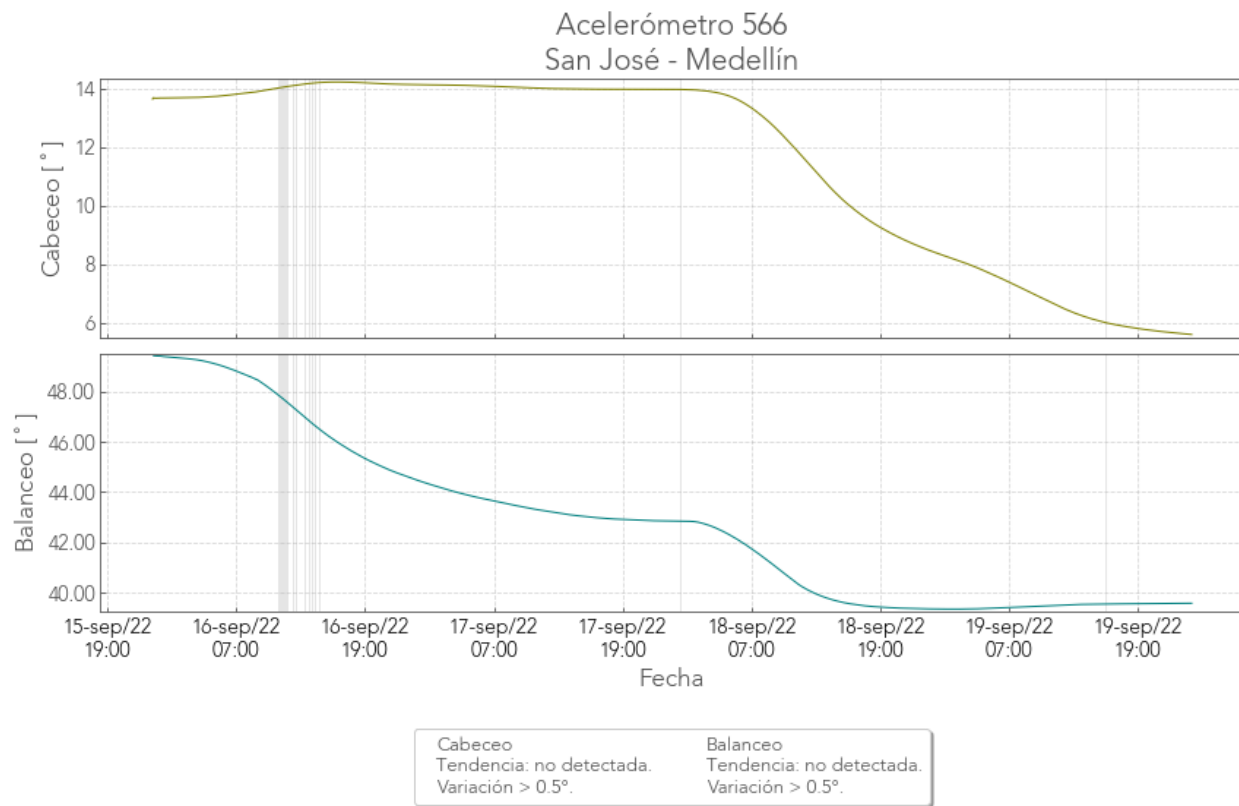


Figura 6. Registro del acelerómetro 566 San José-Medellín durante el mes de septiembre.

Monitoreo geotécnico

En la Figura 7 se presenta el registro histórico del acelerómetro 594 ubicado hacia la parte alta de la zona dentro de la estructura principal del acueducto que se encuentra cerca de los tanques (ver Figura 2).

Se observó desde el mes de mayo hasta julio variaciones decrecientes tanto en el balanceo como en el cabeceo. Desde el mes de julio hasta septiembre los cambios en balanceo y cabeceo ha sido con una tendencia a aumentar significativamente, los cual estaría indicando cambios abruptos en los grados de indicación de la ladera durante los últimos meses.

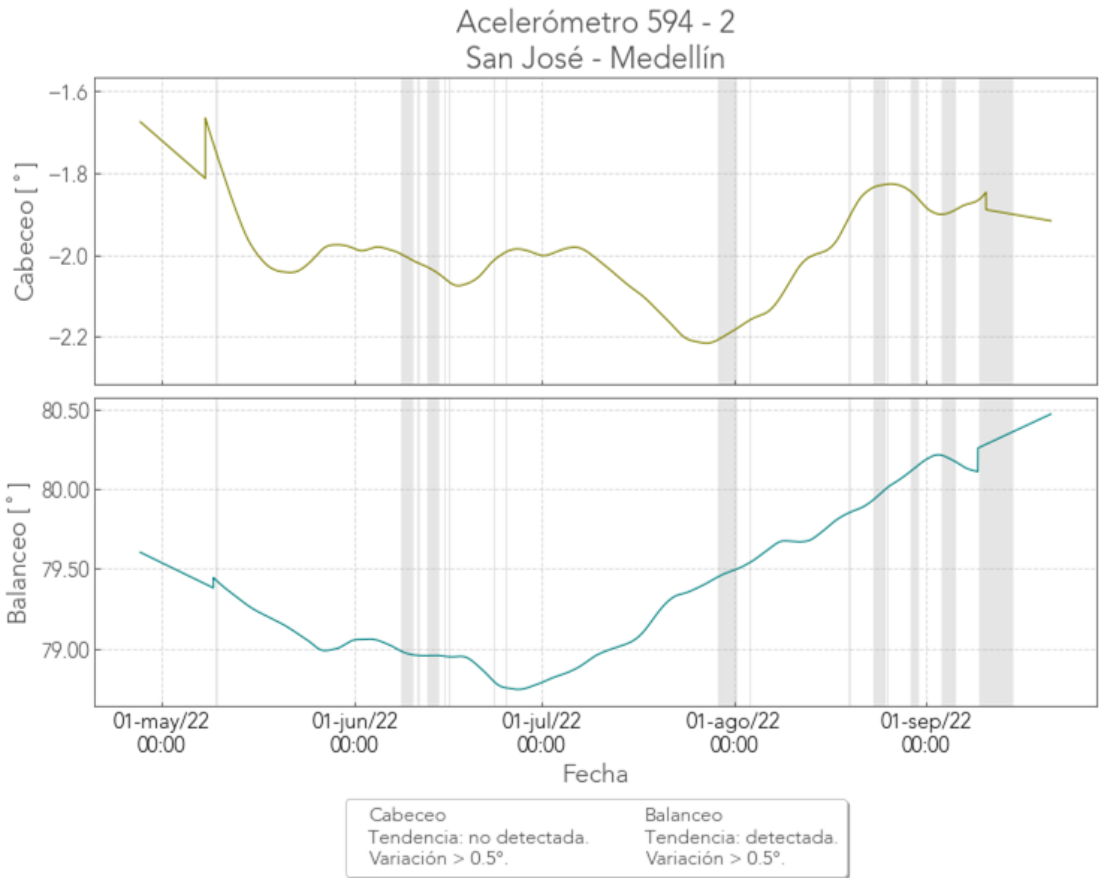


Figura 7. Registro del acelerómetro 594 San José-Medellín.

Monitoreo geotécnico

Durante el mes de septiembre el acelerómetro 594 presentó variaciones de hasta 1° en el cabeceo y balanceo registrados a partir de los días 16 hasta el 19 de septiembre.

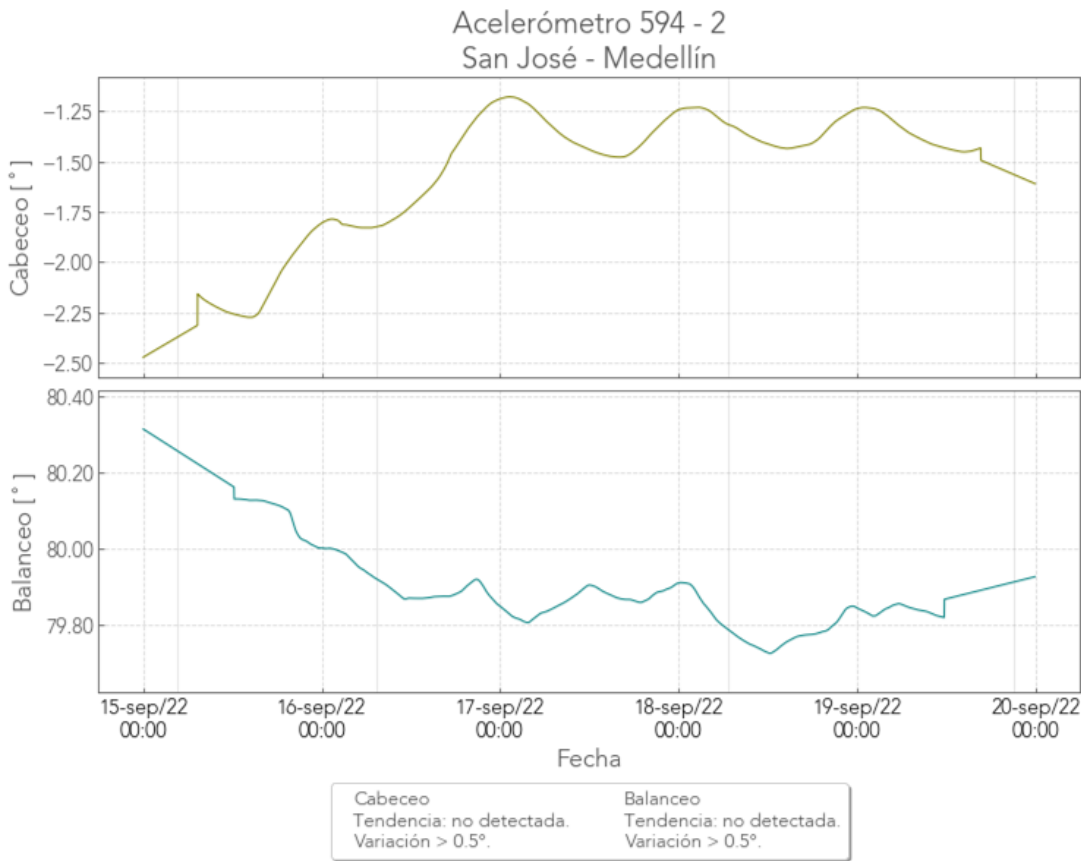


Figura 8. Registro del acelerómetro 594 San José-Medellín en el mes de septiembre.

Monitoreo geotécnico

Time Domain Reflectometry (TDR): Es un sensor encargado de medir la deformación del terreno en profundidad. Genera un pulso electromagnético de corto tiempo de subida que se aplica a un cable coaxial para medir el desplazamiento sobre las superficies de fallas de un movimiento en masa. En la Figura 9 se observa el esquema de instalación de un sensor TDR en un movimiento en masa.

Actualmente, en el sitio se encuentra instalado un cable a 30 m de profundidad y se encuentra registrando datos desde el 2 de junio del año 2021.

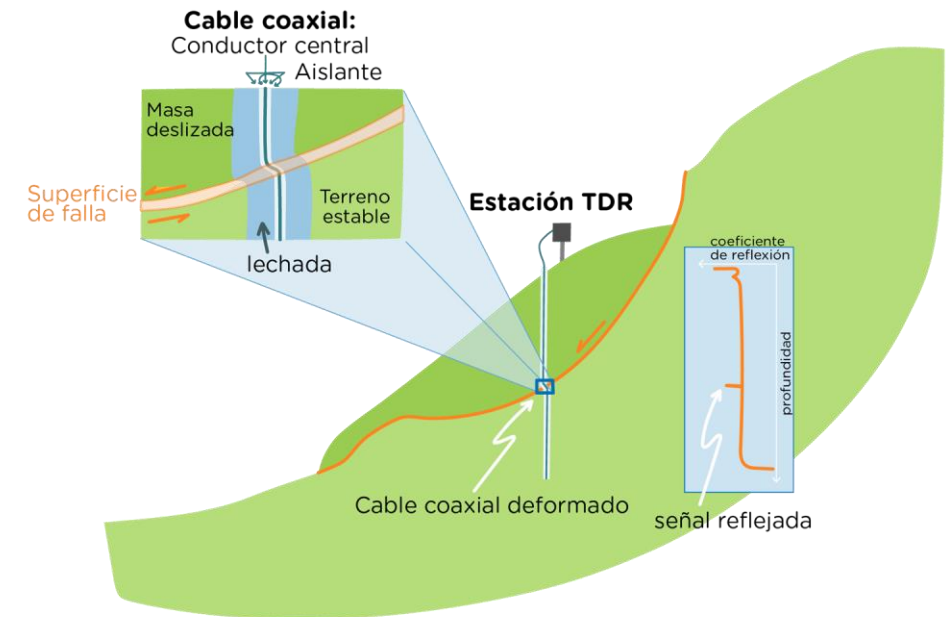


Figura 9. Esquema de instalación de un cable TDR.

Monitoreo geotécnico

En la Figura 10 se presenta el gráfico del cable TDR en el sitio, donde se muestra la deformación del terreno en profundidad. La línea negra representa la posición inicial del cable desde la primera vez que fue instalado. La línea azul claro es el registro del cable el día 21 de agosto de este año y la línea azul oscuro representa la señal del cable tomado el día 20 de septiembre.

De acuerdo con la Figura 10, en el momento el sitio presenta una zona de deformación comprendida entre 0 y 13 m de profundidad con 3 zonas de rotura identificadas a 4, 7 y 10 a 13 m. En las dos primeras zonas de roturas identificadas no se presentaron cambios sustanciales durante el periodo analizado. Mientras que la última zona identificada registró desplazamiento y además pasó de estar sobre los 10 m a hasta los 12.5 m de profundidad siendo un registro nuevo con una deformación significativa.

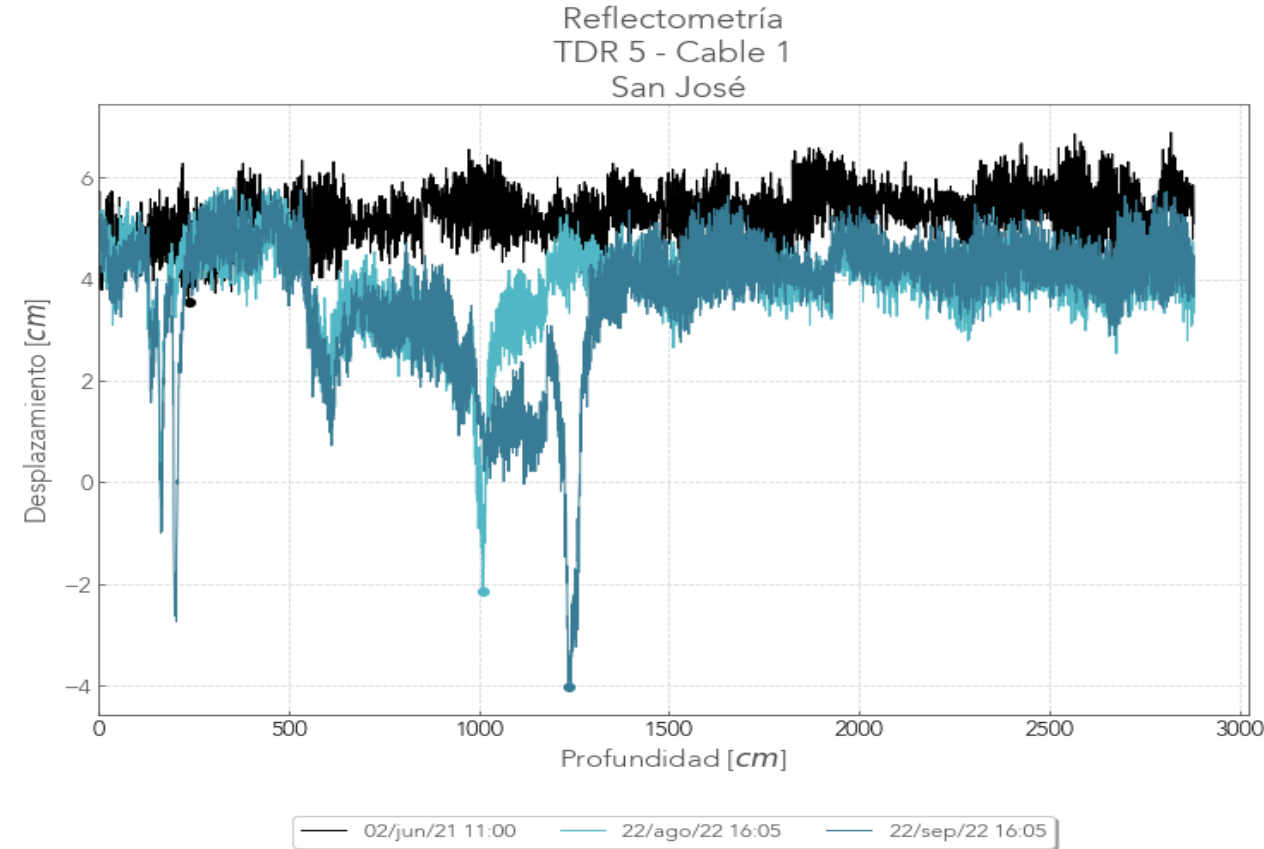


Figura 10. Registro histórico del cable 1 TDR 5 instalado en el sector Tanque San José.

Monitoreo geotécnico

Los primeros indicios de movimientos durante el mes se presentaron entre los días 9 y 10 de septiembre aproximadamente a los 11 m de profundidad como se observa en la Figura 11.

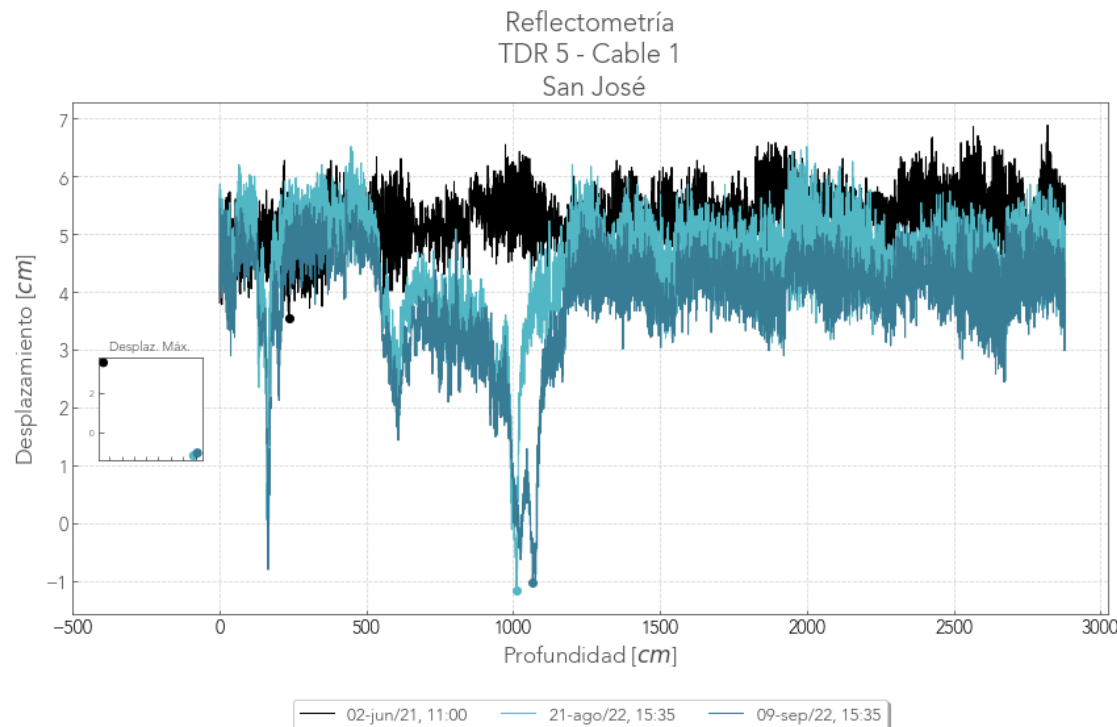


Figura 11. Registro del desplazamiento máximo cable 1 TDR 5 instalado en el sector Tanque San José.

Finalmente, la Figura 12 muestra el desplazamiento máximo acumulado durante el mes incluido en la Figura 10. Durante el periodo comprendido entre el 21 de agosto y el 20 de septiembre se ha presentado un desplazamiento máximo de hasta 5 cm.

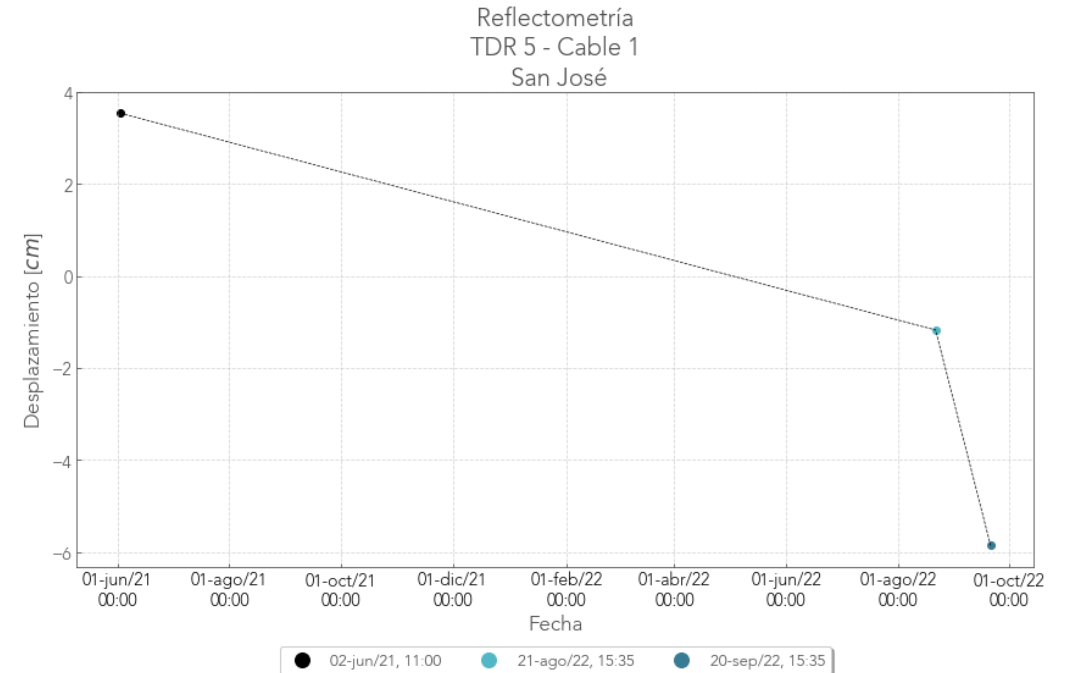


Figura 12. Registro del desplazamiento máximo cable 1 TDR 5 instalado en el sector Tanque San José.

Recorridos de campo

El 29 de agosto y el 16 de agosto se realizaron visitas de inspección y mantenimiento del esquema de monitoreo instalado en el sitio. Se observaron deformaciones en el terreno que ocasionaron graves afectaciones a los siguientes elementos expuestos:

Planta de acueducto vereda San José: afectaciones al acceso de la planta (escarpe de 2 m aproximadamente) luego del corredor perimetral de la edificación principal (Figura 13). Grietas de dilatación en las aristas de la estructura principal. Afectaciones en las líneas de acueducto, aparentemente reparadas con adiciones de tubería y mangueras. Pérdida de verticalidad en elementos del enrejado, tanques en fibra de vidrio.



Figura 13. Afectaciones en el acceso al acueducto de la vereda San José

Recorridos de campo

Vía vehicular: Deformaciones graves en los rieles de concreto, pérdida total del tránsito vehicular en una sección aproximada de 70 m de la vía.



Figura 14. Afectaciones en el acceso al acueducto de la vereda San José

Edificación residencial 1: colapso parcial de la edificación construida con elementos de madera (Figura 15).



Figura 15. Colapso de casa construida en madera

Recorridos de campo

Edificación residencial 2: ubicada a 70 m aproximadamente del acueducto hacia el norte por la vía vehicular. Pérdida de acceso por deformaciones en la vía vehicular, pérdida de suelo de soporte en muro perimetral.



Figura 16. Desplazamiento relativo de losa de acceso

Edificación residencial 3: ubicada en la parte alta del talud al norte de los tanques de acueducto veredal. Afectaciones en toda la estructura, grietas, deformaciones graves de elementos estructurales, pérdida total de acceso peatonal, provocado por el escarpe principal del deslizamiento, aproximadamente 9 m.



Figura 17. Afectación del talud cerca de la casa que se encuentra señalada con un círculo rojo.



Figura 18. Talud de los tanques afectado.

Ortofoto

El día 7 de septiembre el equipo de drones realizó sobrevuelo con dron sobre la zona afectada. En la Figura 19 se puede observar la ortofoto producto del procesamiento de imágenes con dron. Se logra observar con un recuadro rojo el área afectada.

En las Figuras 20 y 21 se observa las ortofotos del sitio tomadas los días 14 de enero y 7 de septiembre del presente año. Durante este intervalo de tiempo se evidencian cambios superficiales del terreno especialmente hacia la zona centro involucrando las casas sobre la parte baja y la vía de acceso al sector. También se presentan cambios y afectaciones en el terreno en la entrada del acueducto y parte de los tanques.



Figura 19. Ortofotografía producto del procesamiento de imágenes de dron, tomadas el día 7 de septiembre.

Ortofoto



Figura 20. Ortofoto de la zona tomada el día 14 de enero de 2022.



Figura 21. Ortofoto de la zona tomada el día 7 de septiembre de 2022.

Conclusiones y recomendaciones

- A partir de las características geomorfológicas y los resultados de la instrumentación geotécnica instalada en el lugar, se interpreta que el movimiento en masa tiene una dirección hacia el sureste, en donde la quebrada de la cual se surte el acueducto, lava el material desplazado, erosionando la orilla oeste de la quebrada.
- De acuerdo con la instrumentación geotécnica, las visitas de campo y las imágenes de dron se logró evidenciar una actividad considerable durante el último mes en el sector Tanques de San José. Deformaciones entre los 10 y 12.5 m de profundidad con desplazamientos de hasta 5 cm. Adicionalmente se presentaron cambios superficiales registrados por los dos acelerómetros y las ortofotos obtenidas a partir del procesamiento de las imágenes con dron.
- Los eventos de precipitación durante los últimos días han sido de mayores intensidades y más recurrentes, por lo tanto, es uno de los mecanismos principales en la infiltración de agua en el suelo y el posible avance en las deformaciones tanto en superficie como en profundidad.
- Se recomienda realizar visitas periódicas al lugar, continuar con el monitoreo con la instrumentación presente en el sitio y los sobrevuelos con dron.