



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 (Figura 1).

El monitoreo geotécnico se realizaba a través de instrumentación remota por medio de 2 acelerómetros (estación 566 instalada el 12/01/2021 y estación 594 instalada el 27/04/2022), 1 cable TDR (100553) instalado el 07/05/2021, 1 sensor de humedad del suelo (estación 568) instalado el 01/12/2021 y 1 pluviómetro (estación 565) instalado el 01/12/2021.

Debido a un riesgo eléctrico por el mal estado de la planta de tratamiento, el día 27 de octubre del 2022 el equipo de mantenimiento decidió hacer suspensión de la energía de los equipos de monitoreo. Por tal razón se presenta un concepto del equipo de geotecnia para justificar el retiro de los sensores instalados.

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.



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

Ortofoto

El día 7 de septiembre el equipo de drones realizó sobrevuelo con dron sobre la zona afectada. En la Figura 2 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 3 y 4 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 2. Ortofotografía producto del procesamiento de imágenes de dron, tomadas el día 7 de septiembre.

Ortofoto



Figura 3. Ortofoto de la zona tomada el día 14 de enero de 2022.



Figura 4. Ortofoto de la zona tomada el día 7 de septiembre de 2022.

Deformación del terreno y escarpe principal de aproximadamente 9 m de altura.

Deformación y pérdida total de acceso al lugar.

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.

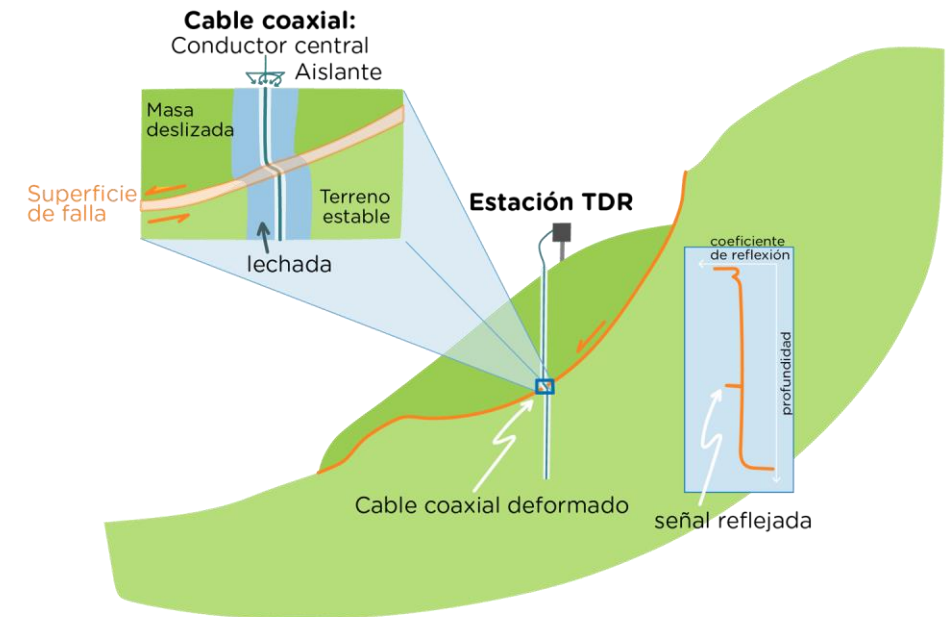


Figura 9. Esquema de instalación de un cable TDR.

Monitoreo geotécnico

En la Figura xx se presenta el gráfico del cable TDR instalado en el sitio. En el gráfico se muestra en color negro la primera señal emitida desde el momento de la instalación, en color verde oliva se presenta la señal emitida el día 1 de septiembre de este año y en color verde claro se presentan la señal emitida el día 20 de octubre.

El gráfico muestra tres superficies de falla o zonas de deformación, la primera se encuentra entre los 1.40 y 2.20 m de profundidad, la segunda entre los 5.9 y 6.4 m y la tercera se encuentra entre los 9.5 y 13 m de profundidad. Esta última superficie de falla ha registrado movimientos relativos durante los últimos meses.

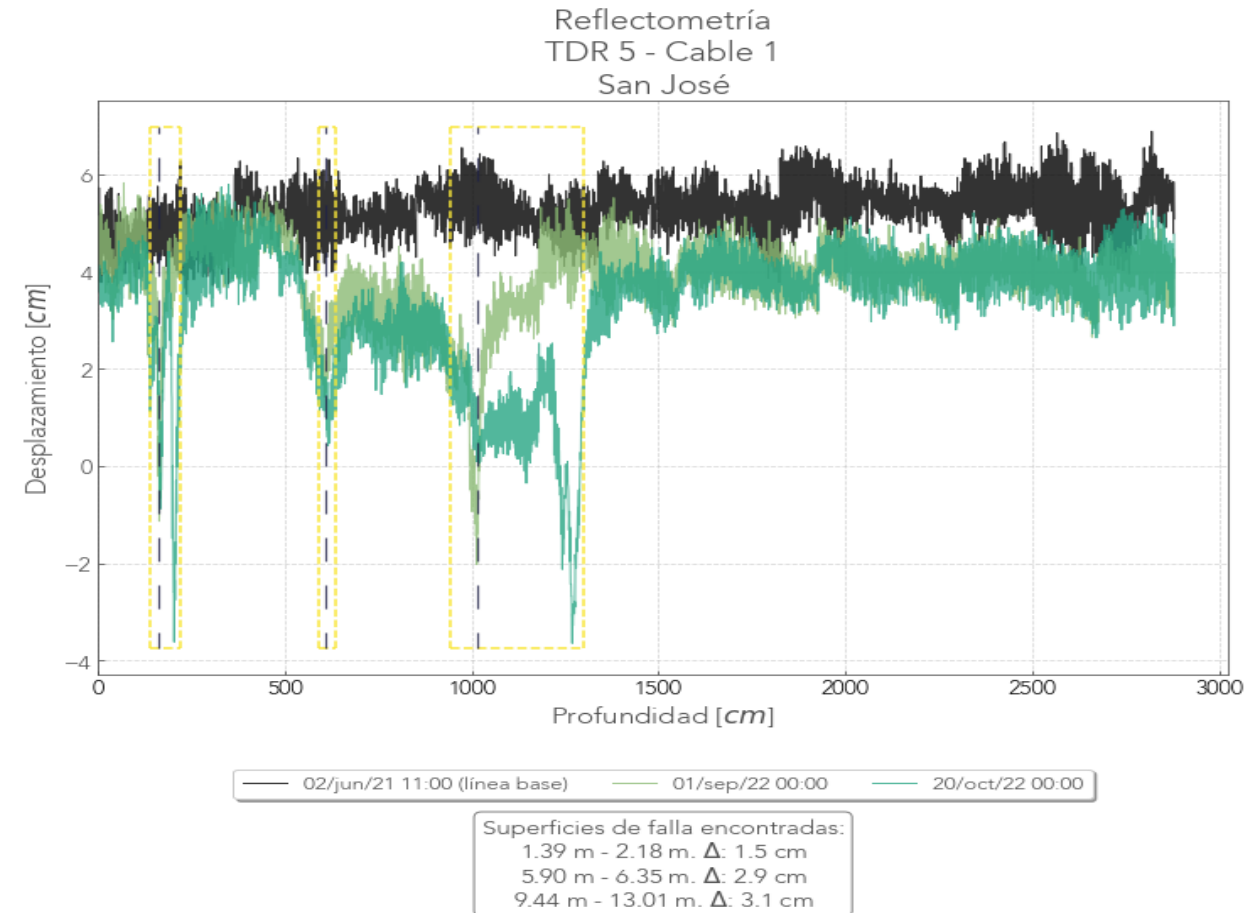


Figura 10. Registro histórico del cable 1 TDR 5 instalado en el sector Tanque San José.

Recorridos de campo

Entre los días 16 y 29 de agosto y el día 27 de octubre 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

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.

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.

Recorridos de campo

El equipo de mantenimiento realizó una visita el día 27 de octubre registrando el avance progresivo del movimiento en masa.

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

Conclusiones y recomendaciones

- 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 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.

A partir de aca no va...

Precipitación

El pluviómetro se encuentra ubicado dentro de la planta de tratamiento de agua de la vereda San José (Figura 2).

Durante el mes de septiembre y octubre de 2022 se registró una precipitación acumulada de 502 mm. Durante este periodo se presentaron diferentes eventos de alta intensidad que superaron los 100 mm/h y una intensidad máxima de 167.6 mm/h durante la primera semana de septiembre (Figura 3).

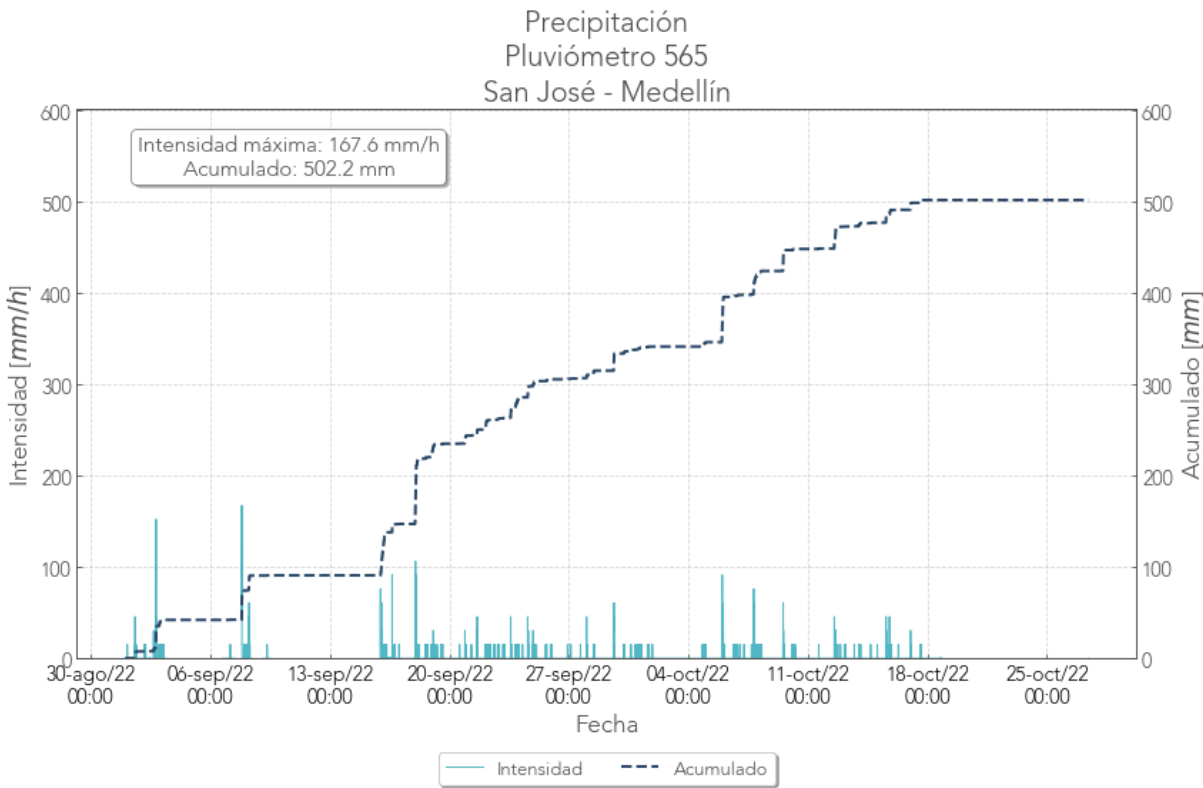


Figura 3. Registro del pluviómetro Tanque San José.

Monitoreo geotécnico

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.

Entre los días 7 y 25 de septiembre de 2022, el acelerómetro 566 registró cambios en la inclinación del cabeceo y el balanceo (Figura 5).

En el cabeceo se observaron cambios significativos mayores a 5° , comparado con la tendencia original desde el inicio del monitoreo. Para el balanceo se observó una variación de 2° entre el 10 y 25 de septiembre.

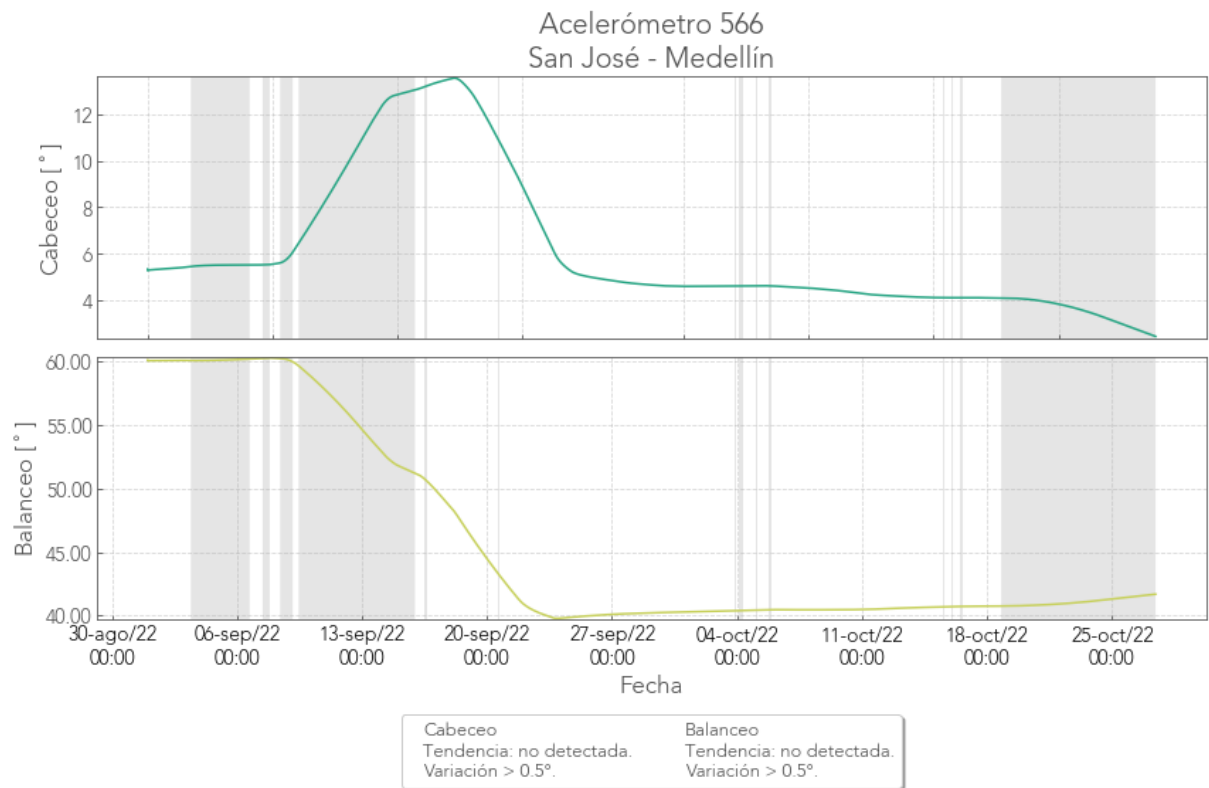


Figura 5. Registro del acelerómetro 566 San José-Medellín durante el mes de septiembre y octubre.

Monitoreo geotécnico

El segundo acelerómetro se encuentra instalado en una pared del tanque fuera del proceso de inestabilidad, con el fin de monitorear la estructura.

Durante el mes de septiembre el acelerómetro 594 presentó variaciones poco significativas ($<1^\circ$) en el cabeceo y balanceo a partir del 16 del mismo mes.

Para el mes de octubre los valores se mantuvieron constantes (Figura 7).

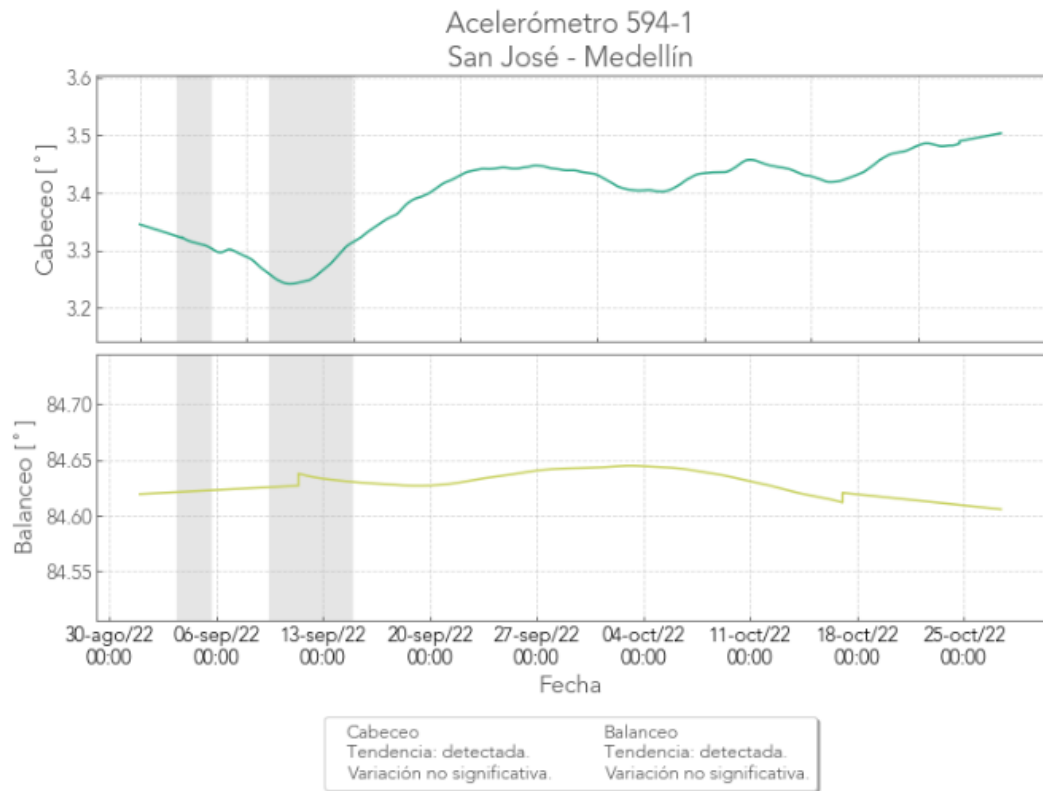


Figura 8. Registro del acelerómetro 594 San José-Medellín en el mes de septiembre.

Monitoreo geotécnico

Durante el mes de septiembre y octubre el acelerómetro 594 no registró variaciones significativas en el balanceo y cabeceo (Figura 7).

A lo largo del periodo de monitoreo de la estructura del tanque no se observaron variaciones mayores a 1° (Figura 8).

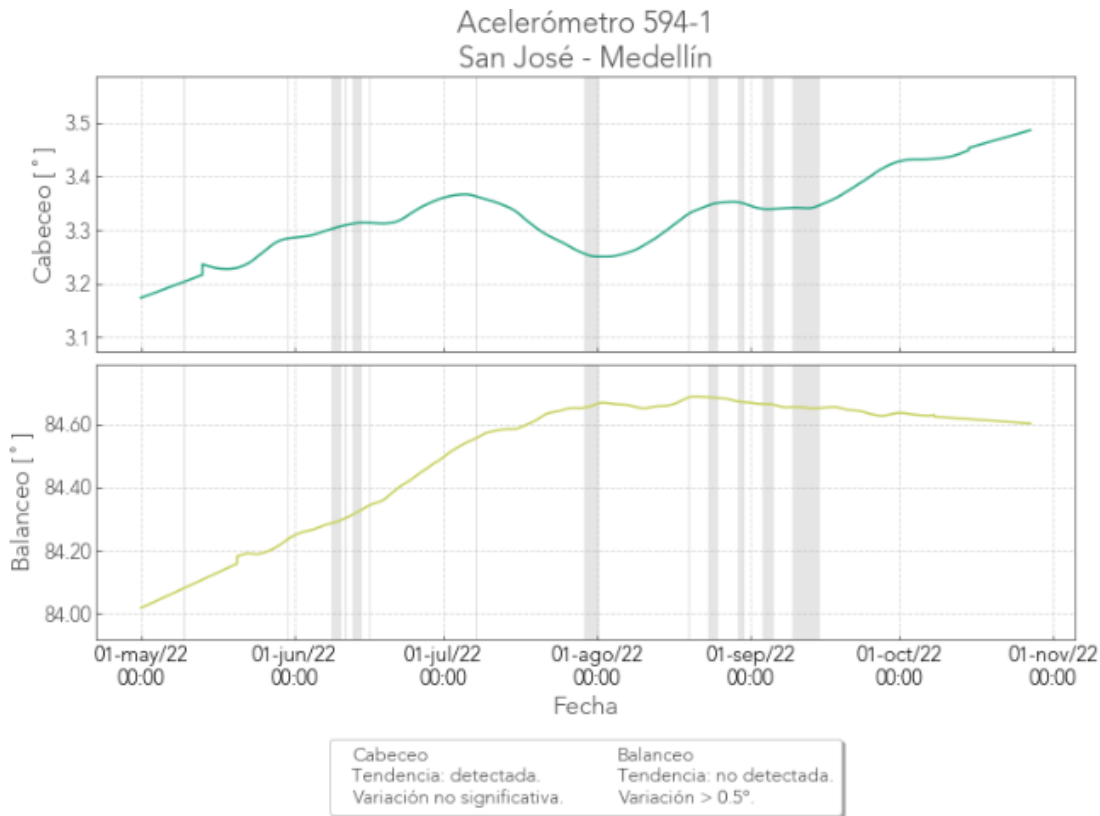


Figura 8. Registro histórico del acelerómetro 594 San José-Medellín.

Monitoreo geotécnico

En el mes de septiembre se registraron variaciones significativas en el cabeceo ($>5^\circ$), mientras que en el balanceo valores ($>2^\circ$) del acelerómetro 566 (Figura 5).

Comparado con el registro histórico (Figura 6), se observó una inclinación contraria a la registrada inicialmente ($\geq 10^\circ$) para el cabeceo desde la instalación del equipo hasta finales de 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, a partir del 1 de junio de 2022, en el cabeceo se observa un cambio en el sentido de la inclinación del terreno, el cual sigue siendo constante hasta el mes de agosto. Este movimiento se clasifica de tipo rotacional por sus superficies de falla definidas.

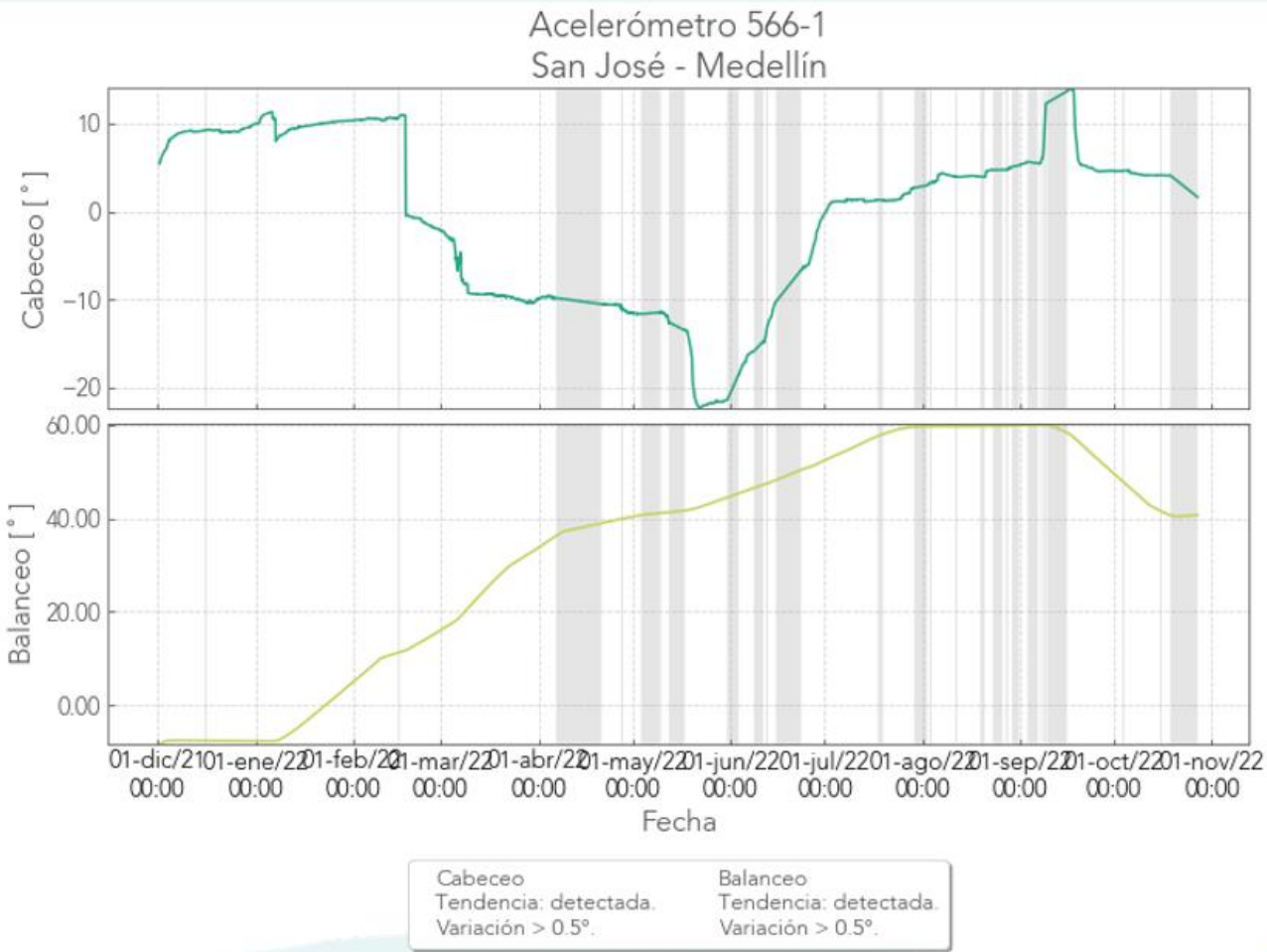


Figura 6. Registro histórico del acelerómetro 566 San José-Medellín.

Precipitación

La precipitación registrada en los meses de septiembre y octubre (Figura 3) permite el aumento de agua acumulada en el sector, además, junto al flujo de agua continuo que hay en el sector por los cuerpos de agua ubicados en el área hay un constante incremento en la saturación y contenido de humedad en el suelo.

La Figura 4 muestra el registro histórico del pluviómetro 565, donde se observa una precipitación acumulada igual a 2805 mm desde su instalación hasta el 27 de octubre de 2022, junto a diferentes eventos con intensidades que superan los 100 mm/h durante el periodo de monitoreo.

La precipitación registrada en los meses de septiembre y octubre (Figura 3) permite el aumento de agua acumulada en el sector, además, junto al flujo de agua continuo que hay en el sector por los cuerpos de agua ubicados en el área hay un constante incremento en la saturación y contenido de humedad en el suelo.

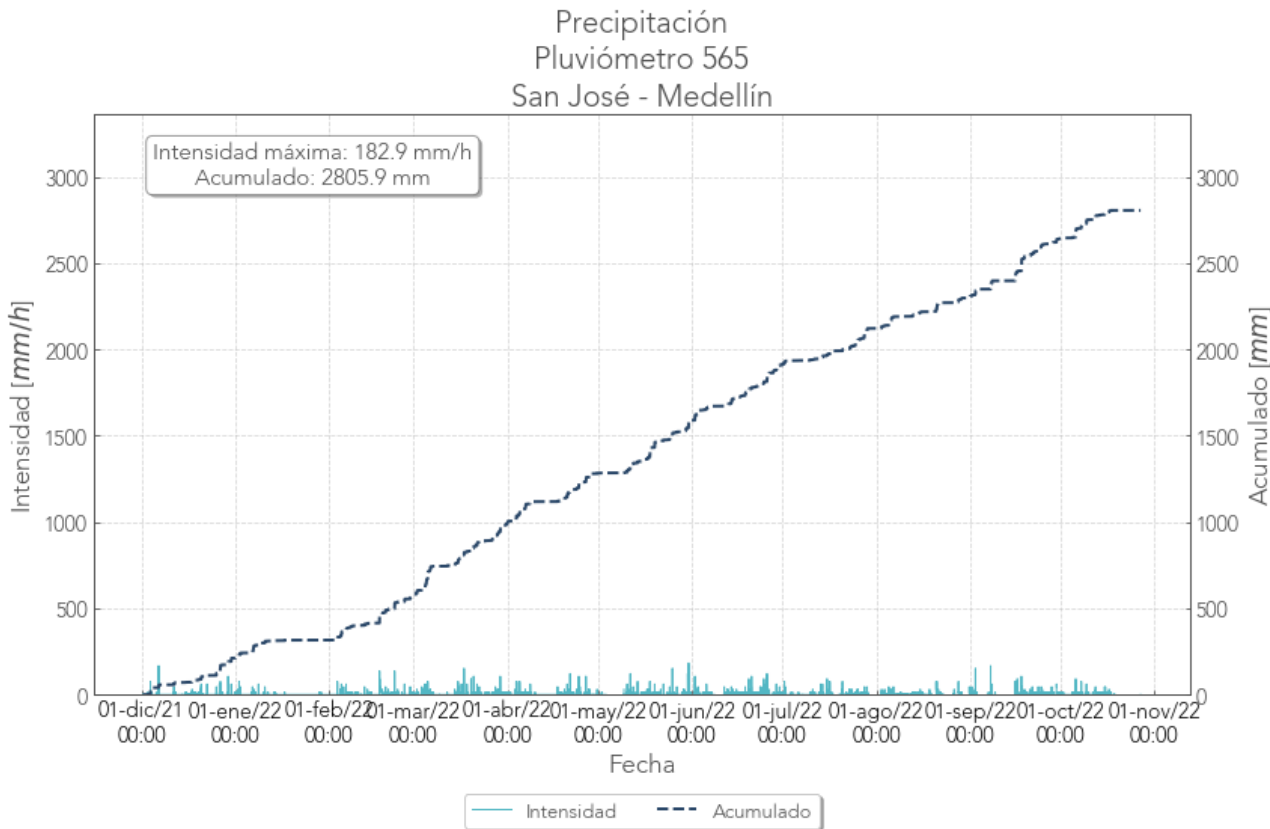


Figura 4. Registro histórico del pluviómetro Tanque San José.