

San José, San Antonio de Prado, Medellín

Ubicación

Municipio: Límite entre Medellín y La Estrella

Barrio/Vereda: Vereda San José

Latitud: 6.167714194

Longitud: -75.66131523

Dirección/ruta de acceso: Tomando la vía principal de la vereda San José desde la “Nueva Vía a San Antonio de Prado” (carrera 68 con calle 64 sur) por 1.4 km hasta la parte alta de la vereda, en la planta de acueducto de la vereda San José.

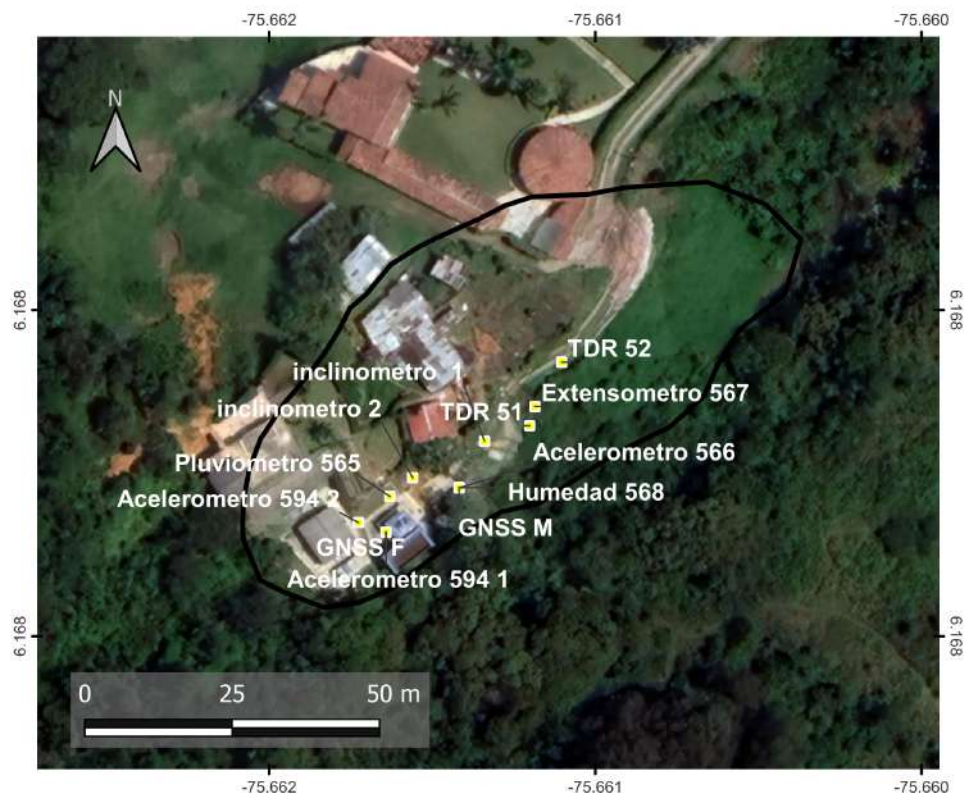


Figura 1: Ubicación del deslizamiento San José y sensores instalados

Descripción del sitio

Características del movimiento en masa:

Con base en las características del relieve y en el registro geotécnico de los instrumentos instalados y monitoreados por SIATA, se describe el movimiento en masa como un deslizamiento rotacional con múltiples superficies de falla identificadas mediante el monitoreo con cables TDR e inclinometría convencional. Estas superficies de falla se encuentran desde profundidades de hasta 14 m de profundidad registradas por el TDR 51, donde también se han identificado zonas de deformación a 10 m, 6 m, y 2 m de profundidad, lo cual es consistente con el registro de inclinometría. La cinemática del deslizamiento es lenta, con periodos en los que se aumenta la velocidad de desplazamiento.

El sitio se encuentra limitando al sur por la quebrada La Limona, de la cual se surte el acueducto veredal, esta quebrada se encuentra socavando la orilla izquierda del afluente, lo que se interpreta como la zona de depositación del movimiento en masa, y posiblemente, esta socavación está promoviendo el desplazamiento de la masa inestable. El movimiento en masa ha deformado el relieve del sitio, provocando el colapso parcial de edificaciones residenciales, afectaciones graves en la planta de acueducto veredal, y deformación total de la vía vehicular en un área aproximada de 4000 m².

Elementos expuestos y afectaciones:

El movimiento en masa se encuentra en una zona rural, con presencia de múltiples líneas y fuentes de servicios. A continuación se listan los elementos expuestos al movimiento en masa, algunos de los cuales han presentado afectaciones totales o parciales.

- **Planta de acueducto de la vereda San José.** Se encuentra en la parte alta del deslizamiento, se compone de dos estructuras que aparentemente comparten el mismo sistema de fundación, la primera corresponde a la casa de máquinas, de techo azul en la Figura 1, que se encuentra sobre un tanque de agua. La segunda estructura es un tanque con techo en láminas de asbesto-cemento. Actualmente la estructura presenta fisuras y grietas de entre muros y losas de piso. También se evidencia la pérdida de verticalidad en elementos asociados al enrejado. Al límite este de las estructuras, se encuentra el escarpe principal del deslizamiento, el cual tiene un salto de aproximadamente 3 m, provocando la pérdida total de acceso vehicular y el acceso peatonal. En la parte norte de la planta, se encuentra un talud con pendiente superior a 60°, en el cual se observa desprendimientos someros depositados cerca del tanque del acueducto.
- **Líneas de servicios.** La planta de acueducto veredal presta servicios a comunidades de los municipios Medellín (corregimiento de San Antonio de Prado) y La Estrella. Esta planta constantemente resulta averiada producto del deslizamiento, con ruptura de las líneas de acueducto desde la planta de acueducto veredal. En el lugar también se encuentra postes y líneas de energía eléctrica, las cuales podrían resultar afectadas por de la dinámica del movimiento en masa.
- **Edificaciones residenciales y productivas:** Se encuentran al menos cuatro estructuras residenciales. La primera, ubicada en cota superior a la planta de acueducto, construida en mampostería reforzada, actualmente se encuentra deshabitada, con múltiples lesiones estructurales graves que pueden comprometer la estabilidad de la estructura, esta edificación perdió totalmente el acceso peatonal principal, producto del avance del deslizamiento. Al costado norte de la planta se encuentra una edificación construida en elementos de madera, la cual colapsó totalmente. Al lado de la anterior edificación, se encuentra otra edificación construida en elementos de madera y mampostería con techo en láminas de zinc con graves afectaciones; por lo cual, se encuentra inhabilitada. La cuarta edificación se encuentra en la parte baja del deslizamiento, esta perdió su acceso vehicular, se observa pérdida de suelo de soporte del muro perimetral y no se descarta afectaciones a la estructura, esta edificación es también usada en actividades equinas y de ganadería.

- **Vía:** Pérdida total del tránsito por deformaciones de la vía vehicular compuesta por rieles en concreto, esta vía da acceso a las edificaciones residenciales mencionadas anteriormente y a la planta de acueducto veredal.
- **Terreno:** El movimiento en masa generó deformaciones en el terreno, tales como grietas y escarpes, el principal escarpe tiene una altura aproximada de hasta 6 m, se encuentra ubicado en la entrada de la planta de acueducto veredal, donde el salto es de aproximadamente 3 m. Se registran al menos otros dos escarpes en la parte media y baja del deslizamiento, con alturas menores a 2 m. La quebrada La Limona se encuentra socavando la orilla izquierda del canal, erosionando el material movilizado.

Características geológicas-geomorfológicas:

Según la microzonificación sísmica del AMVA (2016), la geología superficial del área se compone de rocas ígneas volcánicas asociadas al miembro volcánico de la Formación Quebradagrande, aflorantes en la parte alta de la ladera, depósitos de flujos de lodos y escombros en la parte media de la ladera. La microzonificación define la geomorfología como colinas en suelos residuales. En el sitio se han realizado perforaciones, cuyo registro, en la parte alta del deslizamiento, indican la presencia de suelos residuales de roca volcánica meteorizada (basalto) con espesores superiores a 26 m, y en la parte media y baja del deslizamiento, se describe la litología en dos perforaciones (TDR 1 y 2) como depósitos de flujos de lodo de 0 a 6-8.8 m de profundidad, suprayaciendo suelo totalmente meteorizado de roca ígnea volcánica en profundidades superiores a 30 m. En el sector se observan pendientes moderadas en la zona de las edificaciones, aumentando la pendiente en la parte alta del deslizamiento. Estructuralmente, se trazan lineamientos N-S asociados al sistema de fallas Cauca-Romeral, alineados los cauces de la quebrada Doña María, Río Medellín (municipios de Caldas y La Estrella) y alineación de silletas en la misma ladera, además, el registro de perforación del inclinómetro 1 indicó texturas del suelo asociado a zona de falla (salbanda y brecha de falla).

Historia del escenario:

A continuación se presenta el registro de acciones asociadas al movimiento en masa del sitio monitoreado.

- Se construye la planta de acueducto de la vereda San José en los años 90s, según el personal encargado del mantenimiento, en los años 90s y 2000s se observaron grietas y otras evidencias de inestabilidad en la zona.
- Mediante imágenes satelitales registradas en marzo de 2018, se observó deformaciones en las losas de la rampa de acceso a la planta de acueducto veredal, en enero de 2019 se observaron deformaciones en los rieles de la vía vehicular, en enero de 2020 se observaron desprendimientos de suelo del talud norte de la planta de acueducto veredal (Figuras 2 y 3).
- En julio de 2019 el contratista CONSULCIVIL inicia el monitoreo mediante el inclinómetro 1 y en diciembre de 2019 se instala el inclinómetro 2.
- SIATA inicia el monitoreo de la planta de acueducto veredal el 27 de abril de 2021, mediante el monitoreo de inclinometría tradicional, encontrándose el inclinómetro 1 obstruido a 7 m (zona de deformación evidenciada por CONSULCIVIL) y el inclinómetro 2 con una profundidad funcional de 34.5 m. Además, se instala los cables TDR 51 y 52 en abril de 2021.
- Ante la actividad registrada por los inclinómetros y cables TDR se decide robustecer el esquema de monitoreo geotécnico, con la instalación en diciembre de 2021 de acelerómetro, extensómetro, sensor de humedad y pluviómetro.

- En enero de 2022, junto con personal de las alcaldías de Medellín, La Estrella y el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, se desarrolla mesa técnica donde se exponen los resultados del monitoreo a la fecha. Ante las condiciones de la estructura de la planta de acueducto y los resultados parciales del monitoreo, los funcionarios exponen la intención de trasladar la planta de acueducto a un sitio aguas abajo.
- Durante el año 2022 se envió reporte de manera periódica a funcionarios competentes de la alcaldía de Medellín y La Estrella.
- Durante el año 2022, el esquema de monitoreo tuvo numerosos inconvenientes debido a la dinámica del deslizamiento, provocando afectaciones en el registro y transmisión de datos de los instrumentos. El 27 de octubre de 2022, ante las graves afectaciones a la planta de acueducto veredal, se decide desconectar los instrumentos de monitoreo geotécnico.
- En marzo de 2023 se visitó la planta de acueducto, donde se evidenció el aumento en las deformaciones del terreno; además, se encontró graves lesiones en la estructura de la planta.
- En junio de 2024 se visitó la planta de acueducto, donde se identificaron evidencias de inestabilidad que podrían comprometer la estabilidad de la nueva planta de acueducto instalada 250 m aguas abajo de la planta antigua.

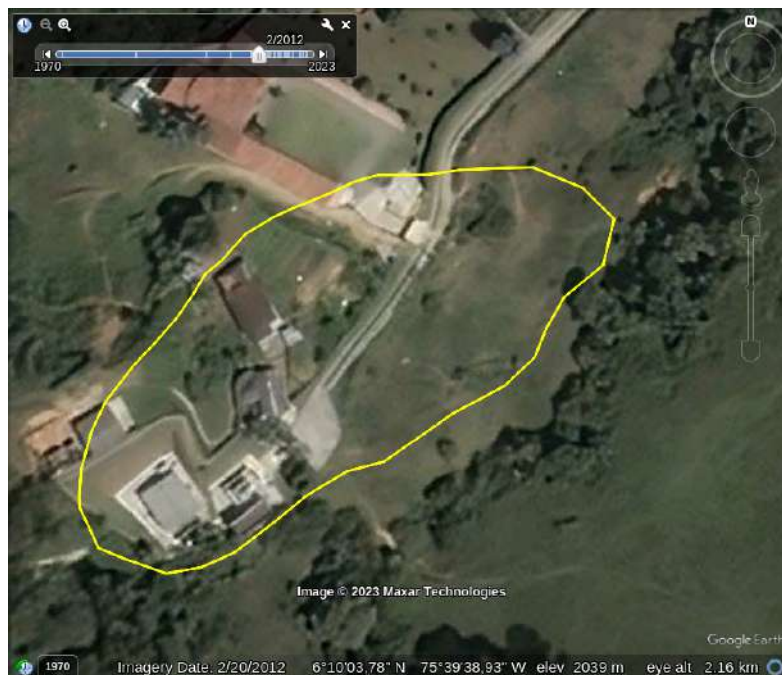


Figura 2: Imagen satelital de la planta de acueducto San Jose registrada en febrero de 2012. Figura tomada de Google Earth.

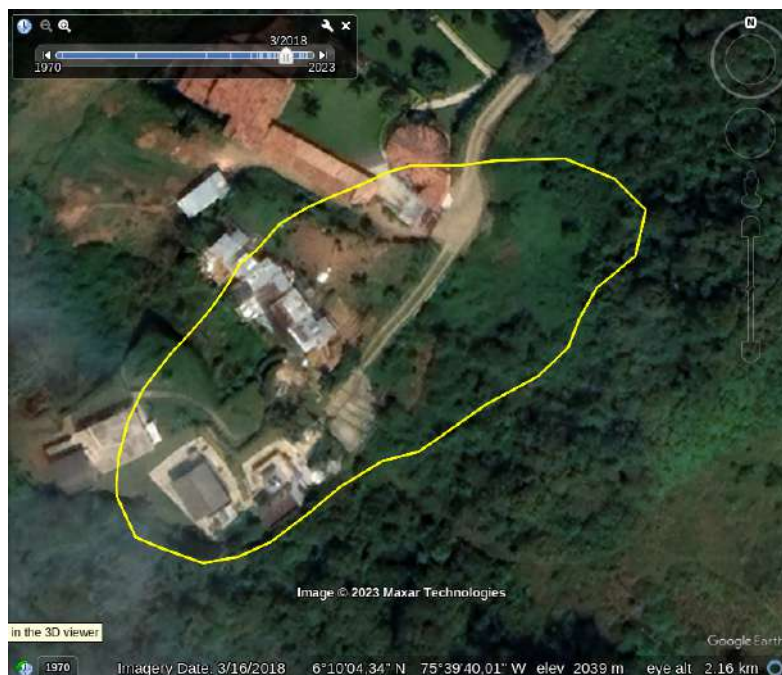


Figura 3: Imagen satelital de la planta de acueducto San Jose registrada en marzo de 2018. Figura tomada de Google Earth.

Visitas realizadas:

Además de las visitas realizadas por mantenimiento y sobrevuelos con drones, se han realizado las siguientes visitas al sitio monitoreado.

- 27/04/2021. Reconocimiento e inicio de monitoreo a instrumentación tradicional instalada en el lugar.
- 11/02/2022. Visita en conjunto con funcionarios del AMVA, las alcaldías de Medellín y La Estrella, donde se expone los resultados del monitoreo geotécnico del sector.
- 29/08/2022. Visita de monitoreo e inspección de instrumentos instalados.
- 31/03/2023. Visita de monitoreo.
- 18/06/2024. Visita de monitoreo.

Informes emitidos:

La Tabla 1 muestra el registro de informes que se han emitido del sitio monitoreado por parte del equipo de geotecnia.

Tabla 1: Informes emitidos por parte del equipo de geotecnia.

| Fecha | Motivo | Receptor |
|------------|---|--------------------------------|
| 09/08/2021 | Reporte geotécnico asociado a periodo de deformación registrada por cables TDR e inclinómetros monitoreados | DAGRD |
| 07/02/2022 | Reporte geotécnico de instrumentación tradicional consolidado año 2021 | DAGRD |
| 07/02/2022 | Reporte geotécnico de instrumentación en tiempo real del mes de enero de 2022 | DAGRD |
| 10/02/2022 | Reporte geotécnico periódico del sector San José | DAGRD |
| 25/02/2022 | Reporte geotécnico periódico del sector San José | DAGRD |
| 11/03/2022 | Reporte geotécnico quincenal del sector San José | DAGRD, Alcaldía de La Estrella |
| 30/03/2022 | Reporte geotécnico quincenal del sector San José | DAGRD, Alcaldía de La Estrella |
| 30/04/2022 | Reporte geotécnico quincenal del sector San José | DAGRD, Alcaldía de La Estrella |
| 13/05/2022 | Reporte geotécnico quincenal del sector San José | DAGRD, Alcaldía de La Estrella |
| 01/06/2022 | Reporte geotécnico quincenal del sector San José | DAGRD, Alcaldía de La Estrella |
| 16/06/2022 | Reporte geotécnico quincenal del sector San José | DAGRD, Alcaldía de La Estrella |
| 15/07/2022 | Reporte geotécnico quincenal del sector San José | AMVA |
| 31/07/2022 | Reporte geotécnico quincenal del sector San José | N/E |
| 15/08/2022 | Reporte geotécnico quincenal del sector San José | N/E |
| 1/09/2022 | Reporte geotécnico quincenal del sector San José | N/E |
| 21/09/2022 | Informe del monitoreo geotécnico realizado en el sector San José | N/E |
| 09/11/2022 | Informe geotécnico asociado a las causas de desconexión de la instrumentación en el sector San José | Concepto interno SIATA |

Esquema de monitoreo

La Tabla 2 muestra los instrumentos instalados que conforman el esquema de monitoreo del movimiento en masa.

Tabla 2: Instrumentos geotécnicos que conforman el esquema de monitoreo instalado en el sitio.

| Sensores | Código | Longitud | Latitud | Instalación | Retiro |
|--------------------|--------|-------------|--------------|-------------|------------|
| TDR 51 | 100553 | 6.1678226 | -75.66110089 | 30/04/2021 | 27/10/2022 |
| TDR 52 | 100553 | 6.16792008 | -75.66105164 | 30/04/2021 | 27/10/2022 |
| GNSS F | 595 | 6.167659385 | -75.66132102 | 27/04/2022 | 27/10/2022 |
| GNSS M | 595 | 6.16772758 | -75.66120898 | 27/04/2022 | 27/10/2022 |
| Acelerómetro 594 1 | 594 | 6.167659385 | -75.66132102 | 27/04/2022 | 27/10/2022 |
| Acelerómetro 594 2 | 594 | 6.16767414 | -75.66136331 | 27/04/2022 | 27/10/2022 |
| Humedad 568 | 568 | 6.16772758 | -75.66120898 | 1/12/2021 | 27/10/2022 |
| Extensómetro 567 | 567 | 6.167851998 | -75.66109259 | 1/12/2021 | 26/08/2022 |
| Acelerómetro 566 | 566 | 6.16772758 | -75.66120898 | 1/12/2021 | 27/10/2022 |
| Pluviómetro 565 | 565 | 6.167714194 | -75.66131523 | 1/12/2021 | 27/10/2022 |
| Inclinómetro 1 | | 6.16779883 | -75.66117003 | 27/04/2021 | 18/11/2021 |
| Inclinómetro 2 | | 6.16774275 | -75.66128022 | 27/04/2021 | 18/11/2021 |

El cable TDR 51 registró 3 zonas de deformación, la más profunda ubicada entre 11 y 13 m de profundidad, la segunda, a aproximadamente 6 m y la tercera a aproximadamente 2 m de profundidad. El cable TDR 52 resultó fallado a 12 m de profundidad aproximadamente, además, registró deformaciones a 5 m de profundidad.

El acelerómetro 566 instalado en el terreno registró variaciones cercanas a 25° en el cabeceo y 60° en el balanceo, las mayores variaciones se dieron entre enero y julio de 2022. El acelerómetro 594-1 ubicado en la estructura de la casa de máquinas, no registró variaciones significativas. El acelerómetro 594-2 ubicado en el segundo tanque de la planta, registro variaciones en el cabeceo de cercanas a 1.1° y en el balanceo de 1.6°.

La tendencia de los sensores de humedad fue permanecer constante en un rango de contenido de volumétrico de agua entre 55 % y 65 % para el sensor ubicado a 1.1 m y entre 48 % y 58 % en el sensor ubicado a 0.6 m de profundidad, lo que evidencia el alto y constante contenido de humedad, lo cual es coherente con lo evidenciado en visitas de campo.

El extensómetro registró desplazamientos cercanos a 154 mm entre diciembre de 2021 y abril de 2022. El máximo desplazamiento se dio la segunda semana del mes de marzo.

El GNSS no registró información concluyente. El registro muestra amplias y exageradas variaciones, además de no registrar una tendencia de desplazamiento consistente con la cinemática del movimiento registrada por los otros sensores y sobrevuelos de dron.

Monitoreo mediante sobrevuelos con drones

El monitoreo periódico con drones permite identificar los cambios superficiales del relieve, cambios en la ubicación relativa de los elementos en zonas inestables. La Tabla 3 muestra el registro de sobrevuelos realizados por parte del equipo de drones de SIATA. Las Figuras 4, 5 y 13, corresponden a sobrevuelos de monitoreo con drones.

Tabla 3: Sobrevuelos realizados al sitio monitoreado.

| Fecha | Sensor | Propósito |
|------------|--------|--|
| 13/08/2021 | RGB | Sobrevuelo de monitoreo. Se observa fisuras en el terreno y desplazamiento de la vía |
| 19/11/2021 | RGB | Sobrevuelo de monitoreo. Se evidencia movimiento en la vía y el terreno de la zona en vereda San José |
| 19/11/2021 | LiDAR | Sobrevuelo de monitoreo. Se evidencia movimiento en la vía y el terreno de la zona en vereda San José |
| 14/01/2022 | LiDAR | Se realiza mosaico de la zona con sensor LiDAR, se realiza sobrevuelo a una altura máxima de 50 metros |
| 14/01/2022 | RGB | Se realiza mosaico de la zona con sensor RGB, se realiza sobrevuelo a una altura máxima de 50 metros |
| 10/02/2022 | RGB | Sobrevuelo de monitoreo. Se evidencia movimiento en la vía y el terreno de la zona en vereda San José del municipio de la Estrella |
| 09/07/2022 | RGB | Sobrevuelo de monitoreo RGB. |
| 12/01/2023 | LiDAR | Sobrevuelo de monitoreo. |
| 17/02/2023 | RGB | Sobrevuelo de monitoreo quebrada La Limona. |
| 27/04/2023 | LiDAR | Sobrevuelo de monitoreo. Se evidencia movimiento en la vía y el terreno de la zona. |
| 27/04/2023 | RGB | Sobrevuelo de monitoreo. Se evidencia movimiento en la vía y el terreno de la zona. |
| 21/07/2023 | LiDAR | Sobrevuelo de monitoreo. Se observan movimiento en la vía y el terreno. |
| 21/07/2023 | RGB | Sobrevuelo de monitoreo. Se observan movimiento en la vía y el terreno. |
| 27/06/2024 | RGB | Sobrevuelo de monitoreo. Se observan movimiento en la vía y el terreno. |



Figura 4: Sobrevuelo de monitoreo realizado al deslizamiento San José en enero de 2022.



Figura 5: Sobrevuelo de monitoreo realizado al deslizamiento San José en septiembre de 2022.



Figura 6: Sobrevuelo de monitoreo realizado al deslizamiento San José en abril de 2023. Nótese la deformación total de los rieles de la vía vehicular.

En el sobrevuelo realizado finalizando el mes de julio de 2023, continúan observándose deformaciones en el terreno respecto a sobrevuelos antiguos, tal como se observa en Figura 7.

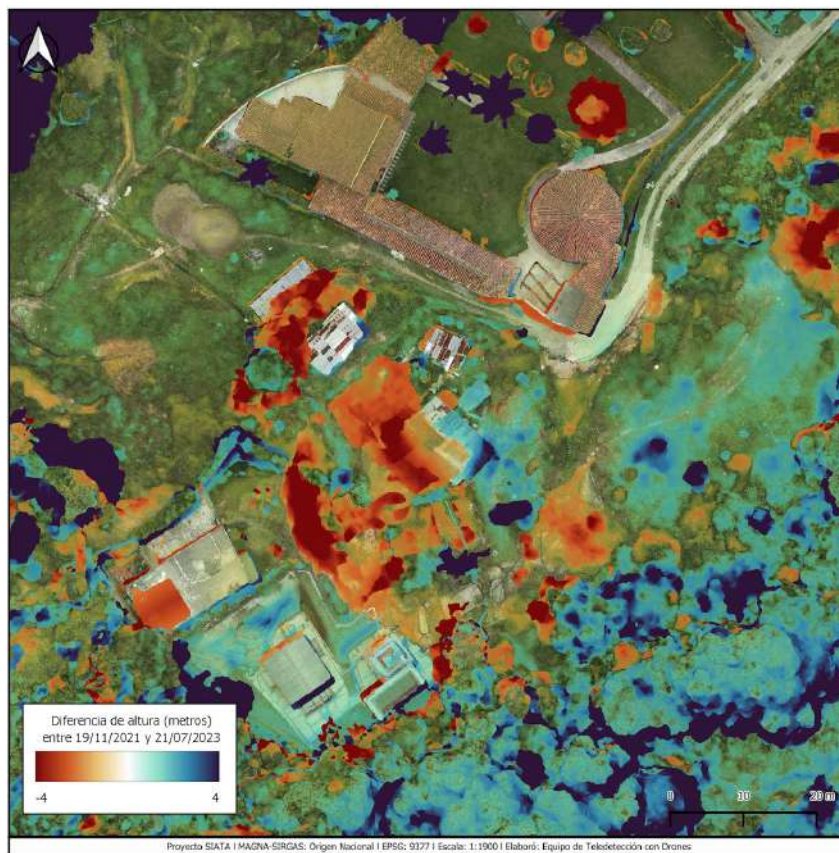


Figura 7: Mapa de calor comparativo de los sobrevuelos realizados en noviembre de 2021 y julio de 2023. En color rojo se observan las deformaciones negativas, es decir, aquellos sitios donde el terreno ha perdido altura.

La Figura 8 muestra un corte transversal en el terreno, donde se comparan las alturas en el Modelo Digital de Superficie de dos imágenes. Es posible afirmar que entre noviembre del 2021 y julio del 2023 el terreno ha perdido más de 5 metros de altura.



Figura 8: Perfil del terreno en parte del escarpe principal, donde se han presentado desplazamientos negativos importantes entre el perfil de 2021 en color azul y el perfil de 2023 en color rojo.

Adicionalmente, las estructuras aledañas se encuentran afectadas por el movimiento en masa, tal como se observa, a modo comparativo, en la Figura 9:



Figura 9: Estructuras afectadas por el movimiento en masa (incluye vías de acceso y edificaciones)

La Figura 10 muestra el cambio de altura entre los registros de drones del 21 de julio de 2023 (izquierda) y del 26 de junio de 2024 (derecha) en la antigua planta de acueducto San José. En las zonas 1 y 2 de la figura inferior izquierda, se evidencia el desmonte de la edificación residencial y de la antigua planta de acueducto, respectivamente. En la zona 3 se observa la conformación de un lleno antrópico en el escarpe del deslizamiento. Este lleno corresponde a la conformación de una entrada de acceso a una edificación residencial que se construyó en la zona 1 (Figura 14A). La zona 4 corresponde, aparentemente, a un levantamiento producto del basculamiento o comportamiento rotacional del deslizamiento.



Figura 10: Diferencia de alturas entre los DSM obtenidos a través de sobrevuelos con dron en la planta antigua.

La Figura 11 muestra el cambio de altura entre los registros de drones en la nueva planta de acueducto San José. En la zona 1 se observa la construcción de la infraestructura de la planta de acueducto veredal. En la zona 2 de la imagen inferior izquierda, se observa una pérdida de altura, la cual podría estar asociado a los procesos constructivos realizados o a hundimientos generados por movimientos en masa, ya que es la misma zona donde se evidenciaron los hundimientos en la visita de campo del 18 de junio de 2024 (Figura 14D). El aumento de altura en la zona 3 corresponde al crecimiento de la cobertura vegetal.

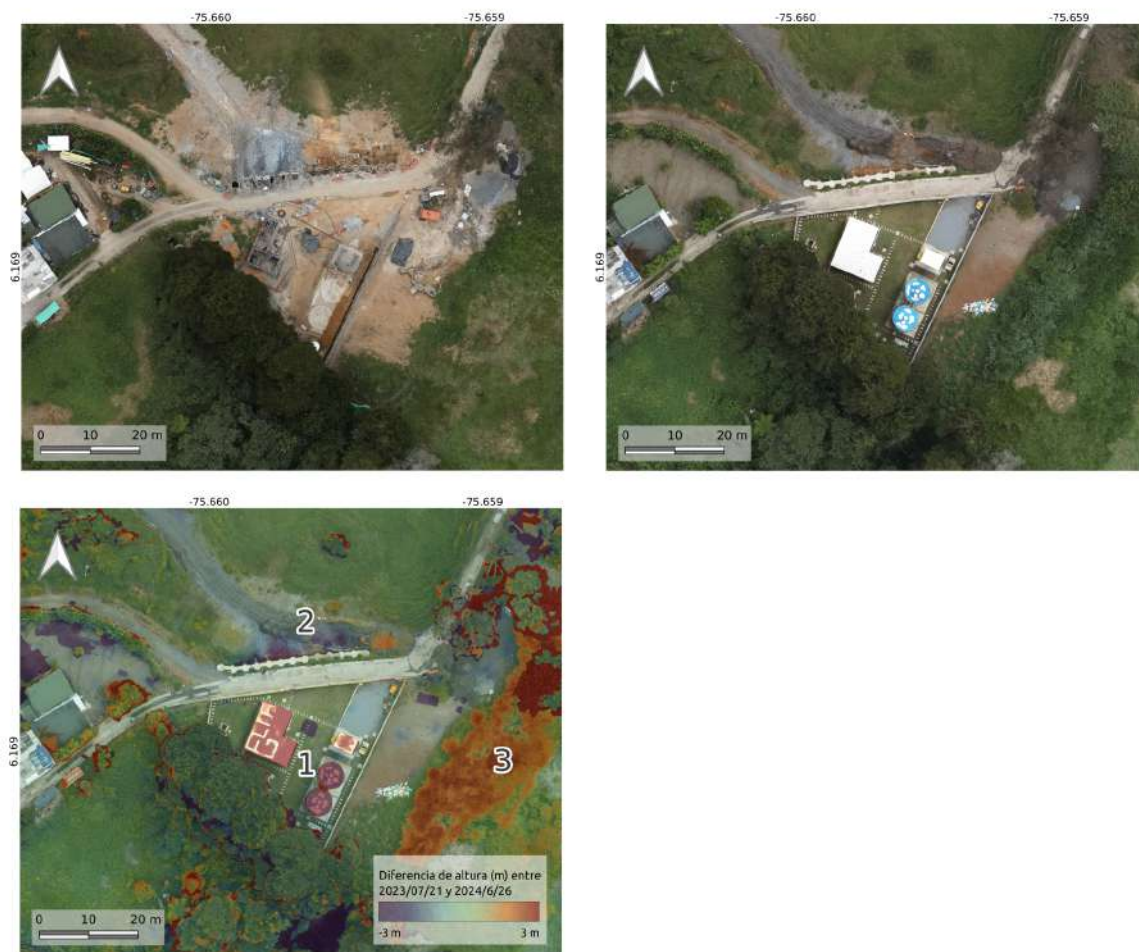


Figura 11: Diferencia de alturas entre los DSM obtenidos a través de sobrevuelos con dron en la planta nueva.

Registro fotográfico

A continuación se muestran fotografías del estado antecedente y actual del sitio monitoreado.



Figura 12: Evolución del escarpe principal en la zona de acceso a la planta de acueducto veredal. Imagen izquierda superior registrada en septiembre de 2021, imagen derecha superior registrada en marzo de 2022, imagen inferior izquierda registrada en septiembre de 2022, imagen inferior derecha registrada en marzo de 2023.



Figura 13: Lesiones en la estructura de la planta de acueducto veredal. Fotografía registrada en marzo de 2023.



Figura 14: El 18 de junio de 2024 se realizó una visita de inspección al sector San José. En esta visita se observaron grandes cambios del relieve asociados a actividades antrópicas y a los procesos morfodinámicos en esta zona. En la zona de la antigua planta de acueducto veredal se evidenció la conformación de un lleno antrópico (Figura A), el cual da acceso a una edificación residencial construida recientemente (Figura B). Adicionalmente, se evidenció la reconstrucción de otras edificaciones vecinas a la antigua planta de acueducto (Figura C). Se evidenciaron agrietamientos en la vía adyacente a la nueva planta del acueducto veredal (Figura D) Todas las edificaciones residenciales mencionadas se construyeron en zonas donde se desmontaron y/o colapsaron edificaciones producto del deslizamiento en el pasado.

Última revisión:

David Ortiz Bermúdez, Ingeniero Geólogo

Fecha: 20 de agosto de 2024