

Medellín, septiembre 25 de 2024

Asunto: Evaluación y viabilidad técnica para la instalación de un nuevo punto de estudio y monitoreo con sensores en la quebrada Tinajas, en el sector de Acevedo, Línea A del Metro de Medellín.

1. Introducción y descripción de la zona

El Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA) a través de su proyecto SIATA, ha venido implementando una estrategia de monitoreo en tiempo real para hacer seguimiento de diferentes problemáticas asociadas a la quebrada Tinajas que consiste en la instalación de los sensores que se reportan en la Tabla 1.

Tabla 1: Sensores de monitoreo instalados en la cuenca de la quebrada Tinajas.

Código	Nombre	Red	Latitud	Longitud	Fecha de instalación
14	Escuela El Triunfo	Pluviométrica	6.306341	-75.584912	1/01/2010
401	Feria Ganado - Alcantarillado Lidar	Nivel	6.303074	-75.562581	28/10/2019
621	Q. La Tinaja - Barrio Girardot	Nivel	6.2996	-75.56792	29/06/2022
637	Q. La Toscana - Zenú	Nivel	6.303889	-75.563889	4/01/2023
100792	Cámara Nivel La Tinaja	Cámara	6.2957	-75.5621	9/08/2023
100793	Cámara Inundacion La Paralela	Cámara	6.2957	-75.5621	9/08/2023
699	Av. La Paralela - Encharcamiento Vial	Nivel	6.296101	-75.561852	21/01/2024

Para complementar dicha estrategia, en las últimas semanas ha realizado una serie de visitas técnicas para evaluar las condiciones de socavación en la quebrada Tinajas, las cuales podrían comprometer la estabilidad de la vía regional, las viviendas del barrio La Paralela y la línea A del Metro de Medellín, cerca de la estación Acevedo. El 23 de julio de 2024, el equipo de Teledetección de SIATA llevó a cabo una inspección con dron en la obra de drenaje transversal de la quebrada, donde se evidenció un avanzado proceso de socavación que podría afectar dicha infraestructura. La Figura 1 muestra la zona de interés para la instalación de sensores, además, muestra la localización de una cámara de monitoreo que se encuentra instalada en el ingreso de la quebrada, y en la cual se identifican los incrementos de caudal que superan la capacidad hidráulica de la cobertura.

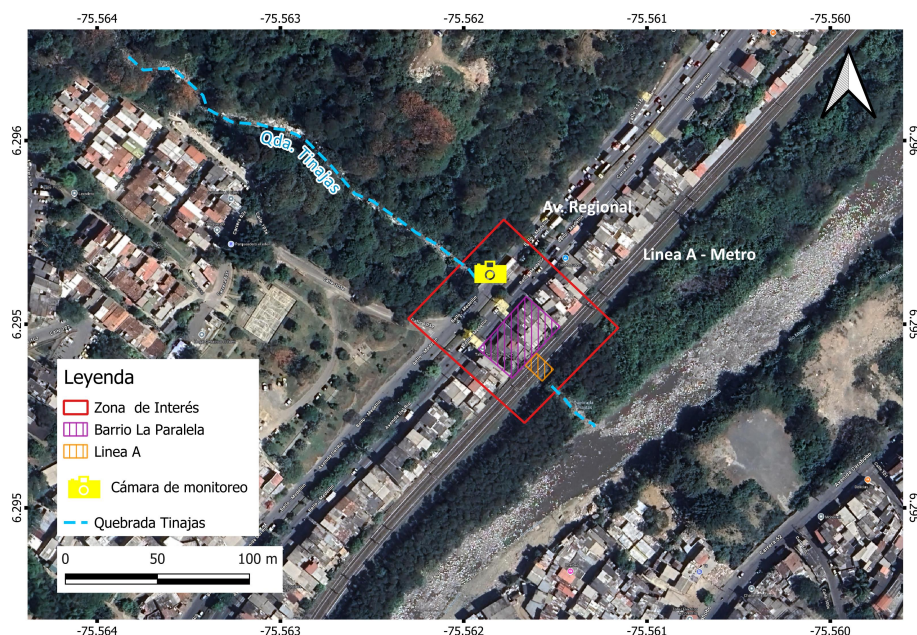


Figura 1: Localización de la zona de interés para la evaluación de la instalación de los sensores. Se ingresa por la Carrera 63 con calle 103e (Avenida Regional) y se realiza el recorrido desde la estación Acevedo del metro en dirección Norte-Sur hasta la zona de interés.

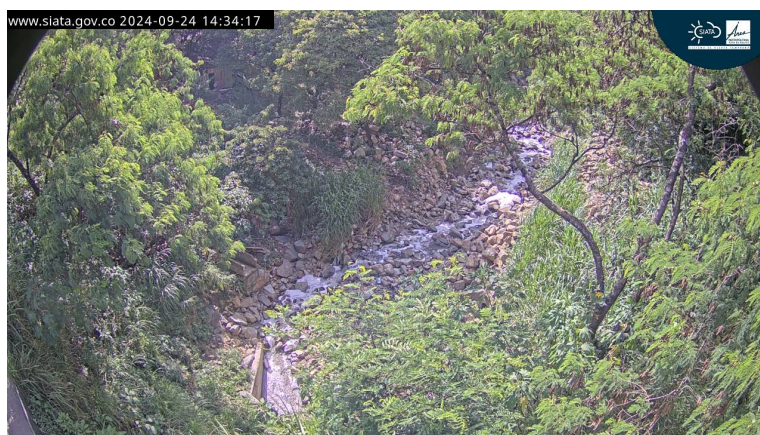


Figura 2: Imagen de la cámara de nivel 100792 ubicada en la Tinaja. En la parte inferior se observa la entrada en cobertura de la quebrada.

Debido al deterioro estructural observado y al riesgo potencial de asentamientos en las estructuras circundantes, el proyecto SIATA realizó nuevas visitas técnicas los días 28 de agosto y 13 de septiembre de 2024. Estas visitas incluyeron la participación de profesionales de los equipos de Hidrología, Sísmica, Mantenimiento, Geotecnia y del AMVA, con el objetivo de evaluar la viabilidad de monitoreo en la zona. El presente informe se emite para presentar la propuesta de monitoreo adicional, en respuesta a los problemas identificados durante las inspecciones.

2. Resultados y Observaciones

Como se muestra en la Figura 1, la obra transversal de la quebrada Tinajas cruza de occidente a oriente las dos calzadas de la Avenida Regional, una franja de viviendas del asentamiento informal Barrio La Paralela, las antiguas vías del ferrocarril y la línea A del Metro de Medellín. Según los hallazgos del equipo de Teledetección del proyecto SIATA, se han detectado variaciones en la geometría de la sección del box-culvert, así como filtraciones y daños estructurales al interior del mismo. Estos problemas podrían generar deformaciones en la ladera, comprometiendo la estabilidad de la vía férrea, la Avenida Regional y las viviendas aledañas. Por ello, es fundamental monitorear las posibles variaciones o vibraciones en la estructura ante eventos de precipitación que aumenten el nivel de la quebrada.

Durante los recorridos y visitas técnicas en la zona de interés, se identificaron posibles ubicaciones óptimas para la instalación de sensores, evaluadas desde diversas perspectivas técnicas y logísticas. El esquema propuesto incluiría los siguientes sensores:

- Un (1) acelerómetro: tiene como principal función medir aceleraciones y cambios de posición en las tres direcciones del espacio (x, y, z). Estos datos son cruciales para detectar deformaciones o movimientos anómalos en la estructura del box-culvert y en las vías del metro cercanas. Los acelerómetros son sensibles a vibraciones y oscilaciones, lo que permite monitorear cambios sutiles en la estabilidad de la infraestructura. La implementación de este sensor es fundamental para evaluar el comportamiento dinámico de la estructura en situaciones de carga elevada, como en eventos de precipitación intensa que podrían aumentar la presión hidráulica y provocar deformaciones.
- Un (1) sismógrafo de movimiento fuerte RaspberryShake (4D): de manera similar al acelerómetros, este sensor permite la medición de aceleraciones en las tres direcciones espaciales (x, y, z), pero además permite medir velocidades en la componente vertical, lo que lo convierte en una herramienta clave para registrar movimientos fuertes y cambios en el terreno. El RaspberryShake 4D es especialmente útil en entornos urbanos donde el ruido ambiental, como el tráfico y la operación del metro, puede generar vibraciones constantes. Además, su capacidad para medir vibraciones y acelerar eventos sísmicos o deformaciones estructurales permitirá un monitoreo continuo de la estabilidad del área, ayudando a identificar si las fluctuaciones detectadas están relacionadas con el ruido de fondo o con problemas estructurales emergentes.
- Una (1) cámara de monitoreo para la salida de la quebrada hacia el río Aburrá-Medellín: permitirá una supervisión visual en tiempo real de los niveles de agua y las condiciones del flujo, especialmente durante eventos de lluvia intensa que podrían aumentar el caudal y representar un riesgo para la infraestructura circundante. Su instalación permitirá realizar observaciones remotas sin la necesidad de presencia física constante, lo que es vital en situaciones de emergencia donde el acceso al área puede estar comprometido.

Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá

Proyecto del Área Metropolitana del Valle de Aburrá
Contrato 016 de 2024

La cámara también puede ayudar a detectar obstrucciones o desbordamientos, ofreciendo una primera línea de alerta ante la ocurrencia de crecidas o eventos que pongan en riesgo la seguridad de las viviendas o la vía férrea. Dependiendo de la fuente de energía que se decida utilizar (panel solar o conexión directa al Metro de Medellín), la cámara tendrá la capacidad de funcionar 24/7, lo que facilita la intervención temprana en situaciones críticas. La posibilidad de añadir un reflector para vigilancia nocturna mejoraría la eficacia del sistema durante todas las horas del día, permitiendo una supervisión constante incluso en condiciones de poca luz.

En la Tabla 2 se presenta el consumo y el voltaje requerido para cada uno de los sensores y equipos adicionales de telecomunicaciones que se pretenden instalar.

Tabla 2: Requerimientos de consumo para los sensores propuestos.

Sensor	Consumo [W]	Voltaje [VAC]
Raspberry Shake 4D	20	110
Cámara	20	110
Antena radio enlace	20	110
Datalogger	30	110
Acelerómetro	20	110
Reflector	300	110
Total	410	110

En la Figura 3 se observa el punto propuesto de instalación sobre el flanco noroccidental de la vía férrea de la Línea A del Metro en sentido norte-sur. Se propone que los sensores de desplazamiento y vibraciones queden instalados sobre el muro base dentro de la infraestructura vial del Metro por temas de seguridad. Estos dispositivos se instalarán sobre el cerramiento de la línea A del Metro, a aproximadamente 500 m de la estación Acevedo. La cámara estará instalada de forma paralela a esta zona, pero en la vía férrea sentido sur-norte (costado oriental), justo a la salida del box-culvert de la quebrada Tinajas hacia el río Medellín.



Figura 3: Localización del punto propuesto de monitoreo ubicado en el cerramiento que divide la Línea A del metro con las viviendas del barrio La Paralela.

3. Conclusiones y recomendaciones

Con base en la información recopilada durante el monitoreo y las visitas realizadas, desde el proyecto SIATA se presentan las siguientes recomendaciones y conclusiones:

- Dadas las problemáticas identificadas, se concluye que, considerando aspectos logísticos, técnicos y de conectividad, es viable implementar un esquema integrado de monitoreo adicional en la zona, con miras a identificar temas hidráulicos, geotécnicos y estructurales.
- Se propone la instalación de un acelerómetro. Este sensor únicamente requiere la disponibilidad eléctrica en la zona y se usará para la medición de aceleraciones y cambios de posición de la estructura donde quede instalado en las direcciones x,y,z.
- Se propone la instalación en tierra de un sensor RapsberryShake 4D para la medición de aceleraciones en las 3 direcciones x,y,z y velocidades en la componente vertical. Es importante anotar que para la instalación de dicho sensor deberá disponerse de unas obras de adecuación: i) construcción de una losa de mortero pequeña para emplazamiento del sensor protegido por una caja. Es vital que el sensor dentro de su respectiva caja quede cubierto en sus alrededores por el suelo o lleno del terraplén colindante de las vías del metro; ii) el suministro de energía se realizaría por medio de panel solar, por lo cual se amerita su instalación sobre uno de los postes de

**Sistema de Alerta Temprana de
Medellín y el Valle de Aburrá**

**Proyecto del Área Metropolitana del Valle de Aburrá
Contrato 016 de 2024**

luminaria del Metro que se encuentra cerca del punto propuesto de monitoreo; iii) con respecto a la modalidad para la recepción de los datos, en caso de ser por medio de antena resultará necesario también la instalación de esta.

Adicionalmente, como medida de caracterización inicial para la identificación del ruido ambiental (vibraciones del sitio por actividades propias de este: movimiento del metro, tráfico, personas, obras cercanas, entre otros) se contempla una jornada de vibración ambiental para la caracterización este, con el fin de conocer el “*ruido de fondo*” y se facilite la identificación de alteraciones asociadas al fenómeno que se desea estudiar (vibraciones conferidas por la presión ejercida en el box-culvert en situación de creciente). Esta jornada se podrá realizar de manera externa y no dispone ningún tipo de adecuación adicional a las previamente mencionadas.

- Se recomienda la instalación de una cámara de monitoreo en el costado oriental de la vía férrea. El propósito de la cámara es el monitoreo de la quebrada a la salida de la cobertura, en su desembocadura al río Medellín-Aburrá. Para la instalación de la cámara se tienen dos posibilidades: i) suministro de energía con panel solar y su funcionamiento se daría 24/7 pero sin posibilidad de instalar reflector en horas de la noche, y ii) para la instalación del reflector se hace necesario el suministro de energía por parte del Metro de Medellín con continuidad las 24 horas del día.
- El suministro de fluido eléctrico debería estar proporcionado por el Metro de Medellín.
- Se recomienda que las entidades encargadas realicen visitas de inspección periódicas para garantizar el correcto funcionamiento de la Línea A del Metro, la seguridad de las personas ubicadas en las viviendas del barrio La Paralela, el correcto funcionamiento en de la Avenida Regional para reportar de manera oportuna cualquier novedad que se presente en la zona.

Este informe fue elaborado por los equipos de Geotecnia, Hidrología e Ingeniería Sísmica del proyecto SIATA. Cualquier inquietud será resuelta con gusto.

Juliana Alvarez Z.

Juliana Alvarez Zapata
jalvarezz@eafit.edu.co
Líder de equipo de Geotecnia
Proyecto SIATA - Área Metropolitana del Valle de Aburrá

VoBo

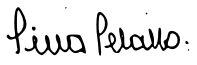
Lina Ceballos

Lina Isabel Ceballos B.
lina.ceballos@siata.gov.co
Coordinadora Técnica de Geociencias
Proyecto SIATA - Área Metropolitana del Valle de Aburrá

**Sistema de Alerta Temprana de
Medellín y el Valle de Aburrá**

Proyecto del Área Metropolitana del Valle de Aburrá
Contrato 016 de 2024

Control de revisiones

Firma:		Firma:		Firma:	
Elaboró:	David Ortiz Bermúdez	Revisó:	Juliana Alvarez Zapata	Aprobó:	Lina I. Ceballos B
Cargo:	Ing. Geólogo - Analista I	Cargo:	Líder de equipo de Geotecnia	Cargo:	Coordinadora técnica de Geociencias
Correo:	dortizb2@eafit.edu.co	Correo:	jaltvarezz@eafit.edu.co	Correo:	lina.ceballos@siata.gov.co
Fecha:	18/09/2024	Fecha:	23/09/2024	Fecha:	XX/XX/XX