

Medellín, 8 de abril de 2024

Asunto: Evaluación y caracterización de condiciones de apoyo a la contingencia ambiental en el relleno sanitario La Pradera

El siguiente concepto técnico responde a la solicitud de apoyo de Empresas Varias de Medellín Grupo EPM (EMVARIAS) ante la contingencia ambiental en el relleno sanitario La Pradera realizada al AMVA el jueves 4 de abril de 2024. Este concepto detalla las características de la zona (después de visita de campo) y plantea las condiciones de apoyo que el proyecto SIATA del Área Metropolitana del Valle de Aburrá puede ofrecer, sujetas a una fase inicial de evaluación y prueba para dos propuestas de monitoreo. Asimismo, se explican las posibilidades de apoyo posterior tras los períodos de prueba, siempre y cuando se demuestre la validez y la pertinencia de las metodologías propuestas.

Características de la zona y evaluación técnica inicial

El relleno sanitario La Pradera está ubicado en el municipio de Donmatías, a 57 kilómetros de Medellín. En la actualidad, se han declarado condiciones de *Contingencia Ambiental* debido a los movimientos de la masa de residuos en el Vaso Altair del relleno. Por esta razón, en horas de la tarde del 4 de abril de 2024, personal del proyecto SIATA del Área Metropolitana del Valle de Aburrá realizó una visita de reconocimiento del sitio para evaluar la posible implementación de un sistema de monitoreo con el objetivo de brindar apoyo ante dicha contingencia. Además, el día 5 de abril por la mañana, el equipo de Teledetección del proyecto SIATA llevó a cabo la caracterización de la zona para evaluar la posible implementación de productos adicionales que puedan proporcionar información relevante. Las características generales de la zona de interés se presentan en la Figura 1.

Tras la evaluación técnica en el sitio realizada por el proyecto SIATA del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, se considera probable brindar apoyo ante la emergencia, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Los recursos posibles de monitoreo para detectar condiciones relevantes en el relleno sanitario La Pradera, específicamente en el área del Vaso Altair, incluyen el uso del Radar Interferómetro HYDRA G para monitorear la zona del dique (ver Figuras 1 y 2), con el objetivo de detectar desplazamientos o deformaciones en la estructura de cierre y contención que garantiza la estabilidad de los residuos. Además, se considera viable realizar sobrevuelos periódicos con drones con información térmica para cartografiar las zonas de acumulación de lixiviados dentro de los residuos.
- No es factible realizar un monitoreo para detectar desplazamientos o deformaciones en áreas distintas a la del dique de cierre, debido a la actividad inherente del relleno y el vaso.
- La utilización tanto del Radar Interferómetro HYDRA G como de drones debe ser validada a través de una etapa de prueba piloto. Ambas aplicaciones son exploratorias, dado que el proyecto SIATA no ha tenido la oportunidad previa de aplicar estas técnicas ni de recopilar datos similares. Durante el periodo de prueba, se verificará en primer lugar la validez del monitoreo, además de calibrar las mediciones y definir la frecuencia de recopilación de datos y de los productos a entregar.

1



Figura 1: Zona de disposición de residuos en el Vaso Altair del relleno sanitario La Pradera.



Figura 2: Sector del dique en el Vaso Altair del relleno sanitario La Pradera.

A continuación, se amplía el detalle y se describen las características logísticas y técnicas para la implementación de cada uno de los recursos mencionados.

Características principales y condiciones de operación para el Radar Interferométrico HYDRA-G

El Radar Interferómetro HYDRA G es un sistema compacto de monitoreo estrictamente diseñado para la detección temprana de movimientos muy lentos (117.6 mm/h) y mediciones de desplazamientos sub-milimétricos (menores a 0.1 mm), el cual tiene aplicaciones en seguimiento a edificios, presas, túneles, infraestructuras mineras o taludes, donde la falla de los materiales no ocurre súbitamente.

El equipo cuenta con una cámara infrarroja y un láser integrados en el sistema, lo que posibilita realizar la inspección visual en tiempo real y generar un modelo tridimensional del terreno que sirve como superficie de referencia (Figura 3).



Figura 3: Esquema de los componentes principales del Radar Interferométrico HYDRA G.

En la Tabla 1 se muestran las principales especificaciones técnicas de operación del Radar Interferométrico HYDRA G.

Tabla 1: Especificaciones técnicas de operación del Radar Interferómetro HYDRA G

Especificación técnica	Dimensiones
Distancia máxima operativa	800 m
Tiempo mínimo de escaneo	30 - 60 segundos
Cobertura angular	120° horizontal x 30° vertical
Resolución espacial	8 mrad, 0.2 m x 0.08 m @10 m
Precisión en la medición de desplazamientos	+/- 0.1 mm
Rango máximo láser (3D MDT)	100 m
Peso total de los equipos	60 Kg
Dimensiones del equipo instalación en el trípode	125 x 125 x 150 cm
Dimensiones de la unidad de suministro de energía	60 x 45 x 45 cm
Rango de voltaje de entrada	60 x 45 x 45 cm
Consumo de energía (todo el sistema)	100 ÷ 240 V AC - 12 ÷ 24 V DC

Los requerimientos mínimos para llevar a cabo la fase piloto de monitoreo con el uso del Radar Interferométrico HYDRA G se listan a continuación:

- Se plantea una única jornada de prueba. Dependiendo de las condiciones y los resultados se podrán requerir una o dos jornadas adicionales.
- La prueba piloto se llevará a cabo inicialmente en la ubicación propuesta, ya que cuenta con la mejor línea de vista identificada durante el reconocimiento de campo.
- La instalación del equipo requiere una fijación preliminar al suelo o a una superficie rígida que garantice una visual continua del área de monitoreo, evitando las vibraciones excesivas que puedan causar el paso de maquinaria pesada.
- Durante las primeras 2 horas de medición, se generará el modelo digital del terreno y se establecerá la línea base de referencia. Por lo tanto, estas horas requieren que el equipo permanezca en una posición estática y que el área de monitoreo esté completamente despejada.
- Se debe garantizar la protección e integridad del equipo y cada uno de sus componentes, por tanto, se debe contar con una carpa para la protección ante la lluvia, fuentes de agua externas o altas temperaturas.
- En ausencia de una fuente de alimentación de energía continua, será necesario disponer de una planta eléctrica y suficiente combustible para llevar a cabo la medición. La duración de la jornada puede variar entre 4 y 6 horas, dependiendo de la calidad de los registros obtenidos y las condiciones climáticas.
- Es fundamental asegurar el acceso y el transporte seguro del equipo y todos sus componentes hasta el sitio de medición. Además, se debe garantizar una comunicación y un acompañamiento oportuno al personal operativo del proyecto SIATA, el cual estará conformado por 4 o 5 personas debidamente identificadas.

De acuerdo con lo anterior, se especifican las siguientes condiciones y necesidades para el monitoreo del dique mediante el uso del radar, siempre y cuando en el periodo de prueba se confirme la validez de los datos y la conveniencia de su implementación.

- Empresas Varias de Medellín Grupo EPM (EMVARIAS) deberá proporcionar todas las condiciones logísticas, de conectividad y de seguridad necesarias y adecuadas para el uso del radar, que incluyen:
 - Infraestructura para asegurar el radar en un punto de monitoreo durante un período inicial de seis (6) meses. La infraestructura que se defina deberá ser lo suficientemente estable para garantizar que el radar no se mueva. El movimiento del sensor puede generar mediciones erróneas y ruidos en los datos.
 - Protección para el radar, sus componentes y conexiones eléctricas contra la lluvia y cualquier otro agente de la intemperie.
 - Vigilancia y seguridad constante para garantizar la integridad y operación del equipo durante su montaje, permanencia y desinstalación.
 - Suministro eléctrico continuo. En caso de emergencia, el equipo cuenta con menos de dos horas de autosuficiencia de energía para el almacenamiento y procesamiento de los últimos datos capturados.
 - Conexión a internet ininterrumpida. En caso de requerir la visualización y acceso remoto tanto a la información como al control del equipo, se debe instalar una VPN en la red local o usar una red celular de buena cobertura.
 - Revisión exhaustiva de las condiciones del entorno laboral, la identificación de posibles riesgos, y la implementación de medidas preventivas y correctivas necesarias para mitigar cualquier peligro potencial.
- El radar se deberá ubicar con línea de vista directa al dique. El punto de instalación propuesto se muestra en la Figura 4. El área de instalación debe ser mayor a $2.0 \times 2.0 \text{ m}^2$ y permitir la visual continua con la superficie del dique durante todo el proceso de adquisición.
- Además de la campaña de prueba, es necesario contar con un periodo de datos de prueba y calibración durante un periodo mínimo de 20 días después de la instalación del radar. Una vez transcurrido este periodo, se definirá la periodicidad y el alcance de los entregables.
- En caso de que el monitoreo sea viable, la información y los datos recopilados por el proyecto SIATA serán compartidos y emitidos con la calidad correspondiente, indicando si el dato es válido y coherente. La interpretación y el análisis detallado de los datos serán responsabilidad de Empresas Varias de Medellín Grupo EPM (EMVARIAS). Ni el proyecto SIATA ni el Área Metropolitana del Valle de Aburrá emitirán conceptos sobre la estabilidad del dique o la masa de residuos

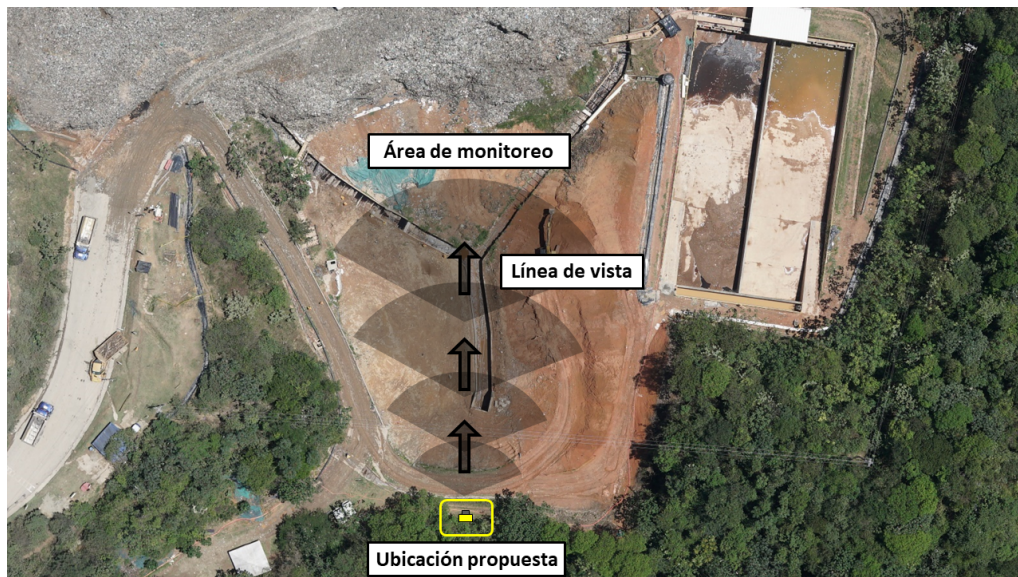


Figura 4: Ubicación y línea de vista propuesta para la instalación y operación del radar interferométrico HYDRA G.

Exploración de productos generados por el equipo de Teledetección

Desde el equipo de Geotecnia y Teledetección del proyecto SIATA, se propone una actividad complementaria al uso del GeoRadar: la realización de campañas periódicas de sobrevuelos con drones equipados con sensores RGB o en el espectro visible y térmico. Precisar que actualmente es posible lograr productos partiendo de los datos capturados con los respectivos sobrevuelos y sensores comentados. Por ello se propone como objetivo inicial capturar información de la parte baja del dique del relleno sanitario para generar registros comparativos de imágenes en composición visible y térmica, intentando tras algunos procesamientos adicionales conseguir modelos digitales de elevación de superficie, de terreno y mapas de calor, mismos que son clave sobre las zonas potencialmente afectadas por la concentración de lixiviados. Algunos de estos productos se contrastarán con información satelital para analizar las posibles ventajas con la reducción en la escala. Adicionalmente detallar que existen otros productos que se encuentran en fase exploratoria para este tipo de aplicaciones, algunos basados en la captura de información con sensores tipo láser o LiDAR. Se propone así y finalmente evaluar la viabilidad de su uso en el relleno sanitario, bajo el cometido de aumentar la precisión de las mediciones volumétricas que se adelanten, y sus cambios con una serie temporal.

Para hacer uso de estas herramientas es necesario garantizar algunas condiciones. La alta concentración de aves carroñeras en la zona, es una de las condiciones a controlar, pues pueden poner en riesgo los sobrevuelos. Por ello, es crucial considerar alternativas que la mitiguen, como el aumento de la altura de vuelo del drone, lo que podría disminuir la resolución de los productos derivados. Será la entidad quien pueda proponer acciones al respecto para intentar acudir a más y mejores alternativas. Adicionalmente, será necesario poder establecer unos espacios despejados que permitan el despegue y aterrizaje, así como otro donde se pueda instalar una antena de apoyo a la misión.

Finalmente establecer que, debido a la alta demanda y actividades contractuales del equipo de Teledetección, las campañas para la realización de los sobrevuelo se llevarán a cabo con una periodicidad mínima de 15 días.

Aclaraciones

El Radar Interferométrico HYDRA G pertenece a la tecnología **FMCW** (Radar de onda continua de frecuencia modulada entre 76 - 77 GHz) y la tecnología **Arc SAR**, la cual es una combinación de la tecnología **Arc** (trayectoria de un arco) y **SAR** (Radar de Apertura Sintética).

Los radares tipo GB SAR mencionados en la solicitud de apoyo, usan la tecnología de SAR, por tanto, el recorrido de adquisición del radar es en línea recta y no en arco, además el ancho de banda de las ondas emitidas puede ser diferentes según los propósitos del fabricante, lo que tiene implicaciones importantes en los desplazamientos que se esperan medir.

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

Juliana Alvarez Z.

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

VoBo:

Lina Ceballos

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