

Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

Opinión Técnica N° 8-2026

EVALUACIÓN DEL DESLIZAMIENTO DE SIGUAS EN LA COMUNIDAD EL ALTO – ALTO SIGUAS

Departamento Arequipa
Provincia Arequipa
Distrito San Juan de Sigwas

**Marzo
2026**

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. UBICACIÓN	3
3. ANTECEDENTES Y TRABAJOS ANTERIORES	5
4. ANÁLISIS DE PELIGROS GEOLOGICOS.....	7
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	13
6. BIBLIOGRAFÍA.....	16

OPINIÓN TÉCNICA
RESPECTO A LOS OFICIOS N° 703-2025-GRA/GRGRD “SOLICITO EVALUACIÓN DE
PELIGRO GEOLÓGICO DE COMUNIDAD EL ALTO POR DESLIZAMIENTO” Y N° 884-
2025-GRA/GRGRD “SOLICITO INFORMACIÓN SOBRE EL AVANCE DE LA
EVALUACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO EN LA COMUNIDAD URBANA EL ALTO –
ALTO SIGUAS”
(Distrito San Juan de Sigwas, provincia y departamento de Arequipa)

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento se redacta en atención a los oficios N.º 703-2025-GRA/GRGRD y N° 884-2025-GRA/GRGRD, que solicitan una opinion tecnica de evaluación del deslizamiento Sigwas en la comunidad El Alto - Alto Sigwas, distrito San Juan de Sigwas, en la provincia y departamento Arequipa.

Esta opinión se emite en el marco de la Ley N.º 29664 y su reglamento, que establecen el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD), así como conforme a las funciones técnicas que corresponden a los organismos especializados en peligros geológicos.

El Ingemmet, ente técnico-científico que desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) el “Servicio de asistencia técnica en la evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT. 16)”, contribuye de esta forma con entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico (movimientos en masa) en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud enviada GORE-Arequipa donde se solicita la evaluación del deslizamiento de Sigwas en la comunidad El Alto - Alto Sigwas, distrito San Juan de Sigwas, en la provincia y departamento Arequipa. En este sentido, la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó al Ing. Enoch Aguirre Alegre para la emisión de dicha opinión técnica en base de los informes técnicos publicados en el repositorio institucional del INGEMMET (<https://repositorio.ingemmet.gob.pe/simple-search?query=Sigwas>).

La opinión técnica se basa principalmente en la recopilación y análisis de información existente de trabajos anteriores realizados por Ingemmet, fotografías obtenidas de sobrevuelos de dron y el cartografiado geológico y geodinámico, con lo que finalmente se realizó la redacción del informe técnico.

Este informe se pone en consideración de los solicitantes donde se proporcionan resultados de la opinión técnica, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

2. UBICACIÓN

El deslizamiento de Alto Sigwas (803445 E, 8188257 S, WGS84 UTM Zona 19S) se localiza en la margen derecha del valle del río Sigwas, entre los distritos de Majes (Caylloma) y San Juan de Sigwas (Arequipa). La escarpa principal presenta retroceso regresivo hacia la carretera Panamericana Sur (Km 920+300), reduciendo la distancia de aproximadamente 120m (año 2010) a aproximadamente 35m (año 2025), con afectación de un tramo de 2.5

km. El centro poblado de Alto Siguas y la planta Gloria se ubican al norte y noroeste de la corona. Acceso: 70 km desde Arequipa por Panamericana Sur (1.5h).

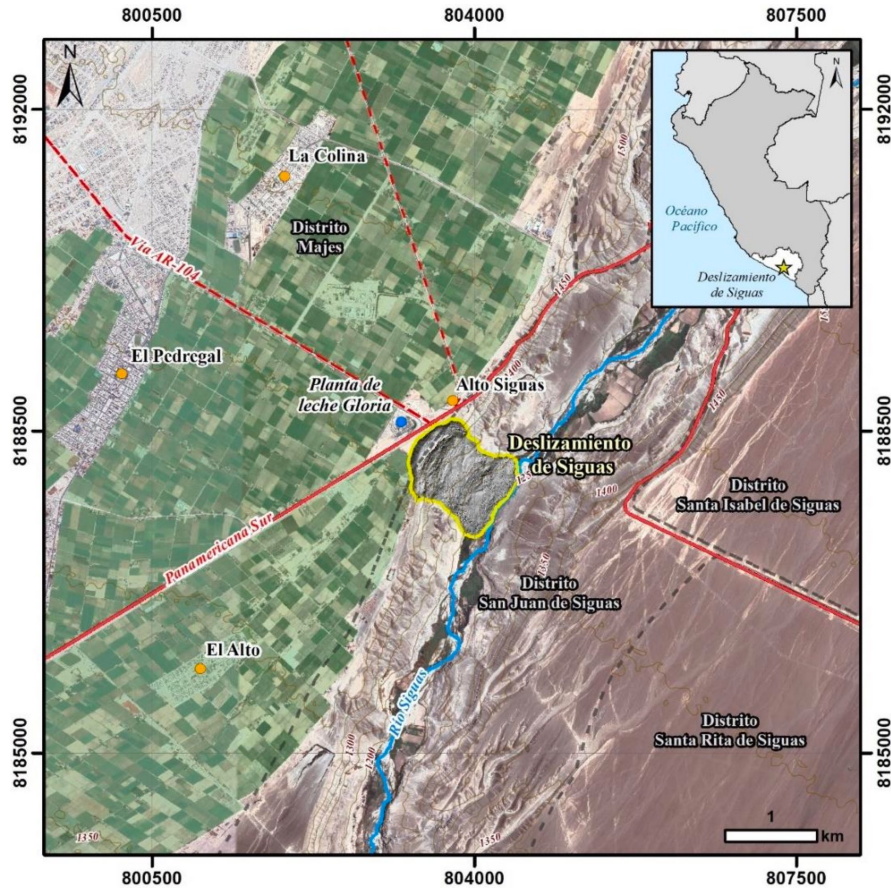


Figura 1. Mapa de ubicación del deslizamiento de Siguas. Tomado INGENMET (2023).

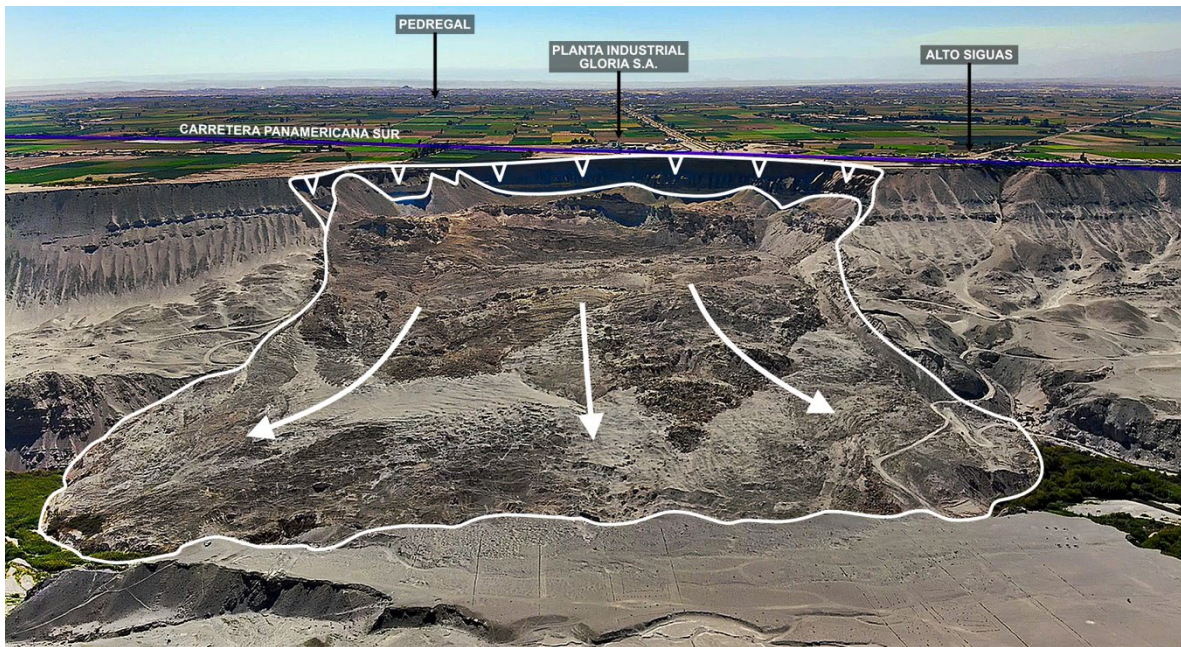


Figura 2. Detalle del deslizamiento de Siguas (Vista al noroeste). Elaboración propia.

3. ANTECEDENTES Y TRABAJOS ANTERIORES

Informe Técnico N.° A6715, establece el marco general de la problemática en el valle del río Sigwas, caracterizado por laderas estrechas y empinadas que se inestabilizan ante la sobresaturación de suelos. Identifica al deslizamiento Sigwas como un movimiento rotacional activo que afecta la Panamericana Sur, la planta Gloria y áreas agrícolas de El Pedregal. Señala que su actividad está vinculada al manejo del riego Majes–Sigwas I sobre materiales altamente porosos (Formación Moquegua y depósitos aluviales cuaternarios), y documenta el incremento de la tasa de desplazamiento desde 2004, incluyendo el represamiento ocurrido en 2014. También describe el inicio del monitoreo de INGEMMET desde 2005 mediante imágenes aéreas/satelitales, GPS-RTK y escaneo LiDAR.

Informe Técnico N.° A6748, complementa y actualiza la información previa, precisando que el deslizamiento Sigwas es un movimiento rotacional retrogresivo ubicado entre los km 920+000 y 921+400 de la Panamericana Sur. Amplía la descripción de su dinámica al documentar estructuras compresivas, estriamientos y bloques desplazados de más de 5 m, así como el represamiento del cauce del río por cerca de 250 m durante 2014. Reafirma que la sobresaturación inducida por el sistema de riego sigue siendo el gatillador principal y detalla las tres líneas actuales de monitoreo (imágenes históricas, red de hitos GPS-RTK y estaciones LiDAR), mediante las cuales se obtienen parámetros como vectores de desplazamiento, velocidades, extensión de escarpa y áreas afectadas dentro del marco de la actividad ACT3.

Informe Técnico N.° A6772, amplía y profundiza la caracterización previa del deslizamiento Sigwas, precisando su ubicación en los distritos de Majes y San Juan de Sigwas y determinando parámetros geométricos y volumétricos no reportados anteriormente: una escarpa principal con 70 m de salto y un volumen de aproximadamente 34 millones de m³. Señala que el deslizamiento se habría originado en 2005 y detalla factores desencadenantes asociados a la infiltración hídrica proveniente de cultivos en la irrigación sureste de Majes, además de la sismicidad regional y la morfología del valle. El informe documenta que se trata de uno de los movimientos en masa más activos del sur del país, con tasas de desplazamiento de 46 m/año en el cuerpo y 76 m/año en la escarpa principal, clasificándolo como un movimiento lento según Cruden y Varnes (1996). También indica que en 2016 la zona fue declarada en estado de emergencia por la amenaza directa a la Panamericana Sur y a infraestructura regional. En respuesta al Oficio N.° 3487-2017-MTC/25 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, el INGEMMET evaluó el área de influencia del deslizamiento, la probabilidad de afectación de infraestructura y la dinámica histórica de deformación mediante la información consolidada en el Informe Técnico A6748, análisis satelital, cartografía geomorfológica y estadísticas de deformación de la escarpa.

Informe Técnico N.° A7032, actualiza y amplía la información previa sobre el deslizamiento de Sigwas, precisando su localización a 4.5 km al noroeste de El Pedregal y destacando que, además de su fase rotacional retrogresiva inicial, señala que al 2020 presentaba derrumbes y caídas de bloques permanentes en la escarpa principal. Se estimó que entre 1997 y 2016 se acumuló un volumen de 34 millones de m³, y se documenta el colapso de 37 m del canal de irrigación Majes–Sigwas I, junto con la reducción de la distancia entre la escarpa y la Panamericana Sur a 44 m en 2018, configurando un escenario de riesgo inminente para su destrucción. El informe incorpora una evaluación más amplia del impacto socioeconómico en Majes–El Pedregal y señala que, desde 2014, el INGEMMET emplea un sistema de monitoreo integrado basado en GPS diferencial de alta precisión, fotogrametría e imágenes satelitales, con mediciones trimestrales y seguimiento en tiempo

real. Este trabajo se elaboró en respuesta a los oficios de N.° 180-2019-GRA/ORDNDC, N.° 1225-2019-GRA-PEMS-GE-GGRH/SGOM, N.° 113-2020-GRA-PEMS-GE-GGRH/SGOM del Gobierno Regional de Arequipa y la Autoridad Autónoma de Majes.

Opinión Técnica N.° 011-2021, señala que la irrigación de las pampas de Majes, operativa desde 1983, ha modificado significativamente el régimen hídrico del valle de Sigwas, generando desde los años 90 una serie de deslizamientos asociados principalmente a la infiltración de agua proveniente del riego. Esta infiltración ha favorecido la sobresaturación de los materiales poco competentes de la Formación Moquegua (conglomerados y arenos arcillosos), los cuales, en combinación con las fuertes pendientes del valle, han actuado como factores condicionantes y detonantes de inestabilidad. Entre los movimientos en masa más importantes resalta el deslizamiento de Alto Sigwas (El Zarzal), activo desde 2005, el cual presenta una escarpa principal de aproximadamente 1.5 km y un área afectada cercana a 0.9 km². Este trabajo se elaboró en respuesta al Oficio N.° 0560-2021-GM/MDM de la Municipalidad Distrital de Majes en el marco de la ACT14 de la DGAR del INGEMMET.

Informe Técnico N.° A7224, presenta los resultados del monitoreo geodésico y fotogramétrico realizado entre abril y noviembre de 2021 en el deslizamiento Alto Sigwas, uno de los movimientos en masa más desarrollados del valle de Sigwas. Los datos obtenidos muestran una cinemática activa, con una velocidad promedio de 0.62 m/mes dirigida hacia el río Sigwas y un avance retrogresivo de la escarpa principal (de 1.5 km de longitud) que en 2021 se encontraba a solo 38 m de la carretera Panamericana Sur. La combinación de GPS diferencial e información fotogramétrica permitió estimar la evolución de la masa deslizada y los cambios morfológicos asociados, clasificando el deslizamiento como Muy Activo. El informe atribuye la persistencia y aceleración del movimiento a la sobresaturación del suelo asociada a la infiltración del riego del proyecto Majes, junto con la baja competencia de los materiales conglomeráticos y areno-arcillosos de la Formación Moquegua y la marcada pendiente del valle.

Informe Técnico N.° A7425, corresponde a la actualización del año 2022 dentro del monitoreo continuo que el INGEMMET mantiene sobre el valle. Presenta la evolución anual del deslizamiento Alto Sigwas, enfatizando su avance retrogresivo hacia sectores con infraestructura y cultivos, y el desplazamiento progresivo de la masa hacia el río. Su aporte es mostrar la continuidad del proceso y su relevancia para la gestión del riesgo.

Informe Técnico N.° A7494, constituye la actualización del periodo 2022-2023, reafirmando la persistencia del movimiento y su carácter destructivo. Resume el estado actual de la actividad, documenta su evolución durante dicho periodo y mantiene el enfoque en la afectación de terrenos agrícolas e infraestructura. Forma parte del monitoreo temporal continuo ejecutado por el INGEMMET a través de la DGAR.

Informe Técnico N.° A7597, representa la actualización más reciente antes de 2025, correspondiente al periodo 2022-2024. Describe el estado actual de la actividad del deslizamiento Alto Sigwas y consolida las observaciones de los últimos años, manteniendo continuidad metodológica en el seguimiento.

Reporte N.° 004-2025/INGEMMET/DGAR, constituye la actualización correspondiente al año 2025. Presenta los resultados de la campaña de campo realizada en septiembre y compila mediciones GNSS diferenciales para evaluar el estado actual de actividad y las velocidades recientes del deslizamiento. Su aporte es integrar la información del último

periodo con la serie histórica, permitiendo analizar la evolución más reciente del movimiento en masa.

En síntesis, la puesta en operación de la irrigación Majes–Sigwas I en 1983 generó una modificación sustancial del régimen hídrico en la margen derecha del valle del río Sigwas, donde la infiltración persistente del riego ha elevado de forma progresiva los niveles freáticos desde la década de 1990. La sobresaturación de los materiales poco competentes de la Formación Moquegua (conglomerados y arenos arcillosos altamente porosos), junto con la presencia de estratos permeables que favorecen la surgencia del agua y las fuertes pendientes del valle, ha desencadenado un conjunto recurrente de movimientos en masa. Entre estos destaca el deslizamiento de Alto Sigwas, activo desde 2005, el cual presenta una escarpa principal de cerca de 1.5 km de longitud, un área afectada aproximada de 0.9 km² y un volumen acumulado que alcanzó aproximadamente 34 millones de m³ hacia 2016. Su dinámica rotacional-retrogresiva ha ocasionado represamientos del río Sigwas (particularmente en 2014), daños reiterados en terrenos agrícolas e infraestructura pública y privada, así como el colapso de un tramo de 37 m del canal de irrigación Majes–Sigwas I y la reducción progresiva de la distancia entre la escarpa y la Panamericana Sur (44 m en 2018). La Opinión Técnica N.º 011-2021 consolidó estos antecedentes, subrayando que la sobresaturación inducida por el riego constituye el principal gatillador y que el deslizamiento representa una amenaza directa para los distritos de Majes y San Juan de Sigwas.

En este contexto, el INGEMMET ha desarrollado desde 2005 un seguimiento sistemático del deslizamiento mediante imágenes aéreas e históricas, fotogrametría, sensores satelitales, escaneo LiDAR y redes geodésicas GPS/GNSS diferencial. Los informes técnicos A6715, A6748, A6772, A7032, A7224, A7425, A7494 y A7597 documentan la evolución geométrica y cinemática de la masa deslizada, reportando tasas de desplazamiento que alcanzan decenas de metros por año, una escarpa principal con salto de aproximadamente 70 m y una retrogresión sostenida hacia zonas con infraestructura crítica. Estos estudios coinciden en caracterizar al deslizamiento de Alto Sigwas como uno de los movimientos en masa más activos del sur del país, clasificado como Muy Activo, con implicancias directas para la continuidad de servicios, la infraestructura regional y la estabilidad del corredor vial nacional. En esta línea, el Reporte N.º 004-2025/INGEMMET/DGAR constituye la actualización más reciente, basada en la campaña geodésica de septiembre de 2025, y tiene como objetivo definir la actividad actual del deslizamiento y cuantificar las velocidades registradas durante el último periodo, consolidando así más de dos décadas de monitoreo continuo.

4. ANÁLISIS DE PELIGROS GEOLOGICOS

Esta opinión técnica se elabora sobre la base de información secundaria proveniente de informes publicados por INGEMMET entre 2016 y 2025, así como de datos de monitoreo disponibles al momento de la revisión. El presente documento no incorpora trabajos de campo, instrumentación adicional ni modelamientos geotécnicos nuevos. En ese entender se pasa a describir el fenómeno, su evolución, estado actual y el peligro.

El deslizamiento de Sigwas es un movimiento en masa de gran extensión que involucra conglomerados miocenos y depósitos cuaternarios de baja cohesión, asentados sobre superficies de falla amplias y lubricadas por infiltración de agua. Su expresión superficial incluye un escarpe principal continuo, escarpes secundarios, grietas tensionales, bloques rotados y zonas con subsidencias diferenciales que reflejan una deformación interna

compleja más que un avance frontal homogéneo. La geometría alargada del cuerpo, la presencia de niveles arcillosos y la topografía relativamente suave del valle facilitan un comportamiento plástico y lento, pero persistente. A lo largo de más de una década de observaciones, el proceso ha mostrado una movilidad significativa, pero altamente variable en el espacio: mientras la cabecera y sectores medios se deforman mediante subsidencias y rotaciones, la parte baja presenta desplazamientos más relacionados al arrastre general del cuerpo. El fenómeno debe entenderse como un sistema multizonal, con sectores que avanzan, se frenan o se reactivan en función de factores externos, principalmente el aporte de humedad en un entorno hiperárido.

Los datos recopilados entre 2010 y 2024 muestran una evolución claramente segmentada en el tiempo. Entre 2010 y 2015 se registraron las mayores tasas de desplazamiento: varios informes reportan valores del orden de 1.5 a 4 m/mes en puntos críticos de la zona baja y media, particularmente durante 2013-2014, periodo en el que se observó una rápida propagación del escarpe principal y deformación acumulada superior a 20-30 m/año en algunos sectores. Entre 2016 y 2019 el comportamiento se vuelve más irregular: tras el sismo de agosto de 2016, estaciones GNSS mostraron incrementos puntuales que alcanzaron 3-3.5 m/mes, seguidos de fases de desaceleración donde las tasas descendieron a rangos de 0.8-1.5 m/mes. Este periodo coincide con reportes de migración de la zona de mayor actividad desde la parte baja hacia sectores intermedios del deslizamiento. A partir de 2020 el proceso entra en una fase de movilidad persistente pero más moderada: mediciones en 2021 y 2022 reportan velocidades entre 0.53 y 0.68 m/mes, mientras que algunas estaciones mostraron ligeras reactivaciones cercanas a 0.9 m/mes durante 2023. A pesar de la disminución del ritmo promedio respecto de la década anterior, las deformaciones acumuladas continúan siendo significativas, lo que revela que la masa no ha alcanzado un equilibrio estable sino una actividad sostenida de menor intensidad.

En el periodo entre 2023 y 2024, el deslizamiento mantiene tasas de desplazamiento que se sitúan principalmente entre 0.5 y 0.9 m/mes, dependiendo del sector y del periodo de medición. La zona frontal muestra avances limitados, generalmente inferiores a 0.4 m/mes, mientras que los sectores medio y superior exhiben deformaciones internas más evidentes, con desplazamientos que rondan 0.6–0.8 m/mes y, en algunos puntos aislados, hasta 0.9 m/mes en episodios cortos. El patrón espacial indica que la mayor movilidad ya no se concentra necesariamente en la parte baja, sino en zonas donde la infiltración es más eficiente y donde la geometría del talud favorece la redistribución de esfuerzos. No se han reportado aceleraciones súbitas en los últimos meses, pero la persistencia del movimiento y la continuidad de las deformaciones superficiales confirman que el proceso sigue activo. En este escenario, el deslizamiento se comporta como un cuerpo que se mueve lenta pero continuamente, conservando su capacidad de afectar infraestructura expuesta si la gestión hídrica del área no controla adecuadamente la infiltración.

En el periodo más reciente, incluyendo las campañas GNSS diferenciales entre el 26 de abril y el 6 de septiembre de 2025, el deslizamiento mantiene actividad significativa y espacialmente heterogénea. El procesamiento de 44 puntos con precisiones promedio de ± 0.009 m (horizontal) y ± 0.020 m (vertical) confirma deformación tridimensional relevante: desplazamientos horizontales (ΔH) de hasta 7.157 m y desplazamientos tridimensionales (ΔT) de hasta 7.335 m en 133 días, así como hundimientos puntuales de hasta -1.606 m. La velocidad horizontal promedio durante ese intervalo fue del orden de aproximadamente 0.78 m/mes, con máximos locales cercanos a 1.64 m/mes en las estaciones más activas; la velocidad vertical media fue de aproximadamente 0.09 m/mes (máximo de aproximadamente 0.37 m/mes). Los vectores horizontales tienen un rumbo predominante

SE–SSE (azimut aproximado de 155°), coherente con la morfología del valle y evidenciando transferencia de masa hacia el frente; el núcleo más activo se localiza en el centro-este del cuerpo (puntos SI34, SI20 y SI21). Al mismo tiempo, entre seis y ocho puntos no superaron el umbral de significancia (3σ) y se consideraron sin desplazamiento significativo en el periodo, lo que reafirma la espacialidad heterogénea del proceso. En conjunto, los datos de 2025 actualizan la imagen previa: aunque hay sectores con velocidades moderadas (0.5–0.9 m/mes), existen núcleos de actividad con desplazamientos puntuales y acumulados notables que mantienen la condición de proceso activo y la necesidad de vigilancia continua.

El deslizamiento de Alto Sigüas mantiene un nivel de peligro muy alto debido a su actividad persistente, su magnitud y la ubicación de infraestructura crítica en el sector hacia la escarpa principal. La evidencia acumulada durante más de una década muestra que el retroceso de la corona es un proceso sostenido, caracterizado por la apertura progresiva de grietas tensionales, hundimientos diferenciales y rotaciones que afectan recurrentemente la franja superior del movimiento. Este patrón (documentado desde los primeros informes de 2010 hasta las campañas GNSS de 2025 donde se observa que la distancia del escarpe a la carretera Panamericana Sur es de 120 m para el año 2010 y 35 m para el año 2025, Figura 3 y 4) constituye el principal mecanismo de amenaza para la Carretera Panamericana Sur, planta industrial de Gloria S.A. en Majes y las áreas agrícolas del proyecto de irrigación Majes se encuentran dentro del ámbito impactado por la deformación retrogresiva, con riesgo directo de pérdida de soporte, discontinuidades en obras lineales, deformaciones de cimentaciones y afectación de edificaciones e infraestructura asociada.

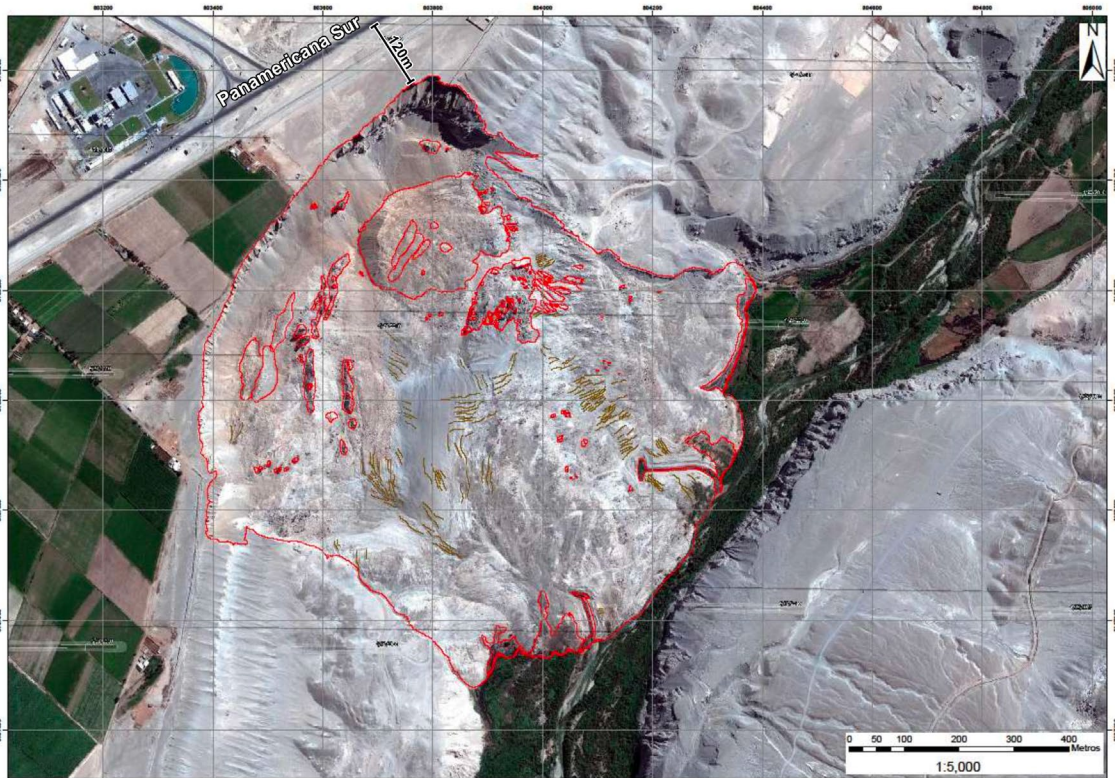


Figura 3. Cartografiado del deslizamiento de Sigüas para el año 2010. La distancia del escarpe a la carretera Panamericana Sur es de 120 m. Modificado de INGEMMET (2016).

Aunque las tasas recientes (2023–2025) tienden a rangos moderados de 0.5-0.9 m/mes en la mayoría de sectores, la persistencia del movimiento, sumada a núcleos de mayor actividad en la zona centro–este con velocidades puntuales cercanas a 1.6 m/mes (Figura 4), confirma que el proceso no ha alcanzado un estado de estabilidad. La deformación acumulada en la corona y en sectores intermedios continúa generando una redistribución interna de esfuerzos que favorece la evolución retrogresiva del escarpe, lo que representa una amenaza inmediata y recurrente para la infraestructura ubicada en la parte alta del deslizamiento.

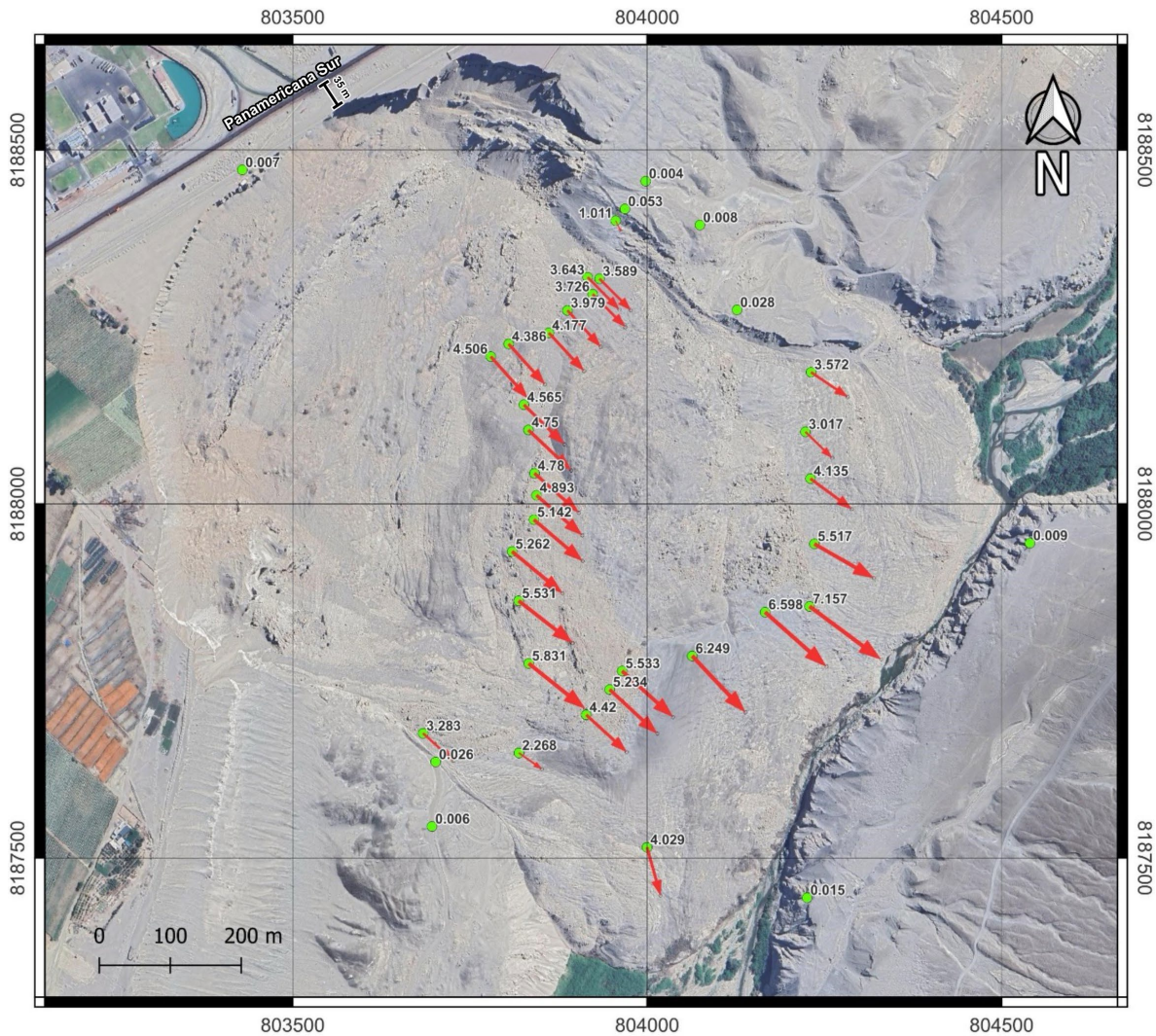


Figura 4. Vectores de desplazamiento horizontal calculados para un periodo entre abril y setiembre de 2025 (aproximadamente 5 meses), las flechas indican la dirección del desplazamiento horizontal, los números indican la magnitud en metros. La distancia del escarpe a la carretera Panamericana Sur es de 35 m. Modificado de INGEMMET (S/P).

Entonces, entre 2016 y 2025 (Figura 5), el deslizamiento de Sigüas muestra una evolución geométrica clara caracterizada por el retroceso del escarpe principal y el avance del frente del depósito. En el sector occidental se observa un retroceso continuo del escarpe, con desplazamientos que alcanzan decenas de metros, mientras que en los sectores oriental y sur al pie del deslizamiento el material ha experimentado un avance progresivo, evidenciado

por el desplazamiento del límite del cuerpo hacia zonas topográficamente más bajas. El mapa de diferencias altimétricas confirma esta redistribución del material, con pérdidas de volumen concentradas en la zona del escarpe y ganancias en las áreas de acumulación. En conjunto, la figura 5 muestra que, en un intervalo de aproximadamente nueve años, el deslizamiento ha mantenido una dinámica activa de reacomodo interno, dando lugar a la configuración actual del cuerpo inestable. Además se evidencia un avance retrogrado del escarpe hacia el centro poblado Alto Sigüas de aproximadamente 42 m para el 2025 respecto al 2016.

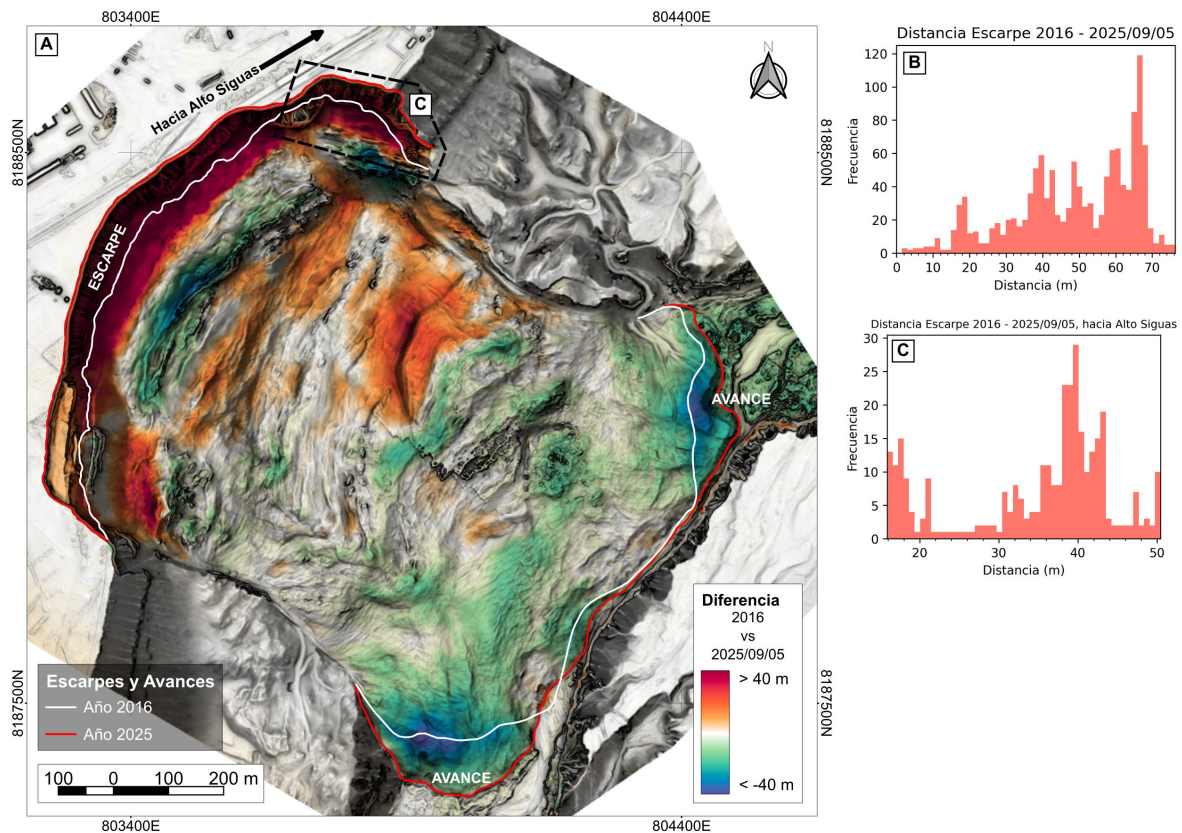


Figura 5. Comparación geomorfológica del movimiento en masa entre 2016 y 2025. (A) Mapa de diferencias altimétricas obtenido a partir del corregimiento de modelos digitales de elevación (DEM), donde se identifican zonas de retroceso del escarpe y avance del frente del deslizamiento. Las líneas blancas corresponden a la posición del escarpe y frentes en 2016, y las líneas rojas a su posición actual (setiembre del 2025). (B) Histograma de las distancias de retroceso del escarpe para el periodo 2016–2025. (C) Histograma de las distancias de retroceso del escarpe en el sector orientado hacia el Alto Sigüas.

Un segundo mecanismo de peligro (menos probable, pero de alto impacto) corresponde a la posible interacción del frente del movimiento con el cauce del río Sigüas. Los antecedentes históricos muestran que el deslizamiento ha experimentado aceleraciones inducidas por cambios en la infiltración, variaciones en la humedad del terreno y eventos sísmicos; en tales circunstancias, una mayor transferencia de masa hacia la parte baja podría generar una obstrucción parcial del valle. Aunque este escenario no ha sido observado en los registros recientes y es considerado de baja probabilidad, su ocurrencia podría provocar un represamiento temporal del río, con inundación de áreas agrícolas ubicadas aguas arriba y, en caso de ruptura súbita del dique natural, una avenida torrencial capaz de afectar terrenos de cultivo, infraestructura hidráulica y poblaciones situadas aguas

abajo del deslizamiento. Su inclusión responde a evaluaciones previas del fenómeno a lo largo de la última década y al volumen involucrado en el movimiento.

En conjunto, la configuración espacial del deslizamiento define un riesgo dominado por el retroceso continuo de la corona (mecanismo ampliamente registrado y con impacto directo sobre infraestructura crítica) y complementado por un escenario hidrológico de baja probabilidad, pero elevado potencial destructivo, cuya relevancia radica en el volumen del cuerpo movilizado y en la estrechez relativa del valle del Sigwas en el sector afectado.

5. CONCLUSIONES

Las conclusiones y recomendaciones aquí expuestas derivan exclusivamente del análisis de información previamente producida por el INGEMMET. En ese sentido, constituyen apreciaciones técnicas sujetas a la disponibilidad, calidad y alcance de los documentos analizados. Los escenarios descritos no representan predicción determinista del comportamiento del deslizamiento. Tenemos las siguientes conclusiones:

- a) El análisis integrado de la información disponible entre 2010 y 2025 muestra que el deslizamiento de Alto Sigüas constituye un movimiento en masa activo, persistente y estructuralmente complejo, cuyo comportamiento no puede entenderse como un frente uniforme sino como un sistema multizonal con sectores que se aceleran y se estabilizan temporalmente.
- b) El deslizamiento se reactiva, según variaciones en la infiltración, la humedad del terreno y la redistribución interna de esfuerzos.
- c) La evolución temporal del deslizamiento, revela tres grandes fases: un intervalo 2010-2015 de máximas tasas de desplazamiento y fuerte crecimiento del escarpe principal; un segundo periodo 2016-2019 caracterizado por oscilaciones marcadas y aceleraciones ligadas a perturbaciones externas; y una tercera etapa 2020-2025 de movilidad moderada en promedio, pero con persistencia de núcleos activos que alcanzan velocidades puntuales comparables a las de años más dinámicos.
- d) El proceso de reactivación del deslizamiento, no ha ingresado en una fase de estabilidad, sino en una dinámica interna más heterogénea.
- e) La actualización instrumentada de 2025, refuerza esta lectura: aunque buena parte del deslizamiento presenta velocidades entre 0.5 y 0.9 m/mes, existen sectores donde los desplazamientos horizontales superan 7 m en cuatro meses y las velocidades locales alcanzan aproximadamente 1.6 m/mes, evidenciando que subsisten volúmenes capaces de generar deformación significativa en intervalos cortos.
- f) Esta distribución espacial desigual de la movilidad del deslizamiento, es coherente con la estructura geológica del terreno, la presencia de materiales de baja cohesión y la influencia combinada de infiltración y geometría del valle.
- g) En términos de peligro, el mecanismo dominante y recurrente es el avance retrogresivo sostenido de la corona del deslizamiento, responsable de la afectación actual y potencial de infraestructura crítica como la Carretera Panamericana Sur, la planta industrial de Gloria S.A. y las áreas agrícolas del proyecto Majes.
- h) El escenario de obstrucción del río Sigüas, por el avance del deslizamiento hacia el cauce, es menos probable, pero su inclusión es pertinente por el alto impacto asociado y por la magnitud del cuerpo movilizado.
- i) En conjunto, el deslizamiento mantiene una condición de actividad significativa que exige seguimiento continuo, especialmente en los sectores de mayor deformación acumulada y en la franja superior donde se concentra la infraestructura expuesta.
- j) El balance final es que, pese a una reducción relativa en las tasas promedio respecto a los máximos registrados hace una década, el deslizamiento no ha mostrado señales de estabilización; más bien ha evolucionado hacia una dinámica interna diferenciada, con zonas en las que la actividad se mantiene elevada.
- k) El peligro continúa siendo alto y justifica la implementación de monitoreo regular y estudios específicos orientados a comprender la condición hidrogeológica y la estructura interna del movimiento (aspectos críticos que la presente síntesis, al basarse únicamente en la información disponible, permite identificar, pero no resolver).
- l) Respecto al centro poblado Alto Sigüas, se evidencia un avance retrogresivo del escarpe del deslizamiento de aproximadamente 42 m para el 2025 respecto al 2016.

6. RECOMENDACIONES

En cuanto a las recomendaciones sugeridas, estas tienen carácter orientador y no sustituyen la responsabilidad de las entidades competentes en la toma de decisiones operativas, presupuestales o de gestión del riesgo. Cualquier intervención estructural, modificación de infraestructura, reasentamiento poblacional o reubicación de servicios debe basarse en estudios específicos complementarios y en las decisiones de las autoridades responsables. A continuación, se tienen las siguientes recomendaciones:

- a) Evaluar la continuidad y frecuencia del monitoreo GNSS existente, debido a que Informes 2016–2025 muestran deformación persistente y retroceso de la corona; la red actual requiere confirmación de estabilidad y cobertura adecuada.
- b) Considerar la mejora/densificación de puntos GNSS en sectores activos, ya que sectores con mayores gradientes de deformación (corona–núcleo–frente) pueden requerir mayor resolución espacial para detectar aceleraciones.
- c) Evaluar la necesidad de inclinómetros y una estación sísmica/acelerógrafo. Debido a que la geometría del escarpe sugiere planos profundos y sensibilidad a aceleraciones; la instrumentación permitiría discriminar detonantes mecánicos.
- d) Mantener un sistema comunitario de reporte de grietas, humedad y caída de bloques. Ya que los eventos superficiales son indicadores tempranos que complementan la instrumentación en zonas con acceso limitado.
- e) Continuar la transición a riego tecnificado, evitando infiltraciones excesivas. Debido a que la recarga antrópica es el principal factor controlable del aumento del nivel freático; los antecedentes lo vinculan directamente con la actividad del deslizamiento.
- f) Desarrollar estudios hidrogeológicos específicos del área de influencia. La geometría de la unidad permeable (conglomerados) y el gradiente hidráulico local aún tienen incertidumbre alta; se requiere cuantificar flujos.
- g) Evaluar la pertinencia de mantener el tránsito en el tramo de la Panamericana Sur. Debido a la Proximidad aproximadamente 35 m al escarpe, además del retroceso histórico documentado y la carga dinámica; son condiciones que justifican realizar un análisis de riesgo actualizado.
- h) Considerar reubicación progresiva de viviendas/actividades cercanas a la corona. Sectores con fallas tensionales y pérdida de soporte; la exposición directa a deformación es alta.
- i) Delimitar franja de seguridad con señalización permanente. Ya que la geometría del deslizamiento es compleja e involucra zonas de falla difusa.
- j) Implementar un plan de contingencia vial/logístico con indicadores de cierre. Ya que son posibles riesgos en escenarios de aceleración del movimiento, de acuerdo a lo registrado en las campañas GNSS.
- k) Revisar ubicación proyectada de líneas de transmisión. Ya que la zona del flanco derecho registra inestabilidades antiguas; una distancia de seguridad evita afectación por movimientos laterales.
- l) Mantener vigilancia sobre estrechamientos del cauce y cambios geométricos del pie del deslizamiento. Aunque improbable, el represamiento parcial puede ocurrir por reducción de sección.
- m) Mantener coordinación permanente entre INGEMMET, GORE, AUTODEMA y COER. La zona involucra múltiples competencias; la duplicación o desarticulación reduce eficacia del monitoreo.

- n) Desarrollar una estrategia de comunicación del riesgo para población e infraestructura. La percepción del riesgo afecta cumplimiento de restricciones y reportes comunitarios.
- o) Finalmente, la implementación de cualquier medida requiere la articulación entre el Gobierno Regional de Arequipa, AUTODEMA, MTC y los organismos de gestión del riesgo, en el marco de sus competencias y disponibilidad presupuestal. INGEMMET, como entidad técnico-científica, aporta insumos para la evaluación del peligro, más no define ni financia obras de mitigación.

7. BIBLIOGRAFÍA

INGEMMET (2016). Informe Técnico N.° A6715. Dinámica del deslizamiento de Sigwas. Región Arequipa, provincias Caylloma y Arequipa, distritos de Majes y San Juan de Sigwas. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/1196>

INGEMMET (2017) Informe Técnico N.° A6748. Dinámica y monitoreo del deslizamiento de Sigwas. Región Arequipa, provincia Caylloma y Arequipa, distrito Majes y San Juan de Sigwas. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/791>

INGEMMET (2017) Informe Técnico N.° A6772. Área de influencia del deslizamiento de Sigwas y geodinámica del Valle. Región Arequipa, provincia Caylloma y Arequipa, distrito Majes y San Juan de Sigwas. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/821>

INGEMMET (2020) Informe Técnico N.° A7032. Monitoreo del deslizamiento Alto Sigwas, periodo 2018 – 2019. Región Arequipa, provincias Caylloma, Arequipa, distritos Majes, San Juan de Sigwas. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/3048>

INGEMMET (2021) Opinión Técnica N.° 011-2021. Monitoreo geodésico y fotogramétrico del deslizamiento de Alto Sigwas a octubre 2021. Distritos Majes y San Juan de Sigwas, provincias Caylloma y Arequipa, departamento de Arequipa. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/3494>

INGEMMET (2022) Informe Técnico N.° A7224. Monitoreo del deslizamiento de Alto Sigwas periodo 2021. Distritos de Majes y San Juan de Sigwas, provincias de Caylloma y Arequipa, departamento de Arequipa. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/3619>

INGEMMET (2023) Informe Técnico N.° A7425. Monitoreo del deslizamiento de Alto Sigwas periodo 2022, distritos Majes - San Juan de Sigwas, provincias Caylloma - Arequipa, departamento Arequipa. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/4795>

INGEMMET (2024) Informe Técnico N.° A7494. Reporte de monitoreo del deslizamiento de Alto Sigwas, periodo 2022 - 2023. Distritos Majes y San Juan de Sigwas, provincias Caylloma y Arequipa, departamento Arequipa. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/4994>

INGEMMET (2025) Informe Técnico N.° A7597. Reporte de monitoreo del deslizamiento de Alto Sigwas, periodo 2021 - 2024. Distritos Majes y San Juan de Sigwas, provincias Caylloma y Arequipa, departamento Arequipa. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/5155>

INGEMMET (S/P) Reporte N°. 004-2025/INGEMMET/DGAR. Monitoreo del deslizamiento de Alto Sigwas 2025. Reporte técnico no publicado/interno.