

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

**Informe Técnico N° A7597**

# REPORTE DE MONITOREO DEL DESLIZAMIENTO DE ALTO SIGUAS, PERIODO 2021 - 2024

Departamento: Arequipa  
Provincia: Caylloma  
Distrito: Majes



FEBRERO  
2025

***REPORTE DE MONITOREO DEL DESLIZAMIENTO DE ALTO SIGUAS,  
PERIODO 2021 - 2024***

*Distritos Majes y San Juan de Sigwas, provincias Caylloma y Arequipa, departamento  
Arequipa*



Elaborado por la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo  
Geológico del INGEMMET

*Equipo de investigación:*

*Luis Albinez*

*Edu Taipe*

*Dulio Gómez*

**Citación:**

*Albinez, L.; Taipe, E. & Gomez, H. (2025) Reporte de monitoreo del deslizamiento de Alto Sigwas, periodo 2021 - 2024. Distritos Majes y San Juan de Sigwas, provincias Caylloma y Arequipa, departamento Arequipa. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, Informe Técnico A7597, 19 p.*

## Contenido

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	4
<b>2. ASPECTOS GENERALES</b> .....	4
2.1 Ubicación y accesibilidad .....	4
2.2 Aspectos geológicos, geomorfológicos y de peligros geológicos .....	5
2.3 Caracterización del deslizamiento de Alto Sigwas .....	6
<b>3. MONITOREO GEODÉSICO</b> .....	7
3.1. Metodología.....	7
3.2. Datos .....	8
3.3 Resultados .....	8
<b>4. FOTOINTERPRETACION</b> .....	15
4.1. Insumos fotogramétricos .....	15
4.2. Comparación multitemporal (corona).....	15
4.3. Medición de distancias mínimas a infraestructura crítica.....	15
<b>CONCLUSIONES</b> .....	17
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	18
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	19

## 1. INTRODUCCIÓN

La irrigación de las pampas de Majes en Arequipa, iniciada en 1983 (Martínez, 2016), ha generado movimientos en masa en la margen derecha del valle del río Sigwas desde los años 90's hasta la actualidad. Factores detonantes clave incluyen la infiltración de agua por las actividades de regadío de la irrigación Majes, aumentando los volúmenes de agua en las "napas freáticas" (Martínez, 2016; Lacroix et al., 2020), la litología y comportamiento geomecánico de materiales poco competentes (Araujo et al., 2016), y las laderas con fuertes pendientes. El deslizamiento de Alto Sigwas, reactivado en 2005, ha causado continuamente pérdidas en cultivos e infraestructura en los distritos de Majes y San Juan de Sigwas.

A raíz de las emergencias generadas por la actividad del deslizamiento de Alto Sigwas y por ser una zona con eventos geológicos activos de interés científico, el Ingemmet, como ente técnico-científico especializado, mediante su Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, realiza su monitoreo temporal, generando informes sobre su evolución.

El presente reporte tiene por finalidad dar a conocer el estado de la actividad del deslizamiento de Alto Sigwas a través de la información obtenida del monitoreo realizado durante el periodo 2022 - 2024.

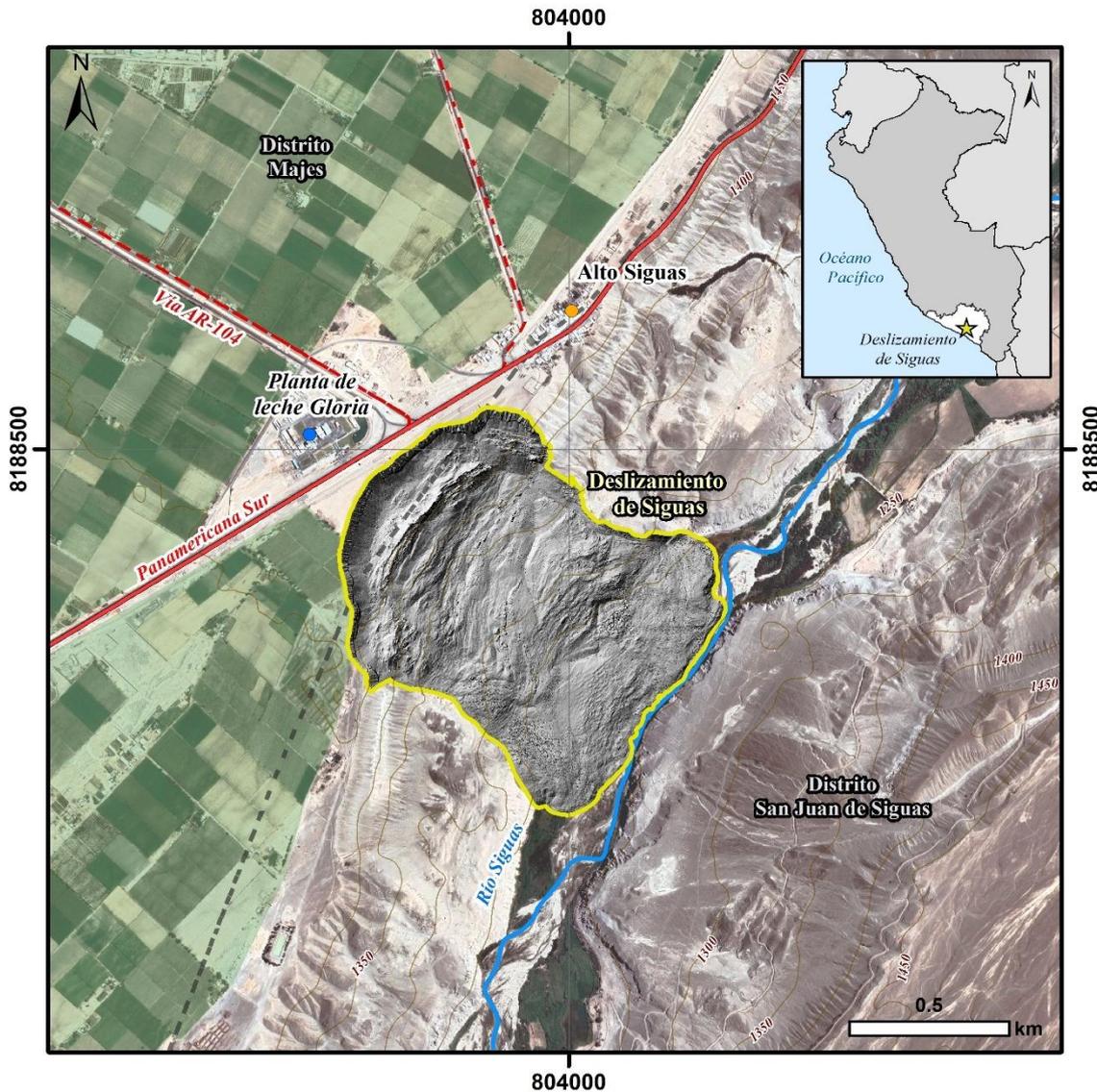
## 2. ASPECTOS GENERALES

### 2.1 Ubicación y accesibilidad

El deslizamiento de Alto Sigwas se encuentra en la margen derecha del Valle de Sigwas (figura 1 y cuadro 1), entre los distritos de Majes de la provincia de Caylloma y San Juan de Sigwas de la provincia de Arequipa. Al noroeste de su corona se encuentran la carretera Panamericana Sur y la planta de leche Gloria, al norte, el centro poblado de Alto Sigwas.

*Cuadro 1. Coordenadas del deslizamiento.*

COORDENADA CENTRAL				
N°	UTM - WGS84 - Zona 18S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
A	803853	8188020	16°22'12"S	72°09'21"O



**Figura 1.** Mapa de ubicación, deslizamiento Alto Siguas.

## 2.2 Aspectos geológicos, geomorfológicos y de peligros geológicos

La zona del deslizamiento presenta rocas del Paleógeno, Neógeno y depósitos cuaternarios (GEOCATMIN capas “Mapa Geológico 100K y 50K”, hoja 33r 1:100,000, Guisado & Guevara 1968 revisado y actualizado por León y Palacios 2000, “Cuadrángulo de Aplao”). Se encuentran principalmente litologías de la Formación Moquegua Superior, constituida por areniscas de grano medio hasta conglomerádicas con algunas capas de arcilla, conglomerados mayormente de entre 2 a 10 cm y dos bancos de toba riolítica blanco compacto de grano fino cerca al tope, que adquieren una coloración rosada por intemperismo (Guisado, 1968). También aflora la Formación Millo, compuesta por conglomerados con matriz arena tobácea de grano grueso, moderadamente consolidados de clastos gruesos más o menos redondeados de intrusivos, cuarcitas y volcánicos retrabajados (Vargas, 1970). Al tope, cubriendo las pampas cortadas por quebradas y valle afloran conglomerados aluviales del pleistoceno de 20 cm (Guisado, 1968; Vargas, 1970). Los depósitos cuaternarios coluviales afloran en las laderas y fondo del valle. También se encuentran depósitos eólicos en forma de cadenas de dunas aisladas en quebradas secas que atraviesan las Pampas de Siguas (Ingemmet, 2024).

Geomorfológicamente la zona corresponde a las unidades de “Altiplanicie Sedimentaria”, “Colinas y Lomadas disectada en roca Sedimentarias”, “Vertiente con depósito de deslizamiento” y “Terraza Aluvial” (GEOCATMIN capa “Geomorfología”). La altiplanicie constituye un relieve predominantemente llano, asimismo, presenta ligera inclinación relacionadas con la disposición de las secuencias sedimentarias. Las colinas y lomadas son relieves suaves de pendiente moderada ( $5^{\circ}$ - $15^{\circ}$  y  $15^{\circ}$ - $25^{\circ}$ ) y con desniveles de hasta 300 m. Exhibe surcos de erosión y sistema dendrítico de drenaje, además de cumbres subredondeadas producto de la erosión. Las vertientes corresponden a acumulaciones de ladera originadas por procesos de movimientos en masa, prehistóricos, antiguos y recientes, de corto a mediano recorrido. Las terrazas son porciones de terreno plano dispuestas a los costados de la llanura de inundación del río, disectadas como consecuencia de la profundización del valle (Luque et al., 2021).

El inventario de peligros geológicos nacional (GEOCATMIN), muestra eventos de movimientos en masa de tipo deslizamientos y caídas en el valle de Sigwas. En las laderas del valle de Sigwas se han identificado otros deslizamientos antiguos, reactivados y activos, que en algunos casos superan el  $1000000\text{ m}^2$  de área, como es el caso del deslizamiento de Santa Isabel de Sigwas, que tiene una corona que se extiende a lo largo de 10 kilómetros, en la margen izquierda del valle. Además, están otros deslizamientos notables como Tambillo, La Chimba, Candia, Tinajeras San Juan de Sigwas I y II. También se observan otros tipos de movimientos en masa, como, avalanchas, derrumbes, movimientos complejos (Pachaqui), flujos de detritos o huaicos sobre quebradas secas y zonas de cárcavas (Araujo et al., 2017 en Ingemmet 2023). En lo referente a la susceptibilidad a movimientos en masa (GEOCATMIN), la zona muestra susceptibilidad de media a muy alta (Ingemmet, 2024).

### **2.3 Caracterización del deslizamiento de Alto Sigwas**

Según Araujo (2016) y otros, el deslizamiento de Alto Sigwas es de tipo rotacional retrogresivo, dinámicamente activo con movimiento lento – moderado. Lacroix (2019) describe múltiples deslizamientos rotacionales, con un movimiento retrogradante de la cabeza y avance de la masa. El movimiento retrogrado se observa por los eventos de aceleración de la cabeza y por el gran cambio de morfología después de un desplazamiento importante de la corona del deslizamiento. La zona alta de la masa está condicionada a los permanentes derrumbes de la escarpa, la zona media muestra estructuras de compresión relacionadas al empuje del material de movimiento lento y la zona baja se caracteriza por tener una mayor inclinación de pendiente, lo que origina variaciones de desplazamiento (Araujo et al 2016). Morfométricamente, a junio del 2023, el deslizamiento de Alto Sigwas cubre un área de  $\sim 0.9\text{ km}^2$ , desnivel de corona a punta de  $\sim 220\text{ m}$  y longitud total de  $\sim 1140\text{ m}$ . Cabe mencionar que las medidas de monitoreo publicadas en los últimos informes muestran un comportamiento principalmente traslacional, consecuente a la evolución dinámica de la masa (Ingemmet, 2024).

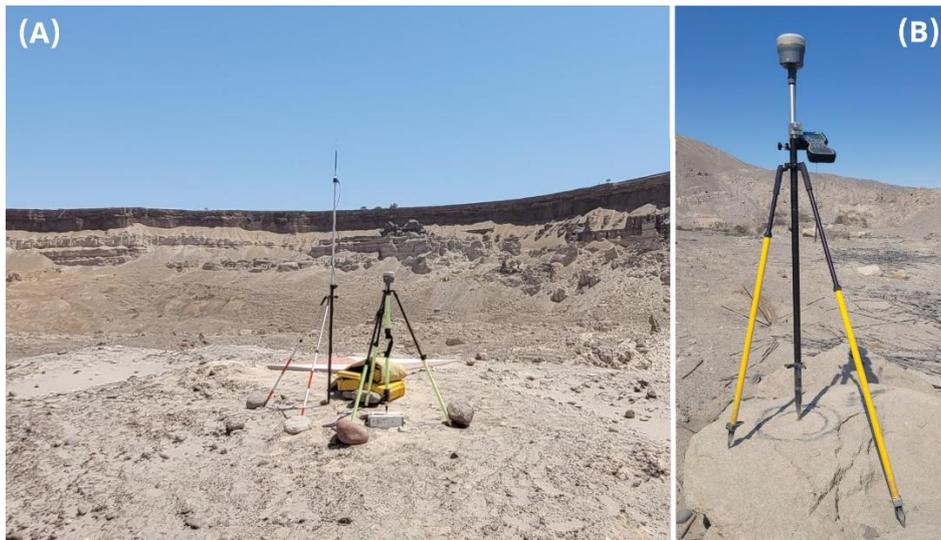


**Figura 2.** Interpretación del deslizamiento de Alto Sigwas, realizada en base a fotografía aérea tomada con dron. La línea gruesa de color amarillo muestra la corona del deslizamiento, la línea entrecortada señala el contacto entre la masa y el plano de deslizamiento y la línea delgada, el límite a junio del 2023. Se aprecia el estrechamiento del valle y cauce original a consecuencia del avance de la masa deslizada (Ingemmet, 2024).

### 3. MONITOREO GEODÉSICO

#### 3.1. Metodología

El monitoreo se realiza mediante receptores GNSS diferenciales, los cuales se basan en la capacidad de medir de manera precisa la posición de puntos de control estratégicamente distribuidos en la zona de interés. La metodología emplea dos tipos de receptores GNSS (figura 3): uno estacionario, denominado estación base, que permanece fijo en un lugar estable fuera de la zona de deslizamiento, y varios receptores móviles, denominados estaciones móviles, que se instalan en puntos clave dentro del área inestable. La estación base actúa como referencia para corregir los errores comunes en las señales GNSS. Las estaciones móviles miden las coordenadas en los puntos de interés y estos datos se comparan con las correcciones proporcionadas por la estación base para obtener posiciones precisas. Con el tiempo, las diferencias de posición permiten detectar desplazamientos milimétricos en las componentes este, norte y elevación, mientras que el análisis de las series temporales permite calcular períodos, zonas y velocidades de desplazamiento. Esta información es clave para evaluar la estabilidad del terreno.



**Figura 3.** Equipos empleados en la lectura de datos en campo. (A) estación Base, (B) estación Móvil.

Las mediciones de estos puntos se realizaron con receptores GNSS diferenciales de doble frecuencia (Trimble R12) aplicando las técnicas de posicionamiento RTK (cinemático en tiempo real) y PPK (cinemático post proceso). Para las últimas campañas de campo se empleó el receptor GNSS de la marca Trimble Modelo R12 (figura 3) y el post procesamiento se realizó con el software Trimble Business Center 5.0, mientras que para el análisis se utilizó Python.

### 3.2. Datos

En el deslizamiento de Alto Sigwas se implementó desde el 2016, una red de 37 puntos de control distribuidos en la masa deslizada y en los flancos, sin embargo, en 7 puntos no fue posible medir (pérdida de puntos, inaccesibilidad, etc.) de forma continua o reiterada debido los procesos internos del deslizamiento (deformación). Los nombres de los puntos se codificaron con el prefijo SI y el correlativo numérico del 01 al 37. Adicionalmente se implementaron puntos de referencia en la parte superior del deslizamiento y en el lado opuesto del río.

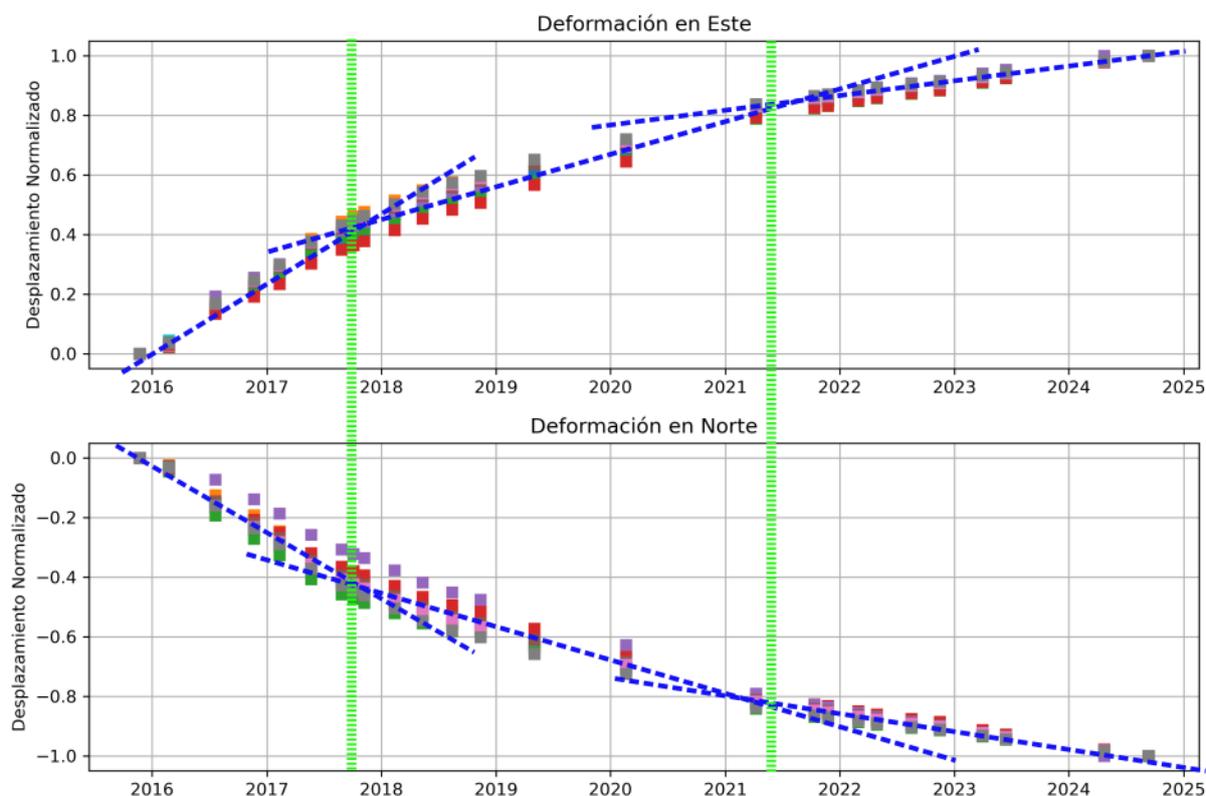
Considerando el inicio del monitoreo en el 2016, para este análisis se han tomado en cuenta 26 campañas de adquisición de datos, los datos de la última campaña usada en el presente informe corresponden al 19 de octubre de 2024.

### 3.3 Resultados

El primer resultado del procesamiento son las series temporales de desplazamiento, en cada punto y para cada componente. La serie temporal nos permite evaluar la evolución del movimiento superficial, es importante determinar si el deslizamiento presenta una velocidad constante, si tiene variaciones estacionales o periodos regulares de aceleración y/o desaceleración.

Para identificar los diferentes períodos del movimiento, se preparó el gráfico mostrado en la figura 4, en el cual se presentan las series temporales de desplazamiento normalizado de todos los puntos que tuvieron la mayor cantidad de lecturas entre 2016 – 2024 y que registraron

algún nivel de desplazamiento. En general, la curva muestra una tendencia a la desaceleración, en donde se pueden distinguir fases de este proceso dinámico.



**Figura 4.** Serie temporal del desplazamiento normalizado, se evalúa los periodos de mayor o menor velocidad de desplazamiento, mediante regresión lineal (líneas azules), identificando tres etapas importantes separadas por las líneas verticales verdes.

Los resultados muestran que se pueden distinguir tres grupos de datos que se identifican por la mejor aproximación a un movimiento uniforme. Las líneas punteadas de color azul muestran el ajuste por regresión lineal. Estos tres grupos representan tres períodos con diferentes velocidades de deslizamiento, y las fechas de cambio de velocidad se señalan con líneas verticales de color verde:

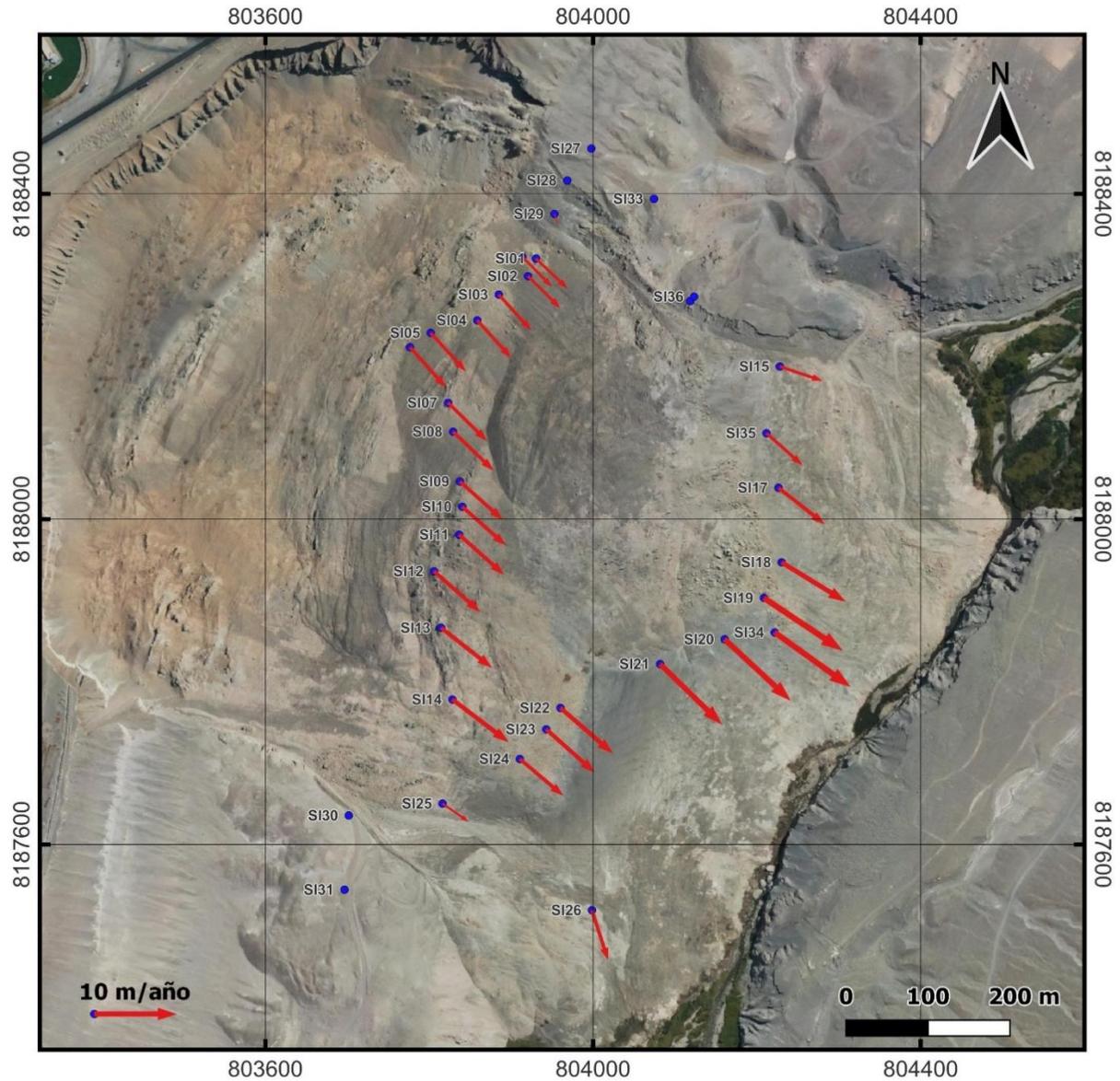
- El primer período abarca desde el inicio del monitoreo del deslizamiento en 2016 hasta 2018; es la fase donde el deslizamiento presentó la mayor velocidad de desplazamiento.
- El segundo período va desde 2018 hasta 2021, la velocidad del desplazamiento disminuye.
- Del 2021 al 2024 es la fase con la menor velocidad de desplazamiento; es esta etapa la que analizaremos con mayor detalle, ya que representa el estado actual del deslizamiento.

Para el periodo de interés, la tercera fase, se calcularon las velocidades de desplazamiento en cada punto que cuenta con al menos tres lecturas válidas, los resultados corresponden a velocidades horizontales (Figura 5) y velocidades verticales (Figura 6). En las velocidades horizontales se distinguen las siguientes características:

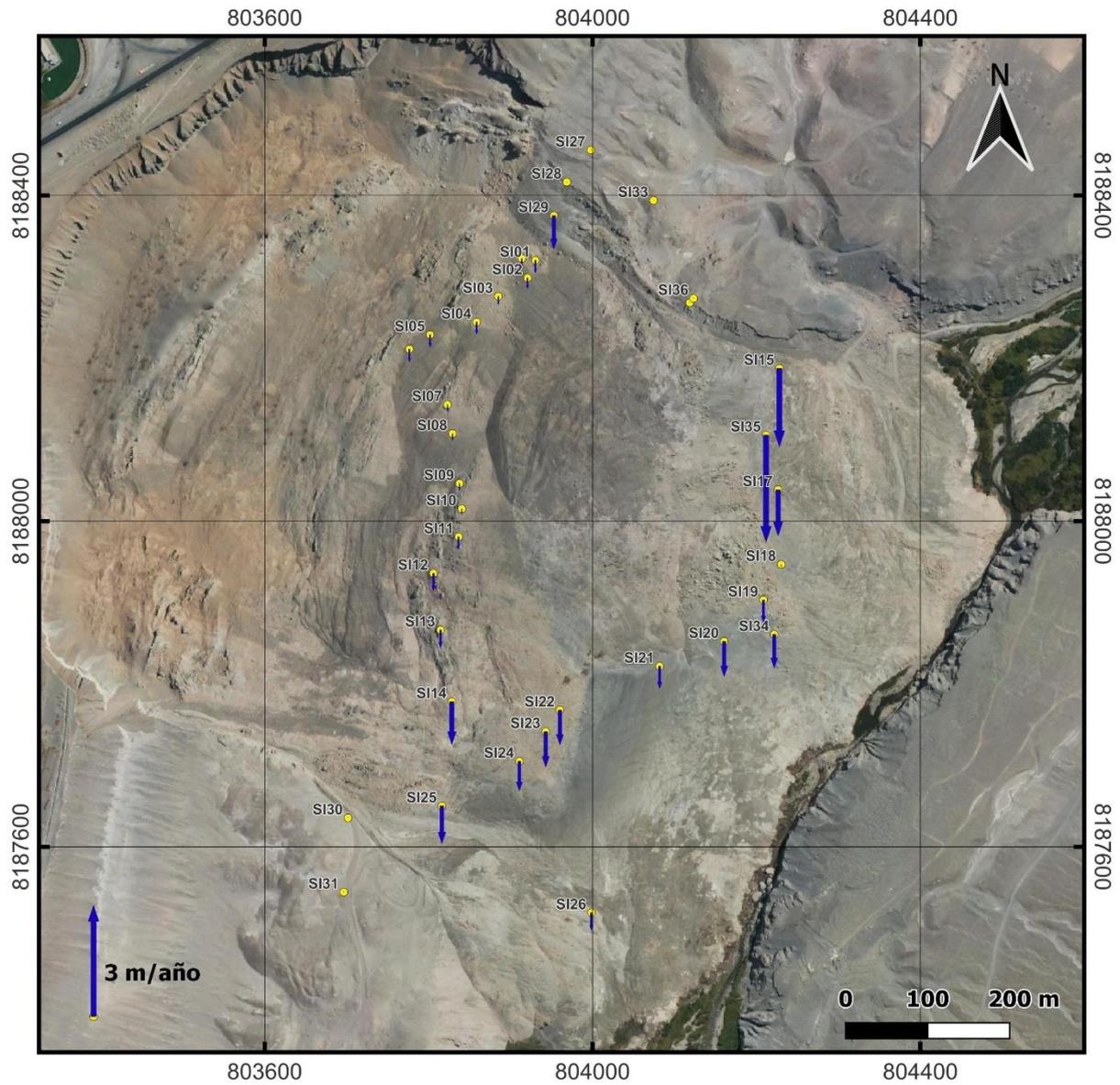
- ✓ Solo hay actividad de movimiento superficial en el cuerpo del deslizamiento, los puntos que se encuentra fuera del cuerpo (SI36, SI33, SI28, SI27, SI30 y SI31) no presentan cambios o en su defecto los valores de deformación son menores a la resolución del equipo, las cuales son centimétricas y en algunos casos sub-centimétrica.
- ✓ Los valores mas bajos de velocidad se registraron en el los límites del cuerpo deslizante, y la zona con menores desplazamientos corresponde a los puntos SI29 del flanco derecho con 1.3 m/año y SI25 con 3.8 m/año en el flanco izquierdo.
- ✓ Dentro del cuerpo del deslizamiento se distinguen hasta tres sectores con ligeros cambios de velocidades, siendo la parte baja la de mayor velocidad (SI21, SI20, SI34, SI19 y SI18) con un promedio de 10.7 m/año. El segundo sector se ubica al sur del cuerpo (SI12, SI13, SI14, SI22, SI23 y SI24) con un promedio de 7.9 m/año. El tercer grupo corresponde a la parte central (SI05, SI06, SI07, SI08, SI09, SI10, SI11) con un promedio de 6.8 m/año. El cuarto sector se encuentra en la parte central al norte del cuerpo (SI01, SI02, SI03; SI04, SI26 y SI37) con 5.7 m/año de velocidad promedio. El último grupo se encuentra en la parte baja norte (SI15, SI35 y SI17) con un promedio de 6.1 m/año.
- ✓ Todos los vectores se orientan al sureste, a favor de la pendiente, en dirección al río. A excepción de los puntos SI15 que tiene una orientación este-sureste y el punto SI26 hacia el sur-sureste. Este comportamiento se correlaciona con la dinámica del deslizamiento ya que en esos puntos la base del deslizamiento se abre en forma de abanico.

Respecto al movimiento vertical, en la figura 6 se presentan los vectores de velocidad de desplazamiento, los cuales también fueron calculados para el periodo 2021-2024, este gráfico y la tabla 1 nos muestran las siguientes características:

- ✓ Al igual que el movimiento horizontal no se registró actividad en los puntos fuera del cuerpo deslizante (SI31, SI30, SI26, SI28, SI33 y SI36), muestran que en el resto de puntos ubicados en el cuerpo deslizante se registró algún nivel de hundimiento.
- ✓ La mayor actividad vertical de registró en la parte baja del cuerpo deslizante, en el lado norte (SI15, SI17 y SI35), llegando a registrar hundimiento con una velocidad de hasta 2.9 m/año.
- ✓ La parte baja, en el lado sur (SI14, SI25, SI23, SI05, SI20, SI22, SI34, SI24, SI19, SI21 y SI26) presentó hundimientos regulares con velocidades de promedio de hundimiento de 0.85 m/año.
- ✓ El sector con menor actividad vertical es la parte central (SI13, SI12, SI06, SI01, SI11, SI04, SI02, SI37, SI03, SI09, SI07, SI08 y SI10) con el promedio más bajo de hundimiento con una velocidad de 0.3 m/año.
- ✓ Como un comportamiento singular se puede describir al punto SI29, ubicado en el límite del cuerpo deslizante, este punto presentó un hundimiento de 0.9 m/año.



**Figura 5.** Mapa de vectores de velocidad horizontal del deslizamiento de Alto Siguas. El mapa muestra las magnitudes y direcciones de la velocidad horizontal de desplazamiento en la red de puntos de control temporal, correspondientes al periodo 2021-2024. Se observa que la dirección de los movimientos predominante fue hacia el sureste (a favor de la pendiente, en dirección al río).



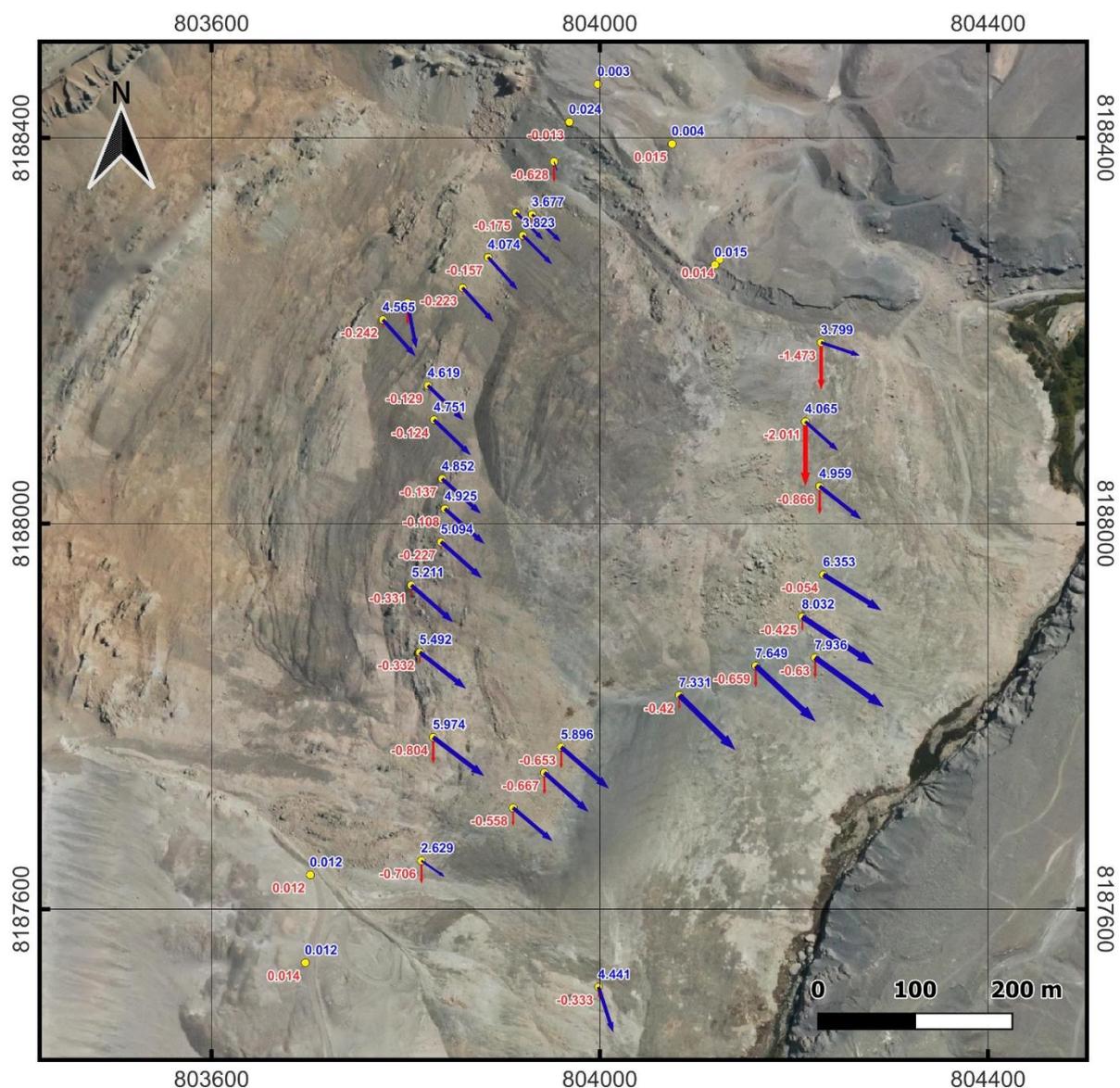
**Figura 6.** Mapa de vectores de velocidad vertical del deslizamiento de Alto Siguas. El mapa muestra las magnitudes y direcciones de la velocidad vertical de desplazamiento en la red de puntos de control temporal, correspondientes al periodo 2021-2024. Se observa que la dirección de los movimientos predominante fue de hundimiento (valores negativos).

**Tabla 1.** Valores de velocidad de deslizamiento en cada punto de monitoreo, el cálculo se realizó para el periodo 2021-2024

Código	Coordenadas			Velocidad de Deslizamiento			
	Este	Norte	Elevación	V <sub>x</sub> m/año	V <sub>y</sub> m/año	V <sub>H</sub> m/año	V <sub>z</sub> m/año
SI19	804208.717	8187903.157	1283.578	9.573	-6.448	11.542	-0.610
SI34	804221.856	8187860.810	1275.404	9.238	-6.685	11.403	-0.906
SI20	804160.698	8187852.313	1276.781	8.029	-7.508	10.992	-0.948
SI21	804081.948	8187821.882	1275.259	7.512	-7.385	10.534	-0.604
SI18	804230.423	8187946.903	1277.410	7.763	-4.803	9.129	-0.078
SI14	803828.409	8187778.251	1312.206	6.820	-5.215	8.585	-1.155
SI22	803960.303	8187767.941	1289.779	6.377	-5.578	8.472	-0.939
SI23	803942.988	8187741.575	1289.240	5.904	-5.294	7.930	-0.958
SI13	803814.573	8187866.411	1313.353	6.191	-4.894	7.892	-0.477
SI12	803805.892	8187936.005	1317.376	5.602	-4.969	7.489	-0.475
SI11	803836.562	8187980.943	1323.048	5.453	-4.883	7.320	-0.326
SI17	804226.541	8188038.627	1276.461	5.579	-4.434	7.127	-1.244
SI10	803840.471	8188015.241	1323.152	5.283	-4.710	7.077	-0.155
SI09	803837.655	8188046.333	1322.176	5.171	-4.677	6.973	-0.197
SI24	803910.704	8187705.089	1290.526	5.263	-4.481	6.913	-0.802
SI08	803829.231	8188107.548	1320.922	4.910	-4.744	6.827	-0.179
SI07	803823.016	8188143.162	1324.486	4.725	-4.661	6.637	-0.185
SI06	803776.604	8188211.336	1324.425	4.361	-4.901	6.561	-0.348
SI26	803998.731	8187519.157	1269.806	1.950	-6.077	6.382	-0.478
SI05	803801.873	8188229.064	1324.945	1.171	-6.109	6.221	-0.957
SI04	803858.654	8188244.511	1329.640	4.115	-4.556	6.139	-0.321
SI03	803885.048	8188276.160	1326.360	3.907	-4.360	5.854	-0.225
SI35	804211.851	8188105.744	1287.422	4.349	-3.900	5.842	-2.889
SI02	803920.761	8188298.829	1325.305	3.889	-3.879	5.493	-0.292
SI15	804228.103	8188187.758	1290.759	5.171	-1.749	5.459	-2.117
SI01	803930.343	8188320.491	1328.046	3.822	-3.648	5.283	-0.340
SI37	803913.774	8188322.583	1326.360	3.601	-3.640	5.120	-0.252
SI25	803816.283	8187650.237	1279.946	3.101	-2.157	3.778	-1.014
SI29	803952.896	8188375.347	1339.532	0.426	-1.227	1.299	-0.903
SI28	803968.710	8188416.540	1359.389	-0.034	-0.006	0.034	-0.019
SI36	804123.404	8188273.677	1334.499	0.028	-0.008	0.029	0.020
SI32	804118.648	8188268.304	1334.444	0.009	-0.020	0.022	0.026
SI31	803696.574	8187544.393	1294.897	0.015	0.010	0.018	0.020
SI30	803701.753	8187635.566	1299.324	0.011	0.014	0.017	0.018
SI33	804074.483	8188393.882	1348.196	0.005	0.000	0.005	0.021
SI27	803997.960	8188455.847	1362.002	0.001	-0.004	0.004	0.013

Considerando que las series temporales para el período 2021-2024 presentan un comportamiento lineal, se ha estimado el desplazamiento total para el año 2024, comprendido entre el 1 de enero y el 19 de septiembre de 2024 (fecha de la última lectura). Los resultados se presentan en el mapa de la figura 7, donde se observa que el comportamiento dinámico concuerda con el mapa del campo de velocidades. El mayor desplazamiento se ubica en la base del deslizamiento, alcanzando un máximo de 8,032 m en dirección sureste, mientras que la parte central del cuerpo se ha desplazado entre 5,4 y 3,7 m en la misma dirección. Los desplazamientos en las zonas fuera del cuerpo deslizante son menores a 2 cm, valores cercanos a la precisión del equipo de medición.

Los mayores hundimientos en 2024 se produjeron en los extremos norte y sur de la base del deslizamiento, alcanzando valores entre 0,5 y 2 m. En cambio, en el cuerpo del deslizamiento solo se han registrado hundimientos inferiores a 60 cm.



**Figura 7.** Mapa de vectores de desplazamiento en el deslizamiento de Siguas correspondiente al periodo del 01 de enero de 2024 al 11 de setiembre de 2024, las flechas rojas corresponden al desplazamiento vertical y las flechas azules son los desplazamientos horizontales. La escala de los vectores ha sido exagerada en diferente proporción con fines de visualización, las unidades de desplazamiento están en metros.

## 4. FOTOINTERPRETACION

### 4.1. Insumos fotogramétricos

Las ortofotos requeridas para la fotointerpretación se generaron a partir de fotografías aéreas ortogonales capturadas con un dron multirrotor, modelo Matrice 300 RTK. Estas imágenes fueron procesadas con el software Agisoft Metashape Professional 1.7.4, y los productos fotogramétricos obtenidos se georreferenciaron en el sistema de coordenadas UTM (zona 18S), utilizando el Datum WGS 1984.

### 4.2. Comparación multitemporal (corona)

La comparación mediante fotointerpretación del retroceso de la corona (retrogradación), se realizó con ortofotos de noviembre del 2022 a setiembre del 2024.

En general, se aprecia que la corona tuvo un retroceso permanente casi homogéneo (figura 8), sin embargo, se observan sectores con retrogresión resaltante (figura 8 A, B, C y D). Los mayores retrocesos se concentraron hacia el extremo norte del deslizamiento.

En el detalle A de la figura 8, se observa retroceso hacia terrenos de cultivo. En relación a la longitud, el avance en este sector se observa casi continuo de lado a lado. Actualmente presenta agrietamientos resaltantes de 60 m de longitud con aperturas máximas de 5 cm aproximadamente.

En el detalle B de la figura 8, se observa un retroceso similar al del detalle A, en dirección al canal inhabilitado, Panamericana Sur y planta de Leche Gloria, que no han sido afectados aún. En relación a la longitud, el avance en este sector se observa continuo para todo el periodo de tiempo.

En el detalle C de la figura 8, se observa un retroceso importante sobrepasando el canal inhabilitado, en dirección de la carretera Panamericana Sur. El avance en este sector ha sido continuo de lado a lado.

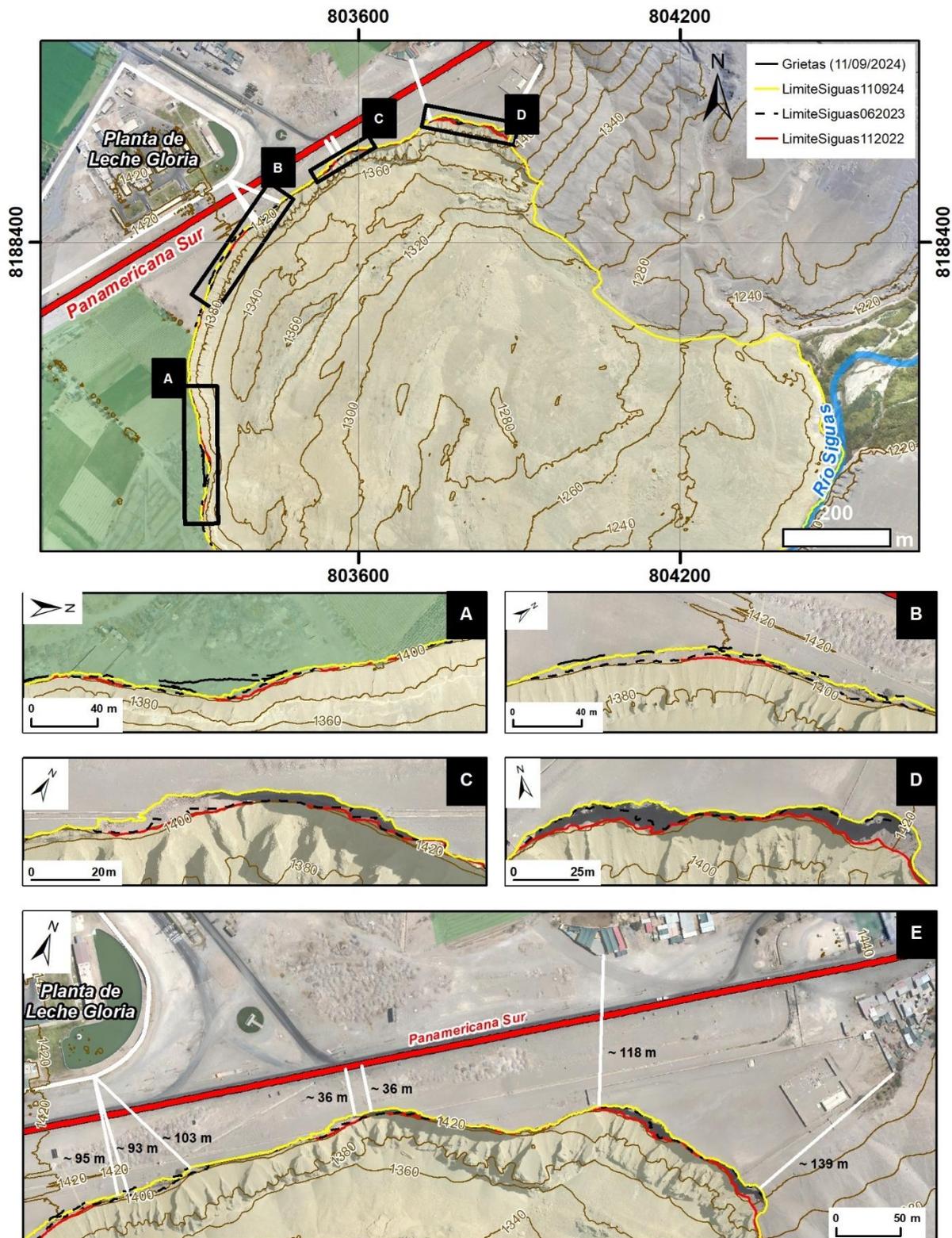
En el detalle D, se observa un retroceso discontinuo en dirección noreste, hacia los terrenos aledaños a la localidad de Alto Siguas. Los retrocesos se concentran en ambos lados del sector y son los más significativos de todo el periodo.

En relación a los agrietamientos, en el pasado, estos han terminado limitando bloques que cayeron hacia el deslizamiento. Actualmente los agrietamientos mayores ubicados tras la corona tienen aproximadamente 60 m de longitud, con aperturas máximas de 5 a 10 cm. Las zonas con los mayores agrietamientos actuales se observan en los detalles A y B.

### 4.3. Medición de distancias mínimas a infraestructura crítica

Se midieron las distancias mínimas hacia infraestructuras críticas (figura 8 E), en función a su cercanía hacia la corona, permanentemente variable por la constante retrogradación. De las mediciones se tiene que la corona del deslizamiento de Alto Siguas, a setiembre del 2024, se encuentra a aproximadamente 36 m de la carretera Panamericana Sur, 118 m de infraestructura del centro poblado de Alto Siguas y 93 m de la planta de Leche Gloria. Cabe mencionar que la

medición hacia el centro poblado de Alto Siguas se realizó considerando un punto tomado en informes anteriores con mapas a otra escala y otras condiciones del lugar, sin embargo, la distancia puede variar acorde a la expansión de la infraestructura urbana.



**Figura 8.** Comparación multitemporal del avance retrogresivo de la corona del deslizamiento de Siguas, entre noviembre del 2022 y setiembre del 2024. Los detalles A, B, C y D muestran las zonas con retrogradación más resaltantes. El detalle E muestra las distancias aproximadas hacia la infraestructura crítica cercana.

## CONCLUSIONES

1. Se observa que el desplazamiento más significativo ocurre en la base del deslizamiento, con velocidades de hasta 10.7 m/año. Las velocidades más bajas se registran en los límites del cuerpo deslizante (1.3 m/año y 3.8 m/año). Los vectores se orientan predominantemente hacia el sureste, en dirección al río Sigwas.
2. El hundimiento es más pronunciado en la parte baja del deslizamiento, se encuentra particularmente en los sectores norte y sur, con valores de hasta 2.9 m/año. En el cuerpo del deslizamiento, el hundimiento promedio es menor a 60 cm.
3. La curva de desplazamiento muestra una tendencia a desaceleración, lo que indica que el deslizamiento está entrando en una fase de muy baja velocidad, aunque siguen ocurriendo movimientos significativos en la base y en sectores específicos del cuerpo.
4. Los movimientos más significativos se registran en la base del deslizamiento, lo que sugiere que esta área es la más crítica y activa. La parte central y los límites del cuerpo deslizante muestran menor actividad.
5. Los resultados del monitoreo indican un comportamiento predecible de la masa del deslizamiento, con movimientos orientados hacia el sureste y hundimientos regulares.
6. Los datos de fotointerpretación obtenidos de la comparación de ortomosaicos multitemporales de alta resolución, muestran que, a setiembre del 2024, la corona del deslizamiento de Sigwas se encuentra a aproximadamente 36 m de la carretera Panamericana Sur, 118 m de infraestructura del centro poblado de Alto Sigwas y 93 m de la planta de Leche Gloria. La distancia variará en función a la expansión urbana y por los procesos de deslizamiento activos presentes.
7. Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas analizadas con datos de monitoreo del presente informe y en anteriores, se reitera la consideración del deslizamiento de Alto Sigwas, como zona crítica de peligro Muy Alto a la ocurrencia de movimientos en masa y otros peligros geológicos, que pueden ser desencadenados por sismos, precipitaciones extraordinarias o detonantes antrópicos (riego indiscriminado, cortes en el talud). Consecuentemente, persiste la condición de avance progresivo de la masa deslizada hacia el río Sigwas; además, también persiste el carácter retrogresivo de la corona hacia terrenos de cultivo, hacia la carretera Panamericana Sur u otras direcciones en su ámbito.

## RECOMENDACIONES

Dado que los datos de monitoreo muestran actividad continua a lo largo de diferentes periodos de monitoreo y que no es predecible un sismo de gran magnitud y/u otro factor desencadenante que acelere el deslizamiento, se reiteran las recomendaciones del informe de monitoreo anterior elaborado por el Ingemmet en el 2023 según corresponda:

1. Debido a que un segmento de la escarpa principal ya sobrepasó al canal madre de irrigación y actualmente se encuentra a 36 m. de la carretera Panamericana Sur, se reitera la recomendación sobre el cierre definitivo del tramo amenazado y, por consiguiente, la utilización de la vía alterna. Esta medida, evitaría las vibraciones generadas por el alto tránsito de vehículos de carga pesada, las cuales, al encontrarse cada vez más cerca de la corona, podrían acelerar los procesos de retroceso y aumentar la inestabilidad del terreno.
2. Restringir el acceso de personas a zonas inestables delimitando una franja de seguridad con señalización clara que rodee todo el deslizamiento.
3. Considerar la reubicación de la población que habita en cercanías de la corona del deslizamiento, ya que la zona representa peligro para la seguridad de los pobladores.
4. Continuar con las prácticas de riego tecnificado. Debe evitarse dejar discurrir el agua por más horas de las que se necesite para el tipo de cultivo sembrado. El correcto uso del riego debe ser planificado por especialistas en el tema y supervisado por las entidades competentes. Así mismo, deben restringirse cultivos tras la corona del deslizamiento para evitar posibles acumulaciones de agua generadas por fugas o excesos de riego.
5. Informar sobre nuevas surgencias de agua o humedecimientos en el escarpe principal del deslizamiento, áreas circundantes o laderas cercanas, así como sobre nuevos agrietamientos que puedan aparecer tras la corona del deslizamiento de Alto Siguas.
6. Estar alerta ante posibles embalses en el río Siguas desencadenados por la aceleración del avance del deslizamiento producto de sismos de gran magnitud o factores antrópicos.

En función a los últimos datos de monitoreo:

7. Es esencial continuar con el monitoreo regular del deslizamiento, especialmente en la base y áreas más activas, para detectar posibles reactivaciones o aceleraciones puntuales.
8. Dado que los mayores movimientos se registran cerca de la base, se sugiere revisar el efecto de estrangulamiento del río Siguas a fin de prevenir daños a largo plazo y posibles represamientos del río Siguas, de ocurrir eventos de aceleración de la masa.



Ing. Hugo Dulio Gómez Velásquez



.....  
Ing. SEGUNDO NÚÑEZ JUÁREZ  
Director (e)  
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico  
INGEMMET

## BIBLIOGRAFÍA

Araujo, G. (2017), Área de Influencia del Deslizamiento de Sigvas y Geodinámica del Valle, distrito Majes y San Juan de Sigvas, provincia Caylloma y Arequipa, Región Arequipa, Informe Técnico N° A6772, Ingemmet, 16p.

Araujo, G., Valderrama P., Taibe, E., Huarez, C., Díaz, J., Miranda, R. (2016), Dinámica del deslizamiento de Sigvas, distrito Majes y San Juan de Sigvas, provincias Caylloma y Arequipa, Informe Técnico N° A6715, Ingemmet, 44p.

Guizado J. (1968).- Geología del Cuadrángulo de Aplao (Hoja 33-r). Servicio de Geología y Minería. Boletín. Serie A: Carta Geológica Nacional, n. 20, 50 p.

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2024). Reporte de monitoreo deslizamiento de Alto Sigvas, periodo 2022 - 2023. Distritos Majes y San Juan de Sigvas, provincias Caylloma y Arequipa, departamento Arequipa. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7494, 13 p.

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2023). Monitoreo del deslizamiento de Alto Sigvas periodo 2022, distritos de Majes y San Juan de Sigvas, provincias de Caylloma y Arequipa, departamento de Arequipa. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7425, 26 p.

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2022). Monitoreo del deslizamiento de Alto Sigvas periodo 2021, distritos de Majes y San Juan de Sigvas, provincias de Caylloma y Arequipa, departamento de Arequipa. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7224, 37 p.

Lacroix, P., Dehecq, A., & Taibe, E. (2020). Irrigation-triggered landslides in a Peruvian desert caused by modern intensive farming. *Nature Geoscience*, 13(1), 56-60.

Lacroix, P.; Araujo, G.; Hollingsworth, J., & Taibe, E. (2019). Self-Entrainment Motion of a Slow-Moving Landslide Inferred From Landsat-8 Time Series. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 124(5), 1201–1216. Doi: <https://doi.org/10.1029/2018JF004920>

Luque, G.; Pari, W. & Dueñas, K. (2021) - Peligro geológico en la región Arequipa. Ingemmet, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 81, 300 p., 9 mapas

Martínez, I. (2016). Los deslizamientos en el Valle de Sigvas y el exceso de riego en la Pampa de Majes (Arequipa). Agua y más. Revista de la Autoridad Nacional del Agua.

Vargas, L. (1970).- Geología del cuadrángulo de Arequipa. Servicio de Geología y Minería. No. 24. 64 pp.