

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

**Informe Técnico N° A7494**

# REPORTE DE MONITOREO DEL DESLIZAMIENTO DE ALTO SIGUAS, PERIODO 2022 - 2023

Departamento: Arequipa

Provincias: Caylloma - Arequipa

Distritos: Majes - San Juan de Siguas



ABRIL  
2024

***REPORTE DE MONITOREO DEL DESLIZAMIENTO DE ALTO SIGUAS,  
PERIODO 2022 - 2023***

*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  
Dulio Gómez  
Joseph Huanca  
Angella Zegarra*

**ABRIL 2024**

**Citación:**

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

## Contenido

|  |    |
|--|----|
| <b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....   | 4  |
| <b>2. ASPECTOS GENERALES</b> .....   | 4  |
| <b>2.1 Ubicación y accesibilidad</b> .....                                     | 4  |
| <b>2.2 Aspectos geológicos, geomorfológicos y de peligros geológicos</b> ..... | 5  |
| <b>2.3 Caracterización del deslizamiento de Alto Siguas</b> .....              | 6  |
| <b>3. MONITOREO GEODÉSICO</b> .....  | 7  |
| <b>3.1 Cinemática</b> .....  | 7  |
| <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....                                    | 11 |
| <b>Conclusiones</b> .....  | 11 |
| <b>Recomendaciones</b> .....   | 11 |
| <b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....  | 12 |
| <b>ANEXO 1</b> .....   | 13 |

## 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 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 estudio 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 - 2023.

## 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 |

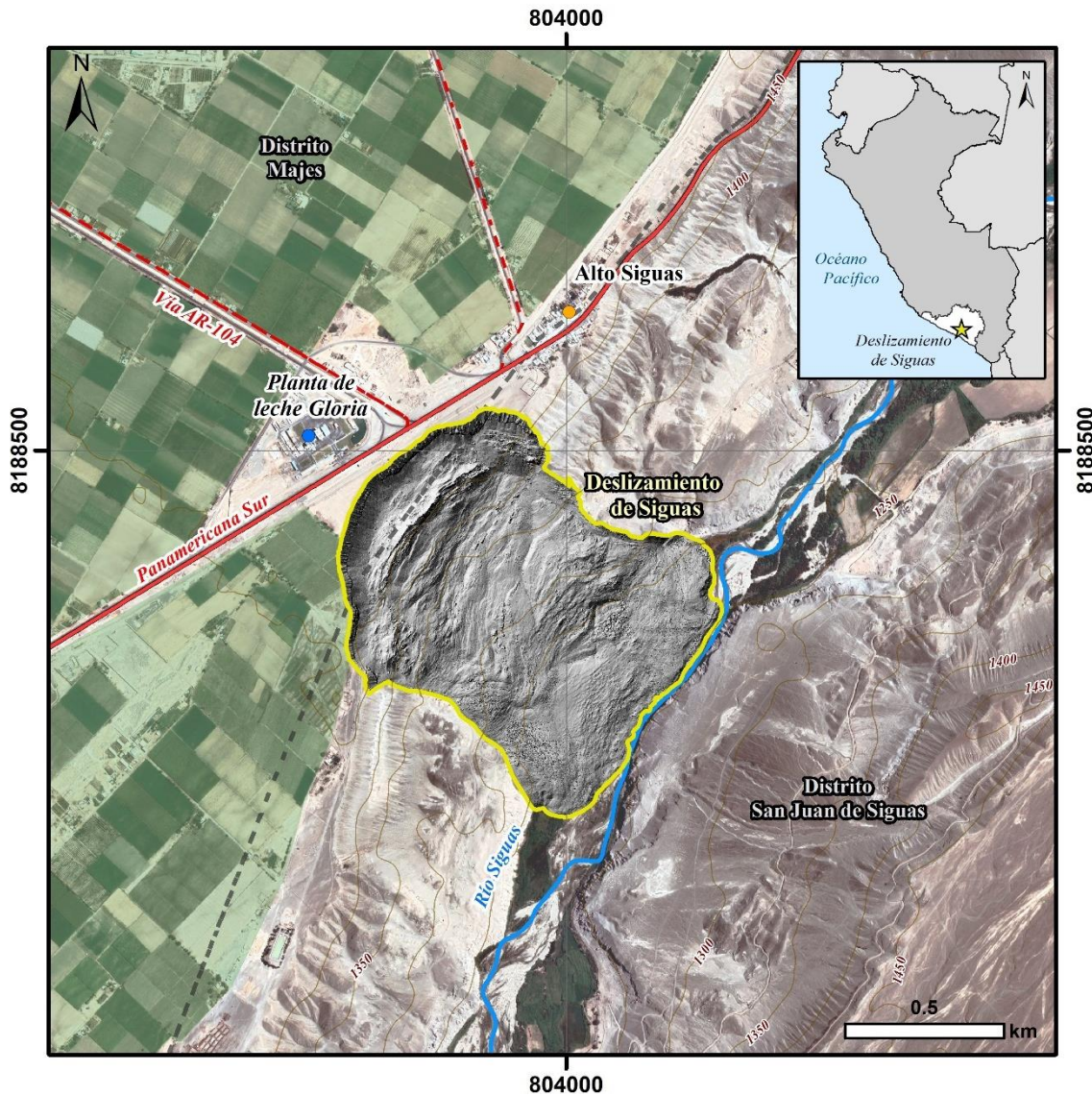


Figura 1. Mapa de ubicación, deslizamiento Alto Siguas.

## 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 de cantos chicos y dos bancos de tufo riolítico blanco compacto de grano fino cerca al tope, que adquieren una coloración rosada por intemperismo (Guizado, 1968). También aflora la formación Millo, compuesta por conglomerados con matriz areno tufácea 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.

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 y de pendiente moderada ( $5^{\circ}$ - $15^{\circ}$  y  $15^{\circ}$ - $25^{\circ}$ ) y de 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 Siguas. En las laderas del valle de Siguas se han identificado otros deslizamientos antiguos, reactivados y activos, que varían en tamaño desde pequeños hasta extremadamente grandes, como es el caso del deslizamiento de Santa Isabel de Siguas, que tiene una corona que se extiende a lo largo de 10 kilómetros, al sur de Sondor, en la margen izquierda del valle. Además, están otros deslizamientos notables como Tambillo, La Chimba, Candia, Tinajeras San Juan de Siguas I y II. También se observan otros movimientos en masa, como, avalanchas, derrumbes, movimientos complejos (Pachaqui), flujos de detritos o huaycos 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.

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

Según Araujo (2016) y otros el deslizamiento de Alto Siguas es movimiento en masa de tipo deslizamiento rotacional retrogresivo, dinámicamente activo y de 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 Siguas 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.



**Figura 2.** Interpretación del deslizamiento de Alto Sigüas, 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.

### 3. MONITOREO GEODÉSICO

El deslizamiento de Alto Sigüas cuenta con una red de puntos de control distribuidos en la masa deslizada y en los flancos (figura 3). Las mediciones de estos puntos se realizaron con receptores GNSS diferenciales de doble frecuencia (Trimble R-12), aplicando las técnicas de posicionamiento RTK (cinemático en tiempo real, el cual no requiere postproceso) y PPK (cinemático postproceso, mediante el software Trimble Business Center 5.0). Para este reporte se consideran las mediciones realizadas durante cinco campañas de monitoreo, entre el 01 de marzo del 2022 y el 14 de junio del 2023 (~15 meses).

El cálculo de desplazamientos realizado a partir de la diferencia de las coordenadas medidas durante cada campaña, muestra movimientos horizontales y verticales en el cuerpo del deslizamiento por periodo y en total (tabla 1).

Cabe mencionar que por efectos de la deformación propia la actividad del deslizamiento y otros, no fueron reiterados o no se pudieron reiterar de forma continua los puntos SI16, SI19, SI25, SI27, SI30, SI31 y SI35.

#### 3.1 Cinemática

Para el periodo del 01/03/2022 al 29/04/2022 (~ 2 meses) (tabla 1; figura 3), se calcularon desplazamientos horizontales máximos de hasta ~ 1.9 m hacia el sur este, en la estación SI20. Las estaciones SI18, SI21 y SI34 mostraron desplazamientos horizontales con valores cercanos. El mayor hundimiento de 0.36 m se calculó para la estación SI15.

Para el segundo periodo del 29/04/2022 al 17/08/2022 (~ 4 meses) (tabla 1; figura 3), se calcularon desplazamientos horizontales máximos de hasta ~ 2.7 m hacia el sur este, también en la estación SI20. De forma similar al periodo anterior, las estaciones SI18, SI21 y SI34 mostraron desplazamientos horizontales con valores mayores. El mayor hundimiento de 0.55 m se calculó para la estación SI15.

Para el tercer periodo del 17/08/2022 al 15/11/2022 (~ 3 meses) (tabla 1; figura 3), se calcularon desplazamientos horizontales máximos de hasta ~ 1.9 m hacia el sur este, en la estación SI20. Al igual que en los periodos anteriores, las estaciones SI18, SI21 y SI34 mostraron desplazamientos horizontales con valores mayores cercanos. El mayor hundimiento de 0.4 m se calculó para la estación SI15.

Para el cuarto periodo del 15/11/2022 al 1/04/2023 (~ 3 meses) (tabla 1; figura 3), se calcularon desplazamientos horizontales máximos de hasta ~ 5.2 m hacia el sur este, en la estación SI34. Las estaciones SI18, SI20 y SI21 mostraron desplazamientos horizontales con valores cercanos. El mayor hundimiento de 1.38 m se calculó para la estación SI35. Este periodo registro los mayores avances en comparación a otros en general.

Para el último periodo del 1/04/2023 al 14/06/2023 (~ 2 meses) (tabla 1; figura 3), se calcularon desplazamientos horizontales máximos de hasta ~ 2.8 m hacia el sur este en la estación SI34. De forma similar al periodo anterior, las estaciones SI18, SI20 y SI21 mostraron desplazamientos horizontales con valores mayores cercanos. El mayor hundimiento de 0.76 m se calculó para la estación SI35.

En relación al periodo total (~ 15 meses), se observan los mayores valores en las estaciones más activas descritas por periodo. Entre periodos, los valores máximos de desplazamiento horizontal fluctuaron entre ~ 1.9 y ~ 5 m, este último, correspondiente a la estación SI34 durante el cuarto periodo. El punto SI20 sirvió para calcular el mayor desplazamiento horizontal acumulado que fue de ~ 14 m hacia el sur este. El mayor desplazamiento vertical acumulado fue de ~ -2.7, medido en la estación SI15. Se observa un movimiento general horizontal casi homogéneo en todas las estaciones, destacando los puntos de la zona de intermedia hacia el pie SI18, SI20, SI21 y SI35. Este comportamiento también fue descrito en Ingemmet 2023. Cabe mencionar que los datos muestran una tendencia de aceleración que debe ser corroborada con medidas posteriores.

De los desplazamientos horizontales totales medidos para este periodo, se calculó una velocidad horizontal máxima de hasta ~ 0.9 m/mes y promedio general de 0.48 m/mes, equivalente a “lenta” según la clasificación de Cruden y Varnes (1996).

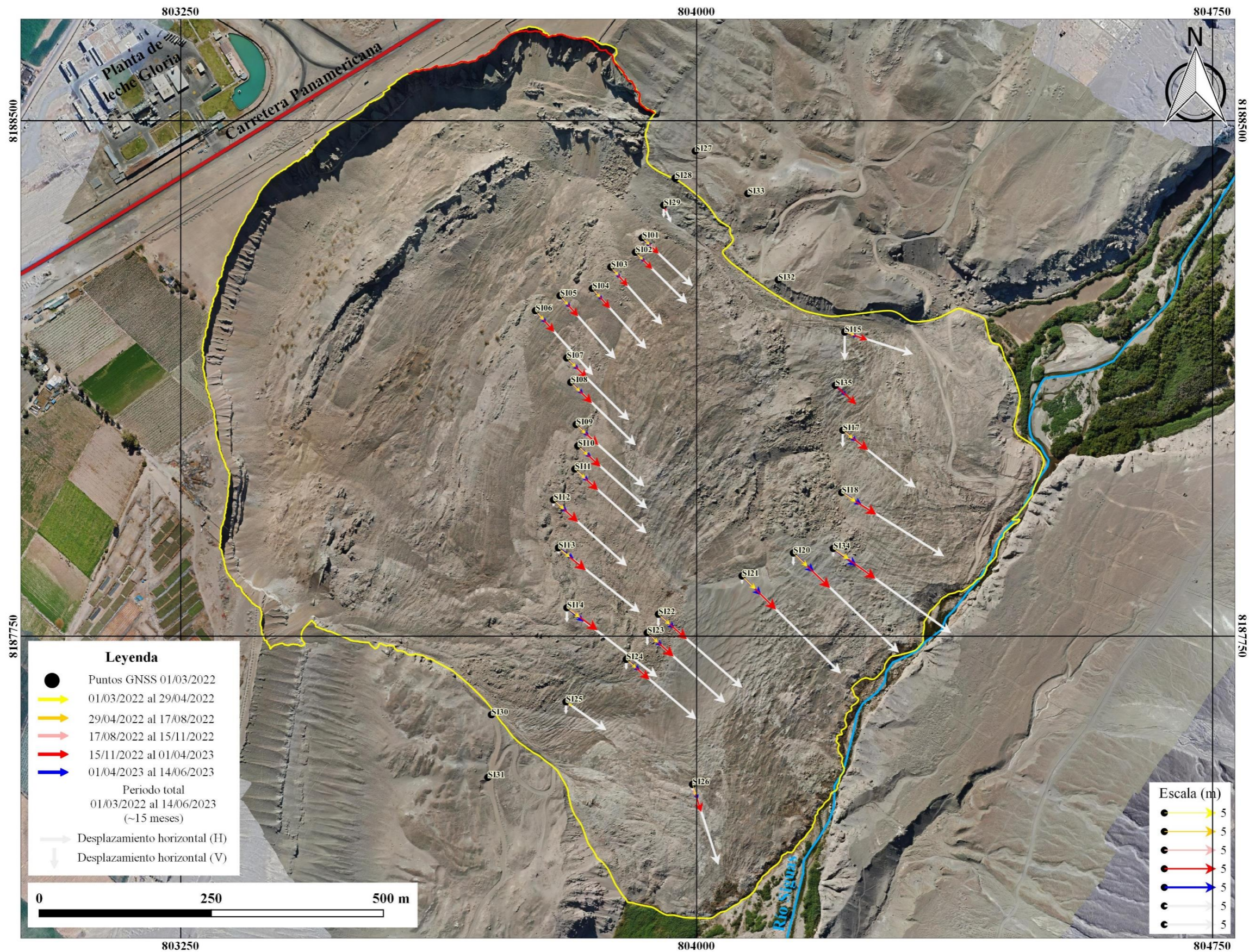
En lo referente a retrogradación, entre 15/11/2022 y 14/06/2023, no se identificó mayor retroceso en comparación al descrito en Ingemmet 2023. En general, se puede avance principalmente al norte, lado izquierdo de la corona (figura 3).



**Tabla 1. Desplazamientos medidos en el deslizamiento de Siguas, periodo 2022 – 2023**

| Puntos de control GNSS | Primer periodo<br>1/03/2022 al 29/04/2022<br>(~2 meses) |               |            |              | Segundo periodo<br>29/04/2022 al 17/08/2022<br>(~4 meses) |               |            |              | Tercer periodo<br>17/08/2022 al 15/11/2022<br>(~3 meses) |               |            |              | Cuarto periodo<br>15/11/2022 al 1/04/2023<br>(~3 meses) |               |            |              | Quinto periodo<br>1/04/2023 al 14/06/2023<br>(~2 meses) |               |            |              | Periodo total<br>1/03/2022 al 14/06/2023<br>(~15 meses) |               |            |              |
|------------------------|---|---------------|------------|--------------|---|---------------|------------|--------------|--|---------------|------------|--------------|---|---------------|------------|--------------|---|---------------|------------|--------------|---|---------------|------------|--------------|
|                        | $\Delta E(x)$   | $\Delta N(y)$ | $\Delta Z$ | $\Delta E-N$ | $\Delta E(x)$   | $\Delta N(y)$ | $\Delta Z$ | $\Delta E-N$ | $\Delta E(x)$  | $\Delta N(y)$ | $\Delta Z$ | $\Delta E-N$ | $\Delta E(x)$   | $\Delta N(y)$ | $\Delta Z$ | $\Delta E-N$ | $\Delta E(x)$   | $\Delta N(y)$ | $\Delta Z$ | $\Delta E-N$ | $\Delta E(x)$   | $\Delta N(y)$ | $\Delta Z$ | $\Delta E-N$ |
|                        | xyl   |               |            |              | xyl   |               |            |              | xyl  |               |            |              | xyl   |               |            |              | xyl   |               |            |              |   |               |            |              |
| SI01                   | 0.68  | -0.64         | -0.07      | 0.93         | 1.03  | -0.95         | -0.11      | 1.40         | 0.70   | -0.67         | -0.08      | 0.97         | 1.59  | -1.53         | -0.12      | 2.21         | 0.89  | -0.89         | -0.08      | 1.26         | 4.90  | -4.68         | -0.46      | 6.78         |
| SI02                   | 0.69  | -0.68         | -0.07      | 0.97         | 1.05  | -1.01         | -0.10      | 1.46         | 0.71   | -0.71         | -0.06      | 1.00         | 1.61  | -1.61         | -0.11      | 2.28         | 0.94  | -0.94         | -0.07      | 1.33         | 5.00  | -4.95         | -0.41      | 7.03         |
| SI03                   | 0.67  | -0.75         | -0.05      | 1.00         | 1.04  | -1.14         | -0.05      | 1.55         | 0.72   | -0.79         | -0.04      | 1.07         | 1.62  | -1.83         | -0.06      | 2.45         | 0.93  | -1.06         | -0.05      | 1.41         | 4.98  | -5.58         | -0.25      | 7.48         |
| SI04                   | 0.73  | -0.82         | -0.05      | 1.10         | 1.09  | -1.20         | -0.09      | 1.62         | 0.74   | -0.83         | -0.06      | 1.11         | 1.70  | -1.90         | -0.09      | 2.55         | 0.99  | -1.12         | -0.07      | 1.49         | 5.25  | -5.86         | -0.37      | 7.87         |
| SI05                   | 0.75  | -0.85         | -0.07      | 1.13         | 1.10  | -1.26         | -0.11      | 1.67         | 0.77   | -0.87         | -0.07      | 1.16         | 1.75  | -1.99         | -0.13      | 2.65         | 1.01  | -1.16         | -0.09      | 1.54         | 5.38  | -6.12         | -0.47      | 8.15         |
| SI06                   | 0.77  | -0.82         | -0.09      | 1.12         | 1.14  | -1.29         | -0.10      | 1.72         | 0.80   | -0.91         | -0.05      | 1.21         | 1.82  | -2.05         | -0.13      | 2.74         | 1.05  | -1.19         | -0.09      | 1.59         | 5.58  | -6.25         | -0.47      | 8.38         |
| SI07                   | 0.83  | -0.84         | -0.04      | 1.18         | 1.23  | -1.24         | -0.06      | 1.74         | 0.87   | -0.85         | -0.04      | 1.21         | 1.97  | -1.97         | -0.05      | 2.79         | 1.14  | -1.14         | -0.04      | 1.62         | 6.04  | -6.04         | -0.23      | 8.54         |
| SI08                   | 0.88  | -0.84         | -0.03      | 1.22         | 1.28  | -1.25         | -0.05      | 1.79         | 0.90   | -0.87         | -0.03      | 1.25         | 2.04  | -2.00         | -0.05      | 2.86         | 1.21  | -1.14         | -0.03      | 1.66         | 6.31  | -6.10         | -0.20      | 8.78         |
| SI09                   | 0.87  | -0.84         | -0.05      | 1.21         | 1.43  | -1.21         | -0.02      | 1.87         | 0.93   | -0.85         | -0.05      | 1.26         | 2.15  | -1.97         | -0.04      | 2.92         | 1.25  | -1.13         | -0.05      | 1.69         | 6.62  | -6.01         | -0.20      | 8.94         |
| SI10                   | 0.94  | -0.85         | -0.04      | 1.27         | 1.38  | -1.23         | -0.03      | 1.85         | 0.95   | -0.87         | -0.04      | 1.29         | 2.19  | -2.01         | -0.03      | 2.98         | 1.28  | -1.13         | -0.05      | 1.70         | 6.73  | -6.10         | -0.19      | 9.09         |
| SI11                   | 0.97  | -0.80         | -0.05      | 1.26         | 1.40  | -1.29         | -0.07      | 1.90         | 1.02   | -0.94         | -0.07      | 1.39         | 2.24  | -2.04         | -0.09      | 3.02         | 1.33  | -1.16         | -0.09      | 1.76         | 6.95  | -6.23         | -0.36      | 9.33         |
| SI12                   | 0.96  | -0.90         | -0.08      | 1.31         | 1.44  | -1.33         | -0.13      | 1.96         | 1.03   | -0.87         | -0.10      | 1.35         | 2.36  | -2.14         | -0.17      | 3.19         | 1.33  | -1.18         | -0.11      | 1.78         | 7.12  | -6.42         | -0.59      | 9.59         |
| SI13                   | 1.09  | -0.89         | -0.09      | 1.40         | 1.61  | -1.27         | -0.11      | 2.05         | 1.11   | -0.91         | -0.09      | 1.44         | 2.63  | -2.16         | -0.18      | 3.41         | 1.45  | -1.04         | -0.11      | 1.79         | 7.89  | -6.27         | -0.57      | 10.08        |
| SI14                   | 1.18  | -0.92         | -0.19      | 1.50         | 1.78  | -1.36         | -0.28      | 2.24         | 1.25   | -0.95         | -0.19      | 1.57         | 2.96  | -2.18         | -0.46      | 3.67         | 1.61  | -1.33         | -0.30      | 2.09         | 8.78  | -6.74         | -1.42      | 11.06        |
| SI15                   | 0.92  | -0.26         | -0.36      | 0.96         | 1.35  | -0.40         | -0.55      | 1.40         | 0.96   | -0.29         | -0.40      | 1.00         | 2.17  | -0.74         | -0.91      | 2.30         | 1.23  | -0.44         | -0.51      | 1.31         | 6.63  | -2.13         | -2.73      | 6.96         |
| SI16                   |   |               |            |              |   |               |            |              |  |               |            |              |   |               |            |              |   |               |            |              |   |               |            |              |
| SI17                   | 0.94  | -0.73         | -0.23      | 1.19         | 1.36  | -1.09         | -0.35      | 1.74         | 0.96   | -0.79         | -0.23      | 1.25         | 2.44  | -1.91         | -0.54      | 3.10         | 1.35  | -1.06         | -0.30      | 1.72         | 7.06  | -5.57         | -1.66      | 8.99         |
| SI18                   | 1.33  | -0.87         | 0.00       | 1.59         | 1.96  | -1.19         | -0.01      | 2.29         | 1.36   | -0.82         | -0.01      | 1.59         | 3.35  | -2.13         | 0.02       | 3.97         | 1.93  | -1.17         | -0.02      | 2.26         | 9.93  | -6.18         | -0.02      | 11.70        |
| SI19                   |   |               |            |              |   |               |            |              |  |               |            |              |   |               |            |              |   |               |            |              |   |               |            |              |
| SI20                   | 1.35  | -1.29         | -0.16      | 1.86         | 1.99  | -1.88         | -0.24      | 2.73         | 1.36   | -1.28         | -0.15      | 1.87         | 3.55  | -3.38         | -0.41      | 4.90         | 1.99  | -1.85         | -0.25      | 2.72         | 10.24   | -9.68         | -1.21      | 14.09        |
| SI21                   | 1.29  | -1.24         | -0.11      | 1.79         | 1.89  | -1.85         | -0.14      | 2.64         | 1.26   | -1.28         | -0.11      | 1.79         | 3.29  | -3.25         | -0.27      | 4.62         | 1.86  | -1.85         | -0.15      | 2.62         | 9.59  | -9.47         | -0.78      | 13.47        |
| SI22                   | 1.11  | -0.96         | -0.17      | 1.46         | 1.61  | -1.40         | -0.26      | 2.13         | 1.11   | -0.99         | -0.17      | 1.49         | 2.75  | -2.42         | -0.38      | 3.66         | 1.56  | -1.37         | -0.22      | 2.07         | 8.14  | -7.13         | -1.20      | 10.82        |
| SI23                   | 1.03  | -0.92         | -0.17      | 1.37         | 1.50  | -1.35         | -0.28      | 2.02         | 1.05   | -0.94         | -0.16      | 1.41         | 2.54  | -2.29         | -0.39      | 3.42         | 1.43  | -1.29         | -0.22      | 1.93         | 7.55  | -6.80         | -1.22      | 10.16        |
| SI24                   | 0.94  | -0.80         | -0.14      | 1.24         | 1.37  | -1.17         | -0.20      | 1.80         | 0.95   | -0.82         | -0.14      | 1.25         | 2.23  | -1.94         | -0.33      | 2.96         | 1.31  | -1.10         | -0.19      | 1.71         | 6.81  | -5.83         | -1.00      | 8.96         |
| SI25                   | 0.62  | -0.42         | -0.23      | 0.75         | 0.84  | -0.65         | -0.30      | 1.06         | 0.55   | -0.40         | -0.20      | 0.68         |   |               |            |              |   |               |            |              | 3.92  | -2.76         | -1.20      | 4.80         |
| SI26                   | 0.40  | -1.05         | -0.08      | 1.12         | 0.54  | -1.59         | -0.12      | 1.68         | 0.23   | -1.06         | -0.08      | 1.08         | 0.84  | -2.66         | -0.19      | 2.78         | 0.51  | -1.47         | -0.10      | 1.55         | 2.52  | -7.81         | -0.57      | 8.21         |
| SI27                   | 0.00  | 0.00          | -0.01      | 0.00         | 0.01  | 0.00          | 0.00       | 0.01         | -0.01  | 0.00          | -0.02      | 0.01         |   |               |            |              |   |               |            |              | -0.03   | -0.01         | 0.00       | 0.03         |
| SI28                   | 0.01  | 0.04          | -0.02      | 0.04         | 0.00  | -0.01         | -0.01      | 0.01         | -0.01  | 0.00          | -0.02      | 0.01         | -0.01   | -0.04         | 0.01       | 0.04         | -0.05   | 0.01          | -0.01      | 0.05         | -0.05   | 0.00          | -0.05      | 0.05         |
| SI29                   | 0.07  | -0.22         | -0.16      | 0.23         | 0.13  | -0.31         | -0.24      | 0.34         | 0.08   | -0.23         | -0.18      | 0.25         | 0.24  | -0.56         | -0.38      | 0.61         | 0.19  | -0.34         | -0.26      | 0.39         | 0.71  | -1.67         | -1.21      | 1.81         |
| SI30                   | 0.01  | -0.02         | -0.01      | 0.02         | 0.01  | -0.01         | 0.00       | 0.01         | -0.01  | 0.01          | 0.00       | 0.01         |   |               |            |              |   |               |            |              | -0.01   | 0.00          | -0.01      | 0.01         |
| SI31                   | 0.00  | 0.01          | -0.01      | 0.01         | 0.01  | 0.00          | 0.02       | 0.01         | 0.00   | -0.01         | -0.02      | 0.01         |   |               |            |              |   |               |            |              | -0.01   | 0.01          | 0.01       | 0.02         |
| SI32                   | 0.00  | 0.00          | 0.00       | 0.01         | 0.01  | 0.00          | 0.01       | 0.01         | 0.00   | -0.02         | 0.01       | 0.02         | -0.02   | -0.01         | 0.01       | 0.02         | -0.01   | 0.01          | 0.00       | 0.02         | -0.03   | -0.02         | 0.02       | 0.03         |
| SI33                   | 0.02  | -0.01         | 0.00       | 0.02         | 0.00  | 0.00          | 0.00       | 0.00         | 0.00   | 0.00          | -0.01      | 0.00         | -0.01   | -0.02         | 0.02       | 0.02         | -0.02   | 0.02          | 0.01       | 0.03         | 0.00  | -0.01         | 0.01       | 0.01         |
| SI34                   | 1.46  | -1.01         | -0.05      | 1.78         | 2.14  | -1.53         | -0.09      | 2.63         | 1.48   | -1.04         | -0.06      | 1.81         | 4.07  | -2.93         | -0.37      | 5.02         | 2.26  | -1.68         | -0.21      | 2.82         | 11.42   | -8.19         | -0.78      | 14.05        |
| SI35                   |   |               |            |              |   |               |            |              |  |               |            |              | 2.02  | -1.83         | -1.38      | 2.72         | 1.08  | -0.99         | -0.76      | 1.46         |   |               |            |              |
| dmax                   | 1.46  | 0.04          | 0.00       | 1.86         | 2.14  | 0.00          | 0.02       | 2.73         | 1.48   | 0.01          | 0.01       | 1.87         | 4.07  | -0.01         | 0.02       | 5.02         | 2.26  | 0.02          | 0.01       | 2.82         | 11.42   | 0.01          | 0.02       | 14.09        |
| dmin                   | 0.00  | -1.29         | -0.36      | 0.00         | 0.00  | -1.88         | -0.55      | 0.00         | -0.01  | -1.28         | -0.40      | 0.00         | -0.02   | -3.38         | -1.38      | 0.02         | -0.05   | -1.85         | -0.76      | 0.02         | -0.05   | -9.68         | -2.73      | 0.01         |

**Nota:**  $\Delta E(x)$ =desplazamiento en el eje x, hacia el este o longitud;  $\Delta N(y)$ =desplazamiento en el eje y, hacia el norte o latitud;  $\Delta Z$ =desplazamiento en el eje z o altura;  $\Delta E-N|xy|$ =desplazamiento horizontal "xy", en plano, valor absoluto.



**Figura 3.** Mapa de vectores de desplazamiento del deslizamiento de Alto Sigwas. El mapa muestra las magnitudes y direcciones de los desplazamientos de la red de puntos de control temporal, correspondientes a los periodos estudiados (tabla 1). Se observa que la dirección de los movimientos predominante fue hacia el sureste (a favor de la pendiente, en dirección al río). La línea amarilla corresponde al límite de junio del 2023, la línea roja corresponde a la zona con avance en relación noviembre del 2022. La escala de los vectores ha sido exagerada en diferente proporción con fines de visualización.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

- ✓ Los datos de monitoreo geodésico obtenidos durante cinco campañas de medición, entre el 2022 y 2023, muestran actividad (desplazamientos verticales, horizontales, deformación del terreno) continua en el deslizamiento de Alto Sigwas. Se observa un movimiento general horizontal casi homogéneo en toda la masa y movimiento mayor en la zona de intermedia hacia el pie correspondiente a los puntos SI18, SI20, SI21 y SI35. En base a los mayores desplazamientos se estima para la zona, una velocidad máxima de ~ 0.9 m/mes con dirección al sur este. Esta velocidad puede variar de presentarse cambio de condiciones y detonantes futuros. Entre 15/11/2022 y 14/06/2023, la corona tuvo un avance al norte, al lado izquierdo del deslizamiento. **Ver figura 4, tabla 1, apartado 3.1 Cinemática.**
- ✓ 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 (ANEXO 1), según corresponda.

En función a los últimos datos de monitoreo:

- ✓ Se hace énfasis a las recomendaciones **“6. 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 Sigwas.”** y **“7. Permanecer alerta e informar al personal de INDICE o GRD local, sobre la aparición de nuevas grietas en viviendas, el suelo o ante la ocurrencia de hundimientos”**, del informe (A7425 Ingemmet, 2023), por los movimientos calculados el último periodo.
- ✓ Mejorar la monumentación y señalización de la red de monitoreo temporal actual implementada por el Ingemmet, a fin de tener lugares fijos que puedan ser utilizados para reiteraciones futuras, de uso común.
- ✓ No alterar ni retirar los puntos de monitoreo puesto que son una herramienta importante para la prevención, en la gestión de riesgo de desastres.

  
COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ  
CONSEJO DEPARTAMENTAL CUIBIO  
Ing. Luis Angel Alvaréz Baca  
INGENIERO GEÓLOGO  
CIP 222658

  
ING. JERSY MARIÑO SALAZAR  
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., Taípe, 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 (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., & Taípe, 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., & Taípe, 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.

## ANEXO 1

### *Recomendaciones “Monitoreo del deslizamiento de Alto Siguas periodo 2022, distritos de Majes y San Juan de Siguas, provincias de Caylloma y Arequipa, departamento de Arequipa, Informe Técnico A7425, 2023”*

#### 4. RECOMENDACIONES

Considerando que la mayoría de condiciones de peligrosidad son las mismas a las del año 2021 y años anteriores, se actualizan las siguientes recomendaciones:

1. Debido a que un segmento de la escarpa principal ya sobrepasó al canal madre de irrigación y actualmente se encuentra a 37 metros 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 retrogresivos.
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. Continuar con el monitoreo periódico del deslizamiento de Alto Siguas.

En función a datos del monitoreo obtenidos durante el 2022 y a estudios anteriores, se plantean las siguientes recomendaciones:

6. 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.
7. 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.



ING. LUIS ALBÍNEZ BACA



ING. JERSY MARIÑO SALAZAR  
Director (e)  
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico  
INGEMMET