

Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

**Opinión Técnica N° 011-2021**

# MONITOREO GEODÉSICO Y FOTOGRAMÉTRICO DEL DESLIZAMIENTO DE ALTO SIGUAS A OCTUBRE 2021

Departamento Arequipa  
Provincias Caylloma y Arequipa  
Distritos Majes y San Juan de Sigwas

Noviembre  
2021

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	3
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	4
<b>1.1. ANTECEDENTES</b> .....	4
<b>1.2. OBJETIVOS</b> .....	5
<b>1.3. UBICACIÓN</b> .....	5
<b>2. ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD DEL DESLIZAMIENTO DE ALTO SIGUAS</b> .....	7
<b>2.1. CINEMÁTICA DEL CUERPO DEL DESLIZAMIENTO</b> .....	7
<b>2.2. EVOLUCIÓN MULTITEMPORAL DE LA ESCARPA PRINCIPAL</b> .....	10
<b>2.2.1. CARACTERIZACIÓN DE ZONAS DE AVANCE RETROGRESIVO</b> .....	12
<b>3. CONCLUSIONES</b> .....	17
<b>4. RECOMENDACIONES</b> .....	17
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	18
<b>ANEXO 1: FOTOGRAFÍAS DE LA ZONA EVALUADA</b> .....	19

## RESUMEN

El presente informe tiene por finalidad dar a conocer el estado de la actividad del deslizamiento de Alto Sigwas a través de la información que provee el monitoreo geodésico y fotogramétrico para el periodo comprendido entre abril y octubre de 2021.

La combinación de ambos métodos de monitoreo nos permitió conocer la cinemática del cuerpo del deslizamiento, el cual, a la fecha de la última medición, presenta una velocidad de 0.68 m/mes; además de la evolución del avance retrogresivo de la escarpa principal, la cual se encuentra a 38 metros de la carretera Panamericana Sur.

Finalmente, este informe concluye que los sectores que colindan con el deslizamiento de Alto Sigwas constituyen Zonas Críticas de Muy Alto Peligro, por el constante avance progresivo (hacia el Valle de Sigwas) y retrogresivo (hacia la Irrigación de Majes) de este fenómeno geológico activo. Además, recomienda el empleo de la vía alterna a la carretera Panamericana Sur para evitar que la vibración generada por los vehículos de carga pesada contribuya al avance de la escarpa del deslizamiento.

## OPINION TÉCNICA

### MONITOREO GEODÉSICO Y FOTOGRAMÉTRICO DEL DESLIZAMIENTO DE ALTO SIGUAS A OCTUBRE 2021

Distritos de Majes y San Juan de Sigvas, Provincias de Caylloma y Arequipa  
Departamento Arequipa

#### 1. INTRODUCCIÓN

La irrigación de las pampas de Majes (Arequipa), una de las áreas agrícolas más importantes de la Macro Región Sur y cuyo inicio se remonta al año 1983 (Martínez, 2016), provocó una serie de deslizamientos en el Valle de Sigvas desde la década de los 90 hasta la actualidad. Los principales factores desencadenantes y condicionantes son la sobresaturación del suelo producto de la infiltración de agua proveniente de la irrigación Majes (Martínez, 2016, Lacroix et al., 2020), las condiciones litológicas (materiales conglomeráticos y areno-arcillosos pobremente competentes de la formación Moquegua) (Araujo, 2016) y las fuertes pendientes del Valle de Sigvas.

Uno de los deslizamientos más grandes y destructivos presentes en el Valle de Sigvas, es el deslizamiento de Alto Sigvas (también denominado como el deslizamiento de El Zarzal). Actualmente presenta una escarpa principal de 1.5 kilómetros de longitud y un área de 0.9 km<sup>2</sup> aproximadamente.

El deslizamiento de Alto Sigvas desde su activación en el año 2005 ocasionó la pérdida de terrenos de cultivo y de infraestructura pública y privada en los distritos de Majes (provincia de Caylloma) y San Juan de Sigvas (provincia de Arequipa).

Por esa razón, el INGEMMET, ente técnico-científico, mediante el proyecto ACT14: Estudio y Monitoreo de Movimientos en Masa en el Perú, de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico viene realizando el monitoreo del deslizamiento de Alto Sigvas.

En respuesta a la solicitud de la Municipalidad Distrital de Majes mediante OFICIO N°0560-2021-GM/MDM, se ha elaborado el presente informe sobre el monitoreo geodésico y fotogramétrico del deslizamiento de Alto Sigvas.

#### 1.1. ANTECEDENTES

El monitoreo del deslizamiento de Alto Sigvas se inició en el año 2015. A partir de entonces el INGEMMET emitió 4 informes técnicos.

- En el año 2016 se emitió el primer informe técnico N°A6715: Dinámica del deslizamiento de Sigvas, el cual sirvió de sustento para la declaratoria de estado de emergencia de los distritos afectados en ese mismo año.

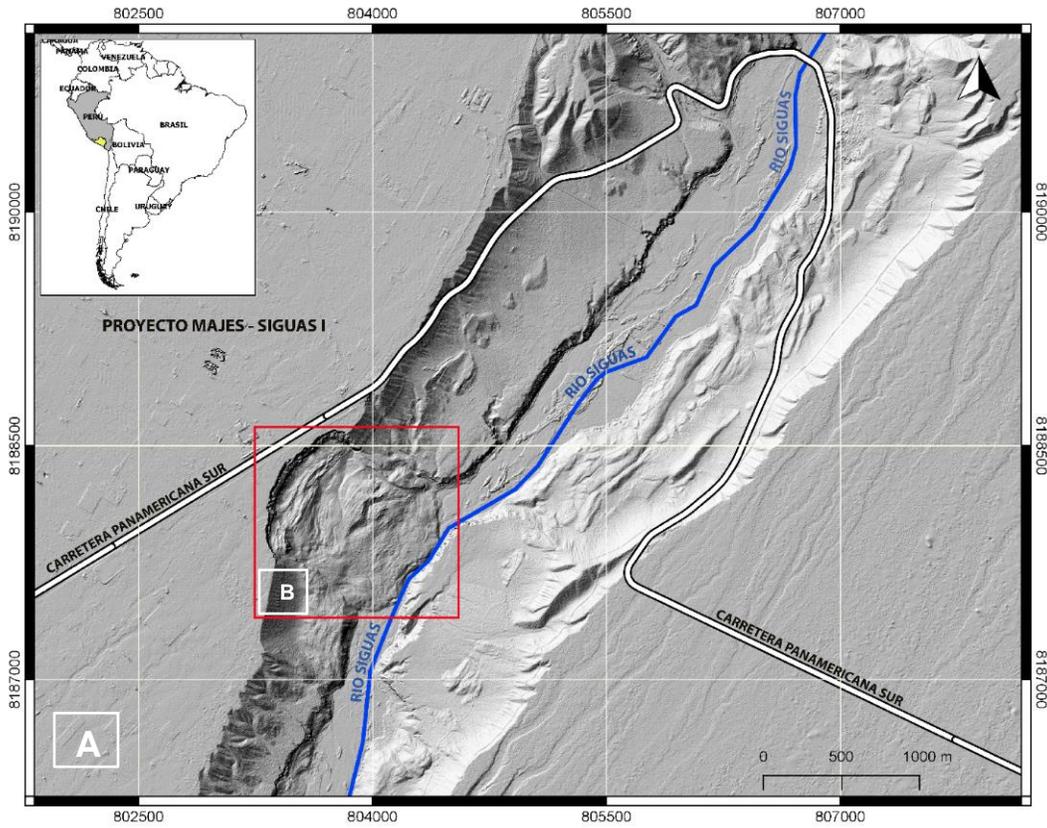
- En el año 2017 se emitieron los informes técnicos N°A6748: Dinámica y monitoreo del deslizamiento de Sigwas y N°A6772: Área de influencia del deslizamiento de Sigwas y geodinámica del Valle. A solicitud del Ministerio de Transporte y Comunicaciones para que sirva como base en la decisión de la construcción de la vía alterna de un tramo de la Carretera Panamericana Sur, mediante el oficio Nro 34872017-MTC/25.
- Así mismo, a inicios del año 2020 se publicó el informe técnico N° A7032: Monitoreo del Deslizamiento Alto Sigwas. Periodo 2018-2019. A pedido del Gobierno Regional de Arequipa y la Autoridad Autónoma de Majes en respuesta a los oficios de solicitud N° 180 – 2019-GRA/ORDNDC, N° 1225 – 2019-GRA-PEMS-GE-GGRH/SGOM, N° 113 – 2020-GRA-PEMS-GE-GGRH/SGOM.

## **1.2. OBJETIVOS**

- Cuantificar el desplazamiento y velocidad del cuerpo del deslizamiento de Alto Sigwas.
- Caracterizar el avance de la escarpa principal y la distancia a la que se encuentra de la infraestructura amenazada.

## **1.3. UBICACIÓN**

El deslizamiento de Alto Sigwas se encuentra en la margen derecha del Valle de Sigwas (figura 1), entre los distritos de Majes de la provincia de Caylloma y San Juan de Sigwas de la provincia de Arequipa.



**Figura 1.** Localización del área de estudio (A). Vista panorámica del deslizamiento de Alto Sigwas capturada con dron el 12/10/2021 (B).

## **2. ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD DEL DESLIZAMIENTO DE ALTO SIGUAS**

### **2.1. CINEMÁTICA DEL CUERPO DEL DESLIZAMIENTO**

En el transcurso del presente año, se realizaron dos campañas de medición de la red de puntos de control GNSS instalados dentro del deslizamiento de Alto Sigwas. A partir de estos datos se calculó el desplazamiento y velocidad de avance del cuerpo (ver tabla 1).

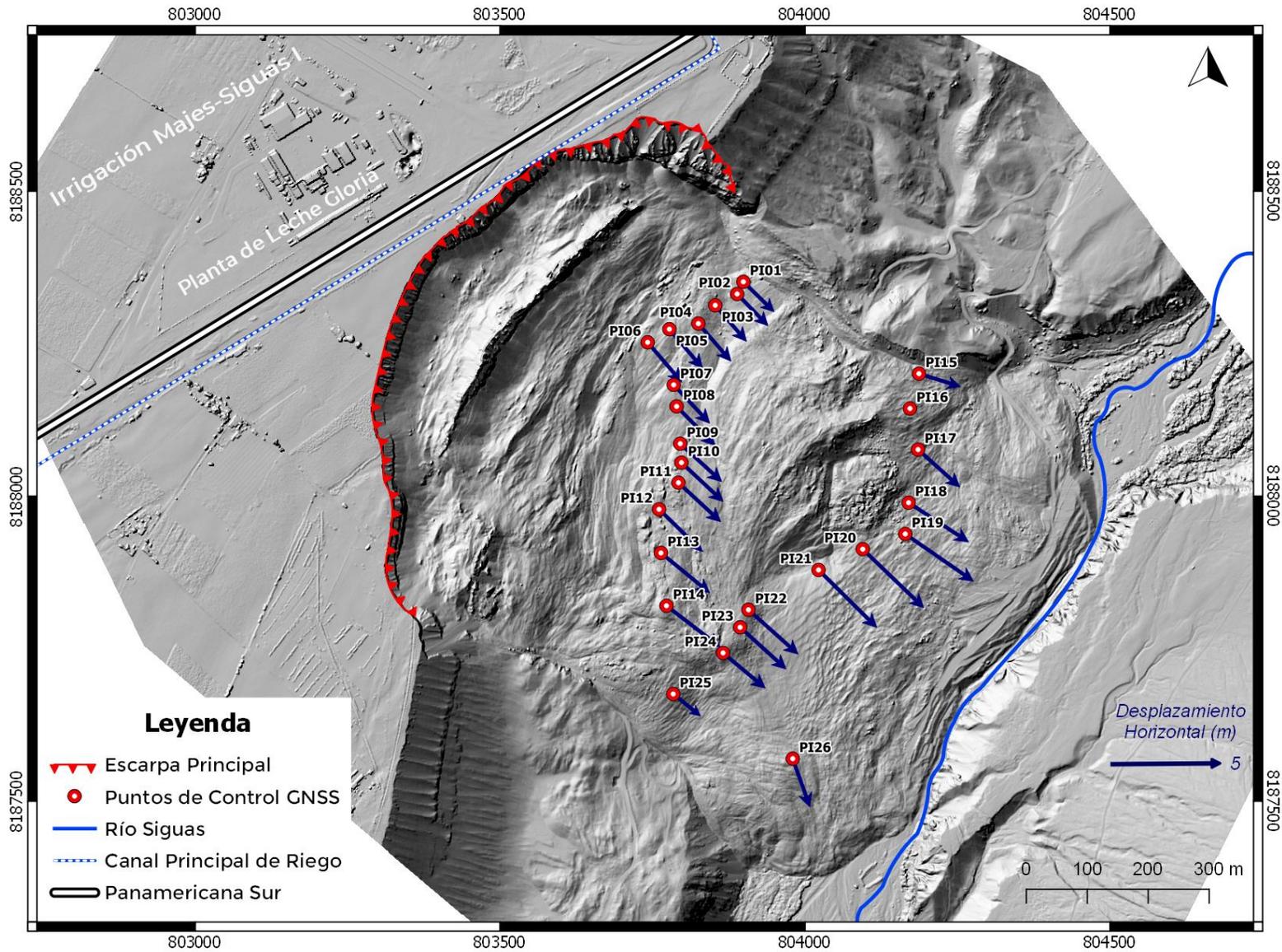
En la tabla 1, se observa que, durante el periodo comprendido entre el 09 de abril y 12 de octubre de 2021 ( $\approx 6$  meses), el desplazamiento horizontal máximo fue de 6.17 m y corresponde al punto de control SI20 ubicado en la parte baja central del deslizamiento. El desplazamiento mínimo fue de 2.55 m el cual pertenece al punto de control SI25 ubicado cerca del flanco derecho del deslizamiento. Las velocidades de desplazamiento horizontal correspondientes a estos mismos puntos fueron de 0.99 m/mes (SI20) y de 0.49 m/mes (SI25). En promedio, en los últimos  $\approx 6$  meses, el cuerpo del deslizamiento de Alto Sigwas presentó un desplazamiento horizontal de 4.22 metros y una velocidad de 0.68 m/mes.

Así mismo en la figura 2 se puede apreciar la representación gráfica de la magnitud y la dirección del desplazamiento horizontal de los 26 puntos de control GNSS, para este mismo periodo. En este mapa se observa claramente un empuje de material en dirección al sureste (hacia el río Sigwas) con patrones similares de desplazamiento en cada punto monitoreado. También se puede observar que los desplazamientos más altos se midieron en la parte central del deslizamiento, mientras que los de menor desplazamiento se midieron cerca de los flancos.

**Tabla 1.** Desplazamiento y velocidad de los puntos de control GNSS del deslizamiento de Alto Sigwas.

PUNTOS DE CONTROL GNSS	08/04/2021 AL 12/10/2021	
	(≈6 meses)	
	D <sub>H</sub>	V <sub>H</sub>
	Δ <sub>E-N</sub> (m)	m/mes
PI01	3.13	0.50
PI02	3.23	0.52
PI03	3.47	0.56
PI04	3.61	0.58
PI05	3.73	0.60
PI06	3.83	0.61
PI07	3.83	0.61
PI08	4.01	0.64
PI09	4.10	0.66
PI10	4.16	0.67
PI11	4.19	0.67
PI12	4.42	0.71
PI13	4.59	0.74
PI14	4.96	0.80
PI15	3.17	0.51
PI17	4.09	0.66
PI18	5.22	0.84
PI19	6.05	0.97
PI20	6.17	0.99
PI21	5.96	0.96
PI22	4.85	0.78
PI23	4.52	0.73
PI24	4.00	0.64
PI25	2.55	0.41
PI26	3.73	0.60
MÍNIMO	2.55	0.41
MÁXIMO	6.17	0.99
PROMEDIO	4.22	0.68

Nota. D<sub>H</sub> = Desplazamiento horizontal, V<sub>H</sub> = Velocidad del Desplazamiento Horizontal



**Figura 2.** Mapa de Vectores mostrando el desplazamiento horizontal del deslizamiento de Sigwas del 08/04/2021 al 12/10/2021.

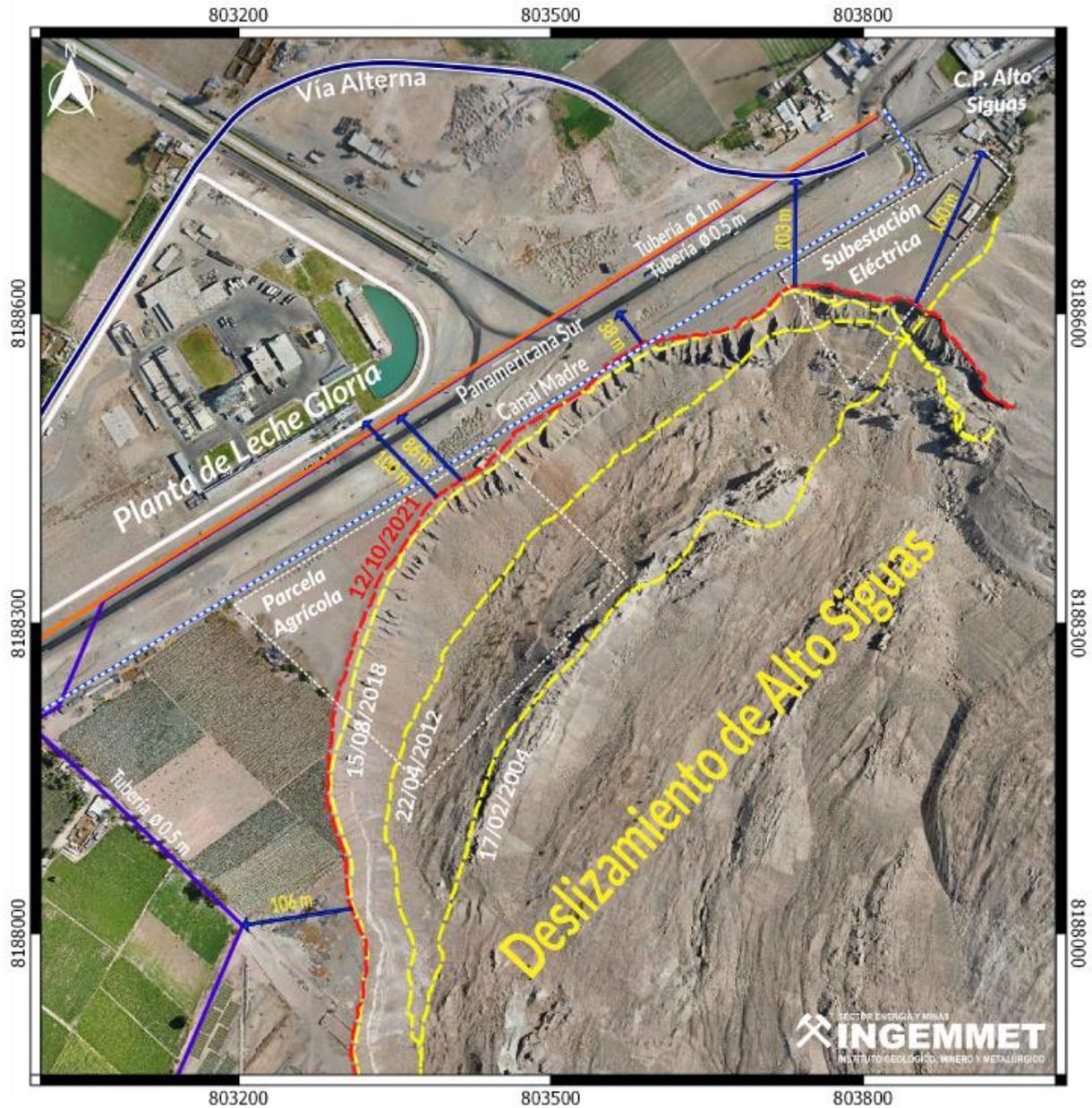
## 2.2. EVOLUCIÓN MULTITEMPORAL DE LA ESCARPA PRINCIPAL

Los ortomosaicos de alta resolución obtenidos a partir de la fotogrametría aérea con drones se utilizaron para cartografiar la posición histórica y actual de la escarpa principal del deslizamiento de Alto Siguas. También se calculó la distancia mínima a la que se encuentra la infraestructura pública y privada, la cual es amenazada por el avance retrogresivo de la escarpa (Figura 3).

En la Figura 3, la línea roja discontinua representa la posición de la escarpa principal en octubre de 2021. Las líneas amarillas representan la cresta de la ladera en el año 2004 (antes del colapso) y los límites de la escarpa principal en los años 2012 y 2018.

También se muestra la infraestructura amenazada por el avance retrogresivo de la escarpa principal. En el distrito de Majes, se encuentran en peligro: (1) un tramo de la Carretera Panamericana Sur, el cual está a 38 metros de la escarpa principal (medido sobre el ortomosaico de octubre de 2021), (2) las tuberías que se construyeron para reemplazar el canal madre, (3) terrenos de cultivo, (4) la planta de Leche Gloria, además de (5) la vía alterna y (5) el centro poblado Alto Siguas. Por otro lado, en el distrito de San Juan de Siguas (Valle de Siguas), el constante aporte de material de debido a la erosión y a los derrumbes en la escarpa principal incrementa el peso sobre la masa deslizada y acelera su avance, lo que podría provocar el represamiento del río.

En la Figura 4, se puede observar con mayor detalle el tramo de 50 metros del canal madre que colapsó y fue sobrepasado por la escarpa principal. Este segmento de la escarpa principal se encuentra a 38 metros de la Carretera Panamericana Sur. También se puede observar que las distancias más cortas medidas desde la escarpa hacia la vía alterna y hacia el centro poblado Alto Siguas son de 103 y 160 metros respectivamente.



**Figura 3.** Evolución multitemporal de la escarpa principal del deslizamiento de Alto Sigüas y distancias mínimas a la infraestructura amenazada. La imagen corresponde al ortomosaico obtenido a través de un sobrevuelo con dron en octubre de 2021.

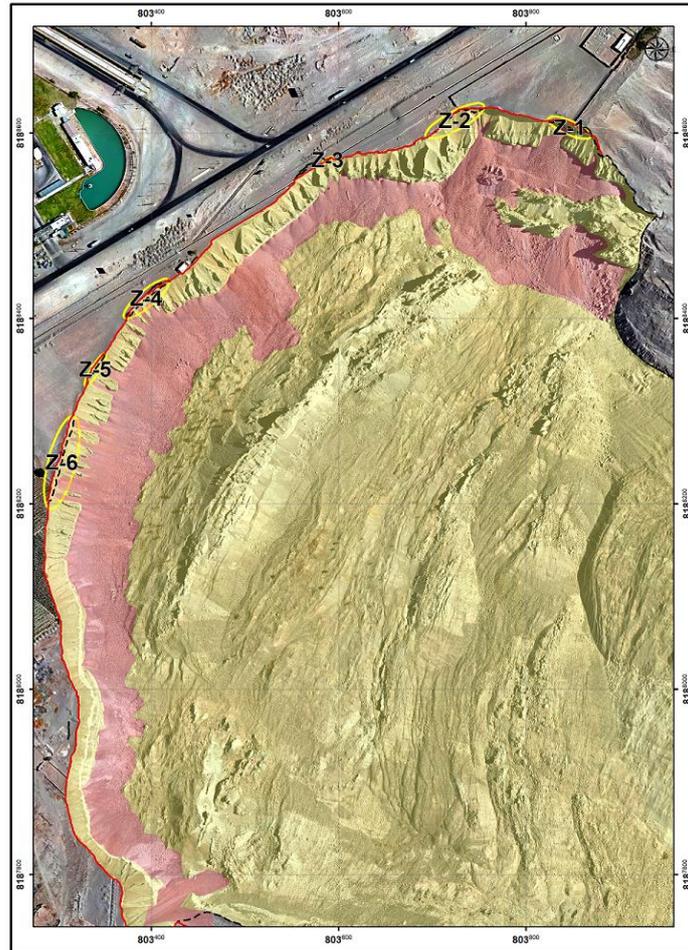


**Figura 4.** Fotografía aérea capturada con dron donde se muestra el sector de la escarpa principal que se encuentra más próxima a la carretera Panamericana Sur.

### 2.2.1. CARACTERIZACIÓN DE ZONAS DE AVANCE RETROGRESIVO

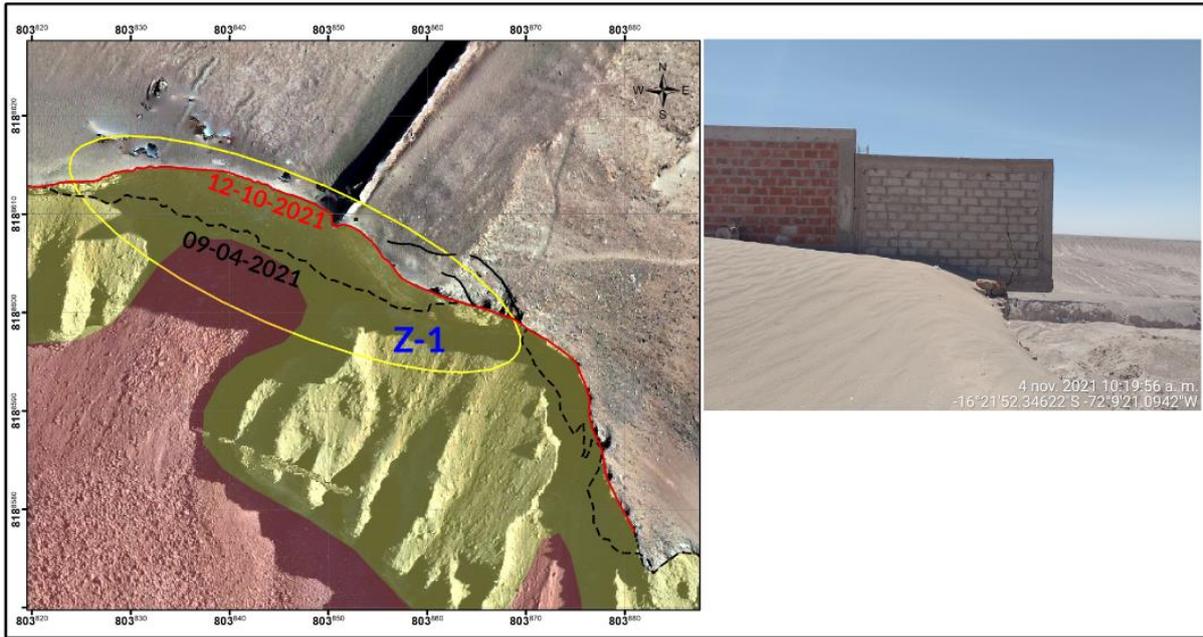
Realizando un análisis comparativo entre el ortomosaico de abril y el ortomosaico de octubre de 2021 se determinaron 6 zonas con actividad a manera de derrumbes (Figura 5). También se observó la presencia de grietas en algunas de estas zonas.

A continuación, se detallan algunas características de estas zonas. En las figuras 6, 7, 8, 9 y 10 la línea discontinua de color negro representa la posición de la escarpa principal en abril de 2021 mientras que la línea de color rojo representa la posición de la escarpa principal en octubre de 2021. Además de los avances de la escarpa también se muestran las grietas encontradas en la corona.

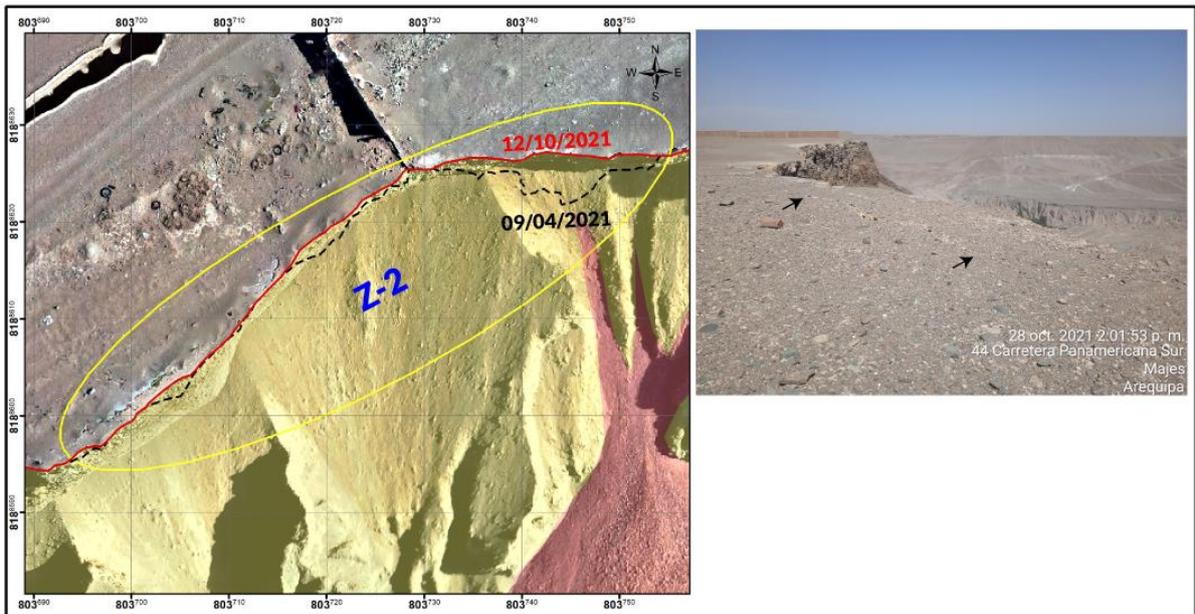


**Figura 5.** Zonas con mayor actividad (encerradas en amarillo) en la escarpa del deslizamiento. Periodo abril – octubre de 2021.

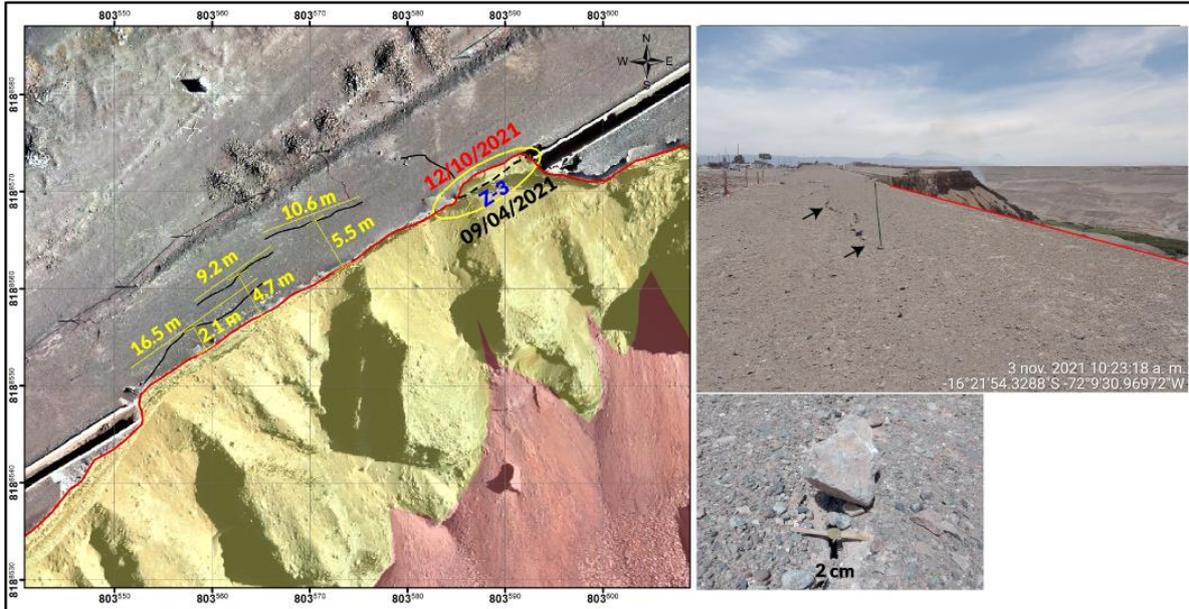
En la zona 1 (Z-1), se presentó actividad a manera de derrumbe desprendiendo material de un área de 480 m<sup>2</sup> aproximadamente, la zona desprendida presenta 80 m de longitud y 6 metros de ancho. Esta zona también presenta grietas tensionales (Figura 6). En la zona 2 (Z-2), se presentó actividad a manera de derrumbe desprendiendo material de un área de 75 m<sup>2</sup> (Figura 7). Así mismo en la zona 3 (Z-3), la que está más próxima a la Panamericana Sur, también se presentó actividad a manera de derrumbe desprendiendo material de un área de 10 m<sup>2</sup>. En las inmediaciones de esta zona se observaron grietas con longitudes entre 9 a 16 m con un ancho de 2 cm en promedio, a una distancia máxima de 5.5 metros de la escarpa (Figura 8). Por su parte, en la zona 4 (Z-4), se presentó actividad a manera de derrumbe desprendiendo material de un área de 246 m<sup>2</sup>, la zona desprendida presenta 64 m de longitud y un ancho de 4 metros. También presenta grietas con longitud de 6 y 18 m a una distancia desde la escarpa de 2 m (Figura 9). Del mismo modo, la Figura 10 muestra las zonas 5 y 6 donde también se puede apreciar la actividad a modo de derrumbe.



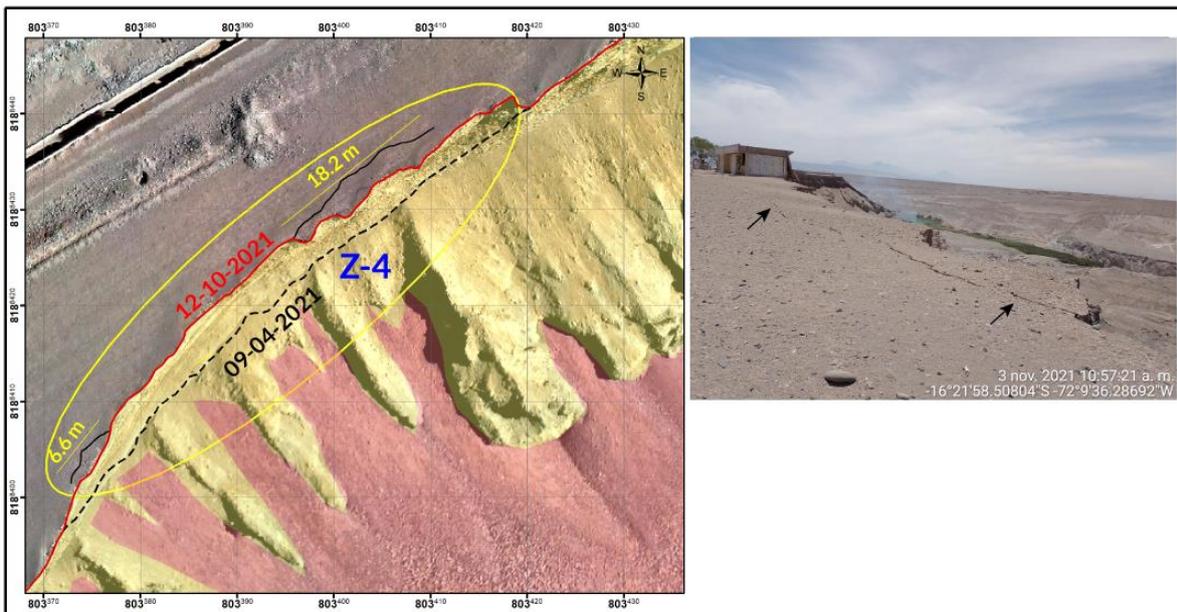
**Figura 6.** Vista de la zona 1 (Z-1). Se observa el área derrumbada limitada por la línea roja y negra discontinua. Las grietas están representadas por las líneas negras continuas.



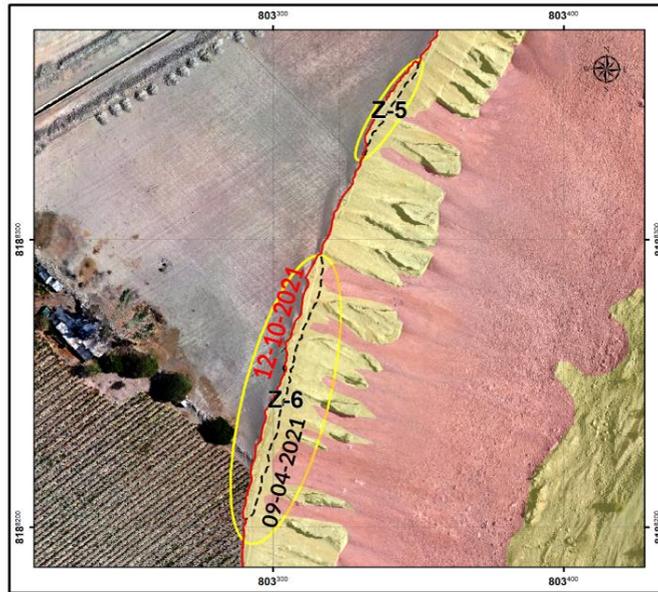
**Figura 7.** Vista de la zona 2 (Z-2). Se observa el área derrumbada limitada por la línea roja y negra discontinua.



**Figura 8.** Vista de la zona 3 (Z-3). Se observa el área derrumbada limitada por la línea roja y negra discontinua. Las grietas están representadas por las líneas negras continuas.



**Figura 9.** Vista de la zona 4 (Z-4). Se observa el área derrumbada limitada por la línea roja y negra discontinua. Las grietas están representadas por las líneas negras continuas.



**Figura 10.** Vista de las zonas 5 y 6 (Z-5 y Z-6). Se observa el área derrumbada limitada por la línea roja y negra discontinua.

Finalmente, cabe mencionar que el avance del deslizamiento de Alto Siguan, tanto del cuerpo (en dirección hacia el río Siguan) como de la escarpa principal (en dirección hacia la carretera Panamericana Sur), podría acelerarse debido a factores externos como la carga dinámica en la corona del deslizamiento (tránsito de vehículos pesados), los sismos, las oscilaciones en el nivel freático y al incremento del caudal del río Siguan (que provocaría una mayor tasa de erosión en el pie del deslizamiento).

### 3. CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos del monitoreo geodésico y fotogramétrico muestran que el deslizamiento de Alto Sigwas se encuentra activo. Por lo tanto, persiste la situación de muy alto peligro por el avance progresivo de la masa deslizada (hacia el Valle de Sigwas) y por el avance retrogresivo de la escarpa principal (hacia la Irrigación de Majes).
- De acuerdo a las mediciones GNSS, para el periodo entre abril y octubre de 2021, el cuerpo del deslizamiento de Alto Sigwas presenta una velocidad promedio de 0.68 m/mes con una dirección predominante hacia el sureste (en dirección al río Sigwas).
- De acuerdo al monitoreo fotogramétrico, para el periodo entre abril y octubre de 2021, la escarpa principal del deslizamiento de Alto Sigwas continúa presentando un avance retrogresivo y amenaza con afectar la carretera Panamericana Sur, ya que se encuentra a tan solo 38 metros.
- Los sectores que colindan con el deslizamiento de Alto Sigwas, son Zonas Críticas de Muy Alto Peligro.

### 4. RECOMENDACIONES

- Debido a que un tramo de la escarpa principal sobrepasó el canal madre de irrigación y actualmente se encuentra a 38 metros de la Panamericana Sur se recomienda el cierre definitivo del tramo amenazado y por consiguiente la utilización de la vía alterna. De este modo se evita que la vibración generada por la carga dinámica (vehículos de carga pesada) acelere el avance de la escarpa.
- Restringir el acceso de las personas a las zonas inestables.
- Reasentar a la población que habita en las parcelas cercanas a la escarpa principal del deslizamiento, ya que representa una amenaza para la vida y bienestar de los pobladores de la zona.
- Continuar con el monitoreo permanente del deslizamiento de Alto Sigwas.

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

  
Ing. LIONEL V. FIDEL SMOLL  
Director  
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico  
INGEMMET

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

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., Miranda R., Valderrama, P. (2017), Dinámica y Monitoreo del Deslizamiento de Sigvas, Informe Técnico N° A6748, INGEMMET, 54p.

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.

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.

Toledo, H., Ticona, J. (2007). Plan de Mitigación de los deslizamientos producidos por efecto de la saturación en los terrenos de la irrigación Majes. Tesis de segunda especialidad. Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa.

## ANEXO 1: FOTOGRAFÍAS DE LA ZONA EVALUADA



Figura 11. Fotografía panorámica del deslizamiento de Alto Sigwas capturada con dron el 12/10/2021. Nótese los términos utilizados en el presente informe.



Figura 12. Imagen donde se muestra el desprendimiento de material a modo de derrumbe (señalado por la flecha amarilla) en la escarpa principal del deslizamiento de Alto Sigwas. Foto del 28/10/2021