

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

**Informe Técnico N° A7224**

# MONITOREO DEL DESLIZAMIENTO DE ALTO SIGUAS PERIODO 2021

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



FEBRERO  
2022

## **MONITOREO DEL DESLIZAMIENTO DE ALTO SIGUAS PERIODO 2021**

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

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

Proyecto:

ACT14: Caracterización y Monitoreo de Movimientos en  
Masa en el Perú

*Equipo de investigación:*

*Joseph Huanca*

*Dulio Gómez*

*Luis Albinez*

*Gael Araujo*

**Citación:**

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

## INDICE

RESUMEN .....	4
1. INTRODUCCIÓN .....	5
1.1. Objetivos .....	5
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores .....	5
1.3. Ubicación .....	6
2. ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS .....	8
2.1. Unidades litológicas .....	8
2.1.1. FORMACIÓN MOQUEGUA (Nmp-mo) .....	8
2.1.2. DEPÓSITOS CUATERNARIOS .....	9
2.1. Unidades geomorfológicas locales .....	11
2.1.1. VALLE DE SIGUAS .....	12
2.1.2. CONOS DE DEYECCIÓN .....	12
2.1.3. PISO DE VALLE .....	12
2.1.4. RIO SIGUAS .....	12
3. ADQUISICIÓN DE DATOS .....	14
3.1. Monitoreo geodésico .....	14
3.2. Monitoreo fotogramétrico .....	16
4. ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD DEL DESLIZAMIENTO DE ALTO SIGUAS .....	18
4.1. Cinemática del cuerpo del deslizamiento .....	18
4.2. Evolución multitemporal de la escarpa principal .....	22
4.3. Caracterización de zonas de avance retrogresivo .....	24
4.4. Estimación del avance retrogresivo de la escarpa principal .....	28
5. CONCLUSIONES .....	34
6. RECOMENDACIONES .....	35
ANEXO 1: FOTOGRAFÍAS DE LA ZONA EVALUADA .....	37

## RESUMEN

El presente informe tiene por finalidad dar a conocer la actividad del deslizamiento de Alto Sigwas, a través de su monitoreo geodésico y fotogramétrico, entre abril y noviembre de 2021.

La combinación de ambos métodos de monitoreo, nos permitió conocer la cinemática de la masa deslizada, la misma que presenta una velocidad promedio de 0.62 m/mes en dirección al río Sigwas; además de la evolución y estimación del avance retrogresivo de la escarpa principal, ubicada actualmente a solo 38 m de la carretera Panamericana Sur.

Se concluye que el deslizamiento Alto Sigwas presenta un movimiento Muy Activo. El avance retrogresivo de su escarpa principal compromete infraestructura nacional y local importante, en la parte alta del deslizamiento, y al mismo tiempo el avance progresivo del cuerpo y al pie del mismo podría volver a represar el río Sigwas. Finalmente, en el presente informe se brindan recomendaciones que contribuyan en la reducción de riesgo.

## 1. INTRODUCCIÓN

La irrigación de las pampas de Majes (Arequipa), una de las áreas agrícolas más importantes del sur de Perú cuyo inicio se remonta al año 1983 (Martínez, 2016). Su desarrollo y riego provocó una serie de deslizamientos en el Valle de Sigwas desde la década de los 90 hasta la actualidad. Los principales factores desencadenantes y condicionantes de los eventos, son la sobresaturación del suelo producto de la infiltración de agua proveniente de las actividades de regadío 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 et al., 2016) y las fuertes pendientes de las laderas Valle de Sigwas.

Uno de los deslizamientos más desarrollados y destructivos, presentes en el Valle de Sigwas, es el deslizamiento de Alto Sigwas (también denominado deslizamiento El Zarzal), presenta actualmente una escarpa de 1.5 Km de longitud abarcando un área de 0.9 Km<sup>2</sup> aproximadamente. Desde su activación, en el año 2005, ocasionó pérdidas de terrenos de cultivo y de infraestructura pública y privada en los distritos de Majes (provincia de Caylloma) y San Juan de Sigwas (provincia de Arequipa).

Por esa razón, el INGEMMET, como ente técnico-científico, mediante el proyecto ACT14 - "Caracterización y monitoreo de movimientos en masa en el Perú", de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, viene realizando el monitoreo de este deslizamiento.

Este estudio 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 durante las 3 campañas de medición realizadas en el año 2021. Este informe también incluye la estimación del avance retrogresivo (hacia la carretera Panamericana Sur) de su escarpa principal.

### 1.1. Objetivos

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Cuantificar el desplazamiento y la velocidad de la masa deslizada.
- b) Caracterizar el avance de la escarpa principal y la distancia a la que se encuentra de la infraestructura amenazada.
- c) Determinar el tiempo de afectación a la infraestructura amenazada por el deslizamiento de Alto Sigwas.

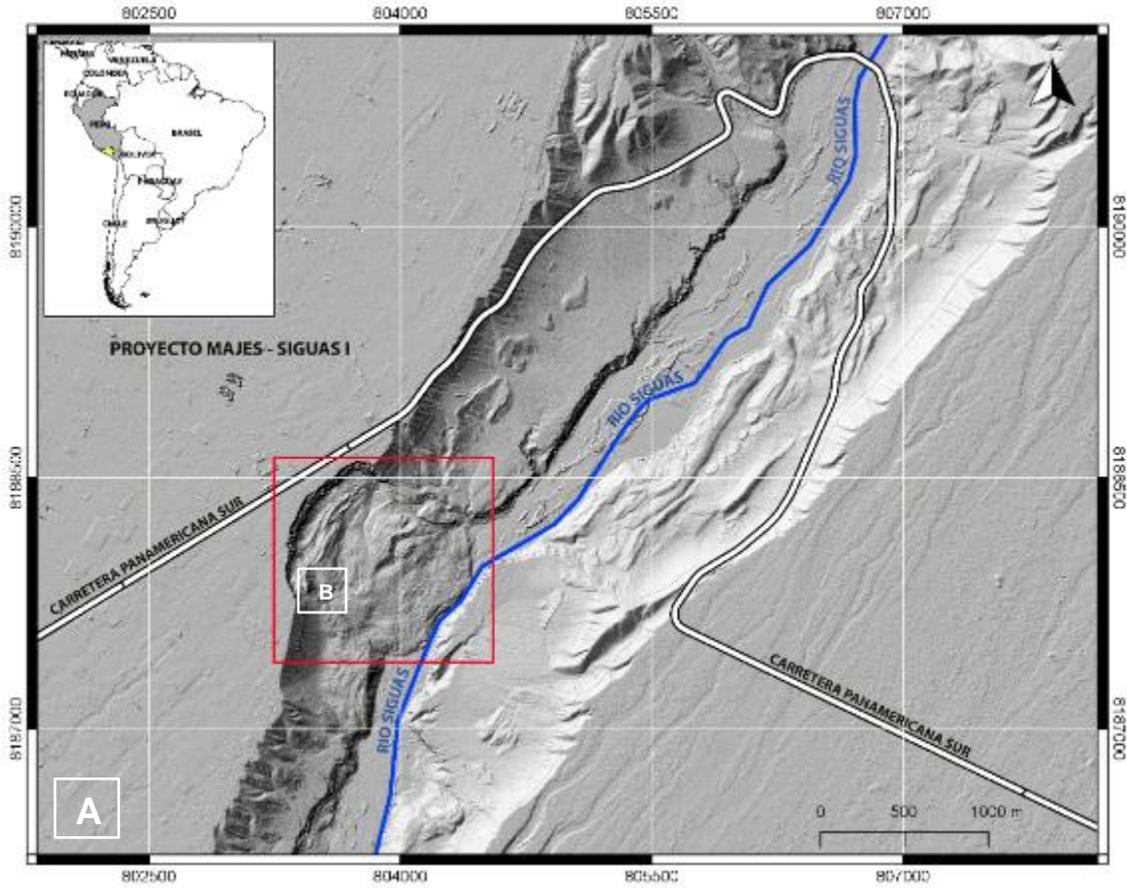
### 1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

El monitoreo del deslizamiento de Alto Sigwas se inició en el año 2015, a partir de entonces el INGEMMET emitió 5 informes técnicos.

- A) En el año 2016 se emitió el primer informe técnico N°A6715: Dinámica del deslizamiento de Sigwas, el cual sirvió de sustento para la declaratoria de estado de emergencia de los distritos afectados en ese mismo año.
- B) 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.
- C) 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.
- D) En octubre de 2021 se publicó la opinión técnica N° 005-2021: Monitoreo Geodésico y Fotogramétrico del Deslizamiento de Alto Sigwas. A solicitud de la Municipalidad Distrital de Majes mediante OFICIO N°0560-2021-GM/MDM.

### **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 Sigüas capturada con dron el 12/10/2021 (B).

## **2. ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS**

Para desarrollar este capítulo se tomó como referencia el estudio de Araujo et al. (2017).

### **2.1. Unidades litológicas**

En el área afloran de la Formación Moquegua y Depósitos Cuaternarios:

#### **2.1.1. FORMACIÓN MOQUEGUA (Nmp-mo)**

El relleno sedimentario continental de la formación Moquegua se divide en dos fases distintas. La Formación Moquegua Inferior, corresponde al relleno de una depresión estable sin ninguna influencia volcánica y la Formación Moquegua Superior, muestra una movilidad de la cuenca que se confirma por la existencia de conos aluviales y materiales volcánicos. Las dos fases de relleno están separadas por una fase tectónica de baja intensidad que se aplica a toda la cuenca. La datación de la Formación Moquegua inferior es aún problemática, en cambio, la existencia de tobas ácidas permitió que se datara la Formación Moquegua superior con una edad Oligocena superior (Marocco et al., 1984); (Sempere et al., 2004).

##### **2.1.1.1 Moquegua Inferior (Peo-Mi)**

Las capas de esta formación descansan con discordancia angular sobre los grupos Ambo y Yura , soportado a su vez con débil discordancia al Moquegua superior, las capas se inclinan ligeramente al suroeste, salvo en aquellos lugares donde se han producido inclinaciones más fuertes por el reajuste de fallas existentes o por la compactación de los sedimentos sobre una topografía inclinada, el área está compuesta por areniscas arcósicas de grano medio, arcillas rojas y conglomerados abundantes en bancos de 50 a 150 metros, las arcillas se intercalan también con láminas de yeso (Guisado, 1968).

##### **2.1.1.2 Moquegua Superior (Po-Ms)**

Reposa en discordancia angular sobre la Formación Moquegua Inferior, formados por conos aluviales, sedimentos conglomerádicos, con influencia de actividad volcánica (foto 1). Durante su depositación la Formación Moquegua Superior fue afectada por intrusión marítima, teniéndose evidencias de depósitos marinos de la Formación Camaná a lo largo de en el sector de Ocoña y Caravelí (Marocco et al.,1984).

Este miembro es fácilmente distinguido por sus tonalidades claras que contrastan con la Formación Moquegua Inferior, por lo general sus capas tienen posición horizontal y en algunos casos muestran una ligera inclinación al suroeste. esta formación está conformada por areniscas blanco-grisáceas, de grano medio a fino, hasta conglomerádicas, con algunas capas de arcilla y conglomerado de cantos chicos (Guisado, 1968).



**Foto 1.** Conglomerados concordantes y bancos de Ignimbrita de la Formación Moquegua Superior.  
Tomado de Araujo et al., 2017.

## 2.1.2. DEPÓSITOS CUATERNARIOS

### 2.1.2.1 Conglomerados pleistocénicos (Q-al1)

Esta unidad sobryace sobre la Formación Moquegua Superior a lo largo de las pampas costaneras de Majes y San Juan de Siguas, presenta una potencia mayor a 50 m, debe su origen a épocas de intensa actividad regional erosiva en desglaciaciones andinas cuaternarias. Está formada por conglomerados de matriz areno – limosa, con clastos de 0.10 a 1 m de diámetro de naturaleza volcánica, sedimentaria y metamórfica (foto 2).



*Foto 2. Conglomerados clasto soportado de 0.10 a 1 m de diámetro. Tomado de Araujo et al., 2017.*

#### **2.1.2.2 Depósitos aluviales recientes (Q-al2)**

Los depósitos cuaternarios aluviales más recientes forman parte de la acumulación de materiales recientes en los drenajes y desembocaduras de quebradas. Tienen una dirección preferencial noreste-suroeste similar a la del río Sigwas. Los depósitos aluviales están constituidos por arenas mal seleccionadas con matriz arenosa, limosa arcillosa o limo-arenosa.

Los depósitos aluviales más extensos se ubican en la cabecera de las líneas de drenaje y al pie del flanco andino. El tamaño de los elementos constituyentes desde bloques de más de 1 m hasta partículas de arcillas.

#### **2.1.2.3 Depósitos coluviales (Q-co)**

Están formados por el desprendimiento de sedimentos en las laderas y piso del valle.

#### **2.1.2.4 Depósitos eólicos (Q-e)**

Las estructuras que caracterizan este tipo de depósitos principalmente se encuentran dispuestas al sureste del área de estudio (foto 3), están representadas por cadenas de dunas aisladas sobre quebradas secas que disectan las pampas de Sigwas. Tienen tamaños de más

de 5 m de longitud y 3 m de altura en dirección suroeste a noreste, habiéndose estimado avance anual de 25 m (Guisado, 1968).

En el cuerpo del deslizamiento se encuentran estructuras eólicas sobre material arenoso (foto 4).



**Foto 3.** Dunas al suroeste del área de estudio de 5-10m de longitud. Tomado de Araujo et al., 2017.



**Foto 4.** Formación de ripples sobre el cuerpo del deslizamiento. Tomado de Araujo et al., 2017.

### **2.1. Unidades geomorfológicas locales**

Los flancos del valle del río Sigwas son representados por zonas altamente erosivas con pendientes empinadas, algunas forman quebradas secas profundas.

En la margen izquierda y derecha inferior del valle se tiene conos de deyección antiguos con aporte sedimentario por erosión de cárcavas (figura 2).

#### 2.1.1. VALLE DE SIGUAS

La exhumación del valle se da por procesos de levantamiento orogénico en la edad Miopliocénica, el mismo que disecta las pampas de Majes y Sigwas con un declive empinado de 200 m de altura.

#### 2.1.2. CONOS DE DEYECCIÓN

En la margen derecha e izquierda del valle de Sigwas se tienen conos de deyección antiguos, con reactivaciones erosivas sobre la ladera del corte del valle (figura 3A).

#### 2.1.3. PISO DE VALLE

Está formado por depósitos aluviales y fluviales producto de la actividad del río Sigwas. Es utilizado como terrenos de cultivo que son afectados por el constante desplazamiento del cuerpo del deslizamiento (figura 3B).

#### 2.1.4. RIO SIGUAS

Nace en la parte alta de los Andes Occidentales en las cercanías del nevado Ampato. Al igual que el río Majes, son los únicos que tienen agua durante todo el año y no reciben tributarios importantes en su recorrido. Tiene una dirección promedio de norte 35° y a lo largo de su trayecto, su cauce puede ser alterado por la existencia de movimientos en masas que provocan un ligero cambio de curso, generando barras arenosas sobre las extensiones de la parte baja del valle del río Sigwas.

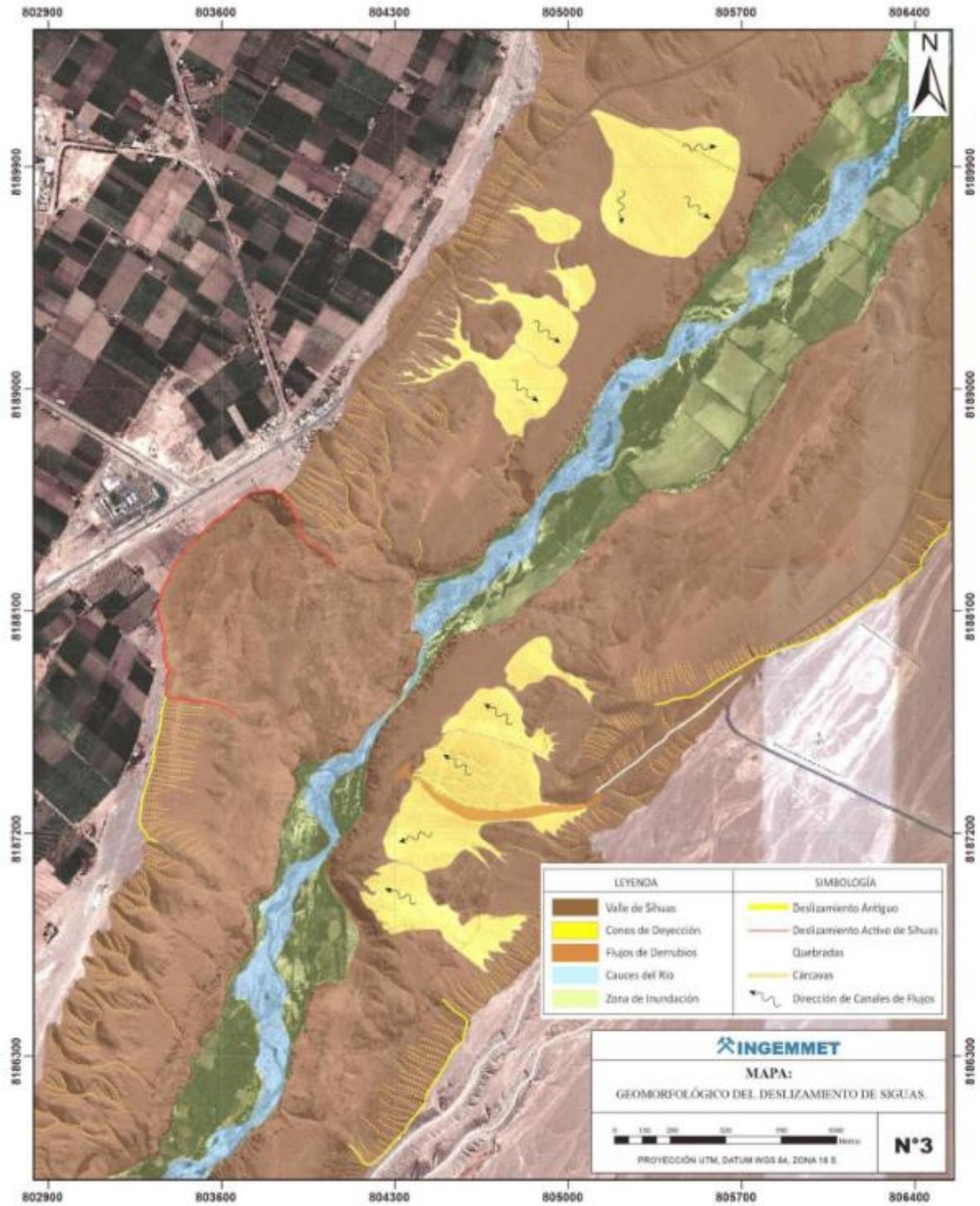


Figura 2. Mapa geomorfológico del Valle de Sigwas. Tomado de Araujo et al., 2017.



**Figura 3.** Vistas de ambos flancos del valle de Sigwas. (A) En el flanco izquierdo se observa conos de deyección producto de desprendimiento de detritos por erosión diferencial. (B) En el flanco derecho se observa terrenos de cultivo sobre el piso del valle afectados por la variación del curso del río. Tomado de Araujo et al., 2017.

### 3. ADQUISICIÓN DE DATOS

#### 3.1. Monitoreo geodésico

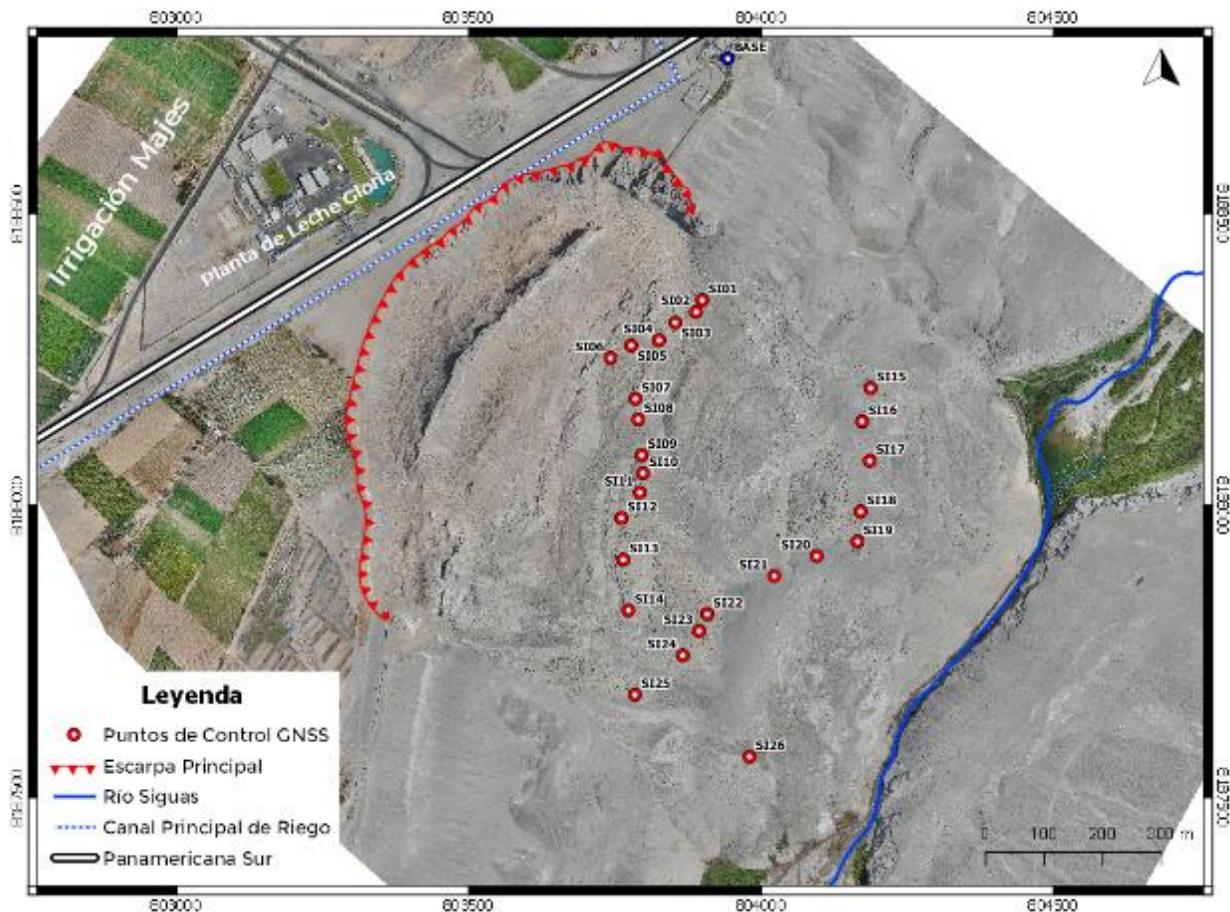
Para el monitoreo geodésico se utilizó el método GNSS diferencial RTK (cinemático en tiempo real). Este método utiliza dos receptores GNSS operando de manera simultánea (figura 4).



**Figura 4.** Instalación de Equipos para Levantamiento GNSS RTK. Los valores de corrección se envían directamente por radio desde la estación base (A) al receptor móvil (B). De esta manera, con este último se puede registrar continuamente su posición relativa al punto de referencia con una precisión por debajo del decímetro.

En cada campaña de medición, el receptor GNSS denominado estación base, ocupó el mismo punto de coordenadas conocidas ubicado en una zona estable (figura 4A), mientras que el otro, denominado receptor móvil (figura 4B), se utilizó para medir las coordenadas de los 26 puntos de control (hitos de concreto empotrados en la masa deslizada) que forman parte de la red de monitoreo geodésico temporal del deslizamiento de Alto Sigwas (figura 5).

El equipo utilizado para el levantamiento corresponde al sistema GNSS integrado Trimble R12. Esta red se encuentra referenciada con Datum WGS 1984, Zona 18 S, y modelo geoidal EGM 08.



**Figura 5.** Red geodésica de puntos de control en el deslizamiento de Alto Sigwas

La información obtenida que comparó la posición de los puntos de control en diferentes campañas de medición permitió determinar los desplazamientos horizontales y verticales de los movimientos de la superficie del deslizamiento. Así mismo, la velocidad mensual de desplazamiento se calculó a partir de la relación entre el desplazamiento horizontal y el tiempo transcurridos entre las campañas de medición con la finalidad de obtener una idea global de la cinemática del fenómeno.

### 3.2. Monitoreo fotogramétrico

Para el monitoreo fotogramétrico del deslizamiento de Alto Siguas se han utilizado drones de ala fija (eBee Plus) y multirrotor (Matrice300 RTK) (figura 6), durante tres campañas de campo llevadas a cabo en abril, octubre y noviembre de 2021.

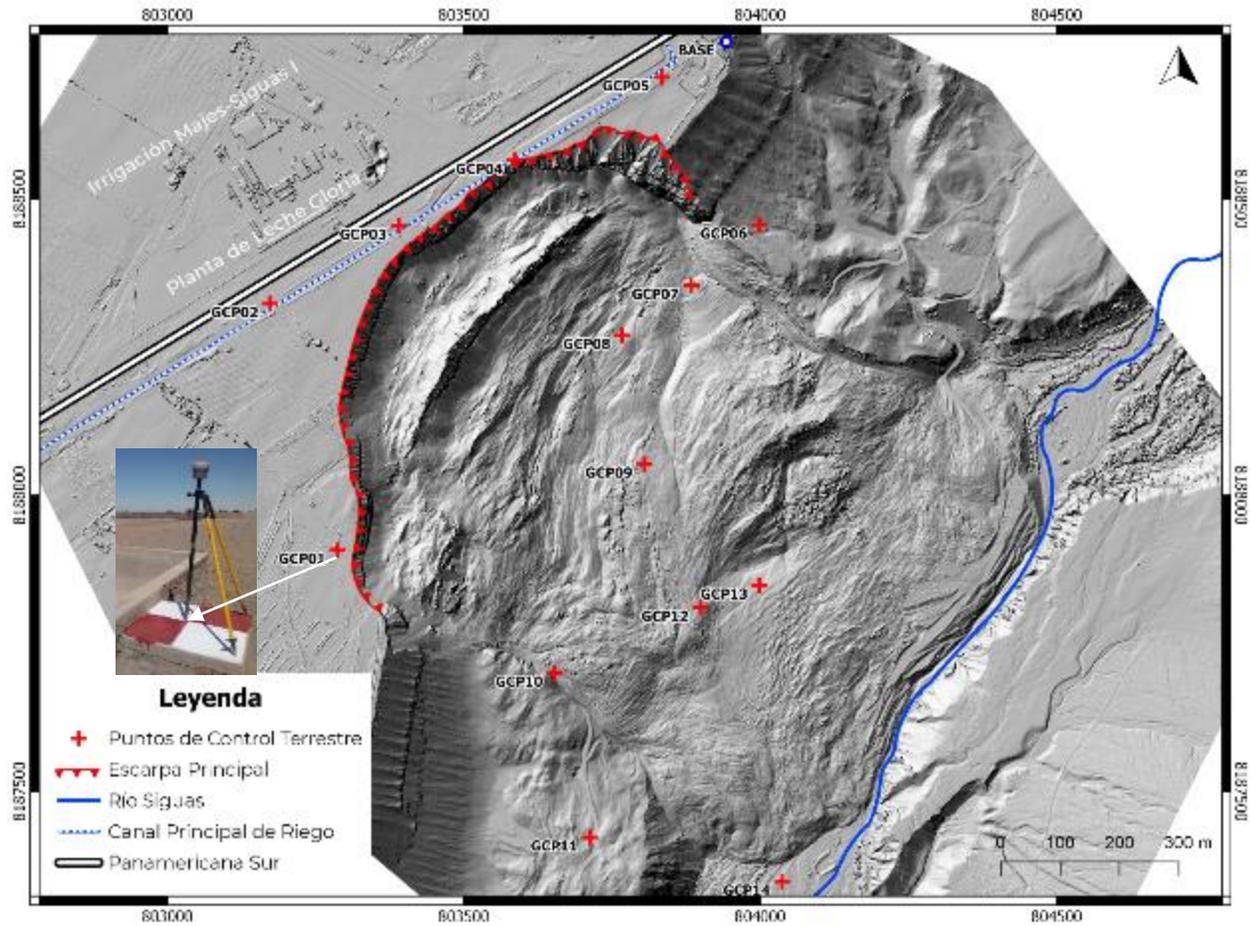


**Figura 6.** (A) Dron eBee Plus. (B) Drone Matrice 300 RTK

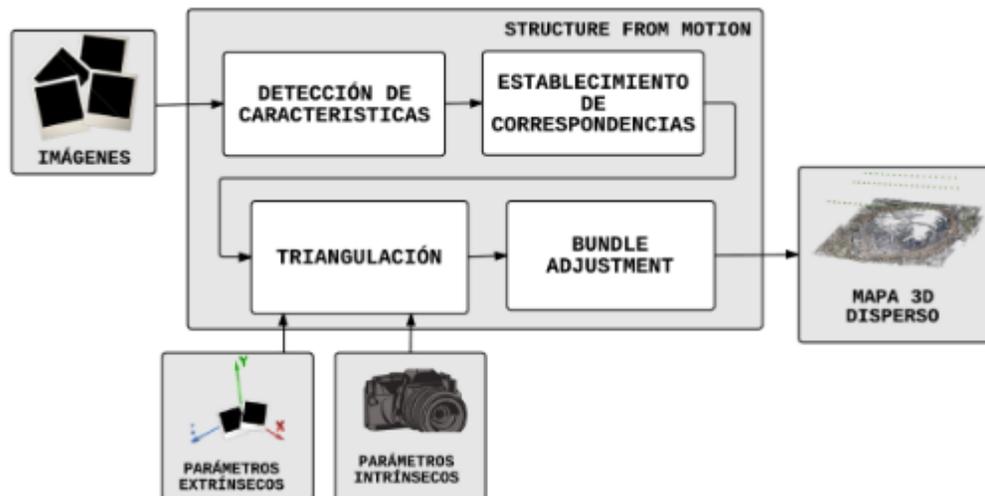
Cada levantamiento fotogramétrico con dron contó con puntos de control terrestre (marcas de pintura sobre rocas y/o infraestructura existente) tanto en el cuerpo del deslizamiento como en zonas estables (figura 7). La medición de coordenadas de cada punto de fotocontrol se realizó de la misma forma que para los 26 puntos de control GNSS tratados en el punto anterior (3.1).

Para el proceso fotogramétrico se utilizó la técnica SFM (Structure From Motion) (figura 8) a través del software Agisoft Metashape 1.7., obteniéndose en primera instancia una nube de puntos 3D dispersa y posteriormente una nube de puntos 3D densa. Finalmente se obtuvieron los DEM y ortomosaicos los cuales se exportaron en el formato TIFF.

Las ortofotos se utilizaron para cartografiar la posición multitemporal de la escarpa principal del deslizamiento de Alto Siguas y las distancias mínimas a la infraestructura afectada y amenazada en el software QGIS V.3.20. A su vez, las posiciones multitemporales de la escarpa principal a partir de las ortofotos obtenidas con sobrevuelos dron y de imágenes satelitales se utilizaron para estimar el tiempo de afectación a la infraestructura amenazada por el avance de la escarpa principal.



**Figura 7.** Ubicación de los puntos de control terrestre para georreferenciar las imágenes de dron.



**Figura 8.** Esquema general de generación de mapas de nube de puntos dispersa (Structure from Motion).

## 4. ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD DEL DESLIZAMIENTO DE ALTO SIGUAS

### 4.1. Cinemática del cuerpo del deslizamiento

En el transcurso del 2021, se realizaron tres campañas de medición de la red de puntos de control GNSS instalados en el deslizamiento de Alto Siguas. A partir de estos datos se calculó el desplazamiento y velocidad de avance de la masa deslizada (tabla 1).

Durante el periodo comprendido entre el 08 de abril y 12 de octubre de 2021 ( $\approx 6.2$  meses) (tabla 1), el desplazamiento horizontal máximo fue de 6.17 m, que 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, para este periodo, el cuerpo del deslizamiento de Alto Siguas presentó un desplazamiento horizontal de 4.22 metros y una velocidad de 0.68 m/mes.

Durante el periodo comprendido entre el 12 de octubre y el 24 de noviembre de 2021 ( $\approx 1.4$  meses) (tabla 1), el desplazamiento horizontal máximo fue de 1.17 m que corresponde al punto de control SI20 ubicado en la parte baja central del deslizamiento. El desplazamiento mínimo fue de 0.34 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 0.82 m/mes (SI20) y de 0.24 m/mes (SI25). En promedio, para este periodo, el cuerpo del deslizamiento de Alto Siguas presentó un desplazamiento horizontal de 0.81 metros y una velocidad de 0.57 m/mes.

Por su parte, la figura 9, muestra la evolución temporal del desplazamiento horizontal (E, W) y vertical (Z) acumulado (abril a noviembre de 2021) de los puntos de control GNSS en el área de estudio.

**Tabla 1.** Desplazamiento y velocidad de los puntos de control GNSS del deslizamiento de Alto Siguas entre campañas. *DH* = Desplazamiento horizontal, *VH* = Velocidad de Desplazamiento Horizontal.

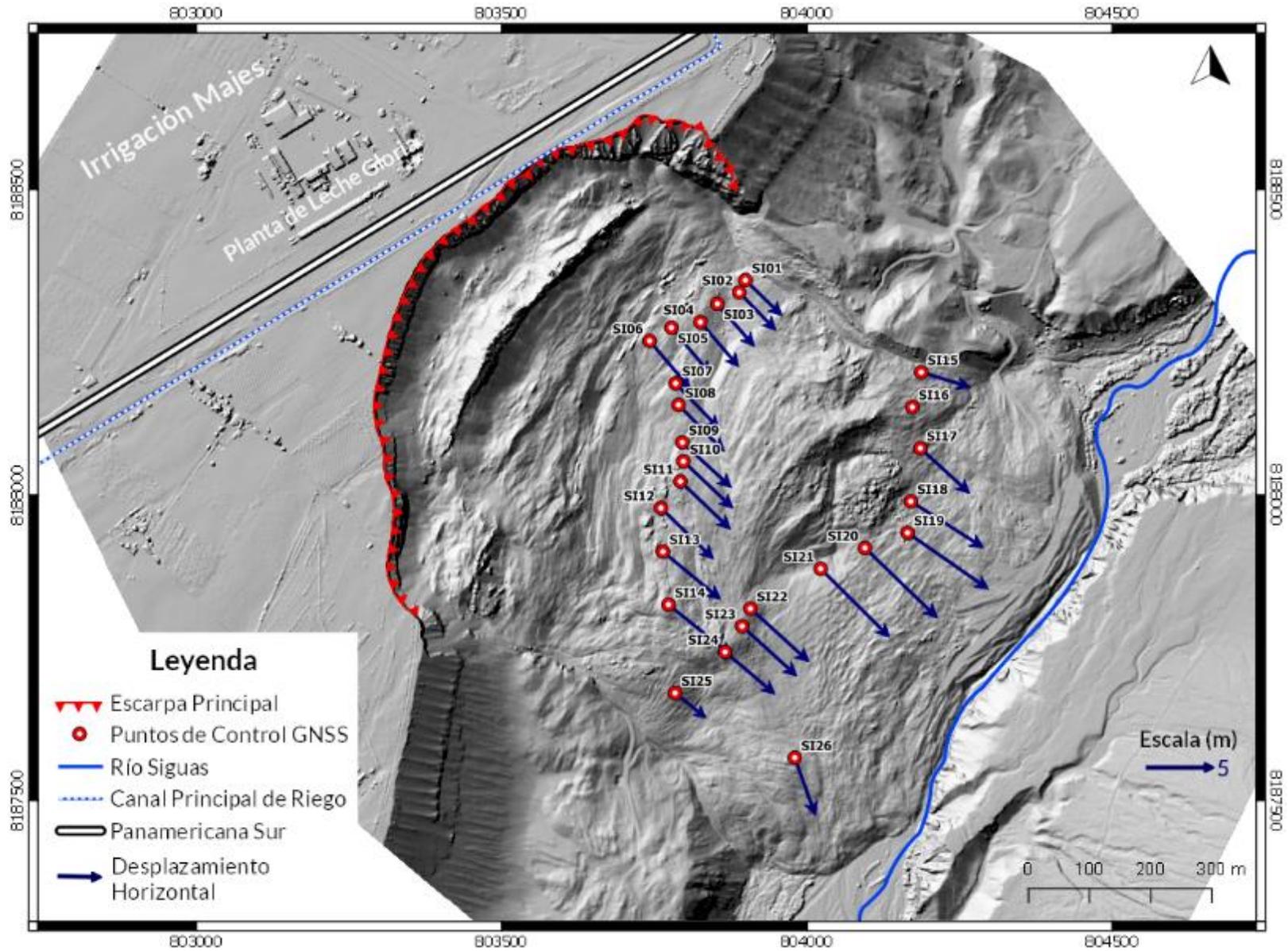
PUNTOS DE CONTROL GNSS	08/04/2021 AL 12/10/2021 (≈6.2 meses)		12/10/2021 AL 24/11/2021 (≈1.4 meses)	
	<i>D<sub>H</sub></i>	<i>V<sub>H</sub></i>	<i>D<sub>H</sub></i>	<i>V<sub>H</sub></i>
	$\Delta_{E-N}$ (m)	m/mes	$\Delta_{E-N}$ (m)	m/mes
SI01	3.13	0.50	0.59	0.41
SI02	3.23	0.52	0.63	0.44
SI03	3.47	0.56	0.65	0.45
SI04	3.61	0.58	0.70	0.49
SI05	3.73	0.60	0.71	0.50
SI06	3.83	0.61	0.73	0.51
SI07	3.83	0.61	0.77	0.54
SI08	4.01	0.64	0.76	0.53
SI09	4.10	0.66	0.78	0.55
SI10	4.16	0.67	0.82	0.57
SI11	4.19	0.67	0.86	0.60
SI12	4.42	0.71	0.92	0.65
SI13	4.59	0.74	0.88	0.61
SI14	4.96	0.80	1.01	0.70
SI15	3.17	0.51	0.59	0.41
SI17	4.09	0.66	0.79	0.55
SI18	5.22	0.84	1.07	0.75
SI19	6.05	0.97	1.15	0.80
SI20	6.17	0.99	1.17	0.82
SI21	5.96	0.96	1.13	0.79
SI22	4.85	0.78	0.91	0.64
SI23	4.52	0.73	0.88	0.62
SI24	4.00	0.64	0.77	0.54
SI25	2.55	0.41	0.34	0.24
SI26	3.73	0.60	0.74	0.51
MÍNIMO	2.55	0.41	0.34	0.24
MÁXIMO	6.17	0.99	1.17	0.82
PROMEDIO	4.22	0.68	0.81	0.57

Durante todo el periodo comprendido entre el 08 de abril y el 24 de noviembre de 2021 (≈7.7 meses) (tabla 1), el desplazamiento horizontal máximo fue de 7.34 m que corresponde al punto de control SI20. El desplazamiento mínimo fue de 2.89 m el cual pertenece al punto de control SI25. Las velocidades de desplazamiento horizontal correspondientes a estos mismos puntos fueron de 0.90 m/mes (SI20) y de 0.32 m/mes (SI25). En promedio, para este periodo, el cuerpo del deslizamiento de Alto Siguas presentó un desplazamiento horizontal de 5 metros y una velocidad de 0.62 m/mes.

Así mismo en la figura 9, se aprecia 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 Siguan) con patrones similares de desplazamiento en cada punto monitoreado. También se observa 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 2.** Desplazamiento acumulado de los puntos de control GNSS del deslizamiento de Alto Siguan. entre abril y noviembre de 2021.  $D_H$  = Desplazamiento horizontal.  $V_H$  = Velocidad de desplazamiento horizontal promedio obtenido a partir de las velocidades de la tabla 1.

PUNTOS DE CONTROL GNSS	08/04/2021 al 24/11/2021 ( $\approx 7.7$ meses)	
	$D_H$	$V_H$
	$\Delta_{E-N}$ (m)	m/mes
SI01	3.72	0.46
SI02	3.86	0.48
SI03	4.12	0.50
SI04	4.32	0.54
SI05	4.45	0.55
SI06	4.56	0.56
SI07	4.60	0.58
SI08	4.77	0.59
SI09	4.88	0.60
SI10	4.97	0.62
SI11	5.05	0.63
SI12	5.34	0.68
SI13	5.46	0.67
SI14	5.95	0.75
SI15	3.76	0.46
SI17	4.88	0.60
SI18	6.29	0.79
SI19	7.20	0.89
SI20	7.34	0.90
SI21	7.09	0.87
SI22	5.76	0.71
SI23	5.40	0.67
SI24	4.77	0.59
SI25	2.89	0.32
SI26	4.47	0.56
MÍNIMO	2.89	0.32
MÁXIMO	7.34	0.90
PROMEDIO	5.04	0.62



**Figura 9.** Mapa de Vectores mostrando el desplazamiento horizontal del deslizamiento de Sigwas del 08/04/2021 al 24/11/2021(≈7.7 meses).

## 4.2. Evolución multitemporal de la escarpa principal

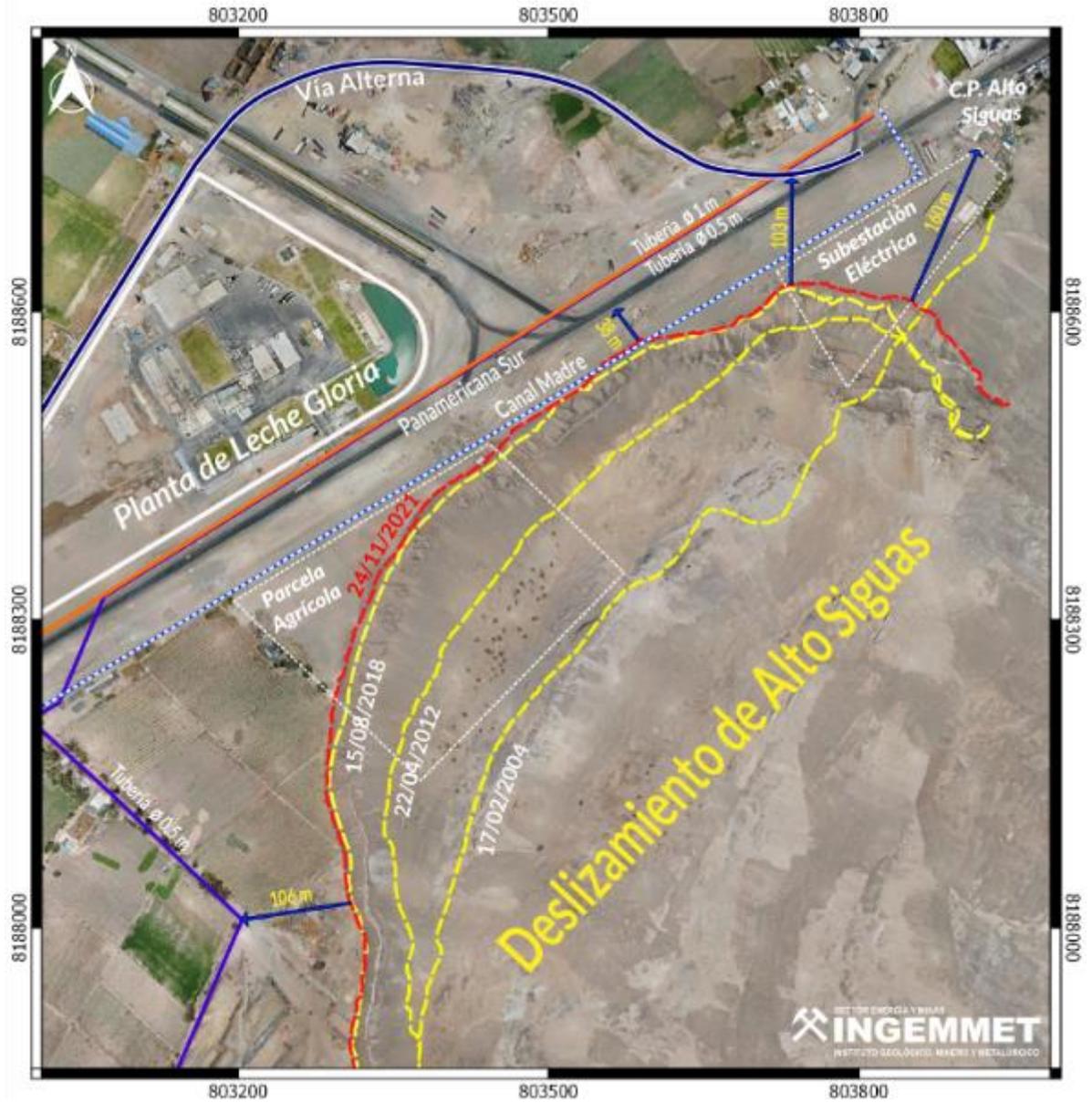
Los ortomosaicos de alta resolución obtenidos a partir de la fotogrametría aérea con drones se utilizaron para cartografiar las posiciones recientes de la escarpa principal del deslizamiento de Alto Siguas; mientras que para las posiciones históricas (anteriores al año 2018) se utilizaron imágenes satelitales. 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 del deslizamiento (figura 10).

En la figura 11, la línea roja discontinua representa la posición de la escarpa principal en noviembre 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 noviembre 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 (6) el centro poblado Alto Siguas. Por otro lado, en el distrito de San Juan de Siguas (Valle de Siguas), el constante avance del cuerpo podría provocar el represamiento del río.

En la figura 11, 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 observa que las distancias más cortas medidas desde la escarpa a la vía alterna y al centro poblado Alto Siguas son de 103 y 160 metros respectivamente.



**Figura 10.** 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 noviembre de 2021.



**Figura 11.** Fotografía aérea capturada con dron donde se muestra el sector de la escarpa principal que se encuentra más próxima a la carretera Panamericana Sur.

### 4.3. Caracterización de zonas de avance retrogresivo

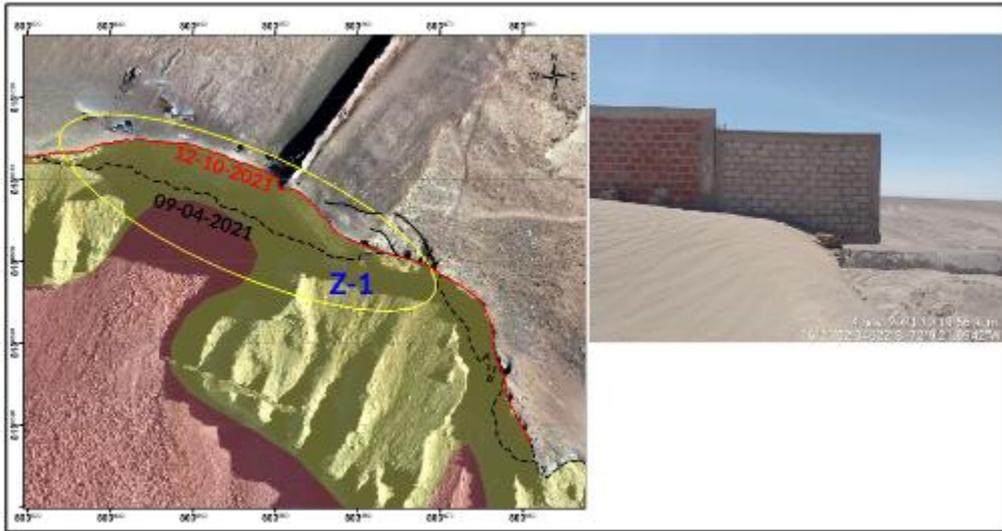
Realizando un análisis comparativo entre el ortomosaico de abril y el de octubre de 2021, se determinaron 6 zonas con actividad a manera de derrumbes (figura 12). También se observó la presencia de grietas en algunas de estas zonas.

A continuación, se detallan algunas características de estas zonas. En las figuras 13, 14, 15, 16 y 17, 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.

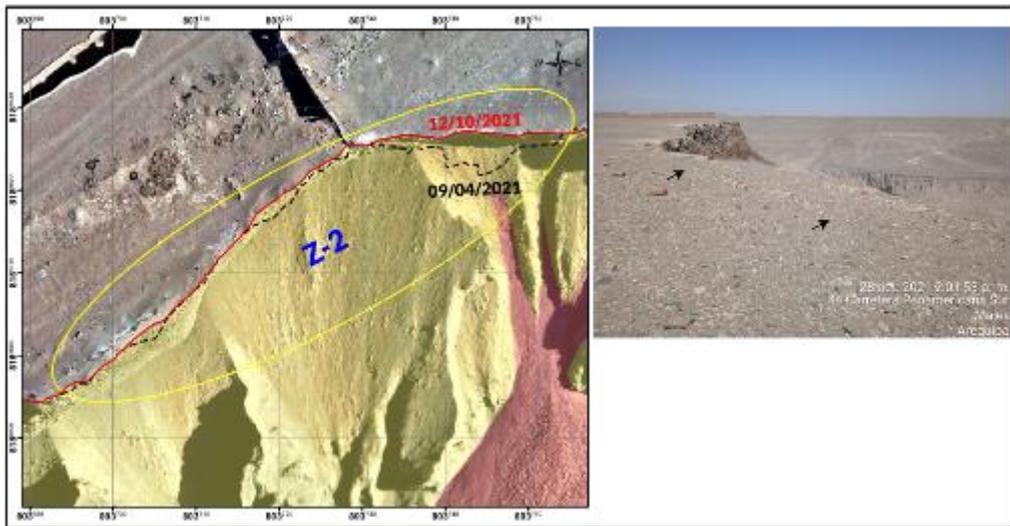


**Figura 12.** Zonas con mayor actividad (encerradas en amarillo) en la escarpa del deslizamiento.  
Periodo abril – octubre de 2021.

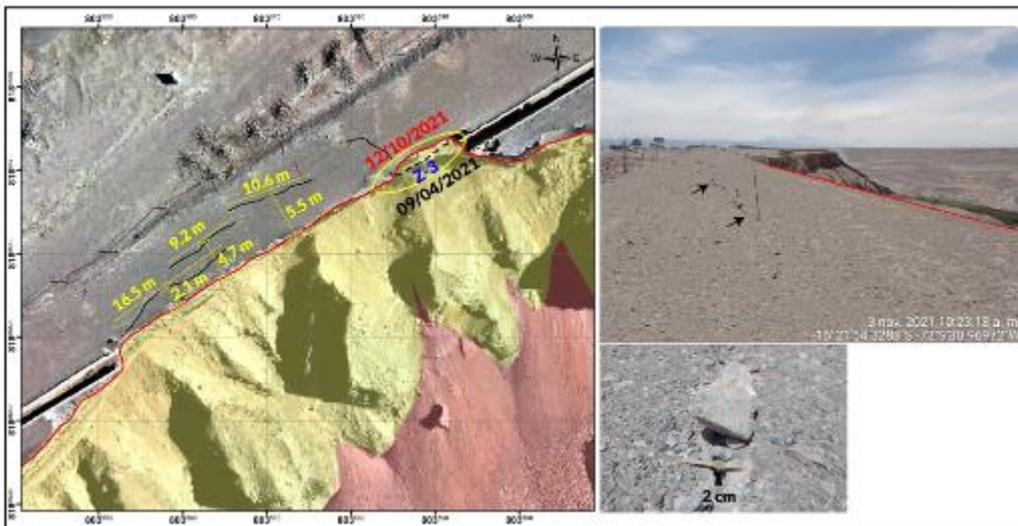
En la zona 1 (Z-1), se derrumbó un área de  $\sim 480 \text{ m}^2$  (80 m de longitud y 6 metros de ancho) y se observan grietas tensionales (figura 13). En la zona 2 (Z-2), se derrumbó un área de  $75 \text{ m}^2$  (figura 14). Así mismo en la zona 3 (Z-3), la más próxima a la Panamericana Sur, se derrumbó un área de  $10 \text{ m}^2$ . En este sector se observan grietas con longitudes entre 9 a 16 m y anchos de  $\sim 2 \text{ cm}$  a más, a una distancia máxima de 5.5 metros de la escarpa (figura 15).



**Figura 13.** 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.

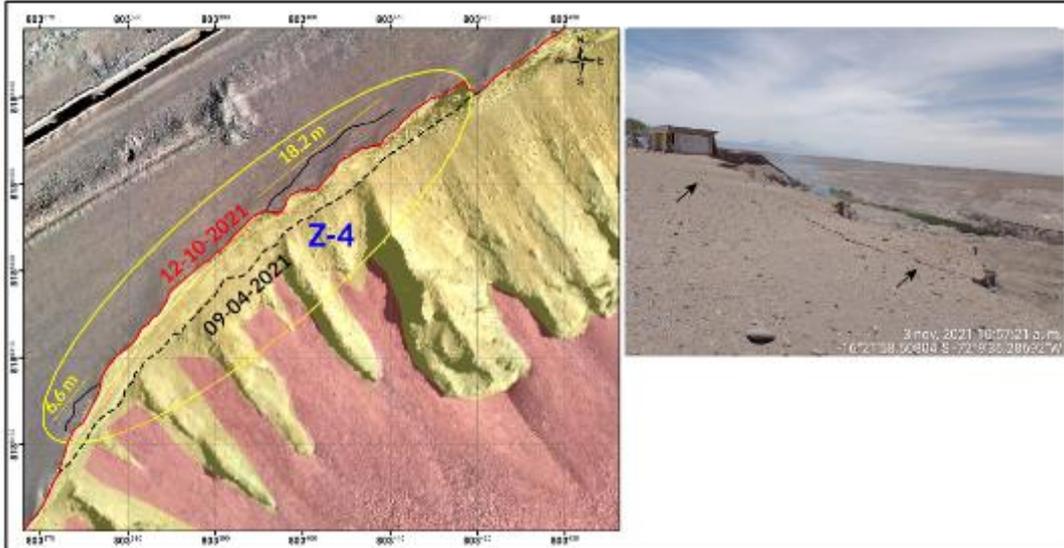


**Figura 14.** Vista de la zona 2 (Z-2). Se observa el área derrumbada limitada por la línea roja y negra discontinua.

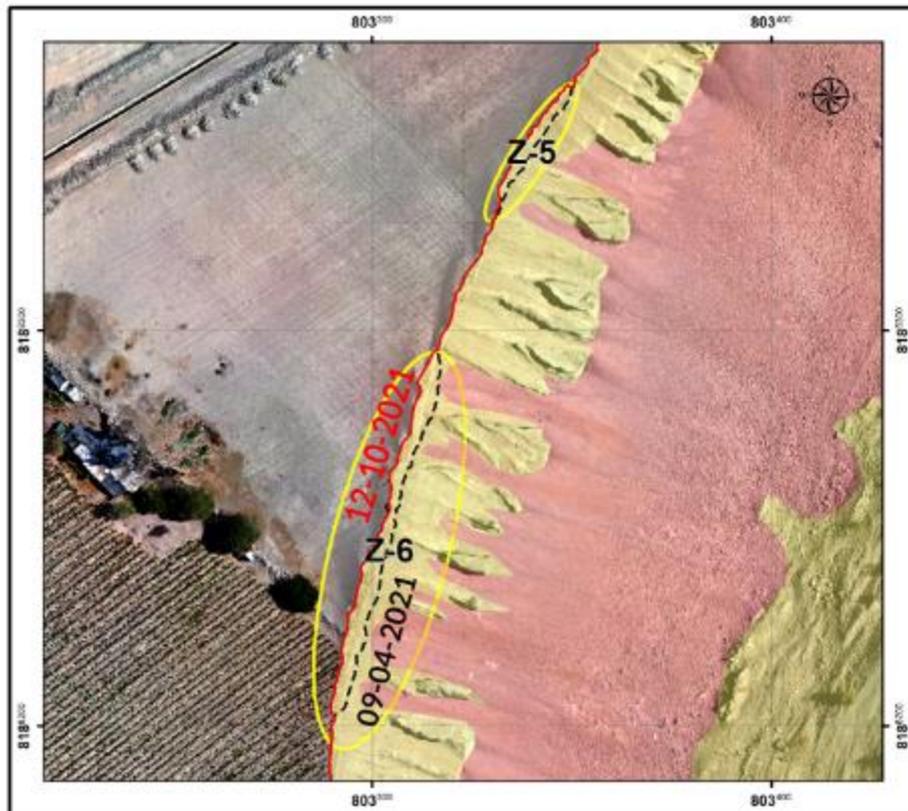


**Figura 15.** Vista de la zona 3 (Z-3). Se observa el área derrumbada limitada por la línea roja y negra discontinua. Las grietas están representadas por las líneas negras continuas.

La zona 4 (Z-4), presentó derrumbes en un área de 246 m<sup>2</sup> (64 m de longitud y un ancho de 4 m). Esta zona presenta grietas con longitud de 6 m y 18 m a una distancia de 2 m desde la escarpa (figura 16). Por último, las zonas 5 y 6 también presentaron derrumbes entre abril y octubre del 2021 (figura 17).



**Figura 16.** 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 17.** 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.

#### 4.4. Estimación del avance retrogresivo de la escarpa principal

Para determinar la estimación del avance de la escarpa principal y su consecuente afectación a la infraestructura pública y privada, se ha tomado 4 líneas de referencia: L1, L2, L3 y L4 (figura 18), las cuales atraviesan las zonas de mayor actividad mostrada en los últimos años. Estas líneas cortan, en diferentes puntos la posición histórica de la escarpa (A, B, C y D), así como su probable posición en los próximos años (E, F, G, y H) tomando como referencia:

- La carretera Panamericana Sur.
- La tubería de riego.
- La planta de Leche Gloria.
- La vía alterna y el centro poblado Alto Siguas.
- La línea de transmisión subterránea (60KV) proyectada por la empresa SEAL (figura 21).

Cada línea se divide en varios segmentos, hay segmentos de los cuales se conoce la distancia (desplazamiento retrogresivo) y el tiempo (tabla 3), representados con líneas negras entrecortadas (figura 18).

**Tabla 3.** Distancia y tiempo de los segmentos (A-B, B-C y C-D) para cada línea (L1, L2, L3 y L4) entre agosto de 2005 y noviembre de 2021.

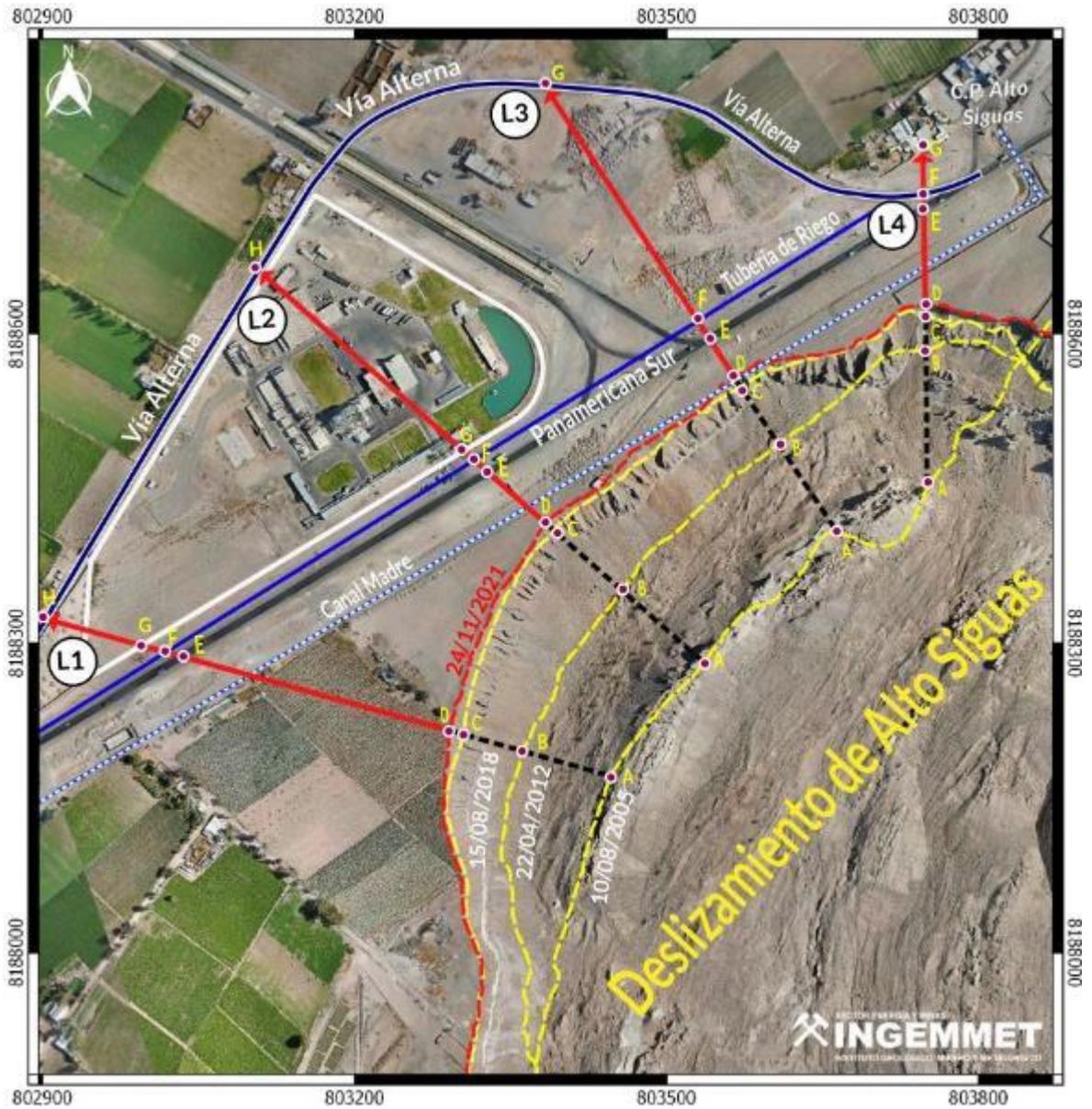
Fechas	Segmento	Tiempo (años)	Distancia (m)			
			L1	L2	L3	L4
10/08/2005 al 22/04/2012	A-B	6.7	90	104	103	133
22/04/2012 al 15/08/2018	B-C	6.3	58	88	67	35
15/08/2018 al 24/11/2021	C-D	3.3	13	10	10	10

Por otro lado, se tienen los segmentos sobre las flechas rojas (figura 18), donde se conoce la distancia y se desconoce el tiempo (tabla 4).

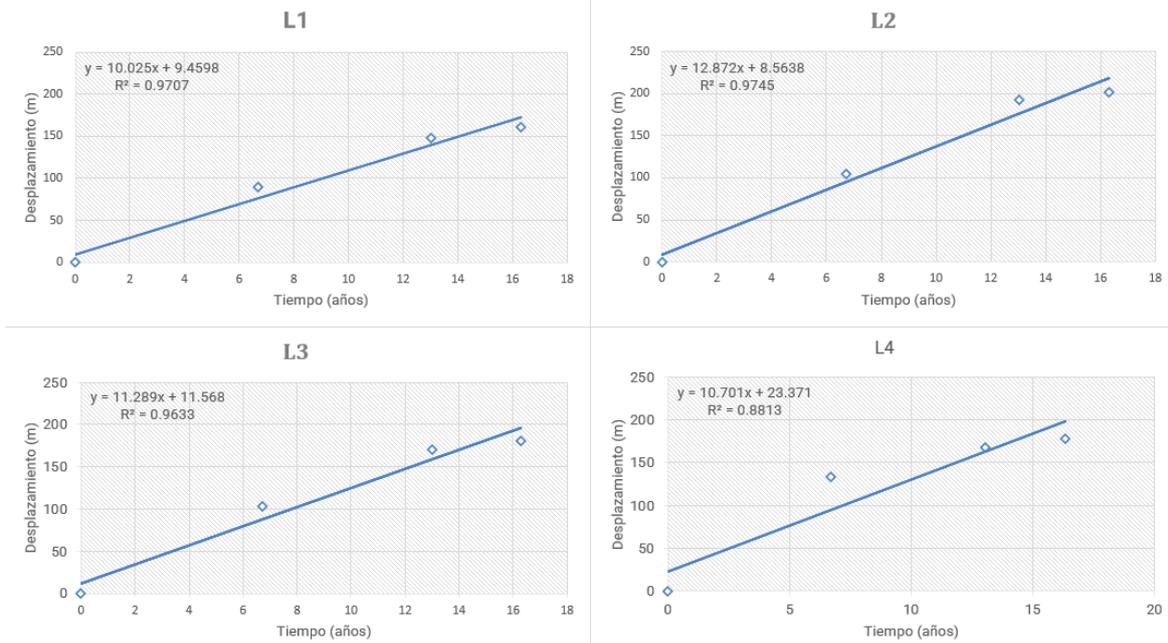
**Tabla 4.** Distancias de los segmentos D-E, D-F, D-G y D-H para cada línea L1, L2, L3 y L4.

Segmento	Distancia (m)			
	L1	L2	L3	L4
D-E	265	72	38	90
D-F	284	92	67	103
D-G	310	106	330	150
D-H	402	367	-	-

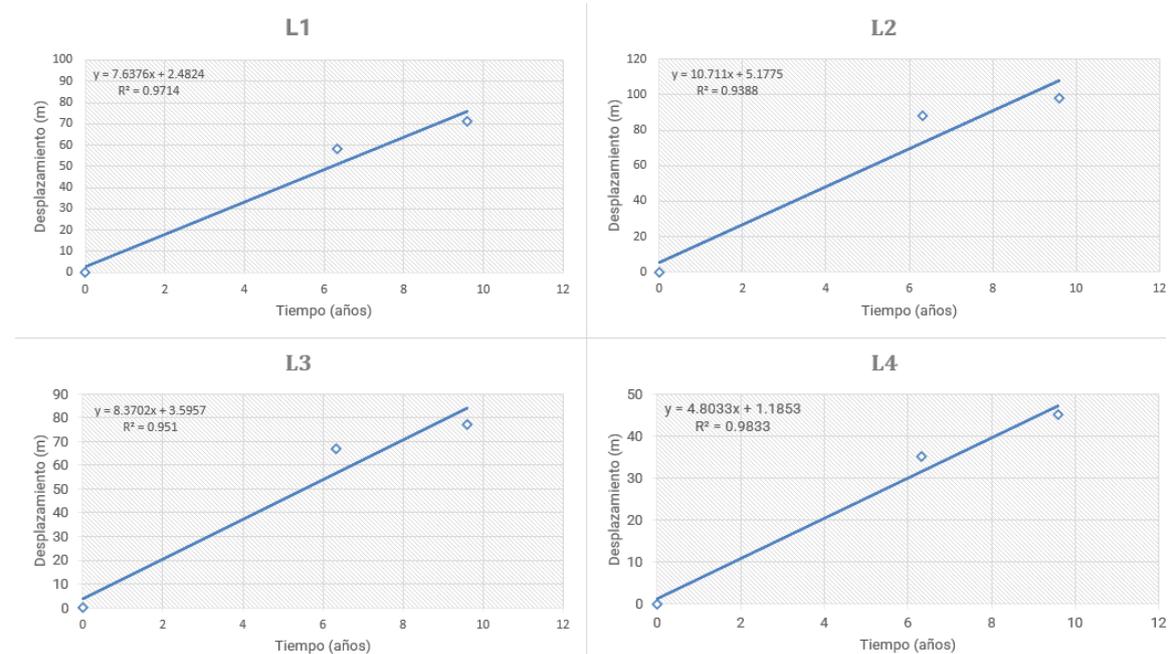
A partir de los datos de la Tabla 3 se determinaron las ecuaciones de regresión lineal (figura 19 y 20).



**Figura 18.** Proyección del avance de la escarpa principal (flechas rojas) sobre la carretera Panamericana Sur, tubería de riego, planta de Leche Gloria, la vía alterna y el centro poblado Alto.



**Figura 19.** Curvas de regresión lineal para el escenario 1. Se consideran los segmentos A-B, B-C y C-D de las líneas L1, L2, L3 y L4.



**Figura 20.** Curvas de regresión lineal para el escenario 2. Se consideran los segmentos B-C y C-D de las líneas L1, L2, L3 y L4.

Tomando en cuenta las curvas de regresión lineal (figuras 19 y 20) se calculó velocidades de 03 posibles escenarios de afectación (tabla 5). Con estos valores se estimó el tiempo de afectación a la infraestructura aledaña a la escarpa principal del deslizamiento (carretera Panamericana Sur, tuberías de riego, planta de leche Gloria y vía alterna de la Panamericana Sur) (tablas 6, 7, 8 y 9).

**Tabla 5.** Velocidades estimadas para distintos escenarios.

	Primer Escenario Ago 2005 – Nov 2021 V <sub>1</sub> (m/año)	Segundo Escenario Abr 2012 – Nov 2021 V <sub>2</sub> (m/año)	Tercer Escenario Ago 2018 – Nov 2021 V <sub>3</sub> (m/año)
L1	10.0	7.6	4.0
L2	12.9	10.7	3.0
L3	11.3	8.4	3.0
L4	10.7	4.8	3.0

**Tabla 6.** Tiempo estimado de afectación a la Carretera Panamericana Sur

	Distancia (m) Escarpa - C. Panamericana	Primer Escenario T <sub>1</sub> (años)	Segundo Escenario T <sub>2</sub> (años)	Tercer Escenario T <sub>3</sub> (años)
L1(D-E)	265	27	35	67
L2(D-E)	72	6	7	24
<b>L3(D-E)</b>	<b>38</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>12</b>
L4(D-E)	90	8	19	30

**Tabla 7.** Tiempo estimado de afectación a las tuberías de riego (que reemplazan el canal madre)

	Distancia (m) Escarpa - Tubería de Riego	Primer Escenario T <sub>1</sub> (años)	Segundo Escenario T <sub>2</sub> (años)	Tercer Escenario T <sub>3</sub> (años)
L1(D-F)	284	28	37	72
L2(D-F)	92	7	9	30
<b>L3(D-F)</b>	<b>67</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>22</b>

**Tabla 8.** Tiempo estimado de afectación a la Planta de Leche Gloria y al C. P. de Alto Sigwas. Los segmentos D-G en L1 y L2 corresponden a la distancia entre la escarpa y la Planta de Leche, mientras que el segmento D-G en L4 corresponde a la distancia entre la escarpa y el Centro Poblado de Alto Sigwas.

	Distancia (m) Escarpa - Planta y C.P. Alto Sigwas	Primer Escenario T <sub>1</sub> (años)	Segundo Escenario T <sub>2</sub> (años)	Tercer Escenario T <sub>3</sub> (años)
L1(D-G)	310	31	41	78
<b>L2(D-G)</b>	<b>106</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>35</b>
L4(D-G)	150	13	18	49

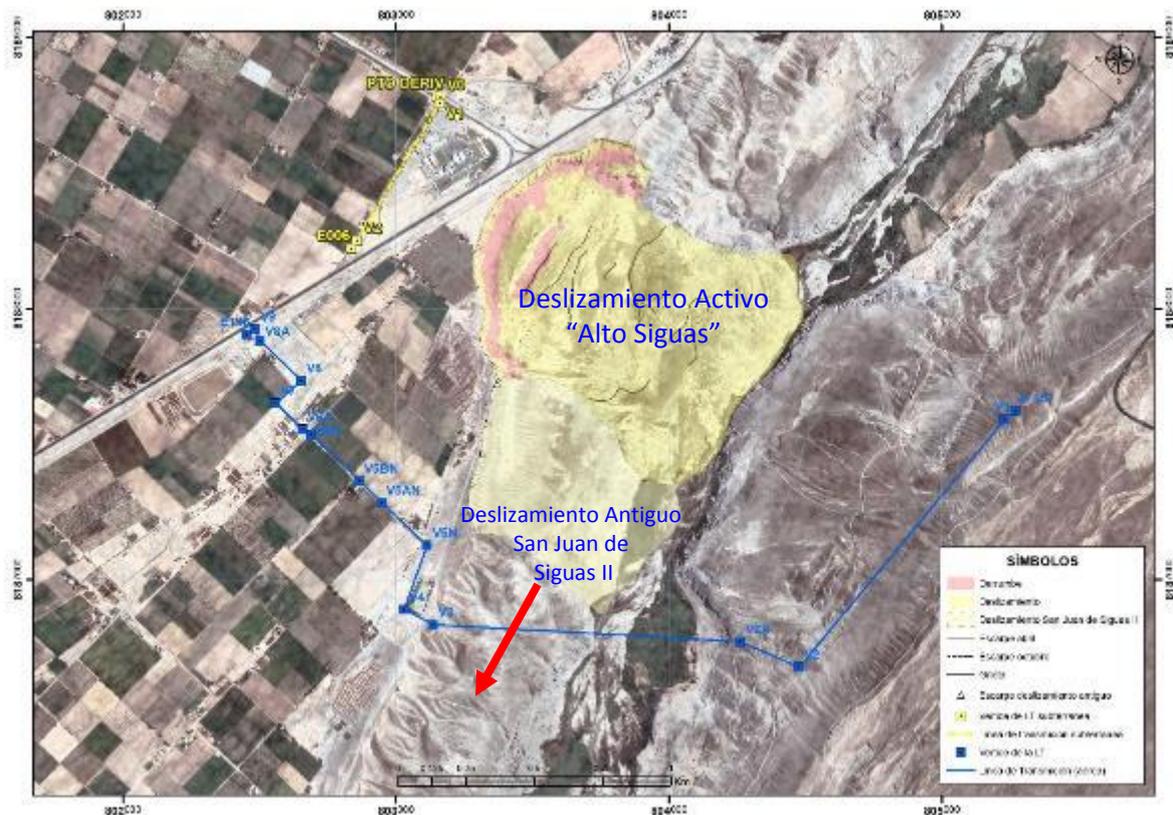
**Tabla 9.** Tiempo estimado de afectación a la vía alterna

	Distancia (m) Escarpa - Vía Alterna	Primer Escenario T <sub>1</sub> (años)	Segundo Escenario T <sub>2</sub> (años)	Tercer Escenario T <sub>3</sub> (años)
L1(D-H)	402	40	53	101
L2(D-H)	367	28	34	120
L3(D-G)	330	29	39	108
<b>L4(D-F)</b>	<b>103</b>	<b>10</b>	<b>21</b>	<b>34</b>

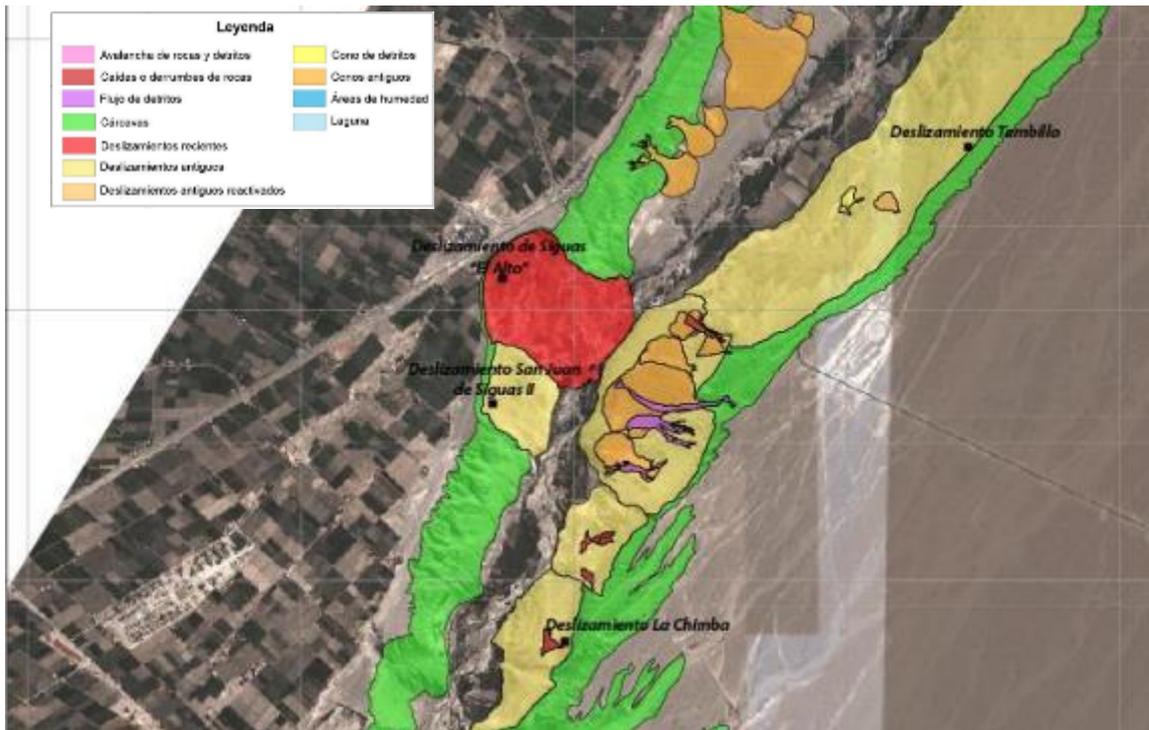
Los resultados de las tablas 6, 7, 8 y 9 muestran que de acelerar la velocidad de deformación de la escarpa del deslizamiento como en años anteriores (primer escenario), existe una alta probabilidad de que la carretera Panamericana Sur sea alcanzada por la escarpa en ~ 3 años; la tubería de riego, colocada en reemplazo del canal madre, en los próximos ~6 años; la planta de leche Gloria dentro de ~8 años; el centro poblado Alto Siguas en los próximos ~13 años y la vía alterna de la Panamericana Sur se vería afectada dentro de ~10 años (en L4).

Sin embargo, la vía alterna ubicada en las líneas de trazo L1, L2 y L3 (ver figura 18), no serían afectadas hasta los próximos ~28 a ~40 años (tabla 9). Por lo tanto, las líneas de transmisión subterránea de la empresa SEAL (60KV) (línea amarilla de la figura 21), ubicada a lo largo de la vía alterna, tampoco sería afectada en los próximos 28 años, considerando las velocidades del primer escenario.

Por otra parte, las líneas de transmisión aérea (138KV) (línea azul de la figura 21), a pesar de encontrarse lejos del área activa del deslizamiento de Alto Siguas, se encuentra cerca del deslizamiento antiguo San Juan de Siguas II (figura 21 y 22), el cual podría reactivarse. Por lo tanto, es recomendable mover el trazo de la línea de transmisión aérea entre 400m a 500m más allá del límite del flanco derecho del deslizamiento antiguo (flecha roja de la figura 21), teniendo como referencia el cartografiado de la figura 22.



**Figura 21.** Ubicación de las líneas de transmisión aérea (138KV) (línea de color azul) y subterránea (60KV) (línea de color amarillo).



**Figura 22.** Cartografiado de peligros geológicos por movimientos en masa en el valle de Sigwas.  
 Tomado de Araujo et al., 2017.

Es necesario aclarar que estas estimaciones son probabilidades de ocurrencia que pueden variar ante la presencia de factores externos que aceleren o desaceleren la velocidad de desplazamiento de la escarpa principal del deslizamiento de Alto Sigwas, tales como: las oscilaciones en el nivel freático, la actividad sísmica, el incremento del caudal del río Sigwas (que provocaría una mayor tasa de erosión en el pie del deslizamiento y por consiguiente el incremento de la velocidad de la masa deslizada), la vibración generada por los vehículos de carga pesada (mientras se siga utilizando la carretera Panamericana Sur en lugar de la vía alterna), entre otros.

## 5. CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos del monitoreo geodésico y fotogramétrico muestran que el deslizamiento de Alto Siguas se encuentra muy activo. Por lo tanto, persiste la situación de muy alto peligro por el avance progresivo de la masa deslizada (hacia el Valle de Siguas) y por el avance retrogresivo de la escarpa principal (hacia la carretera Panamericana Sur).
- De acuerdo con las mediciones GNSS, para el periodo entre abril y octubre de 2021, el cuerpo del deslizamiento de Alto Siguas presentó una velocidad promedio de 0.68 m/mes. Así mismo, para el periodo entre octubre y noviembre de 2021 presentó una velocidad promedio de 0.57 m/mes; lo que significa una desaceleración en la velocidad en comparación con el periodo anterior. Si se considera todo el periodo, entre abril y noviembre de 2021 (incluyendo las 3 mediciones en este año), la velocidad promedio fue de 0.62 m/mes. Así mismo, la dirección predominante de la masa deslizada fue hacia el sureste (en dirección al río Siguas).
- El monitoreo fotogramétrico muestra que la escarpa del deslizamiento de Alto Siguas presenta un avance retrogresivo y amenaza con continuar destruyendo infraestructura cercana. Después de la destrucción de un tramo del canal madre de irrigación, la Panamericana Sur es la siguiente infraestructura que sería destruida por el comportamiento activo del deslizamiento, la cual actualmente se encuentra a solo 38 metros de su escarpa principal.
- A condiciones extremas o velocidad de deformación rápida de la escarpa del deslizamiento, la carretera Panamericana Sur sería alcanzada en ~3 años, la tubería de riego en los próximos ~6 años, la planta de leche Gloria dentro de ~8 años, el centro poblado Alto Siguas en los próximos ~13 años. Y la vía alterna de la Panamericana Sur en ~ 28 años (en L2) y 10 años (en L4) (figura 18).
- Las líneas de transmisión subterránea de la empresa SEAL (60KV) no sería afectada en los próximos ~28 años, considerando velocidades de deformación rápidas (primer escenario, tabla 5). Mientras que el trazo de las líneas de transmisión aérea (138KV) se encuentra fuera del deslizamiento activo de Alto Siguas y cerca del deslizamiento antiguo San Juan de Siguas II el cual podría reactivarse.

## 6. 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.
- Alejar el trazo de la vía alterna entre el segmento L3 – L4 (figura 18).
- De acuerdo a las estimaciones realizadas (ver el apartado: 4.4. ESTIMACIÓN DEL AVANCE RETROGRESIVO DE LA ESCARPA PRINCIPAL), en el hipotético caso de que la escarpa principal del deslizamiento de Alto Sigwas alcance la vía alterna, el tramo de esta vía que está ubicado detrás de la Planta de Leche Gloria, donde se tiene proyectado la reubicación de las líneas de transmisión subterránea, sería alcanzado dentro de 28 años (tomando en cuenta el peor escenario). Por lo tanto, antes de ejecutar este proyecto se debe evaluar si su vida útil se encuentra dentro de este tiempo.
- Mover el trazo de la línea de transmisión aérea (138KV) entre 400 m a 500 m al suroeste del límite del flanco derecho del deslizamiento antiguo San Juan de Sigwas II, tomando en cuenta el cartografiado del valle de Sigwas (figura 21 y 22).
- Restringir el acceso de 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 multiparamétrico del deslizamiento de Alto Sigwas.

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

  
Ing. DULIO GOMEZ VELASQUEZ  
Especialista en Peligros Geológicos

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araujo, G., Valderrama P., Taípe, E., Huarez, C., Díaz, J., Miranda, R. (2017), 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., (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



**Foto 5.** Fotografía panorámica del deslizamiento de Alto Sigwas capturada con dron el 12/10/2021. Nótese los términos utilizados en el presente informe.



**Foto 6.** 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