

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7032

MONITOREO DEL DESLIZAMIENTO ALTO SIGUAS, PERIODO 2018 - 2019

Región Arequipa
Provincias Caylloma, Arequipa
Distritos Majes, San Juan de Sigwas



MARZO
2020

CONTENIDO

RESUMEN.....	2
1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1. Ubicación.....	3
1.2. Objetivo.....	4
1.3. Antecedentes	4
2. MONITOREO	4
2.1. Receptores GNSS Diferencial	4
2.2. Estación GNSS CORS.....	8
2.3. Fotogrametría con DRONE.....	11
3. CONCLUSIONES.....	14
4. RECOMENDACIONES.....	14
BIBLIOGRAFÍA	

RESUMEN

El deslizamiento de Sigwas, es uno de los movimientos en masa más activos y peligrosos del Perú. Localizado en el flanco derecho del valle del río Sigwas, aproximadamente a 4.5 km al NW del pueblo de “El Pedregal” provincia de Caylloma, región Arequipa. Este movimiento en masa es complejo debido a que inicialmente se comportó como un deslizamiento rotacional retrogresivo para actualmente generar la ocurrencia permanente de derrumbes y/o caída de bloques en su escarpa principal. La misma que tiene 1.4 km de longitud y un salto de 70 m (Araujo G., et al, 2017). Se estima un volumen de 34 millones de metros cúbicos desde sus orígenes en 1997 al 2016 (19 años). Su evaluación y monitoreo es de importancia debido a que este deslizamiento destruyó y amenaza con destruir infraestructuras de interés nacional siendo una de ellas la Panamericana Sur y el canal de Irrigación del proyecto Majes Sigwas I, que a la fecha colapsó 37 metros.

En noviembre del 2018 la escarpa principal del deslizamiento de Sigwas se ubicaba a 44 metros de la Panamericana Sur, sin embargo los altos valores de desplazamiento en el cuerpo del deslizamiento y la afectación retrogresiva de la escarpa principal en la parte alta del valle, se acercan a un futuro escenario de destrucción definitiva del corte principal de la carretera Panamericana Sur. En agosto del 2016 el deslizamiento de Sigwas fue declarado en emergencia después de ser denominado en PELIGRO INMINENTE (Araujo G., et al. 2016).

Majes – El Pedregal es uno de los sectores económicamente más importantes del Perú en el sector agrícola, ganadero e industrial. El continuo efecto destructivo que el deslizamiento de Sigwas causa es perjudicial para la economía y calidad de vida de los habitantes de este sector. Por lo tanto el estudio y monitoreo permanente del deslizamiento de Sigwas es indispensable como medida de Mitigación.

Frente a esta necesidad, el INGEMMET a través de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR), viene realizando desde el 2014 el monitoreo del deslizamiento de Sigwas a través de un sistema de monitoreo integrado, con el uso de GPS-Diferencial de alta precisión, fotogrametría e imágenes de satélite. Metodologías que permiten conocer el desplazamiento de la masa deslizada de manera trimestral y a tiempo real con el objetivo de calcular cualitativa y cuantitativamente la evolución del deslizamiento activo. El presente informe ‘A7032’ se pone a disposición de 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, haciendo alcance de los últimos resultados de monitoreo del deslizamiento de Sigwas que se tiene hasta la fecha.

1. INTRODUCCIÓN

Desde el 2016, el INGEMMET mediante la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, en colaboración con el Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD), viene realizando el estudio y monitoreo del deslizamiento de Sigwas, con el objetivo de entender su dinámica y procesos asociados.

1.1. Ubicación

El deslizamiento de Sigwas se encuentra emplazado en la margen derecha del río Sigwas, afectando directamente a parte de los distritos Majes y Sigwas pertenecientes a las provincias Caylloma y Arequipa respectivamente, en la región Arequipa (figura 1).

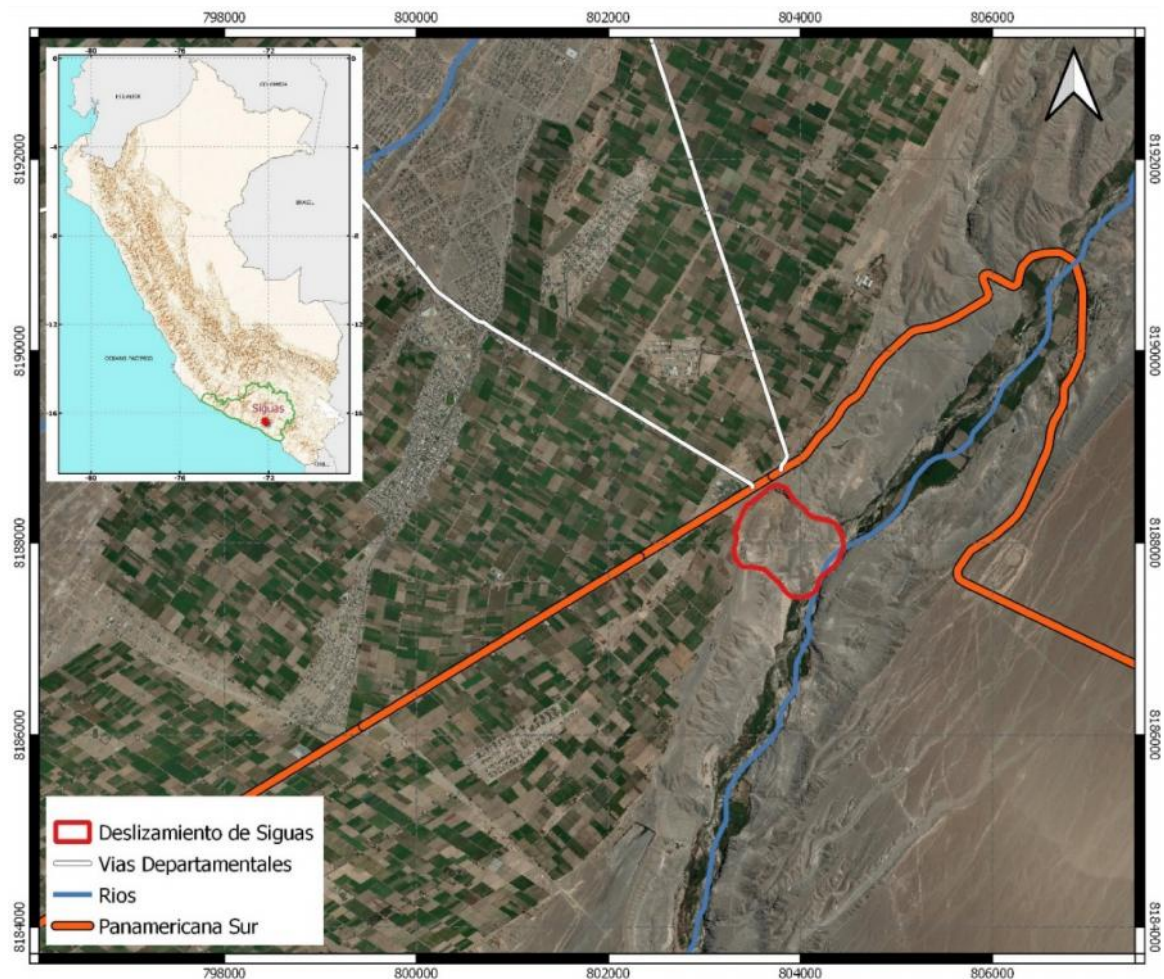


Figura 1. Ubicación del deslizamiento de Sigwas.

1.2. Objetivo

El objetivo de este reporte es el de dar a conocer el desplazamiento horizontal y vertical acumulado, así como la velocidad de desplazamiento de la masa deslizante a través de la red de puntos de control GNSS y productos fotogramétricos con datos actualizados para el periodo 2019.

1.3. Antecedentes

Al culminar la primera etapa del proyecto Majes Sigvas I, se dio inicio a la irrigación de las Pampas de Majes en el año 1982. Es con ello que el volumen de agua utilizada para el riego de cultivos supera los límites del volumen de agua recomendados por el ANA y PROFONUA. Esta característica, asociada a las condiciones geológicas poco favorables del área de estudio, genera filtraciones y desestabilización de suelos desencadenando la ocurrencia y activación de movimientos en masa, sobre la extensión de la margen derecha del valle de Sigvas.

Este proceso geológico afecta directamente la calidad de vida socio económica de uno de los poblados más habitados del distrito de Majes, al mismo tiempo viene destruyendo infraestructura pública y privada a su paso, siendo estos: Un tramo del Km. 920+000 – 921+400 de la carretera Panamericana Sur, el canal de irrigación Majes Sigvas I, parcelas de cultivos, la subestación eléctrica de la SEAL y la planta de la empresa Leche Gloria.

2. MONITOREO

Para hacer un seguimiento básico a este deslizamiento se propuso emplear dos técnicas; emplear receptores GNSS (diferencial y CORS) y fotogrametría con drones.

2.1. Receptores GNSS Diferencial

Esta técnica utiliza dos receptores GNSS operando de manera simultánea, la base se instala en un punto conocido y estable, en esta se calcula el error en el posicionamiento y se transmite al receptor móvil mediante radio UHF para su corrección, con ello se obtienen las coordenadas finales de cada punto ocupado.

Es así que para implementar el monitoreo con esta técnica se ha diseñado una red de puntos de control (marcas en el suelo) en el deslizamiento. En la figura 2 se muestra la distribución de los 30 puntos de control distribuidos en el cuerpo del deslizamiento y uno (BASE) en zona estable. El equipo utilizado para el levantamiento corresponde al sistema GNSS integrado Trimble modelo R10. Esta red esta referenciada con Datum WGS 1984, Zona 18 S, y usa el modelo geoidal global EGM 08.

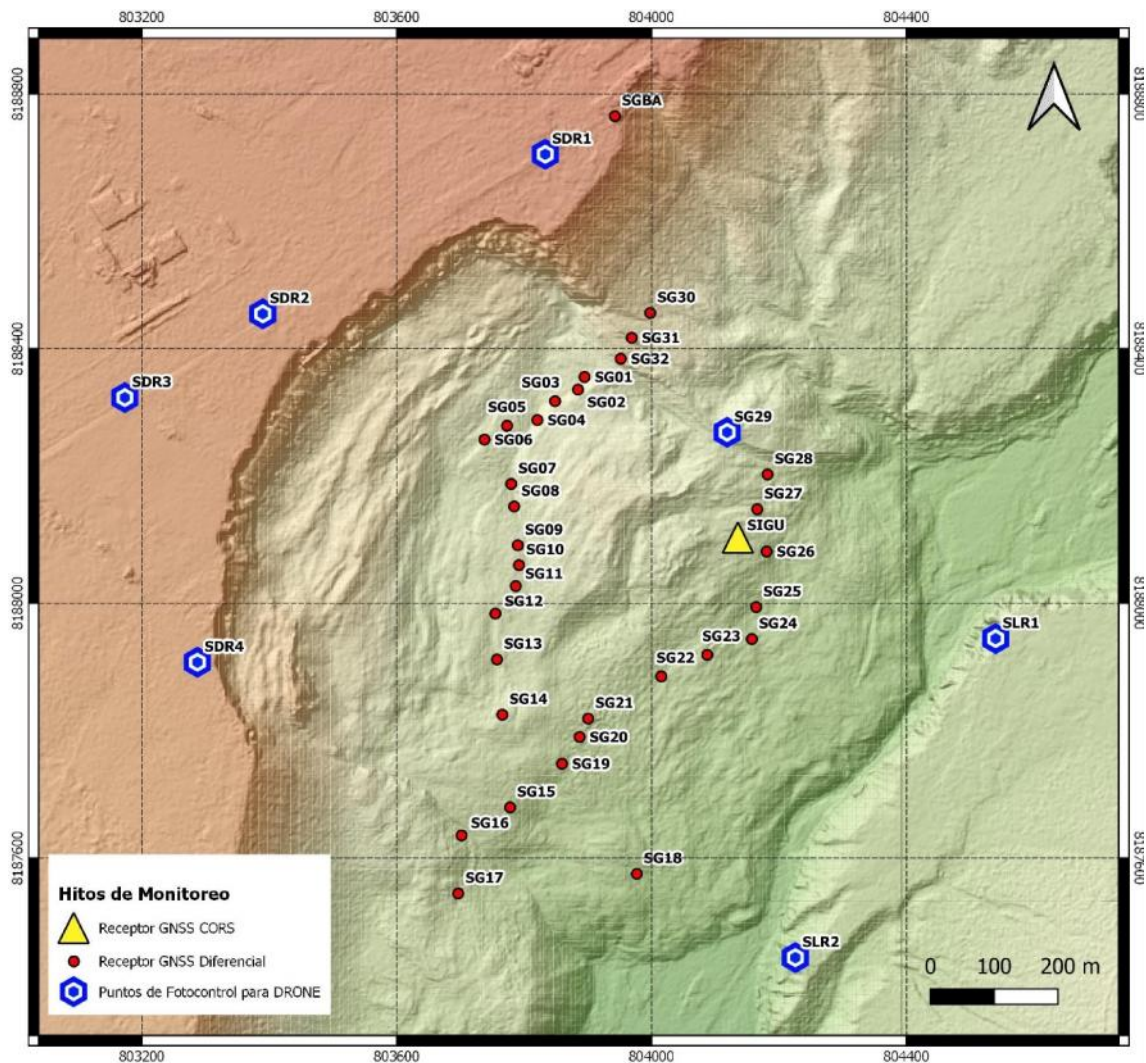


Figura 2. Red de hitos para el monitoreo de deformación en el deslizamiento de Siguas

Los resultados obtenidos correspondientes a los valores de los desplazamientos horizontales (E, N) y verticales (Z), así como, la magnitud de los vectores de desplazamiento y velocidad para cada uno de los 30 puntos GNSS de la red de monitoreo geodésico entre campañas, se muestran en la figura 3, en estos gráficos denominados series temporales de desplazamiento, se presentan los desplazamientos

de cada punto representando por líneas de diferentes colores en las tres componentes.

Las curvas mostradas en los gráficos de la figura 3 muestran que hay un claro desplazamiento en dirección Sureste, con magnitudes que alcanzan hasta 16 metros en un año, lo que se interpreta como una velocidad de ~ 1.2 metros por mes, no se han identificado periodos de aceleración, lo que significa a su vez que este proceso mantienen niveles de desplazamiento constantes. Así mismo, se infiere que no han ocurrido factores externos que influyan en este deslizamiento, de manera que cabe resaltar que las precipitaciones pluviales no son un factor desencadenante de remociones en masa en el valle de Sigua, debido a que el área de estudio está clasificada como un sector desértico desecado subtropical (Holdridge, 1947), con precipitaciones de ≈ 0.1 l/m² a ≈ 6 l/m² según el SENAMHI.

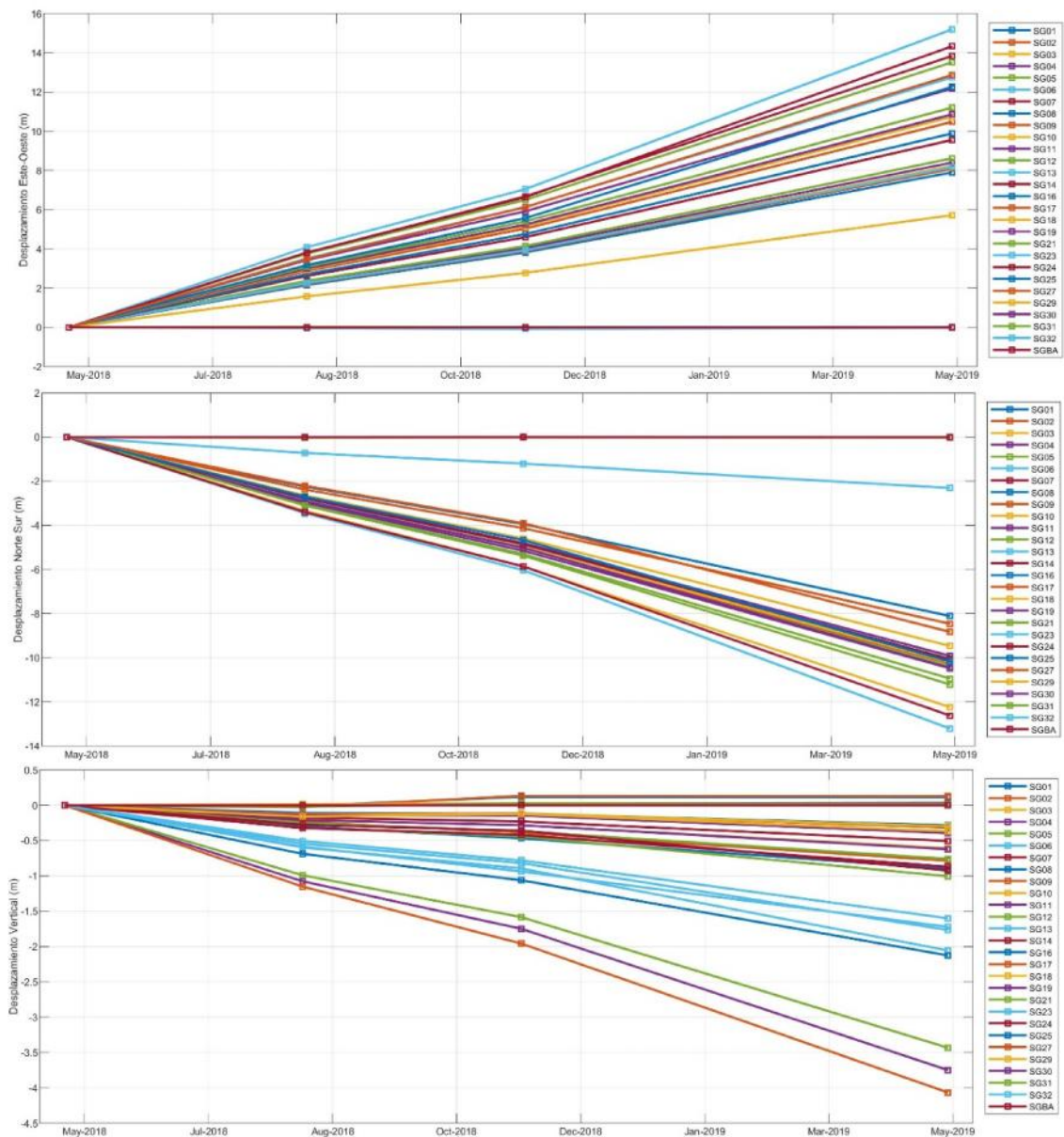


Figura 3. Series temporales de posición para las tres componentes en cada uno de los hitos de monitoreo.

Para entender mejor el comportamiento de desplazamiento en cada hito de monitoreo respecto a la geodinámica de este proceso geológico se ha preparado un mapa de campo de vectores de desplazamiento, en este mapa se presentan vectores para cada hito, esto vectores indican la dirección y magnitud del desplazamiento horizontal en la figura 4 y el desplazamiento vertical en la figura 5.

Se nota claramente la dirección hacia el sureste y las magnitudes de la velocidad no sobrepasan los 2 metros por mes, siendo la zona baja central respecto del cuerpo deslizante, la de mayor magnitud. De igual manera para el desplazamiento vertical la zona baja es la que presenta una velocidad de subsidencia de hasta 0.8 metros por mes, mientras que la zona intermedia es mucho menor llegando en algunos puntos solo hasta 0.2 metros por mes.

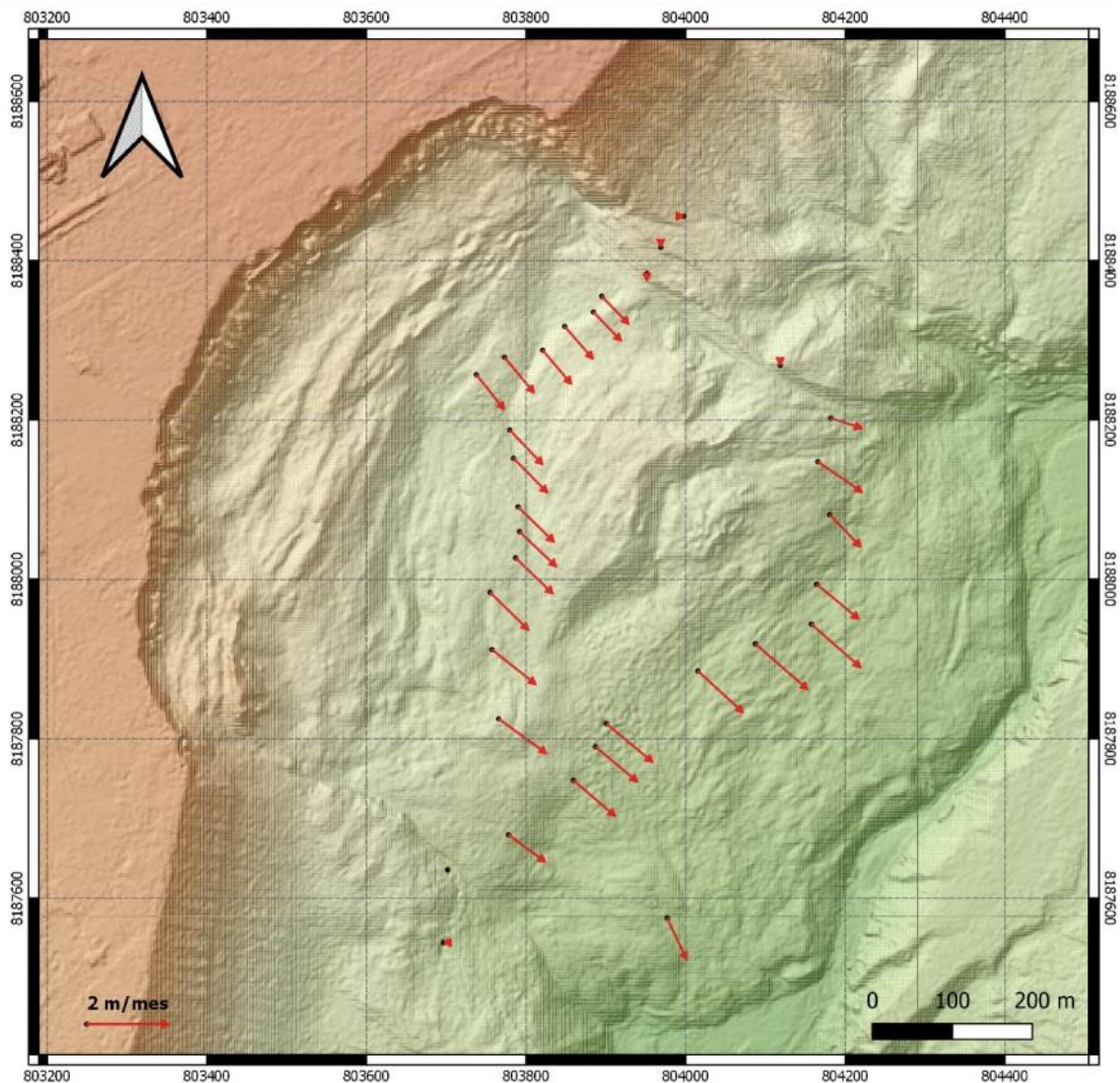


Figura 4. Mapa de vectores de desplazamiento horizontal del deslizamiento de Sigüas, para el 2019.

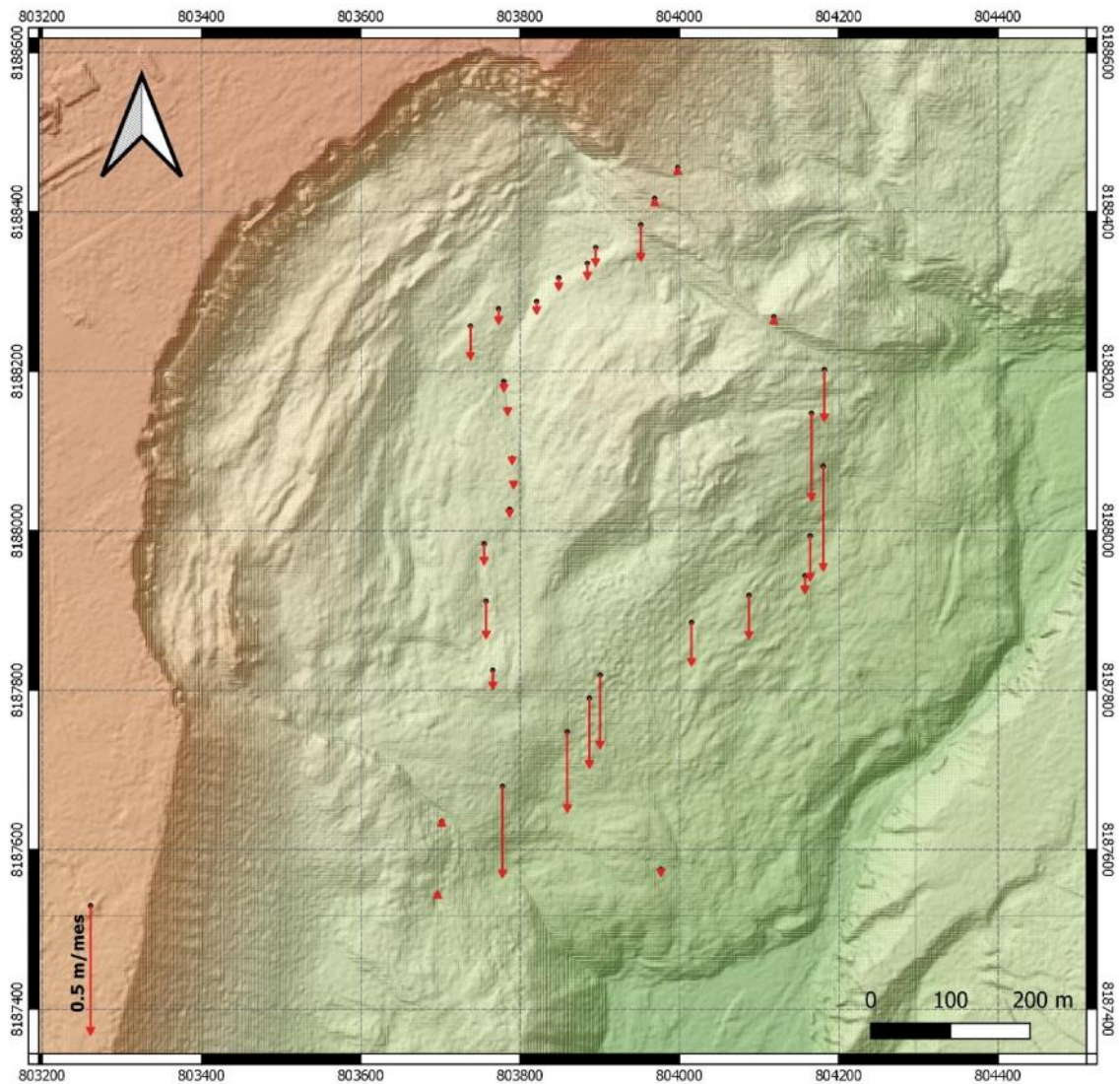


Figura 5. Mapa de vectores de desplazamiento vertical del deslizamiento de Sigvas, para el 2019.

2.2. Estación GNSS CORS

En el deslizamiento de Sigvas se ha instalado en una caseta de concreto (figura 6) un receptor GNSS permanente, marca TOPCON modelo GB 1000, con antena de doble frecuencia A100, alimentada eléctricamente mediante paneles solares y baterías. Estos equipos se instalaron con la finalidad de conocer el desplazamiento continuo y si este está influenciado por factores externos como los sismos, incremento del caudal de río, medidas de reducción del acuífero, etc.



Figura 6. Estación GNSS de registro continuo y transmisión en tiempo real, dentro de una caseta de concreto.

La estación GNSS CORS nos permite conocer de manera continua el desplazamiento del punto donde fue instalado. En la figura 7 se muestra los resultados obtenidos con el monitoreo del deslizamiento, presentándose las series temporales de las tres componentes. Tal como se observa en tal figura, los desplazamientos tienen una tendencia lineal. Esto significa que el desplazamiento es permanente a una velocidad constante, no se observan saltos ni cambios importantes en la pendiente lo que nos indica que no hubo durante este año una desaceleración (continúa muy activo) ni aceleración (por efecto de sismos u otro factor externo).

En términos de cuantificar el desplazamiento el punto donde se instaló la estación SIGU se deslizó 6 m hacia el sur, 10 metros hacia el Este y presentó un levantamiento de 7 metros, en un periodo de un año y todo a un promedio de velocidad constante, es decir no ha habido eventos externos como los sismos (líneas verticales rojas en la figura 7) que hayan influido en la tasa de desplazamiento.

Así mismo, queda claro que la precipitación es un factor ajeno a la activación y reactivación de este proceso, ya que esta es una zona desértica con eventuales periodos de lluvia (figura 8).

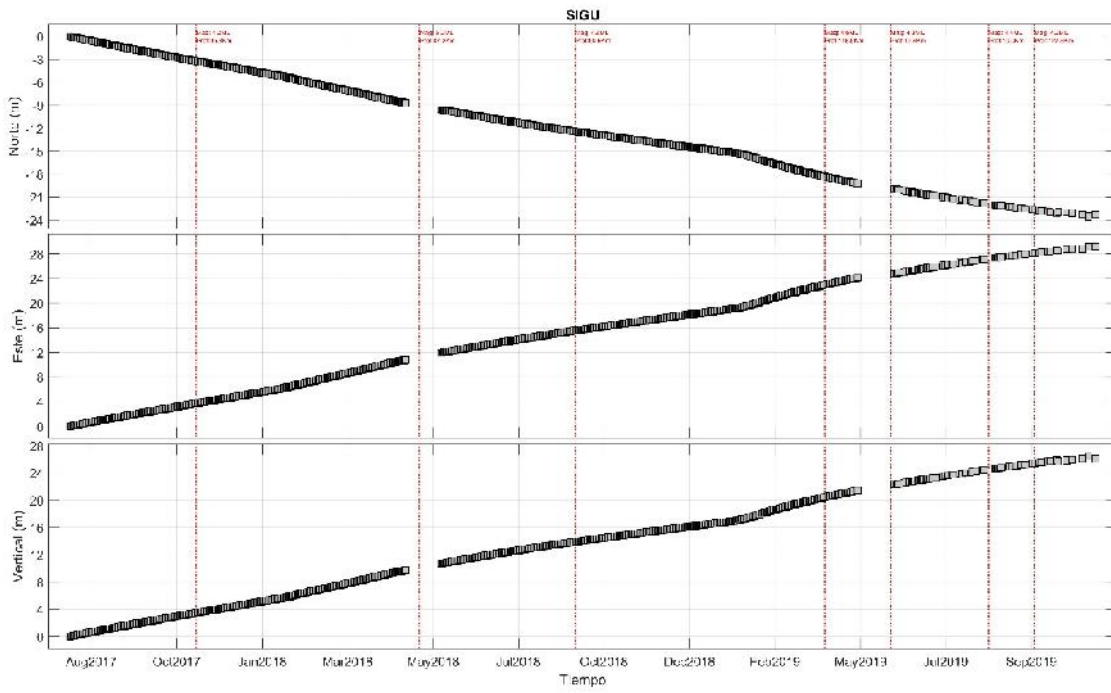


Figura 7. Serie temporal de posición de la estación permanente instalada en el deslizamiento de Siguan (estación SIGU).

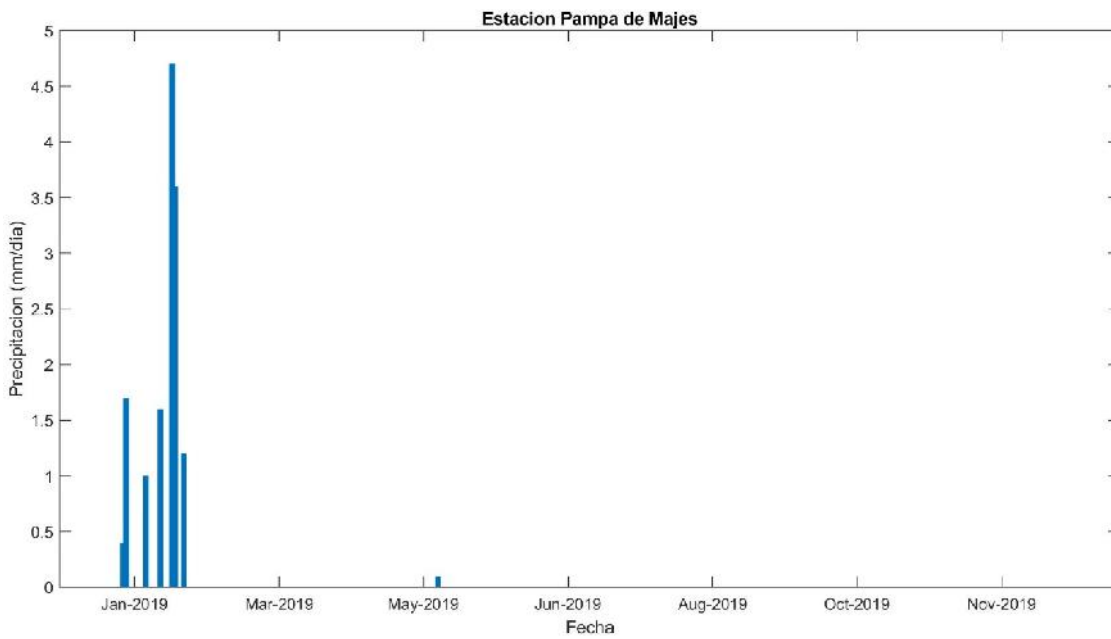


Figura 8. Histograma de precipitación registrada por la estación (fuente SENAMHI).

2.3. Fotogrametría con DRONE

Se ha utilizado vehículos aéreos no tripulados (DRONE) especializados en fotogrametría, estos fueron el dron eBee Plus de la marca SenseFly y el dron Phantom 4 Pro de la marca DJI.

Para el proceso fotogramétrico se utilizó la técnica SfM (Structure from Motion) (figura 9) implementado en el software AGISOFT PHOTOSCAN 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 necesarios para un análisis de la morfología.

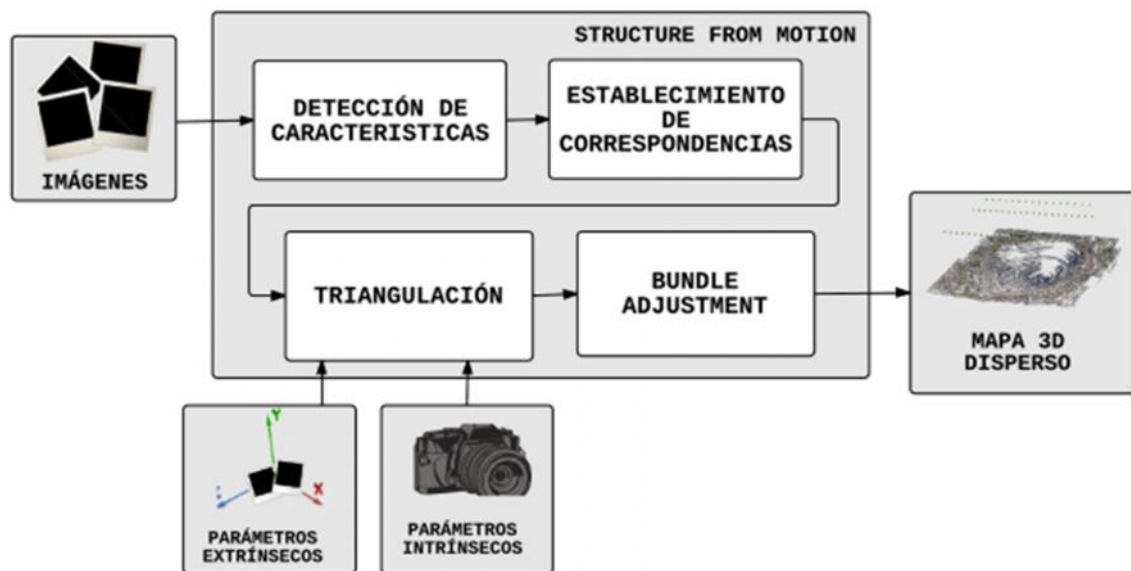


Figura 9. Esquema general de generación de mapas de nube de puntos dispersa (Structure from Motion).

Durante el año 2019, se realizaron 2 levantamientos fotogramétricos, la primera campaña en mayo y la segunda en julio, ambas cubriendo toda el área deslizante, logrando con este trabajo obtener dos DEM de una resolución de 8 cm/píxel.

Esta información tiene dos finalidades, la primera comparar todos los DEM, para identificar las zonas de mayor y menor desplazamiento, con ello se complementa la información que nos brindan los hitos de monitoreo puntual, se reduce así el efecto de aliasing espacial que son inherentes al monitoreo con receptores GNSS, y la segunda finalidad es para tener mejor detalle en el seguimiento del avance de la escarpa principal.

En la figura 10, se presenta el resultado de la comparación de los dos DEM obtenidos en el 2019 y uno del 2018 (15/08/2018), es decir hay un periodo de 11 meses de análisis. El mapa en esta figura muestra que la zona deslizante tiene una importante actividad con sectores de levantamiento y hundimiento muy claros y estos están alineados con las estrías transversales a la dirección del movimiento, se nota también que todo el cuerpo es muy activo y está delimitado por la escarpa principal en la cabecera, las escarpas menores en los flancos y el río Siguas en la parte del pie del deslizamiento.

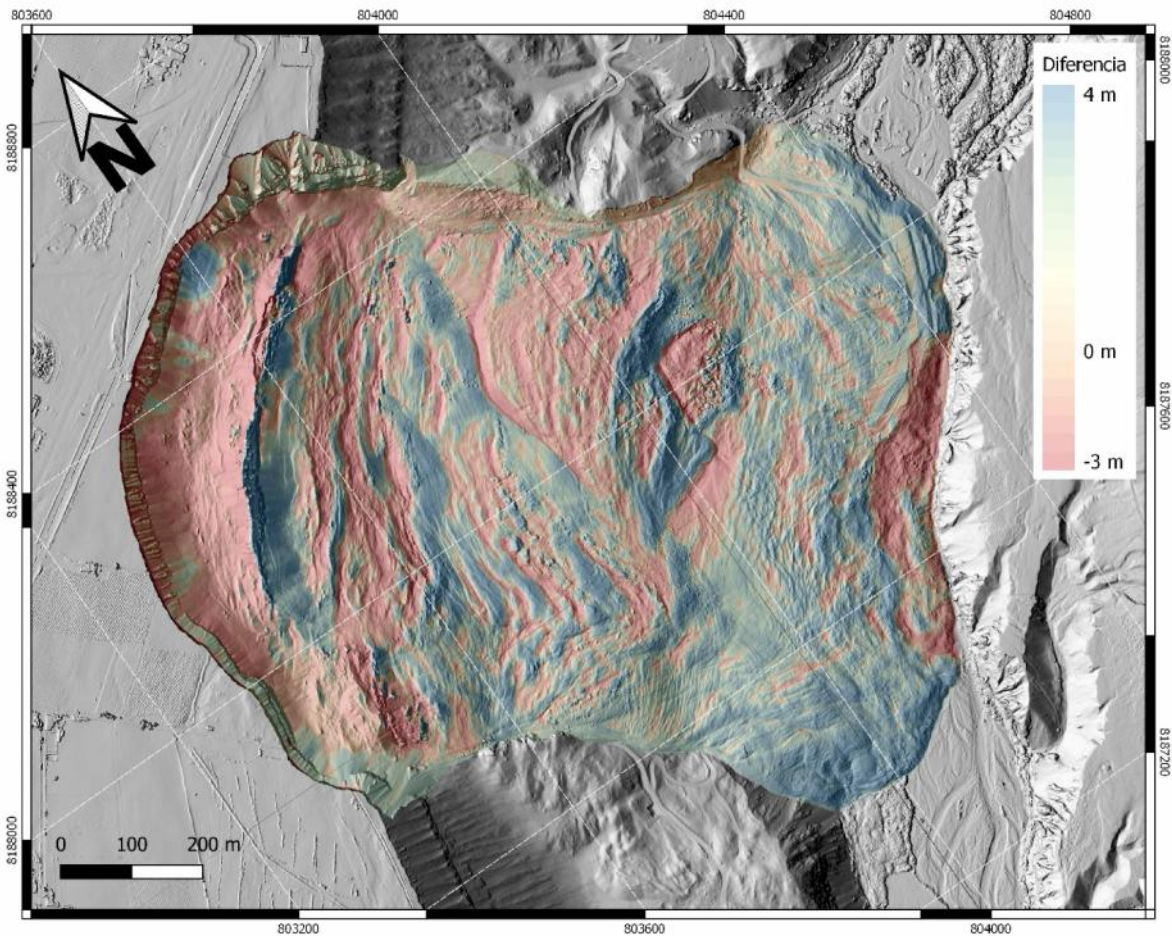


Figura 10. Resultados de la diferencia de Modelos digitales de elevación de terreno calculados mediante fotogrametría con drones.

Por otro lado, para el seguimiento del avance de la escarpa principal, se presenta el mapa de la figura 11, este se puede ver el orto mosaico calculado para la última campaña (julio de 2019), sobre este se han colocado la delimitación de la escarpa para esa fecha y la delimitación de la escarpa para agosto de 2018. En 11 meses de avance la escarpa principal no ha tenido diferencias importantes, el máximo avance fue de 10 metro y esta se ubica en el segmento norcentral (ver flecha amarilla), sobrepasando la estructura del canal de regadío (el cual ya fue inhabilitado). La infraestructura más próxima es la Carretera Panamericana la cual se encuentra a solo 40 metros de la escarpa principal.

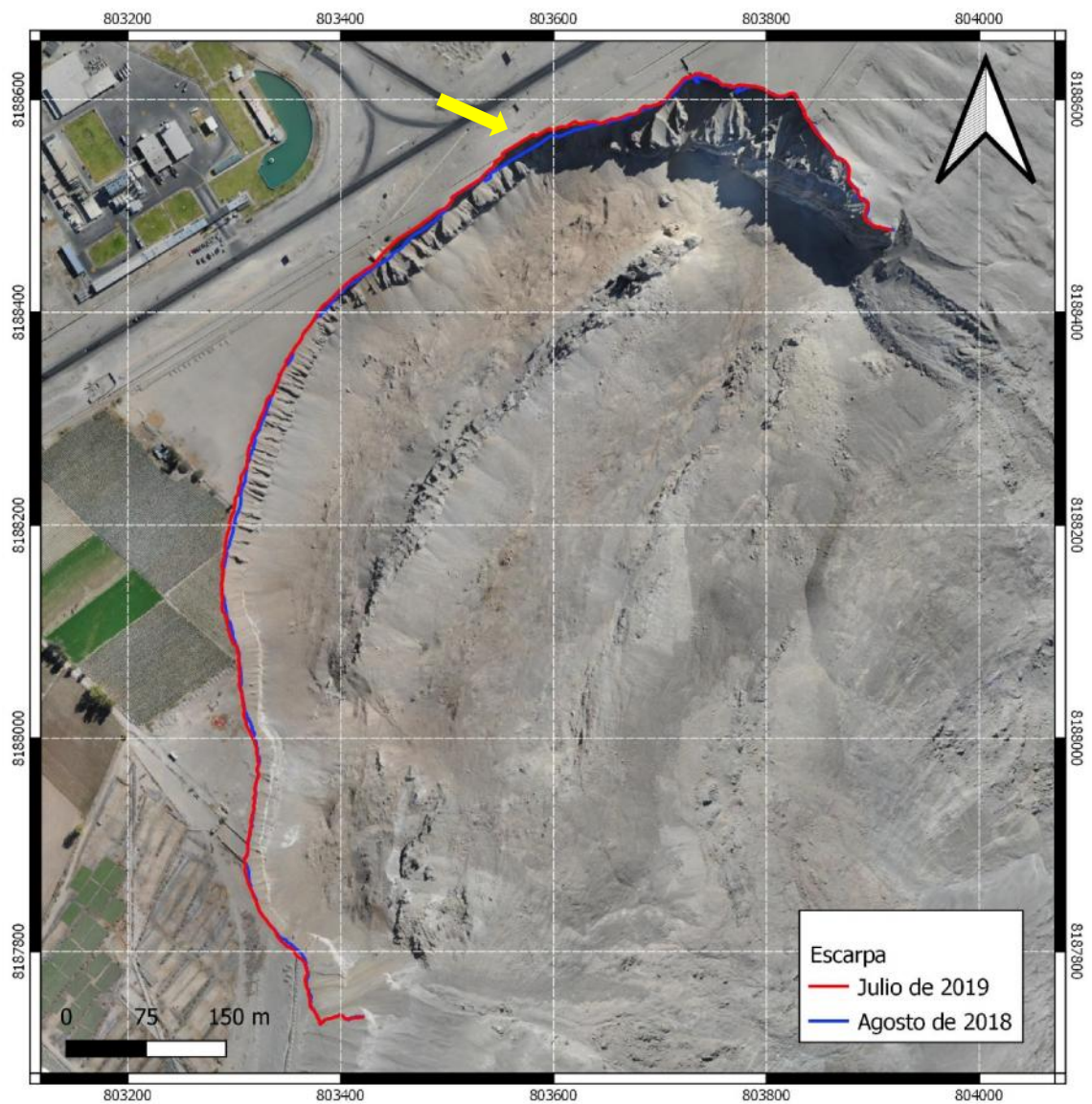


Figura 12. Seguimiento de la escarpa principal, se señala el segmento de mayor avance (10 m) en 11 meses, la carretera panamericana se encuentra a tan solo 40 m.

3. CONCLUSIONES

- Los datos de monitoreo instrumental (GNSS diferencial y CORS) muestran que el deslizamiento de Sigwas es muy activo, presentando una tasa de movimiento constante de hasta 2 metros por mes con una dirección predominante hacia el sureste.
- El uso de fotogrametría con drones ha permitido identificar una dinámica muy activa en el cuerpo del deslizamiento con desplazamientos cuasi- homogénea en todo el cuerpo del deslizamiento.
- Las medidas obtenidas en las ortofotos de agosto del 2018 y julio del 2019 muestran que la escarpa principal ha tenido un avance limitado de 10 metros en casi un año, sobrepasando el canal irrigación Majes-Sigwas (canal madre). Así mismo, la escarpa principal se encuentra a 40 metros de la Panamericana Sur, a 90 metros de las tuberías de riego (como reemplazo del canal madre).
- El deslizamiento de Sigwas, por sus características dinámicas es de Peligro Muy Alto, cuyo avance continuo afectara a la Carretera Panamericana Sur (entre el tramo Km 910+500 – 912+000), terrenos de cultivo e infraestructura agrícola (Riesgo Muy Alto). Por lo tanto, el deslizamiento de Sigwas y su área de influencia se considera en **Peligro Inminente**.

4. RECOMENDACIONES

- Frente a las altas tasas de desplazamiento del deslizamiento de Sigwas y la infraestructura colindante amenazada, el movimiento es de PELIGRO MUY ALTO, por lo tanto se recomienda a las autoridades competentes realizar medidas de mitigación a corto y mediano plazo sobre el sector, como: colocación de pozos de bombeo para la reducción del nivel freático en las capas de conglomerado, colocación de inclinómetros o un sistema de alerta temprana en la escarpa principal del deslizamiento, etc.
- Continuar con el Monitoreo permanente sobre el deslizamiento de Sigwas
- El trabajo multidisciplinario de instituciones puede contribuir en un mejor plan de mitigación del área de estudio. Se recomienda Continuar con la coordinación y la cooperación permanente de instituciones técnico científicas, públicas y

privadas a través del COER – Arequipa, acerca de las actividades y/o estudios desarrollados sobre el deslizamiento de Sigwas.

- Implementar un sistema de riego tecnificado, esta debe de ser un plan de acción a muy corto plazo, sensibilizando a los diferentes agricultores en cambiar el modo de uso racional del agua, que permitiría disminuir la tasa de infiltración.
- Las toneladas de sobrecarga en la Panamericana sur generan permanentemente reacomodo particular y vibraciones que contribuyen a la caída de bloques en la escarpa principal del deslizamiento. Se recomienda hacer uso del nuevo corte de carretera elaborada por el MTC como plan de mitigación frente al futuro colapso de la carretera Panamericana Sur.
- En agosto de 2019, el nuevo canal de irrigación elaborado como medida de mitigación a corto plazo frente al colapso del canal Majes Sigwas I, está ubicado a aproximadamente 10 metros de la carretera Panamericana Sur y 60 metros de la escarpa principal del deslizamiento. Encontrándose este nuevo trazo aún dentro del área de influencia del deslizamiento (Araujo G., 2017), Por lo que se recomienda realizar un nuevo trazo del canal de irrigación cuando la escarpa del deslizamiento se encuentre a menos de 40 metros.

Bibliografía:

Araujo G., Valderrama P., Taipe E., Hurez Ch., Dias J. & Miranda R., 2016 Dinámica del deslizamiento de Sigwas de los distritos de Majes y San Juan de Sigwas, provincia de Caylloma y Arequipa – departamento de Arequipa

Araujo G., 2017. Área de influencia del deslizamiento de Sigwas y Geodinámica del Valle de Sigwas. Informe Técnico N° A6772.

Araujo G., 2017. Evolución, Dinámica, Implicancias y Monitoreo del Deslizamiento de Sigwas, Arequipa. Tesis de pregrado en la Universidad San Antonio Abad del Cusco.