

Informe Técnico N° A 6772

# ÁREA DE INFLUENCIA DEL DESLIZAMIENTO DE SIGUAS Y GEODINÁMICA DEL VALLE

Región Arequipa

Provincia Caylloma y Arequipa

Distrito Majes y San Juan de Sigwas



POR:

GAEL ARAUJO

SEPTIEMBRE  
2017

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>...3</b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>...3</b>
<b>3. ASPECTOS GENERALES</b>	<b>...4</b>
<b>3.1. Ubicación y Accesibilidad</b>	<b>...4</b>
<b>3.2. Área de Influencia del deslizamiento</b>	<b>...5</b>
<b>4. INFRAESTRUCTURA AFECTADA</b>	<b>...5</b>
<b>4.1. Probabilidad de afectación de infraestructura</b>	<b>...8</b>
<b>5. GEODINÁMICA DEL VALLE DE SIGUAS</b>	<b>...11</b>
<b>5.1. Interferometría óptica del valle de Siguas</b>	<b>...13</b>
<b>6. CONCLUSIONES</b>	<b>...15</b>
<b>7. RECOMENDACIONES</b>	<b>...15</b>
<b>7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICO</b>	<b>...16</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

El deslizamiento de Sigwas ubicado en el flanco derecho del valle de Sigwas, en los distritos de Majes y San Juan de Sigwas, región Arequipa, es un movimiento en masa de tipo rotacional retrogresivo de 1.4 kilómetros de longitud y 70 metros de salto en su escarpa principal, con un volumen desplazado de aproximadamente 34 millones de m<sup>3</sup>. Originado en el 2005, por factores desencadenantes como: saturación hídrica de conglomerados pleistocenos y aluviales, producto de infiltración hídrica de hectáreas de cultivo sobre las extensiones de Majes (irrigación sureste), actividad sísmica y características geomorfológicas del valle.

El deslizamiento de Sigwas, es uno de los deslizamientos más activos del sur del país, con desplazamientos de aproximadamente 46 metros anuales en el cuerpo y 76 m/año en su escarpa principal, de movimiento lento (Cruden y Varnes, 1996) pero constante.

En el 2016, el deslizamiento de Sigwas y su área de influencia fue considerado estado de emergencia, cuyo avance y cercanía amenaza con destruir la carretera de la Panamericana Sur e infraestructura de importancia regional.

El ministerio de Transporte y comunicaciones mediante el oficio Nro 3487-2017-MTC/25, solicitó al INGEMMET, realice un informe técnico del área de Influencia del deslizamiento de Sigwas e información indispensable para el nuevo trazo de la carretera Panamericana Sur. Por lo tanto, para el presente informe se tomó en consideración la información generada en el Informe Técnico A6748 “Dinámica y monitoreo del deslizamiento de Sigwas” (Araujo et al., 2016), fotointerpretación de imágenes satelitales, cartografiado de movimientos en masa y cálculos estadísticos de deformaciones históricas de la escarpa. Se alcanza: El área de influencia del deslizamiento de Sigwas, probabilidades de afectación de infraestructura afectada, alcances de la dinámica y desplazamiento del valle de Sigwas.

## 2. OBJETIVOS

Los objetivos del presente estudio son:

- Delimitación del área de influencia del deslizamiento de Sigwas
- Elaboración de pronósticos de afectación de infraestructura amenazada por el avance de la escarpa principal del deslizamiento de Sigwas
- Caracterización de los movimientos en masa del valle de Sigwas e identificación de sectores con desplazamiento aparente en el valle Sigwas

### 3. ASPECTOS GENERALES

#### 3.1. Ubicación y Accesibilidad.

El deslizamiento San Juan de Sigwas se encuentra en el flanco derecho del Valle del río Sigwas, ubicado geográficamente en las coordenadas UTM (X: 803445.00m E; Y: 8188257.00m S), entre los distritos de Majes y San Juan de Sigwas – Arequipa. La escarpa principal del deslizamiento se ubica a 50 metros de la carretera Panamericana Sur (Figura 1).

La zona de estudio es accesible por la carretera asfaltada de la Panamericana Sur (Km 920+300). teniendo como punto de partida la ciudad de Arequipa, se recorre 70 Km en un tiempo promedio de 1 hora con 30 minutos; por el sector de Camaná y Huambo al sur oeste y norte respectivamente de la ubicación del deslizamiento se tiene un tiempo de llegada promedio de 1 hora y 30 minutos por carretera asfaltada. El deslizamiento compromete la carretera Panamericana Sur en un tramo de 2.5 kilómetros. de importancia nacional para el tránsito vehicular, su afectación sería perjudicial en el transporte terrestre de pasajeros, mercancías y productos y al mismo tiempo afectaría los ingresos económicos del distrito de Pedregal, al limitarlos en el traslado y venta de sus recursos (Araujo G, 2017).

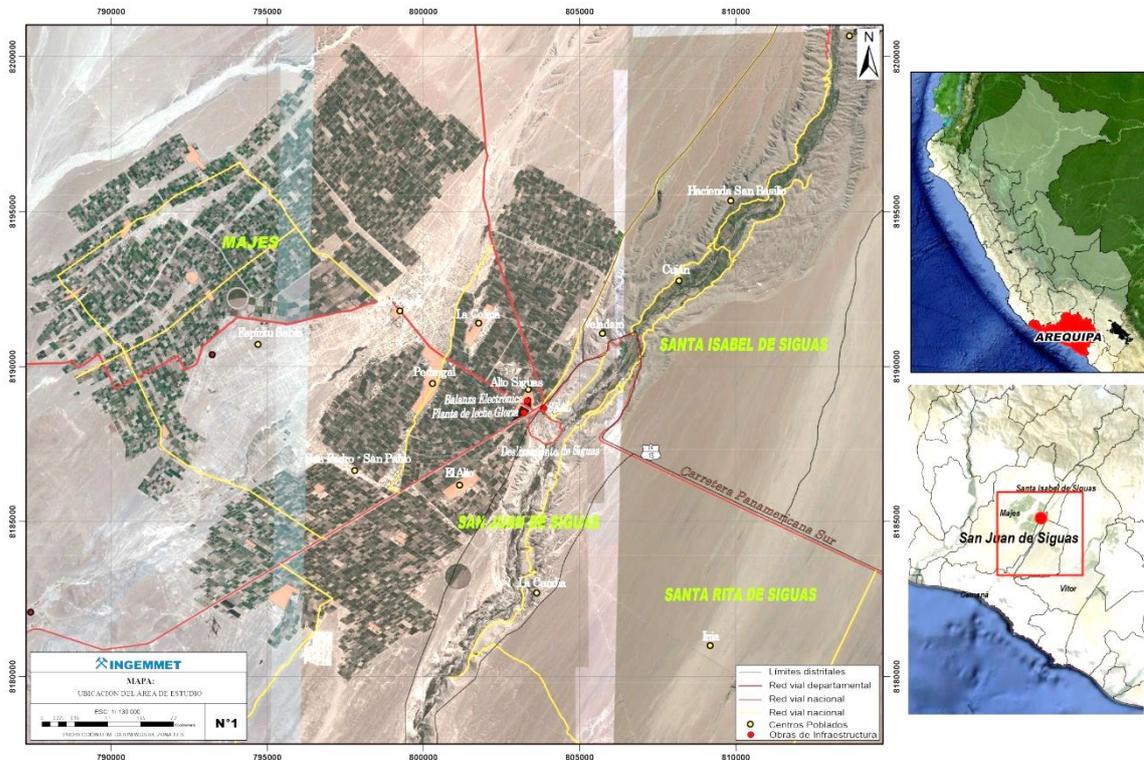


Figura 1: Ubicación y áreas de acceso al área de estudio

### 3.2. Área de influencia del deslizamiento

Los límites de influencia en la geodinámica activa de deformación existente en el área del deslizamiento, abarcan aproximadamente 1.5 kilómetros alrededor de la escarpa principal del deslizamiento (figura 1). Sin embargo, a la afectación de esta infraestructura, se debe considerar:

- La diferencia de velocidades de desplazamiento del deslizamiento a condiciones normales, extremas y lentas a lo largo de la escarpa principal;
- La distancia de la infraestructura respecto al corte del deslizamiento;
- Medidas de mitigación estructurales y no estructurales, que pueden disminuir la deformación del deslizamiento a mediano y largo plazo.

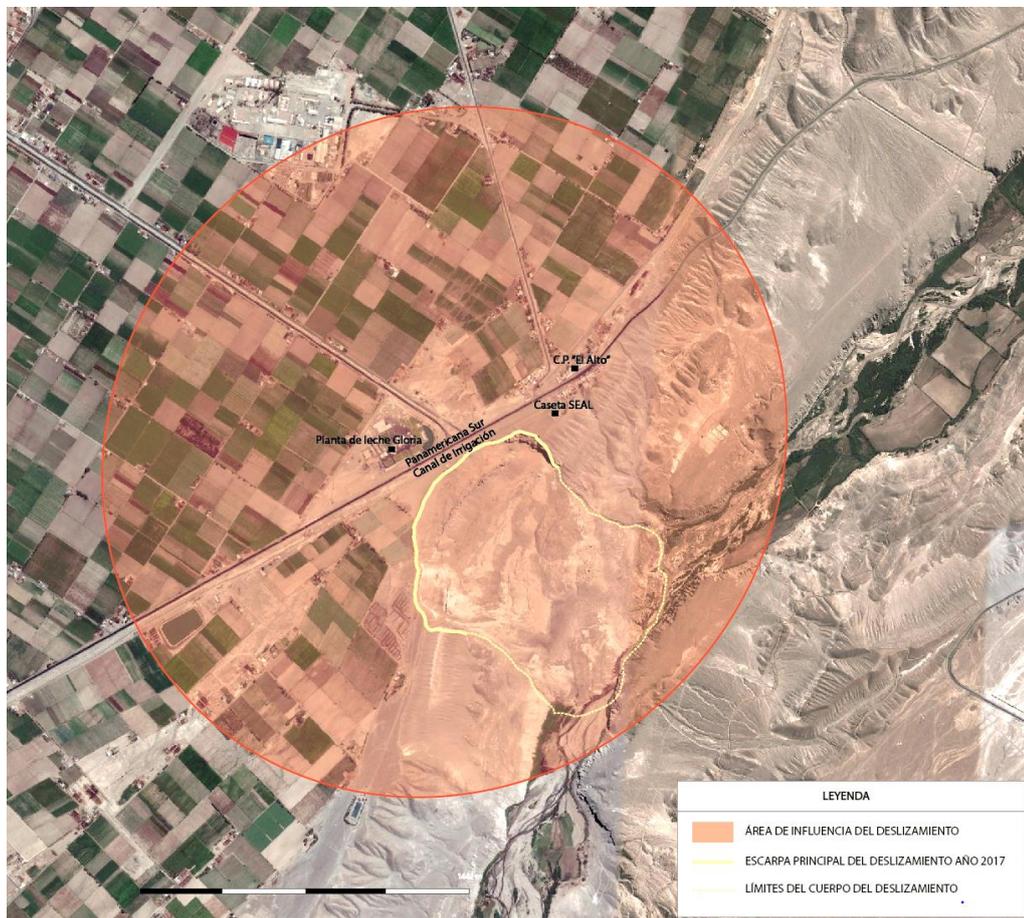


Figura 1: Área de influencia del deslizamiento de Sigwas

### 4. INFRAESTRUCTURA AFECTADA:

El comportamiento retrogresivo de la escarpa del deslizamiento, viene afectando y amenaza con destruir hectáreas de terreno de cultivo, viviendas, el canal de Irrigación del proyecto Majes Sigwas I y el tramo Km. 920+000 al 921+400 de la

Panamericana Sur, Así como la planta de Leche Gloria, ubicadas, sobre las extensiones del centro poblado de Majes (fotos 1 y 2).



Foto 1: Destrucción de muros de SEAL, por avance retrogresivo de la escarpa principal del deslizamiento de Siguas.



Foto 2: Vista de la planta de leche Gloria, infraestructura amenazada por avance del deslizamiento. Nótese la escarpa del deslizamiento.

El canal de irrigación del Proyecto Majes Sigvas I, es una de las infraestructuras en riesgo, más cercana al corte de la escarpa, a solo 6 metros de distancia agosto del 2017 (foto 3).



Foto 3: Tramo del canal de Irrigación en el sector 2, ubicado a 6 metros de la escarpa principal para agosto del 2017.

En febrero del 2017 fue aperturado el nuevo trazo de canal de irrigación, dejando sin efecto en tramo más cercano al límite de la escarpa principal (foto 4).



Foto 4: Trazo del canal de Irrigación aperturado para febrero del 2017.

#### 4.1. Probabilidad de afectación en la infraestructura existente

El cálculo de la probabilidad de afectación de infraestructura importante, por efectos del avance de la escarpa principal del deslizamiento de Sigüas, tiene como base principal, la toma en tiempo real de 80 puntos de control sobre el canal de irrigación y el cartografiado a detalle de la escarpa realizada en tres periodos de 6 años (2004-2010), 2 años (2010-2012), 3 años (2012-2015), así como medidas de reiteración GPS-RTK permanente hasta la actualidad. Parámetros a través de los cuales se obtuvieron distancias de deformación periódica y estadísticas del promedio de velocidad a condiciones normales, extremas y lentas en cuatro sectores de división de la escarpa (figura 3) (Araujo, 2017).

La relación de distancias entre la escarpa principal para agosto del 2017 y el canal de irrigación, muestra que la parte central del deslizamiento de Sigüas es la más cercana a dicha infraestructura, siendo al mismo tiempo la más vulnerable a ser destruida (figura 3).

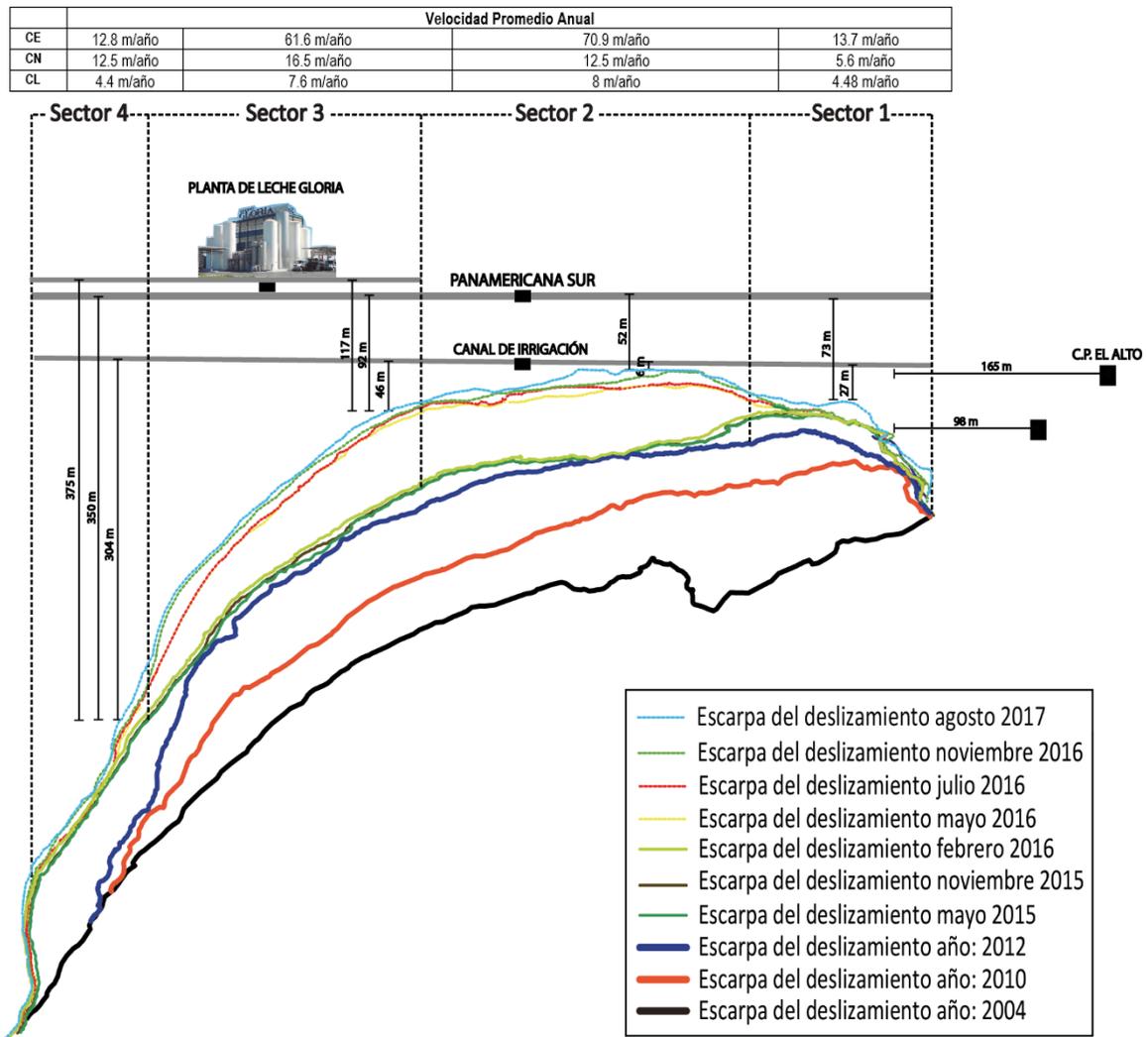


Figura 3: Evolución de la escarpa principal del deslizamiento y distancias mínimas a infraestructura amenazada (agosto 2017).

De continuar el avance retrogresivo del deslizamiento, la destrucción de la infraestructura amenazada es inminente. Por lo tanto, la elaboración de cuadros de predicción del periodo de afectación (a partir del análisis de velocidades de deformación histórica) se hace necesaria como medida de alerta temprana y mitigación preliminar. Las velocidades extremas, normales y lentas se obtuvieron a partir del análisis histórico de imágenes satelitales y monitoreo GPS de la escarpa del deslizamiento de Sigwas, información mostrada en el informe técnico A6748 “Dinámica y monitoreo del deslizamiento de Sigwas”.

El cuadro 16a, muestra las probabilidades, como pronósticos de afectación de infraestructura, del sector 1 de la escarpa principal del deslizamiento, el mismo que involucra al canal de Irrigación, Panamericana Sur, Caseta de SEAL y poblado El Alto, según orden de cercanía al corte de la escarpa.

El periodo de afectación del canal de irrigación (estructura más cercana al límite de la escarpa principal) a condiciones extremas, como: Sismos y afianzamiento del exceso de riego pueden acelerar el proceso, es en agosto del 2019.

SECTOR 1	DISTANCIA MÍNIMA A LA ESCARPA (M)	PROBABILIDAD DE AFECTACIÓN A CONDICIONES:		
		EXTREMAS	NORMALES	LENTAS
Velocidad		12.8 m/año	5.6 m/año	4.7 m/año
Canal de Irrigación	27.0	Agosto 2019	Febrero 2022	Mayo 2023
<b>Panamericana Sur</b>	<b>73.0</b>	<b>Diciembre 2022</b>	<b>Noviembre 2029</b>	<b>Noviembre 2032</b>
Caseta de SEAL	98.0	Octubre-2024	Enero-2034	Febrero 2038
Poblado El alto	165.0	Septiembre 2029	Marzo 2045	Enero 2052

Cuadro 16a: Probabilidad de afectación extrema, normal y lenta de la infraestructura amenazada, en el sector 1.

El sector 2 de la escarpa del deslizamiento es el más cercano al canal de irrigación, por estar a solo 6 metros en agosto del 2017 (figura 3 y cuadro 16b). Según la probabilidad de afectación de infraestructura, en este sector, a condiciones extremas, el canal de irrigación sería afectado en octubre del 2017, mientras que la Panamericana Sur en junio del 2018. Sin embargo, si la deformación de la escarpa del deslizamiento permanece constante, a condiciones normales la carretera Panamericana Sur sería afecta en el 2018 a condiciones extremas y 2021 a condiciones extremas. Condiciones extremas como: Sismos y/o riego excesivo pueden acelerar el proceso.

SECTOR 2	DISTANCIA MÍNIMA A LA ESCARPA (M)	PROBABILIDAD DE AFECTACIÓN A CONDICIONES:		
		EXTREMAS	NORMALES	LENTAS
Velocidad		61.57 m/año	12.5 m/año	8 m/año
Canal de Irrigación	6.24	Octubre 2017	Febrero 2018	Mayo 2018
<b>Panamericana Sur</b>	<b>52.24</b>	<b>Junio 2018</b>	<b>Julio 2021</b>	<b>Octubre 2023</b>

Cuadro 16b: Probabilidad de afectación extrema, normal y lenta de la infraestructura amenazada, en el sector 2.

La distancia mínima en el sector 3 al canal de irrigación es de 46 metros; calculándose que sería afectado en condiciones extremas en abril del 2018 (cuadro 16c). Así como la Panamericana Sur en noviembre de 2018.

SECTOR 3	DISTANCIA MÍNIMA A LA ESCARPA (M)	PROBABILIDAD DE AFECTACIÓN A CONDICIONES:		
		EXTREMAS	NORMALES	LENTAS
Velocidad		70.87 m/año	16.45 m/año	7.6 m/año
Canal de Irrigación	46.05	Abril 2018	Abril 2020	Abril 2023
<b>Panamericana Sur</b>	<b>92.05</b>	<b>Noviembre 2018</b>	<b>Noviembre 2022</b>	<b>Diciembre 2028</b>
Planta de leche Gloria	117.05	Marzo 2019	Abril 2024	Enero 2032

Cuadro 16c: Probabilidad de afectación extrema, normal y lenta de la infraestructura amenazada, en el sector 3.

El periodo de afectación de infraestructura amenazada en el sector 4 de la escarpa principal del deslizamiento es mayor a 20 años. La estructura de concreto más cercana se localiza a 304 metros de la escarpa principal (cuadro 16d).

SECTOR 4	DISTANCIA MÍNIMA A LA ESCARPA (M)	PROBABILIDAD DE AFECTACIÓN A CONDICIONES:		
		EXTREMAS	NORMALES	LENTAS
Velocidad		13.72 m/año	12.9 m/año	4.4 m/año
Canal de Irrigación	303.53	+20 años	+20 años	+50 años
<b>Panamericana Sur</b>	<b>349.53</b>	<b>+20 años</b>	<b>+20 años</b>	<b>+50 años</b>
Planta de leche Gloria	374.53	+20 años	+20 años	+50 años

Cuadro 16d: Probabilidad de afectación extrema, normal y lenta de la infraestructura amenazada, en el sector 4.

Es importante resaltar que condiciones extremas, como sismos, precipitaciones y riesgo excesivo, pueden acelerar el proceso de los cuatro sectores presentados.

## 5. GEODINÁMICA DEL VALLE DE SIGUAS.

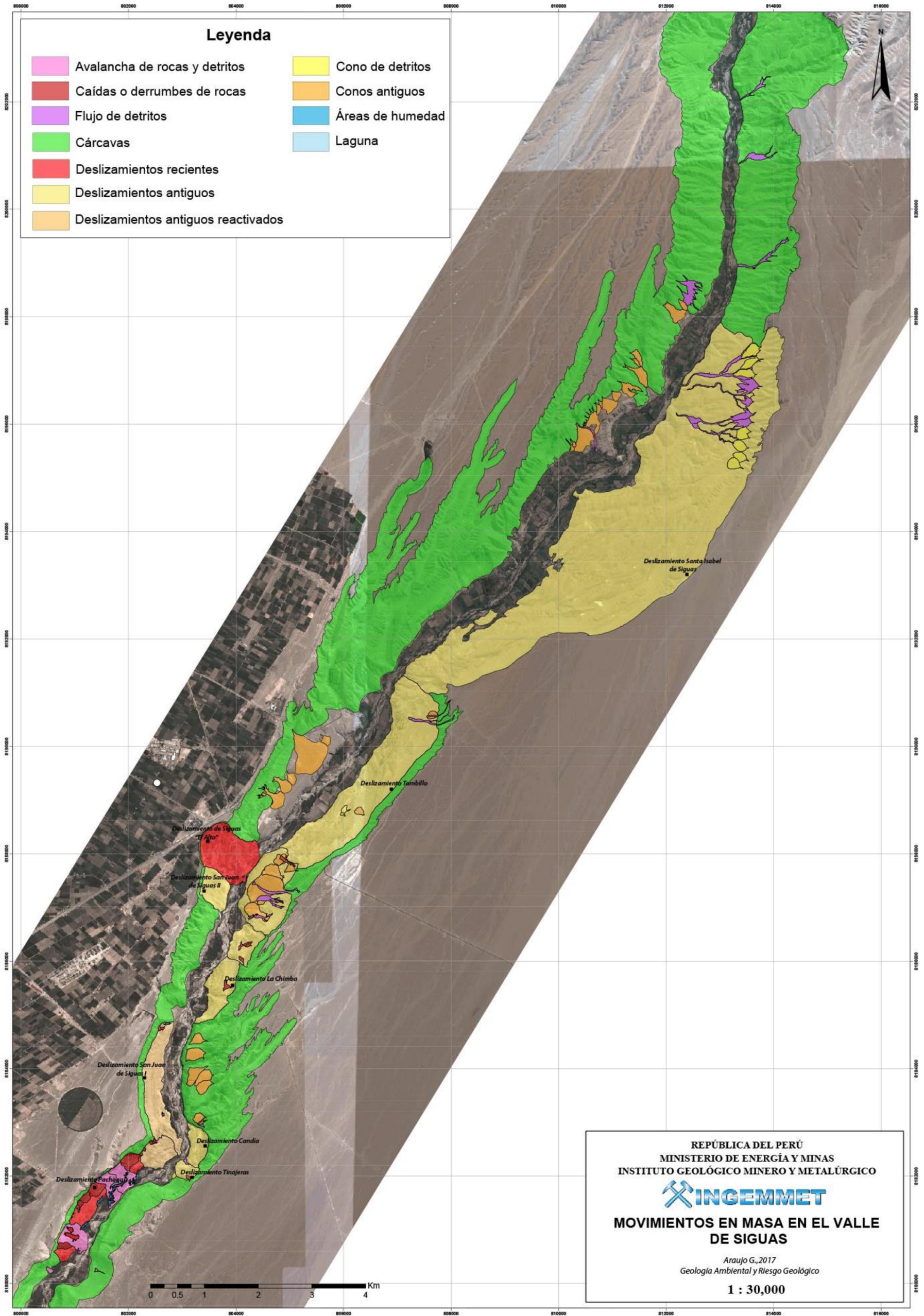
De todos los movimientos en masa que caracterizan el valle de Sigwas, el deslizamiento de Sigwas “El Alto”, es el más activo y el único, en la actualidad, que compromete infraestructura y hectáreas de terrenos del centro poblado de Pedregal.

Sin embargo, en las laderas el valle de Sigwas se ha cartografiado como deslizamientos antiguos, reactivados y activos; de pequeños a muy grandes, tal es el caso del deslizamiento de Santa Isabel de Sigwas, el más grande, con 10 kilómetros de longitud en su escarpa principal (foto 5), y otros deslizamientos como los de Tambillo, La Chimba, Candía, Tinajeras San Juan de Sigwas I y II; además los deslizamientos activos de Pachaqui y Sigwas “El Alto”, este último de alto riesgo a solo 6 metros de distancia del canal del proyecto de Irrigación Majes Sigwas I, en el 2017.

A lo largo del valle de Sigwas se tiene otros tipos de movimientos en masa, como, avalanchas, derrumbes, movimientos complejos (Pachaqui), flujos de detritos o huaycos sobre quebradas secas y zonas de cárcavas. Geomorfológicamente el valle de sigwas se observa la presencia de conos de deyección antiguos y relieves de procesos erosivos (mapa 1).



Foto 5: Vista del deslizamiento antiguo de Santa Isabel de Sigwas



### 5.1. Interferometría óptica en el valle de Sigwas

El monitoreo de interferometría óptica en 10 km del valle de Sigwas, realizado por Pascal Lacroix en el 2017, muestra sectores de desplazamiento anual del procesamiento de imágenes satelitales en los últimos 5 años de análisis (2013 al 2017). Se observa, que los deslizamientos antiguos, cartografiados en el mapa 1, son zonas estables en la actualidad, no presentan desplazamientos aparentes. A excepción del deslizamiento de Sigwas cuyos valores de velocidad que alcanzan de 40 a 50 metros de desplazamiento, correlacionables con datos de monitoreo GPS (figura 2).

Es importante mencionar, que el problema en la zona del deslizamiento de Sigwas no sólo se circunscribe al área de influencia del deslizamiento, que podría ser 1.5 km de radio desde el centro de este, sino en las condiciones geodinámicas, principalmente de las laderas de la margen derecha del valle, especialmente aguas abajo del deslizamiento. Lo anterior, en condiciones actuales y "normales". Una rápida mirada aérea al valle, nos permite apreciar la inestabilidad "pasada" del mismo, el cual nos permite asegurar que la actividad geodinámica seguirá con mayor o menor intensidad. Problema que puede ser influenciado por las filtraciones de la irrigación.

De lo anterior, en la margen derecha de valle, aguas arriba del deslizamiento de Sigwas, se localizan quebradas secas inactivas (incremento del volumen de saturación hídrica por riego excesivo, lluvias excepcionales y actividad sísmica en el área) subparalelas al valle; pequeñas cárcavas inactivas y desprendimientos de rocas y/o derrumbes de poca magnitud. No presentando, en la actualizadas, movimiento en masa que podrían desestabilizar la ladera.

Factores externos, como sismos, lluvias excepcionales y actividad antrópica que produce filtraciones de la irrigación, pueden desestabilizar los taludes, no solo en esta zona, Sino también a lo largo de las laderas del valle (Ver figura 2).

Así mismo, sobre la figura 2, se muestra e líneas rojas entrecortadas, una posible área del valle, donde se puede realizar la conexión de carretera, fuera del área de influencia del deslizamiento de Sigwas.

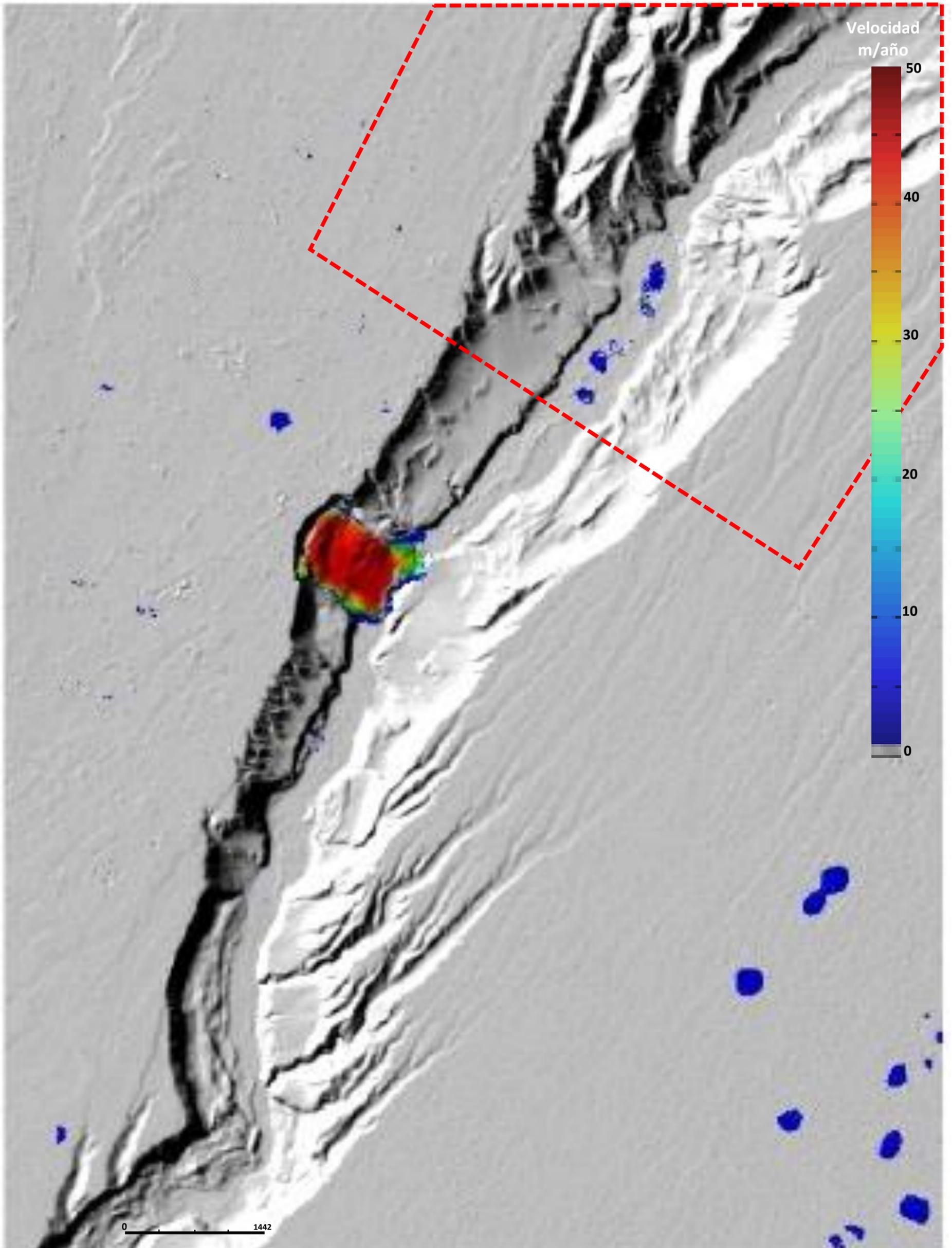


Figura 2: Interferometría óptica del valle de Sigüas (Lacroix, 2017)

## **6. CONCLUSIONES**

- El área de influencia del avance en la escarpa del deslizamiento de Sigwas, en condiciones actuales, sería de 1.5 km. alrededor del mismo, perímetro que involucra infraestructura como la estructura del canal de irrigación del proyecto Majes Sigwas I, la Panamericana Sur, La Planta de Leche Gloria y hectáreas de terrenos de cultivo sobre las extensiones del C.P. de Majes.
- En agosto del 2016, el canal de irrigación se encontraba a solo 6 metros de la parte central del corte de la escarpa principal del deslizamiento, estimándose su afectación a condiciones extremas en octubre del 2017.
- La Panamericana Sur a condiciones extremas sería afectada en junio del 2018 y a condiciones normales en el 2021
- Geodinámicamente, el valle de Sigwas está representado por la ocurrencia de deslizamientos antiguos y recientes de grandes dimensiones a lo largo de su extensión. En la actualidad el deslizamiento de Sigwas que presenta deformaciones hasta de 50 metros de desplazamiento.
- En la margen derecha del valle, aguas arriba del deslizamiento (fuera del área de influencia), no presenta, en la actualidad, actividad geodinámica importante.

## **7. RECOMENDACIONES.**

- Se recomienda considerar la afectación del canal de irrigación, como indicador para el cierre del transporte terrestre sobre la Panamericana Sur.
- Continuar con el monitoreo y actualización de pronósticos de afectación de infraestructura amenazada
- Realizar la actualización del inventario de fuentes hídricas en el área de estudio y continuar con el monitoreo permanente y a tiempo real del deslizamiento de Sigwas.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Araujo G., Taipe E., Miranda R. & Valderrama P. (2017), Dinámica y monitoreo del deslizamiento de Sigwas, distrito Majes y San Juan de Sigwas, provincias Caylloma y Arequipa, Informe Técnico Nro. A6748, INGEMMET, 55p. marzo 2017.
- Araujo G., Valderrama P., Taipe E., Huarez C., Díaz J. & Miranda R. (2016), Dinámica del deslizamiento de Sigwas, distrito Majes y San Juan de Sigwas, provincias Caylloma y Arequipa, Informe Técnico Nro. A6715, INGEMMET, 44p.
- Araujo G., Valderrama P., Miranda R., Taipe E., Díaz J. & Huarez C., (2016), Dinámica del deslizamiento de Sigwas, Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, Volumen 111, pág. 67-71.