

**SGP**
FUNDADA 1924**Boletín de la Sociedad Geológica del Perú**Journal homepage: www.sgp.org.pe

ISSN 0079-1091

Dinámica del deslizamiento de Sigwas

Gael Araujo¹, Patricio Valderrama¹, Rafael Miranda¹, Edu Taipe¹, Jonathan Díaz¹, Christian Huarez¹

¹ Instituto Geológico Minero y Metalúrgico - INGEMMET, Av. Canadá 1470 - San Borja, Lima, Perú (garaujo@gmail.com)

ABSTRACT

Sigwas landslide is one of the most active mass movements in the south of Peru. Originated in 2005 by hydric saturations of incompetent lithological materials as a result of filtrations of Majes Sigwas-I Irrigation project. The scarp is 1.4 km long and is located in Pedregal-Arequipa district. The high rate of movement and deformation causing damage to farmlands in the top and toe of the Sigwas Valley, at the same time threatens to damage the main irrigation canal, currently located 20 meters from the main scarp.

RESUMEN

El deslizamiento de Sigwas representa uno de los movimientos en masa más activos del sur del Perú. Originado en el año 2005 por saturación hídrica de materiales litológicos, producto de filtración de aguas del proyecto de irrigación Majes-Sigwas I, tiene 1,4 Km de extensión en su escarpa. Está ubicado en distrito de El Pedregal - Arequipa. Debido a su alta tasa de movimiento y deformación, este deslizamiento está causando daños a terrenos de cultivo tanto en la parte alta como baja del valle del río Sigwas, así también compromete el canal principal de regadío, actualmente localizado a 20 metros de la escarpa principal.

Palabras claves: Movimiento en masa, Deslizamiento, Filtraciones, Escarpa, Tasa de movimiento, Tasa de deformación

1. Introducción

El fenómeno geodinámico activo de tipo deslizamiento rotacional retrogresivo tiene 1.4 km y un salto de 60 metros de extensión en su escarpa, cuyo desencadenante principal es la sobresaturación de suelos producto del uso inadecuado del sistema de riego del proyecto de Irrigación Agrícola Majes - Sigwas.

Frente a la necesidad de entender la evolución y dinámica de deformación y desplazamiento se viene desarrollando el análisis y monitoreo del deslizamiento de Sigwas con el uso de imágenes satelitales multitemporales y equipos geodésicos modernos como el RTK-GPS y Lidar, con el objetivo de explicar las zonas con mayor dinámica de desplazamiento y deformación.

2. Características Generales

2.1. Ubicación

El deslizamiento San Juan de Sigwas se encuentra en el flanco derecho del Valle del río Sigwas, en las coordenadas UTM (X: 803445.00m E; Y: 8188257.00m S), entre los distritos de Majes y San Juan de Sigwas -Arequipa (Figura 1). El área de estudio está representada por climas áridos, semiáridos y húmedos.

2.2. Geomorfología

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.

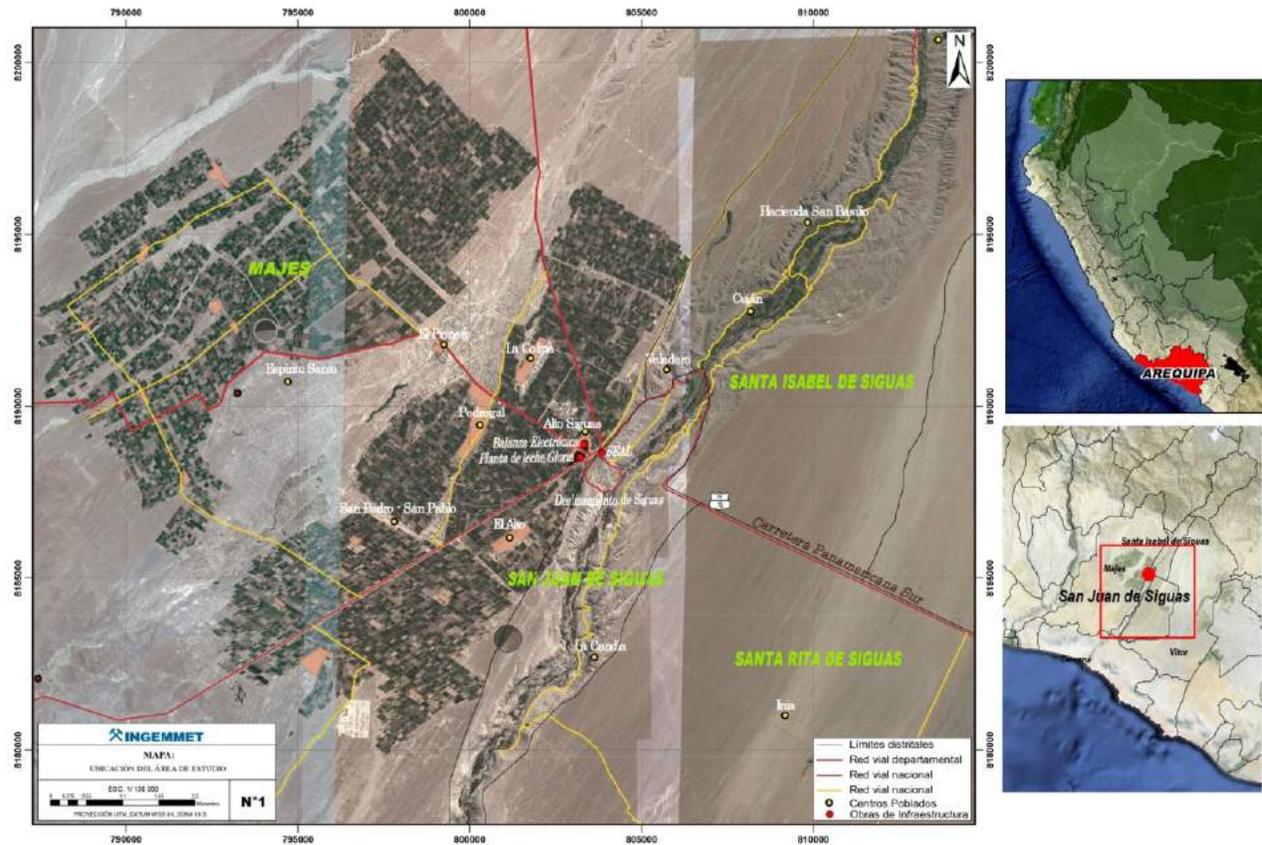


Figura 1. Ubicación del deslizamiento de Sigvas – Arequipa

2.3. Geología

La zona de estudio está constituida por secuencias estratigráficas de edades Cenozoicas y Cuaternarias, como la formación Moquegua y depósitos Cuaternarios Pleistocenos y Holocenos.

2.2.1. Formación Moquegua (Nmp-mo)

El relleno sedimentario continental de la formación Moquegua se divide en dos fases distintas, separadas por una fase tectónica de baja intensidad que se aplica a toda la cuenca, litológicamente compuesta por conglomerados clasto soportado de matriz arenosa en bancos de 50 a 150 metros, areniscas arcósicas de grano medio y arcillas rojas, sin embargo el miembro superior se diferencia por las tonalidades claras por influencia volcánica.

2.2.2. Depósitos Aluviales

Conglomerados pleistocenos: esta unidad litológica sobreyace sobre la formación Moquegua Superior a lo largo de las pampas costaneras de Majes y San Juan de Sigvas, presenta una potencia mayor a 50 metros, 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

10 a 1 metros de diámetro de naturaleza volcánica, sedimentaria y metamórfica.

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 un metro hasta partículas de arcillas.

3. Dinámica del deslizamiento de Sigvas

3.1. Estado del deslizamiento, Año 2004

Después de la construcción del proyecto de irrigación Majes –Sigvas I, que abasteció de recurso hídrico al sector El pedregal, los habitantes extendían sus terrenos de cultivo e infraestructura (caso de los almacenes de SEAL) de 10 a 50 metros desde el límite del Valle del río Sigvas.

La parte baja del corte de valle, presentaba zonas de reactivación de escarpas, cárcavas, conos aluviales y origen de pequeños deslizamientos, cuya masa se extendía 90 metros sobre el piso de valle, además de la presencia de zonas de humedad producto de la filtración de agua como agente desestabilizador (Figura 2).

En el 2007 el movimiento de la masa deslizada levanto un cementerio precolombino en el pie del deslizamiento.

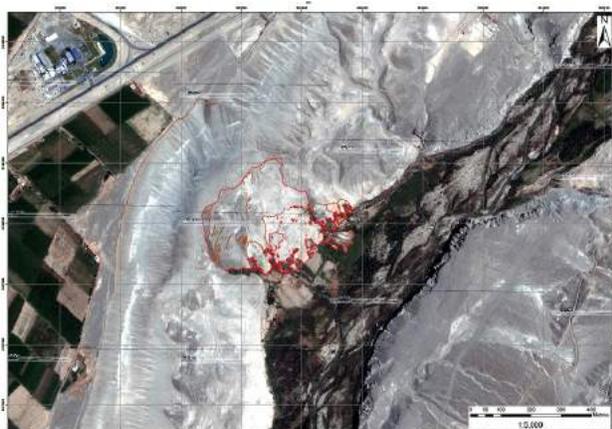


Figura 2. Cartografiado año 2004, las líneas rojas muestran la delimitación de deslizamientos y conos aluviales en el pie del deslizamiento y las líneas naranjas representan agrietamientos.

3.2. Estado del deslizamiento, Año 2010

Basado en la imagen satelital del 2010 (Figura 3), el deslizamiento de Sigwas tiene una escarpa de 1250 metros de longitud y destruyendo una superficie de 6860 m/año desde el 2004. Además la masa deslizada cubre casi la totalidad del piso de valle contiguo, donde los agrietamientos son representativos.

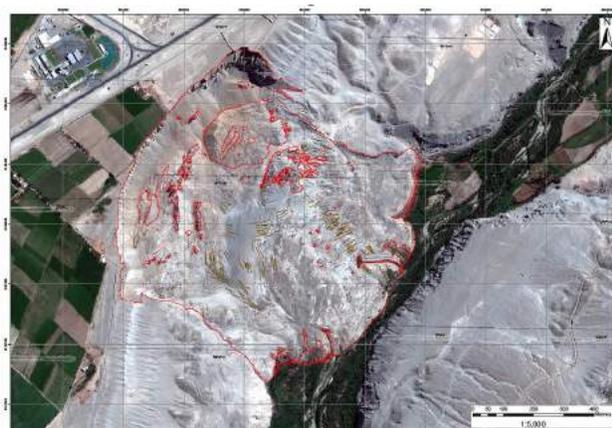


Figura 3. Cartografiado del deslizamiento año 2010, los polígonos rojos muestran la delimitación de bloques sobre la masa deslizada y las líneas simbolizan agrietamientos.

3.3. Estado del deslizamiento, Año 2012

Según el análisis de la imagen satelital del 2012 (Figura 4), escarpa del deslizamiento tiene 1350 metros de longitud, con presencia de grietas coronarias de 2 a 3 metros de longitud con 10 cm de apertura. Los bloques de la zona de compresión tuvieron un promedio de desplazamiento de 65 metros en dirección Sureste respecto al cartografiado de las estructuras de deformación del año 2010. Sobre el cuerpo del deslizamiento se observa grietas radiales y longitudinales de extensión y compresión con desplazamientos de 75 metros respecto al año 2010, lo que indica un avance aproximado de 32.5 metros anuales.

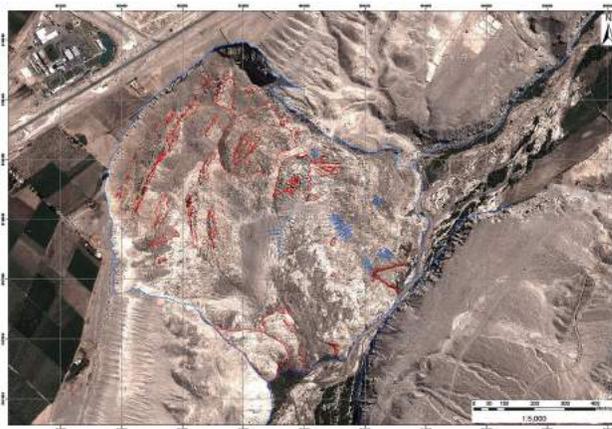


Figura 4. Cartografiado del deslizamiento año 2012, los polígonos rojos muestran la delimitación de bloques sobre la masa deslizada y las líneas simbolizan agrietamientos.

3.4. Estado del deslizamiento, Año 2015

La imagen aérea del 2015 proporcionada por CONIDA (Figura 5), muestra una escarpa principal de 1370 metros de longitud. Los bloques dispuestos en la zona media tuvieron desplazamientos promedios de 65 metros en dirección Sureste con una velocidad de 22 metros/año respecto al cartografiado de las estructuras de deformación del año 2012, la zona baja del deslizamiento está formada principalmente por estructuras de estriamiento radial alcanzando desplazamientos de 100 metros con el avance aproximado de 33 metros anuales con respecto al año 2012

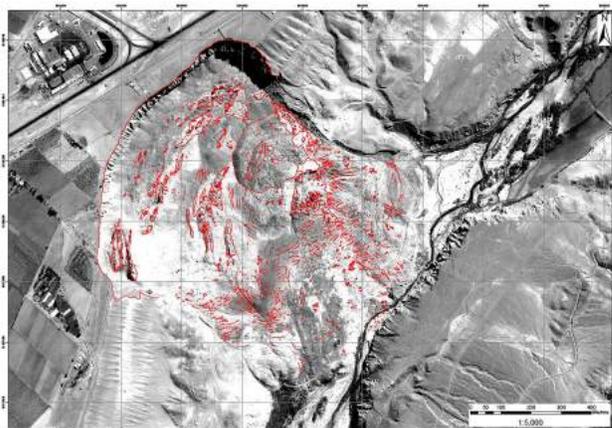


Figura 5. Cartografiado del deslizamiento año 2015, los polígonos muestra bloques suspendidos sobre la masa deslizada y las líneas simbolizan agrietamientos.

4. Monitoreo del deslizamiento de Sigwas

El deslizamiento de Sigwas corresponde a un movimiento rotacional retrogresivo dinámicamente activo, que viene siendo monitoreado constantemente por INGEMMET con el uso de tres metodologías.

4.1. Monumentación geológica

Se colocó 72 hitos cada 15 metros sobre la escarpa y 26 hitos a lo largo del cuerpo del deslizamiento, con la

finalidad de identificar zonas de mayor inestabilidad y distancias de deformación y desplazamiento de bloques.

4.2. Monitoreo GPS-RTK

La toma de datos fue realizada sobre el canal de regadío del proyecto de irrigación Majes-Siguas I, la escarpa del deslizamiento e hitos de control, colocados sobre el cuerpo del deslizamiento.

4.3. Monitoreo LiDAR

El uso del quipo LiDAR (foto 6), permite realizar medidas centimétricas de desplazamiento mediante superposición de imágenes en distintos periodos de tiempo. Actualmente se tiene escaneos del deslizamiento en los años 2015 y 2016.



Figura 6. Vista del Escáner de monitoreo LiDAR en el flanco izquierdo del valle de Sigwas.

5. Dinámica de desplazamiento y deformación del deslizamiento de Sigwas

5.1. Dinámica de deformación de la escarpa del deslizamiento

5.1.1. Sectorización de la escarpa del deslizamiento

La deformación de la escarpa está basado en el cálculo de distancias cronológicas “vectores de desplazamiento” perpendiculares a una estructura estable, tal es el caso del canal de regadío, para lo cual se realizaron 82 medidas de control sobre el canal de regadío, teniendo como estación base las instalaciones del hotel Riviera. Los vectores de desplazamiento parten de cada punto de control a las escarpas del deslizamiento en el año 2004, 2010, 2012 y 2015. Donde los vectores de deformación fueron sectorizados basados en nivel de destrucción que generó la escarpa sobre los terrenos de “El Pedregal”, estos son: Sector 1 (Lado derecho de la escarpa); Sector 2 (Lado central); Sector 3 (Lado Izquierdo de la escarpa) (Figura 7).

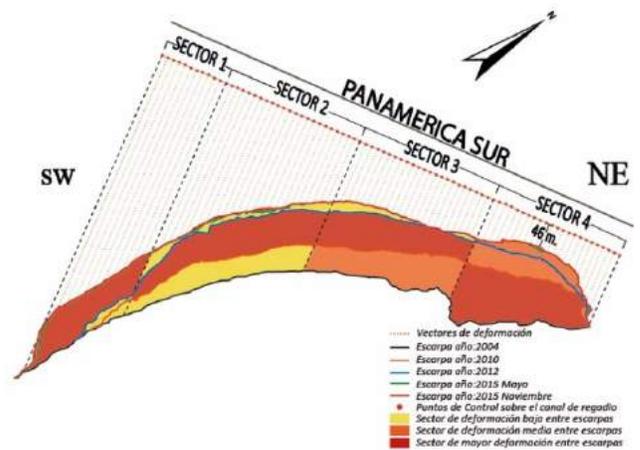


Figura 7. Sectorización de la escarpa del deslizamiento de Sigwas, Además se muestra la evolución de las escarpas en el año 2004, 2010, 2012 y 2015.

5.1.2. Análisis de vectores de deformación de la escarpa del deslizamiento.

El análisis de los sectores de deformación muestra la deformación promedio en los sectores más activos (Figura 8), donde en los primeros 6 años, el lado NE del deslizamiento (Sector 4) tiene deformaciones máximas promedio de 88 metros donde geomorfológicamente el plano de ruptura de este sector tiene inclinaciones moderadas por la presencia de surcos perpendiculares al plano, por agentes erosivos eólicos e hídricos. En los próximos 2 años la parte central del deslizamiento (Sector 2 y 3) presenta deformaciones de 68 y 52 metros respectivamente, a pesar de que las características litológicas de ambos sectores son similares, el plano de ruptura en el Sector 2 presenta una pendiente casi vertical, sin presencia de surcos. Durante el 2012-2015 (3 años), el lado SW del deslizamiento (Sector 1) tiene una deformación promedio de 92 metros. La última etapa de análisis comprende un periodo de 7 meses (mayo a noviembre del 2015), el Sector 2 ubicado en el extremo derecho de la parte central presenta deformaciones de 3 metros. Estas cifras actualmente son superadas por las deformaciones del 2016, donde la escarpa del deslizamiento muestra desplazamientos mensuales de 15 metros según el monitoreo RTK de la deformación de la escarpa, encontrándose hasta la fecha canal Madre de Irrigación del Proyecto Majes Sigwas I a menos de 20 metros y la Panamericana Sur a 65 metros de la escarpa principal.

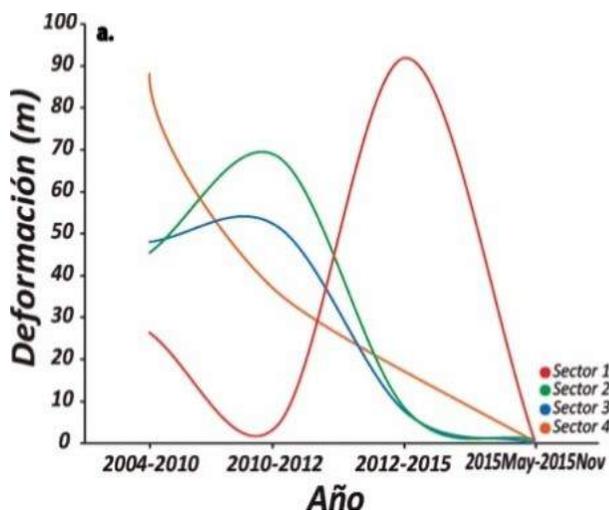


Figura 8. Diagrama de deformación de los sectores de la escarpa del deslizamiento en los años de análisis.

5.2. Dinámica de desplazamiento de bloques en la masa desplazada.

Uno de los tipos de monitoreo que se realiza en el deslizamiento de Siguaná está basado en el uso de imágenes satelitales cronológicas (obtenidas de softwares de cartografiado como Google Earth, Terra Incognita e imágenes pleiades proporcionadas por CONIDA), que sirvieron de base para el cartografiado detallado de bloques y agrietamientos sobre la masa desplazada, esta metodología da una visión panorámica de la evolución temporal del deslizamiento. Los bloques son desplazados varios metros a favor de la pendiente conservando su geometría, pequeñas estructuras de compresión y agrietamientos, mientras que otros desaparecen al ser afectados por erosión y diaclasamiento o son generados por deformación de su escarpa, la misma que contribuye en el aporte de sedimentos.

De la totalidad de bloques cartografiados, 70 fueron seleccionados para el análisis del desplazamiento sobre tres zonas sectorizadas por disposición litológica y dinámica, estas son: Zona Alta (Arranque o escarpa), Zona Media (compresión o depósito) y Zona Baja (caída o pie).

Las distancias de desplazamiento entre los años 2010-2012 y 2012-2015 son generados a partir de los puntos centrales de cada bloque cartografiado (Figura 9).

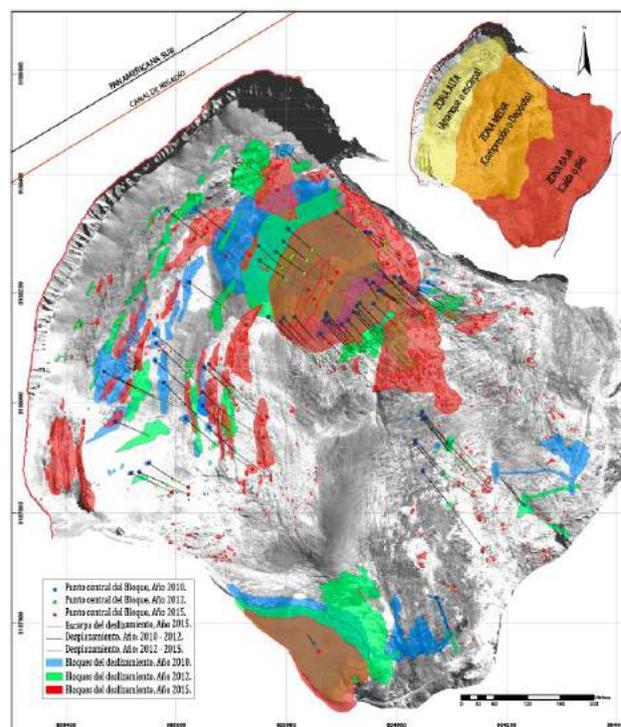


Figura 9. Vectores de desplazamiento de bloques cartografiados, además se muestra en la esquina superior derecha la zonificación realizada para el análisis de la masa desplazada.

Para el análisis de la zona alta media y baja, se realizó diagramas de frecuencia, en base a intervalos de longitudes de desplazamiento de bloques, donde el promedio de distancia de la mayor cantidad de datos, de donde se tiene desplazamientos promedios de 55, 56 y 76 metros en un periodo de dos años (2010-2012) y 54,64 y 103 metros en un periodo de tres años (2012-2015). Siendo actualmente la zona baja (caída de pie) y la zona media o de depósito las que presentan mayor dinámica de desplazamiento (Figura 10).

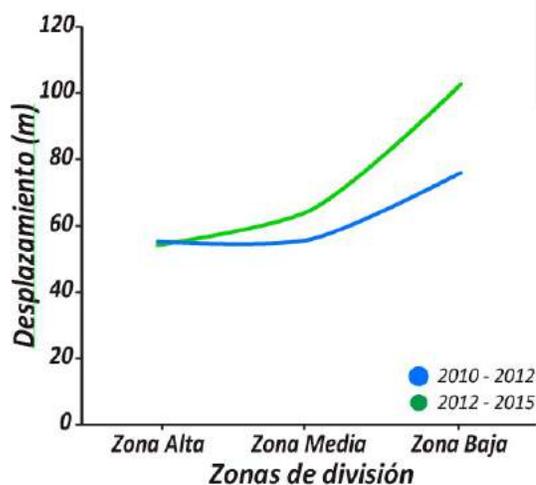


Figura 10. El diagrama muestra que el mayor desplazamiento de bloques es en la zona baja del deslizamiento.

6. Conclusiones

El deslizamiento de Sigwas es un deslizamiento activo cuya velocidad supera los 4 m de desplazamiento mensual.

La inestabilidad de los taludes de la margen derecha del río Sigwas, sector El Zarzal, son producto de la infiltración de agua de regadío del Proyecto de Irrigación Majes - Sigwas I. Tanto en el valle del río Sigwas como el del río Vitor, se encuentran evidencias de numerosos deslizamientos y avalanchas cuyas causas son atribuidas a las aguas de infiltración de proyectos de irrigación.

El desplazamiento de bloques del año 2010 y 2012 muestra una mayor dinámica en la zona baja del deslizamiento, con desplazamientos de 76 metros, seguido de un desplazamiento de 103 metros en un periodo de tres años (2012-2015).

Las deformaciones máximas del deslizamiento se produjeron en el periodo 2010-2012, periodo en el que se tuvo la mayor dinámica en la evolución del deslizamiento; afectando la parte central de la escarpa del deslizamiento (sectores 2 y 3) con 60 metros de desplazamiento. El mayor aporte de sedimentos sobre la masa deslizada generó un mayor avance de las estructuras y bloques en la zona baja de la masa deslizada.

Actualmente la zona de deformación se extiende al lado derecho de la escarpa (sector 1 y 2), generando mayor preocupación por ser un sector que continua usando un sistema de riego por aspersión sobre grandes extensiones de hectáreas de cultivo, sumando al nuevo trazo del canal de regadío.

El deslizamiento de Sigwas, por sus características dinámicas es de Peligro Muy Alto, cuyo avance puede afectar la Carretera Panamericana Sur (Km 910+500 - 912+000), la Planta de Leche Gloria, 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.

INGEMMET continúa con las investigaciones y el monitoreo permanente de este deslizamiento. Se está programando trabajos de hidrogeología y afinar la dinámica del deslizamiento, para determinar y proponer las medidas correctivas necesarias.

En ambas márgenes de los ríos Sigwas y Vitor se aprecian cicatrices de antiguos y recientes deslizamientos y avalanchas que afectaron/ afectan ambos valles. Estos eventos fueron detonados por grandes sismos y/o infiltraciones de aguas de proyectos de regadío sobre las pampas adyacentes.

Agradecimientos

A la Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial (CONIDA) por realizar la toma y facilitar la fotografía aérea ortorectificada y el modelo de elevación digital del estado del deslizamiento en el 2015.

Referencias

- Acosta J. (1968) - Geología del Cuadrángulo de Aplao. INGEMMET, Boletín, N°25: 52 p.
- Galdós, J. (2007) - Geomorfología de la zona de Sihuas. Tesis de bachiller, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, 37p.
- Kiseleva Elena, Valentin Mikhailov, Ekaterina Smolyaninova Pavel Dmitriev, Vasily Golubev, Elena Timoshkina, A. Hooperb, S. Samiei-Esfahanyc, R. Hanssen (2014) -PS-InSAR monitoring of landslide activity in the Black Sea coast of the Caucasus, Elsevier, open article 405-413,10p.
- Kosaka, R. Palza, H. (2002) - Estudio Geodinámica y Evaluación de peligros de las localidades de Viraco, Machahuay y Pampacolca. Proyecto PER 98/018 PNUD - INDECI, Convenio UNSA - INDECI, Arequipa, 139 p.
- Lionel, F. Valenzuela, G. Carrasco, S. (1997) - Estudio Geodinámica de la cuenca de los ríos Quilca, Sihuas y Vitor. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 10, 249 p.
- Marocco R. (1984) - Dynamique du remplissage d'un bassin intramontagneux cénozoïque andin, le bassin Moquegua (sud du Pérou). Cah. ORSTOM, Sér. Géol., vol. XIV, n° 2 : 117-140..
- Toledo, H. Ticona, T. (2007) - Plan de mitigación de los deslizamientos producidos por efecto de la saturación en los terrenos de la irrigación Majes. Segunda Especialidad en gestión para la prevención y atención de desastres y desarrollo sostenible, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, 106p.
- Vargas, L. (1990) - Geología del Cuadrángulo de Arequipa. INGEMMET, Boletín, N°24:78p.
- Uhlemann S., A. Smith, J. Chambers, N. Dixon, T. Dijkstra, E. Haslam, P. Meldrum A. Merritt D. Gunn, J. Mackay (2015) - Assessment of ground-based monitoring techniques applied to landslide investigations, The British Geological Survey, Elsevier, open article 439-451,14p.