



**DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA
AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO**

INFORME TÉCNICO N° A6715

DINÁMICA DEL DESLIZAMIENTO DE SIGUAS

**Distritos Majes y San Juan de Sigvas, provincias Caylloma y Arequipa
Departamento Arequipa**

Por:

**Gael Araujo Huamán
Patricio Valderrama Murillo
Edu Taípe Maquerhua
Christian Huarez Yarleque
Jonathan Díaz Apaza
Rafael Miranda Cruz**

Mayo 2016

 **SECTOR ENERGÍA Y MINAS**
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

CONTENIDO

1.0 INTRODUCCIÓN	3
1.1 OBJETIVO	4
1.2 ANTECEDENTES	4
2.0 ASPECTOS GENERALES	5
2.1 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD.	5
2.2 CONDICIONES CLIMÁTICAS.	5
3.0 GEOMORFOLOGÍA LOCAL	8
3.1 VALLE DE SIGUAS	8
3.2 CONOS DE DEYECCIÓN	8
3.3 PISO DE VALLE	8
3.4 RÍO DE SIGUAS	8
4.0 UNIDADES LITOLÓGICAS	11
4.1 FORMACIÓN MOQUEGUA (Nmp-mo):	11
4.2 DEPÓSITOS ALUVIALES (Q-al)	12
4.3 DEPÓSITOS COLUVIALES (Q-co):	14
4.4 DEPÓSITOS EÓLICOS (Q-e):	14
5.0 DINÁMICA DEL DESLIZAMIENTO DE SIGUAS.	16
5.1 ESTADO DEL DESLIZAMIENTO 2004	16
5.2 ESTADO DEL DESLIZAMIENTO 2010	20
5.3 ESTADO DEL DESLIZAMIENTO 2012	25
5.4 ESTADO DEL DESLIZAMIENTO 2015	27
6.0 MONITOREO DEL DESLIZAMIENTO	30
6.1 ANÁLISIS DE VECTORES DE DESPLAZAMIENTO EN LA ESCARPA DEL DESLIZAMIENTO	33
7.0 DINÁMICA DE DESPLAZAMIENTO Y DEFORMACION DEL DESLIZAMIENTO DE SIGUAS	34
7.1 DINÁMICA DE DESPLAZAMIENTO DE BLOQUES	34
7.2 DINÁMICA DE DEFORMACIÓN DE LA ESCARPA DEL DESLIZAMIENTO	36
CONCLUSIONES	42
RECOMENDACIONES	43
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	44

1.0 INTRODUCCIÓN.

El valle del río de Sigvas geomorfológicamente presenta un relieve estrecho con laderas empinadas que asociadas a factores que alteren su estado de equilibrio como la sobresaturación de suelos, gravedad y sismos, favorece la ocurrencia de movimientos en masa

El deslizamiento Sigvas, ubicado al flanco derecho del Valle con el mismo nombre, en la región Arequipa, es un movimiento en masa activo que compromete importante infraestructura: Carretera Panamericana Sur del Km 910+500 al – 912+000, la planta de tratamiento Gloria que es uno de los principales centros de abastecimiento de lácteos del Perú; y hectáreas de terrenos de cultivo del centro poblado de El Pedregal.

La zona de estudio es un deslizamiento rotacional retrogresivo, de geometría semicircular con 1.4 Km de longitud 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 - Sigvas I (Háydee, 2007). Litológicamente, está formada por conglomerados y secuencias volcánicas de la Formación Moquegua (Eoceno – Oligoceno) con depósitos aluviales Pleistocénicos y Cuaternarios que conforman el relleno de la cuenca Moquegua. Estas secuencias tienen como característica principal un alto grado de porosidad.

El análisis detallado de imágenes de satélite y fotografías aéreas muestra la dinámica de la deformación y desplazamiento del deslizamiento Sigvas, evidenciándose una elevación de su tasa de desplazamiento desde el año 2004 hasta la fecha

La masa deslizada tiene un comportamiento dinámico, donde se aprecia estructuras de segregación granular formadas por esfuerzos compresivos así como estriamiento y desplazamientos de bloques de más de 5 metros. En el año 2014 el comportamiento del material generó el represamiento de 250 metros aproximados sobre el río, afectando los terrenos de cultivo en el sector represado.

Frente a la necesidad de monitorear el deslizamiento Sigvas para evaluar la dinámica de deformación y desplazamiento, se establecieron etapas de adquisición de información: La primera etapa consistió en la recopilación de fotografías aéreas históricas pre-deslizamiento y la adquisición de imágenes de satélite para conocer la evolución temporal en los años pasados. La segunda etapa consiste en la construcción y mantenimiento permanente de hitos en la escarpa y cuerpo del deslizamiento que sirven de puntos de control para la obtención de datos de precisión mediante levantamiento de GPS-RTK. La tercera etapa consistió en la construcción de estaciones de monitoreo base para la instalación de un escáner laser de alta precisión (LiDAR) cuya principal ventaja es escanear con una precisión milimétrica estructuras en el cuerpo del deslizamiento.

Con la combinación de estos métodos se calculará los principales parámetros de deformación del deslizamiento como: vectores de desplazamiento, velocidad de extensión de la escarpa, áreas de terreno afectadas, grados de deformación, entre otros.

Estos trabajos se realizan desde el año 2005, en marco de la actividad ACT3: Monitoreo Geofísico y Geodésico de fallas activas y movimientos en masa de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgos – DGAR del INGEMMET.

1.1 OBJETIVOS

El objetivo del presente estudio conocer el comportamiento y evolución multitemporal del deslizamiento de Sigwas: sus causas, tasa de deformación, desplazamiento y recurrencia; conocer la vulnerabilidad y (infraestructura en riesgo) y planificar futuros estudios de remediación.

1.2 ANTECEDENTES

Previo a los estudios de campo, se recopiló información bibliográfica y trabajos anteriores en la zona, con el fin de conocer que antecedentes se tiene y cómo el conocimiento previo puede aportar a nuestra investigación, las principales referencias al deslizamiento de Sigwas son:

“En el valle de Sigwas, se encontró depósitos con tres prehistóricas depositaciones de volúmenes entre 15×10^6 y más de 1000 metros cúbicos, los que no fueron datados, pero se le atribuye edades más viejas que el holoceno, por áreas de cobertura constituidas por depósitos masivos de flujos laharicos del interior de los Andes, que no son conocidos por el pleistoceno tardío /holoceno en esa región. En el mismo valle se produjo mega deslizamientos los pasados 8 años con volúmenes de 30×10^6 m³, destruyendo severamente km² de agricultura en el valle ...”. Guisado. J. (1966). INGEMMET, 54p.

“En 1981 comenzó la desestabilización del terreno y el agua empezó a resumar de las paredes del valle produciendo una mayor desestabilización del terreno en 1996. En el 2002, seis metros cúbicos se deslizaron, originados de ese movimiento en masa ...” Toledo, H. T.Ticona, J. (2007) -, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa,106p.

“El 29 de abril de 1999 se produce un deslizamiento y hundimiento en el anexo de Pachaqui, en un tramo de la carretera que conduce hacia Ramada y Cornejo en la margen derecha del Valle Sigwas ...”.Toledo, H. T.Ticona, J. (2007) -, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa,106p.

“El 19 de julio de 1999 se produce un deslizamiento de talud en la margen derecha del valle de Sigwas, enterrando viviendas, el canal principal de regadío y la carretera que conecta los poblados de Ramada y Cornejo. Los 4 años posteriores a este evento se tiene infiltraciones de 550 metros lineales, en el cuerpo del talud a una altura de 40 metros sobre el lecho del río ...”.Toledo, H. T.Ticona, J.(2007) , Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa,106p.

“El 16 de junio del 2003 a las 4 de la madrugada se produce un deslizamiento del talud en la margen derecha de Pachaquí, con un deslize de 500 000 m³, originando un embalse del río Sigwas, pérdida de 20 hectáreas de terrenos de cultivo, inundación de predios por el embalse e inutilización de la carretera ...”. Toledo, H. T.Ticona, J.(2007) -, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa,106p.

“El 10 de Agosto del 2005 se inicia el deslizamiento del talud en la zona de El Zarzal, ubicado en la margen derecha del río Sigwas, el fenómeno se inicia con una imperceptible grieta en el hombro del talud, la misma que fue aumentando progresivamente hasta 1200 metros ...”. Toledo, H. T.Ticona, J.(2007) -, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa,106p.

2.0 ASPECTOS GENERALES

2.1 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 se ubica 100 metros al NW de la carretera Panamericana Sur (Mapa 1)., actualmente tiene una extensión de 1.4 Kilómetros.

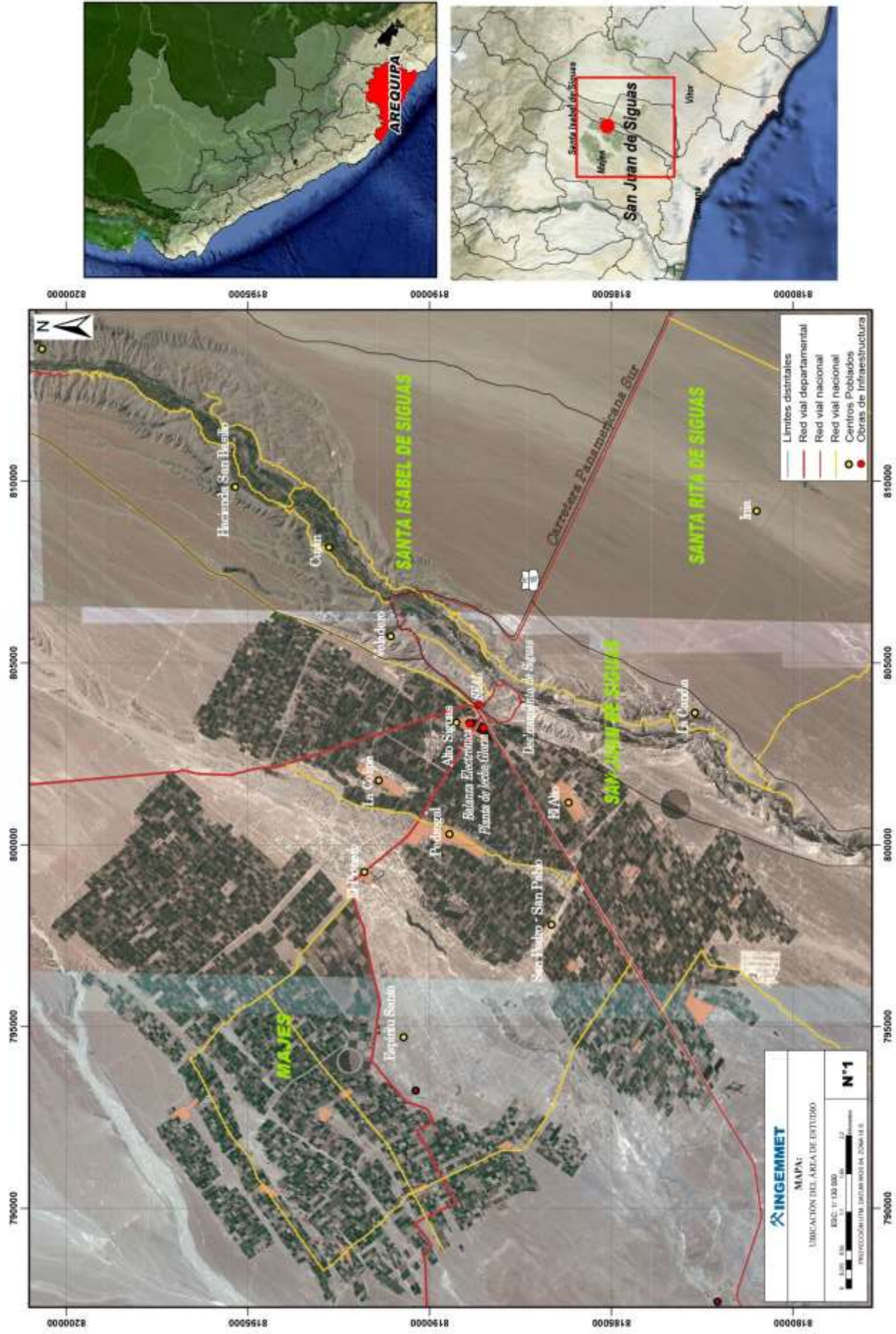
La zona de estudio es accesible por la Carretera asfaltada de la Panamericana Sur teniendo como punto de partida la ciudad de Arequipa, con un recorrido de 70 Km en un tiempo promedio de 1 hora con 30 minutos ; por el sector de Camaná y Huambo al sur oeste y norte respectivamente de la ubicación del deslizamiento se tiene un tiempo de llegada promedio de 1 hora y 30 minutos por carretera asfaltada, El área de estudio compromete carreteras de importancia nacional para el tránsito vehicular, su destrucción seria alarmante en el traslado terrestre de los viajeros y al mismo tiempo afectarían los ingresos económicos de la población, al limitarlos en el traslado y venta de sus recursos.

2.2 CONDICIONES CLIMÁTICAS.

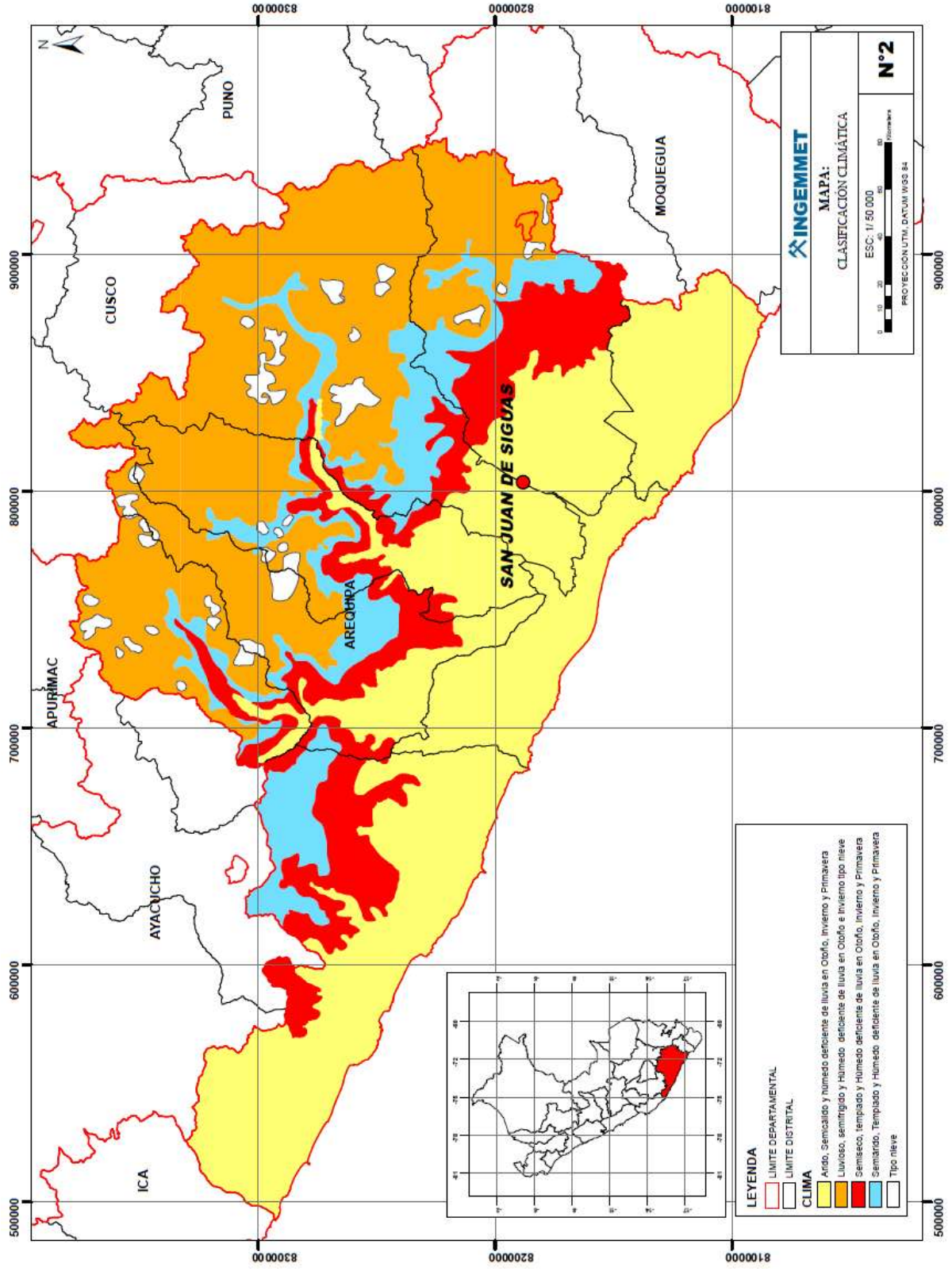
El área de estudio presenta climas áridos, semiáridos en verano y húmedos en otoño e invierno, característicos de localidades emplazadas en las estribaciones andinas entre los 1000 m.s.n.m. y 2500 m.s.n.m. (Mapa 2). La distribución de pisos altitudinales de Pulgar Vidal (1940) clasifica la zona en la región Yunga.

La estación meteorológica convencional más cercana se ubica cerca de Alto Sigwas, en el distrito de Majes a 1434 m.s.n.m. SENAMHI proporciona las lecturas de precipitaciones anuales de 0.1 l/m² a 6 l/m², que muestra un efecto despreciable en la zona de estudio.

La temperatura máxima y mínima registrada es de 27°C y 14°C, condiciones térmicas que favorecen el desarrollo de cultivos en zonas agrícolas sumado a la disponibilidad de recurso hídrico debido al riego de cultivos por el desarrollo del proyecto de Irigación Majes – Sigwas I el año 1971.



Mapa 1: Ubicación del deslizamiento de Sigüas – Arequipa



Mapa 2: Mapa climático de la región Arequipa mostrando sus diferentes tipos de climas de acuerdo a su ubicación altitudinal. El punto rojo muestra la ubicación del deslizamiento de Sigüas Fuente: SENAMHI

3.0 GEOMORFOLOGÍA LOCAL

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 (Mapa N°3).

3.1 Valle de Sigwas:

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

3.2 Conos de deyección:

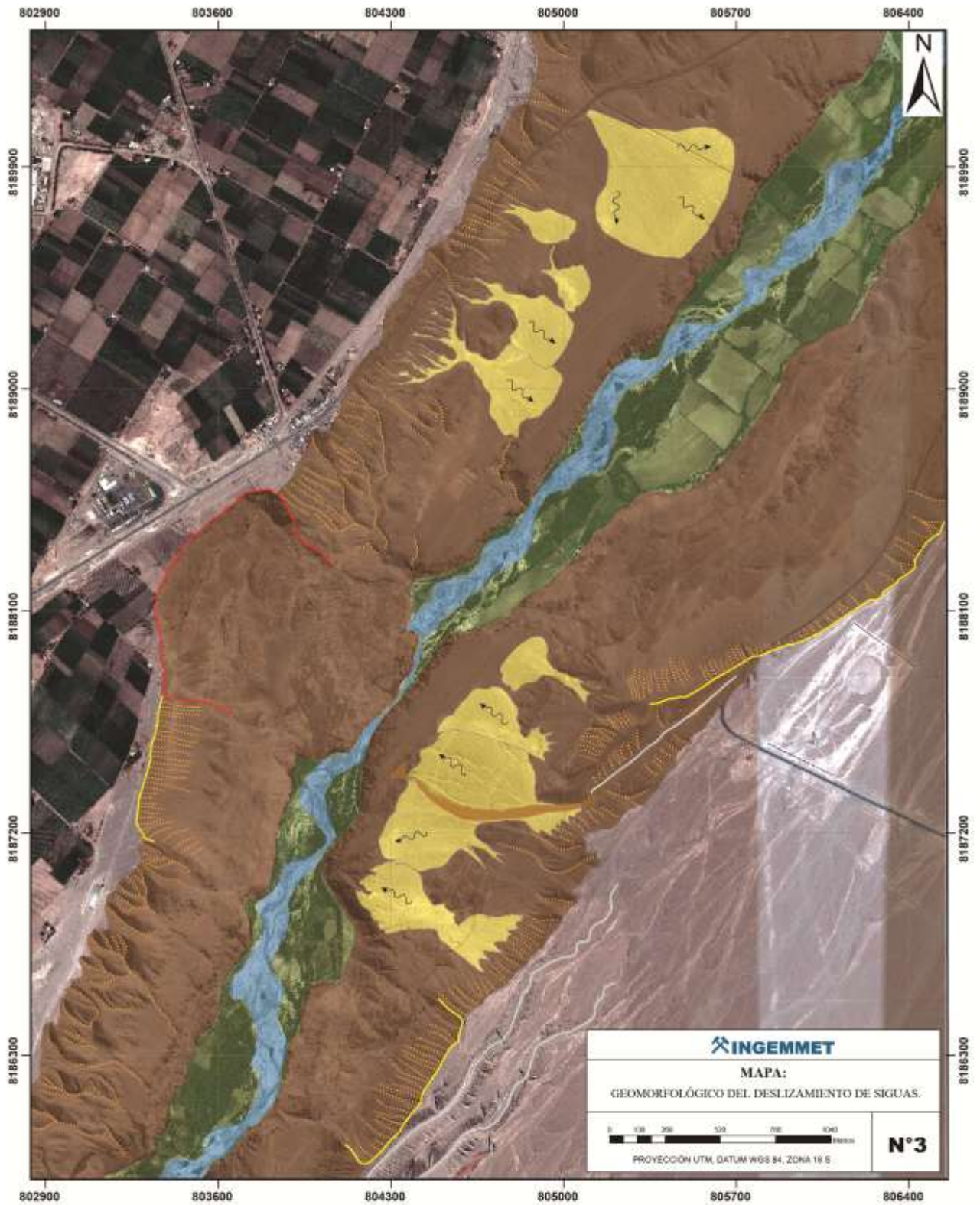
En la margen derecha e izquierda del valle de Sigwas se tienen conos de deyección antiguos, con reactivaciones erosivas sobre la ladera del corte del valle (Foto 1).

3.3 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 (Foto 2).

3.4 Río Sigwas:

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 35°N 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.



Mapa 3: Geomorfología Local del Valle de Sigüas con enfoque en estructuras aledañas al deslizamiento de San Juan de Sigüas



Foto 1: Flanco Izquierdo del Valle del río de Sigüenza, se observa conos de deyección producto de desprendimiento de detritos por erosión diferencial.



Foto 2: Vista del flanco derecho del valle del río de Sigüenza, se observa terrenos de cultivos de alfalfa sobre el piso del valle, afectados por variación del curso del río.

4.0 UNIDADES LITOLÓGICAS

El área de estudio está formado por unidades geológicas de edades Cenozoicas y Cuaternarias que relatan la historia deposicional y erosiva del valle, estas son: La Formación Moquegua y depósitos cuaternarios.

4.1 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 aun 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)

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 SW, 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, litológicamente 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)

Moquegua Superior (Po-Ms): Reposo en discordancia angular sobre la formación Moquegua Inferior, litológicamente formados por conos aluviales, sedimentos conglomerádicos, con influencia de actividad volcánica (Foto 3). 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. Litológicamente, esta formación está formada por areniscas blanco grisáceas, de grano medio a fino, hasta conglomerádicas, con algunas capas de arcilla y conglomerado de cantos chicos (Guisado, 1968)



Foto 3: Conglomerados concordantes y bancos de Ignimbrita de la Formación Moquegua Superior.

4.2 DEPÓSITOS ALUVIALES (Q-al)

Conglomerados pleistocénicos: Esta unidad litológica sobryace 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 (Fotos 4 y 5) .



Foto 4: Vista superior del flanco derecho de la escarpa del deslizamiento.



Foto 5: Conglomerados clasto soportado de 10 a 1 metro de diámetro.

Depósitos aluviales cuaternarios: 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 Sigüas. Litológicamente, 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 un metro hasta partículas de arcillas.

Terraza indiferenciada (qh-t): Las terrazas fluviales a lo largo del valle de Sigwas no tienen gran longevidad porque la constante actividad del río provoca su erosión (Foto 6)



Foto 6: Terraza Fluvial altamente agrietada y destruida.

4.3 DEPÓSITOS COLUVIALES (Q-co):

Formados por el desprendimiento de sedimentos conglomerádicos sobre el piso del valle del río

4.4 DEPÓSITOS EÓLICOS (Q-e):

Las estructuras que caracterizan este tipo de depósitos principalmente se encuentran dispuestas al Sureste del área de estudio (Foto 7), están representadas por cadenas de dunas aisladas sobre quebradas secas que disectan las pampas de Sigwas. Tienen tamaños de más de 5m de longitud y 3 metros de altura en dirección Suroeste a Noreste, habiéndose estimado avance anual de 25 metros (Guisado, 1968).

Sobre el cuerpo del deslizamiento se encuentran estructuras eólicas sobre material arenoso (Foto 8)



Foto 7: Dunas al suroeste del área de estudio de 5-10m de longitud.



Foto 8: Formación de ripples sobre el cuerpo del deslizamiento.

5.0 DINÁMICA DEL DESLIZAMIENTO DE SIGUAS.

El proceso en estudio corresponde a un peligro geológico correspondiente a un movimiento en masa de tipo deslizamiento rotacional retrogresivo, dinámicamente activo y de movimiento lento - moderado, denominado Deslizamiento de Sigwas

El análisis de la evolución del deslizamiento está basado en el cartografiado de imágenes satelitales multitemporales y en el monitoreo reciente de puntos de geocontrol sobre la escarpa y cuerpo del deslizamiento. Según la escala de velocidades de Cruden y Varnes (1996) el deslizamiento de Sigwas es un movimiento de lento a Moderado.

5.1 ESTADO DEL DESLIZAMIENTO 2004

En la imagen satelital del 2004, el área estaba delimitada por el corte de valle y conos aluviales antiguos sobre la pendiente.

Después de la construcción del proyecto de irrigación Majes –Sigwas 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 Sigwas.

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 infiltración de agua como agente desestabilizador. Las fotos 9 al 13 muestran el estado del deslizamiento en marzo del 2007. (Mapa 4).



Foto 9: Cuerpo del deslizamiento en 2007, presencia de agrietamientos y presencia de movimientos tipo propagación lateral al pie del deslizamiento



Foto 10: Detalle de agrietamientos paralelos al talud, indicando la actividad del deslizamiento



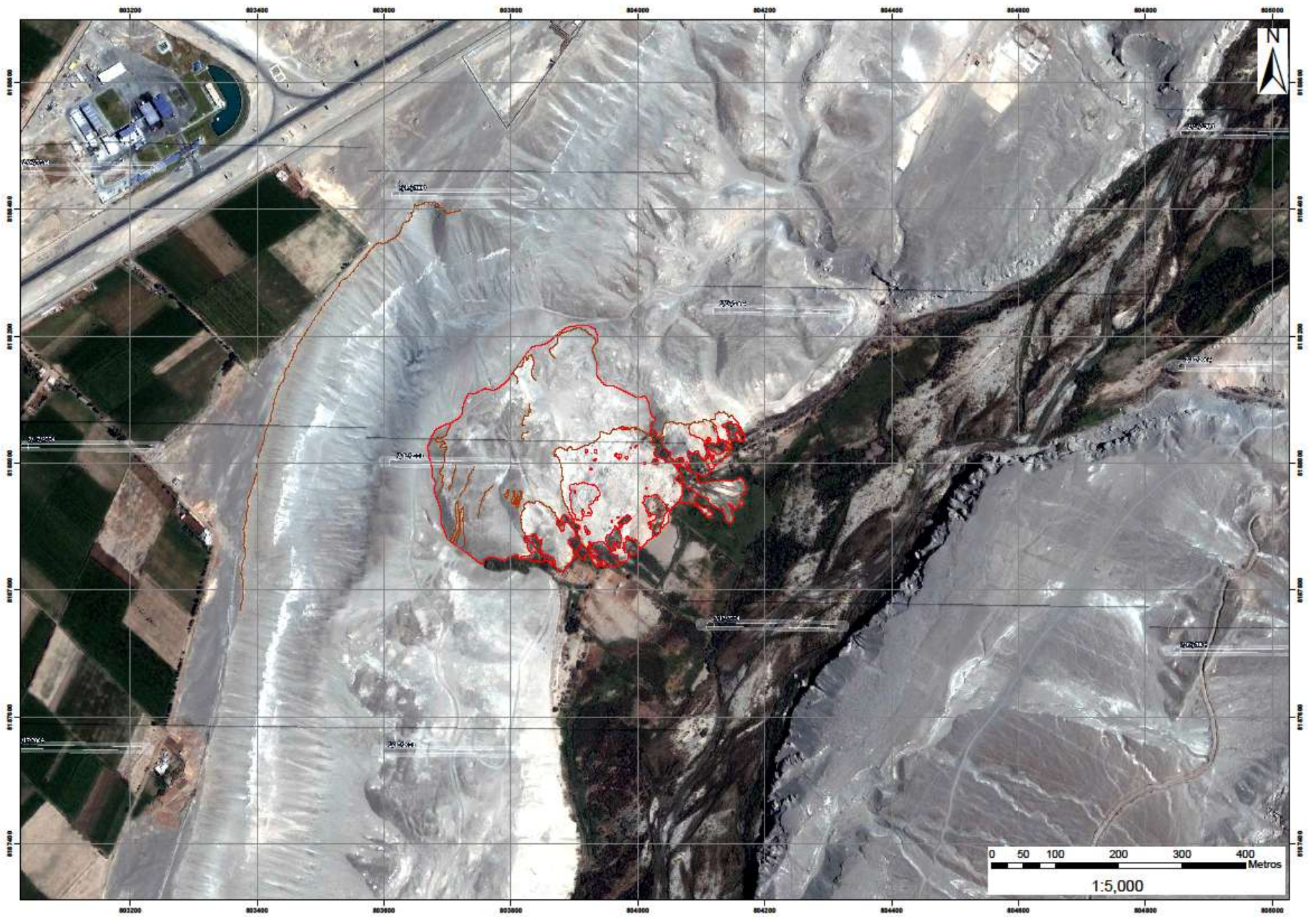
Foto 11: Presencia de filtraciones a través de una capa permeable



Foto 12: El deslizamiento “levantó” un cementerio precolombino situado al pie del deslizamiento



Foto 13: Aspecto del talud superior del deslizamiento (escarpa) en 2007. Obsérvese los materiales inconsolidados correspondientes a la Formación Moquegua.



Mapa 4: Cartografiado de r deslizamientos en la parte baja del valle de Sigüenza, año 2004.

5.2 ESTADO DEL DESLIZAMIENTO 2010

Basado en la imagen de satélite del 2010 (Mapa 5), el deslizamiento de Sigwas tiene una escarpa de 1250 metros de longitud, destruyendo una superficie de 6860 m/año desde el 2004.

El deslizamiento cubre casi la totalidad del piso de valle contiguo y se aprecia estructuras de erosión y deformación. Con fines explicativos, el deslizamiento se ha zonificado en tres zonas las cuales se muestran en el perfil transversal de la Figura 1.

La zona de arranque o escarpa: Tiene un plano de ruptura expuesto de 20 a 25 metros de altura, donde muestra la disposición horizontal de materiales conglomerádicos e ignimbriticos con laminación paralela, pertenecientes a la formación Moquegua Superior (Fotos 14 (a,b)). Es en este sector donde se tiene constantemente desprendimiento de materiales por una intensa actividad erosiva producto del viento, la vibración generada por la carretera Panamericana y agentes gravitacionales.



Foto 14: a). Muestra bloques de Ignimbrita concordante a material conglomerádico; b). Se observa bloques de conglomerado con matriz areno- limoso

La **zona de compresión o depósito**: Formado por bloques altamente diaclasados, sedimentos gravosos bien seleccionados, se observan estructuras de segregación granular de clastos de 20cm de diámetro producto de procesos de compresión sobre la masa del deslizamiento (Foto 15).

Sobre el cuerpo se tiene abundante material suelto de clastos redondeados, arenas y limos con agrietamientos de 10cm. de apertura (Foto 16).



Foto 15: Estructuras de compresión visibles por selección granular de clastos sobre la zona de depósito

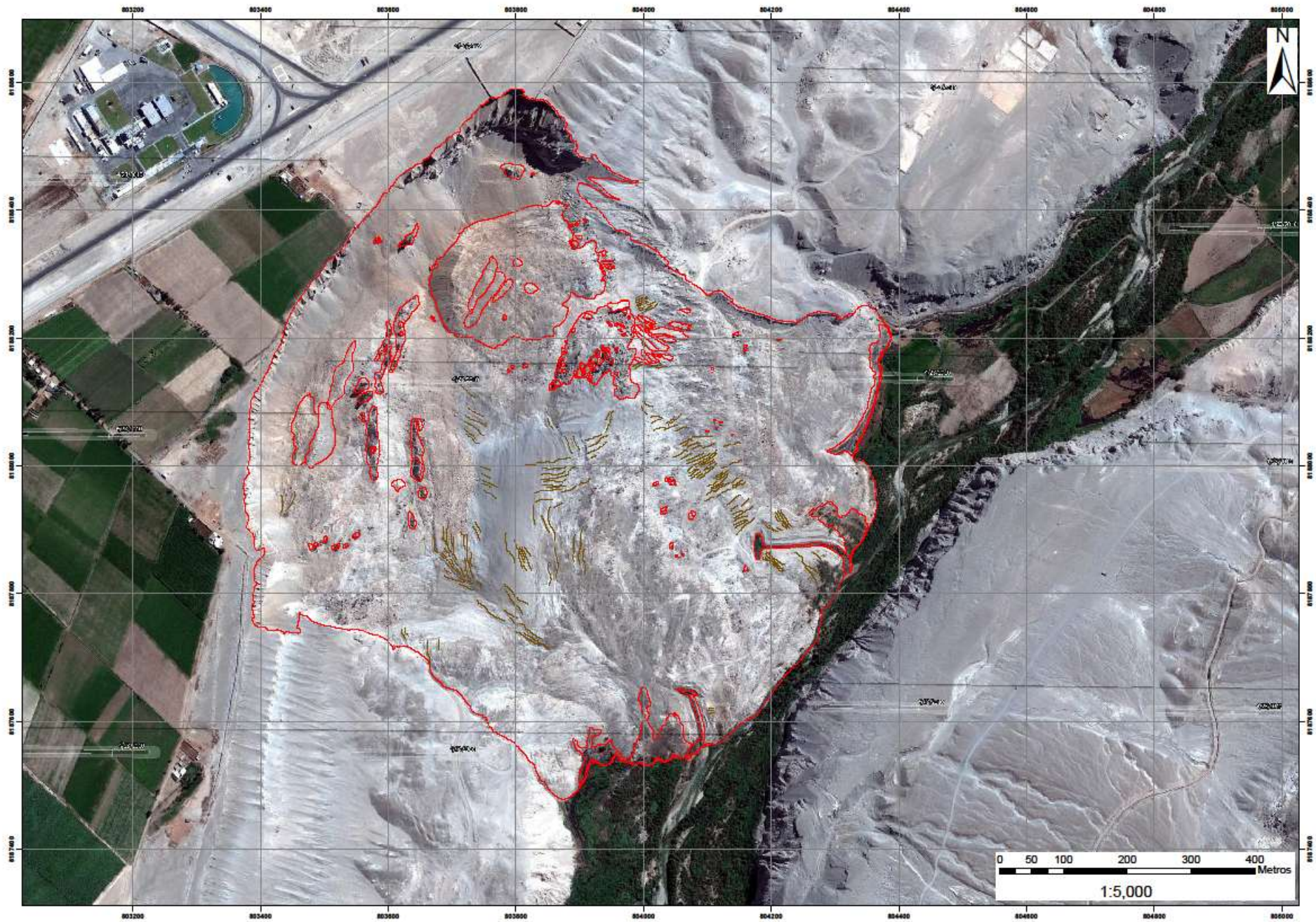


Foto 16: Agrietamientos sobre el material no consolidado.

La zona de caída o pie del deslizamiento: Se encuentra mayormente material gravoso dentro de una matriz de ceniza, con agrietamientos de 5 centímetros de apertura. El 2010 la masa del deslizamiento se extendió 355 metros sobre el piso de valle afectando superficies hasta de 0.17 km² (Foto 17).



Foto 17: La masa del pie del deslizamiento afecta áreas del piso de valle. Presencia de filtraciones



Mapa 5: Cartografiado del deslizamiento de Sigüas, año 2010.

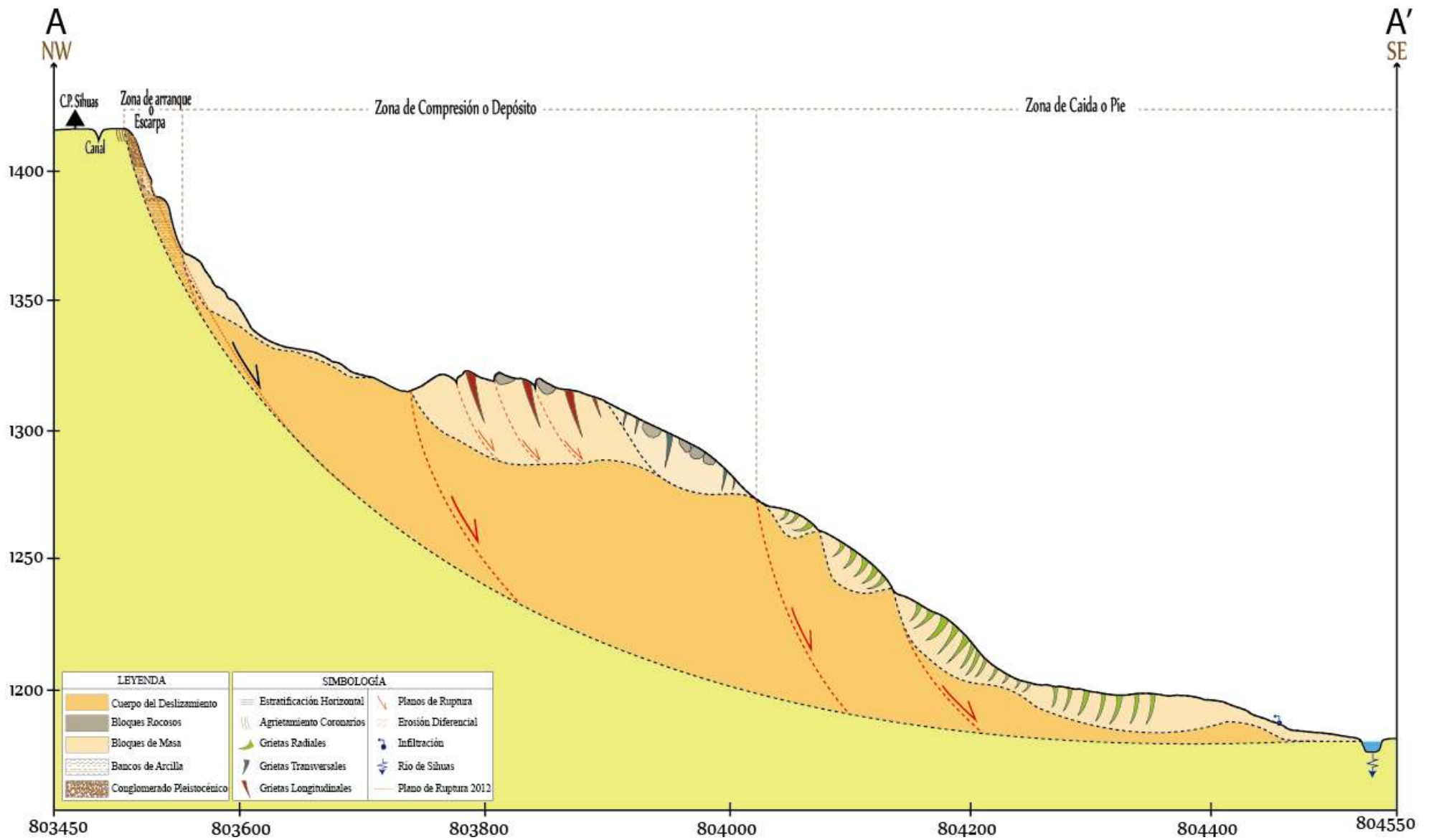


Figura 1: Perfil transversal “Corte A - A’” del deslizamiento de Sigüas, año 2010.

5.3 ESTADO DEL DESLIZAMIENTO 2012

En el año 2012 (Mapa 6), la 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.

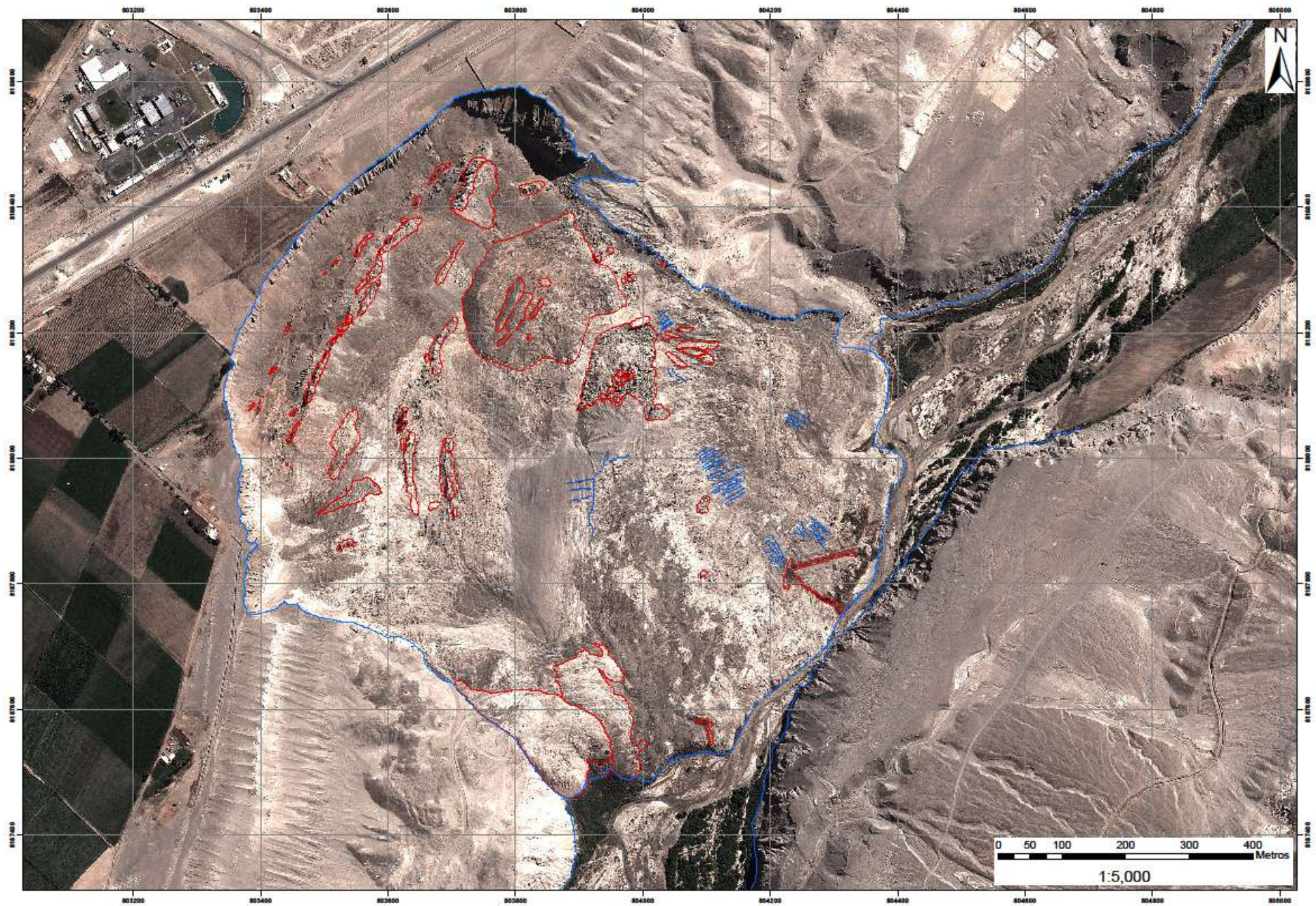
Sobre el cuerpo del deslizamiento se observa grietas radiales y longitudinales de extensión y compresión con desplazamientos de 75 metros respecto al año 2010, lo que indica un avance aproximado de 32.5 metros anuales, siendo un movimiento comprendido entre lento y muy lento según la Escala de Velocidades de Cruden y Varnes (1996).

La masa de acumulación del deslizamiento se extendió sobre el piso del valle una distancia promedio de 30 metros afectando superficies hasta de 200 000m².

El 2014 se produce un estrangulamiento del cauce del río Sigwas, generando una laguna de 84,000 m² (Foto 18).



Foto 18: Muestra la formación de la laguna como producto del represamiento del río Sigwas, producto del deslizamiento.



Mapa 6: Cartografiado del deslizamiento de Siguas, año 2012.

5.4 ESTADO DEL DESLIZAMIENTO 2015

La imagen aérea del 2015 proporcionada por CONIDA (Mapa 7), muestra una escarpa principal de 1370 metros de longitud.

Los bloques dispuestos en la zona de compresión tuvieron un desplazamiento promedio 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 de caída o pie 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

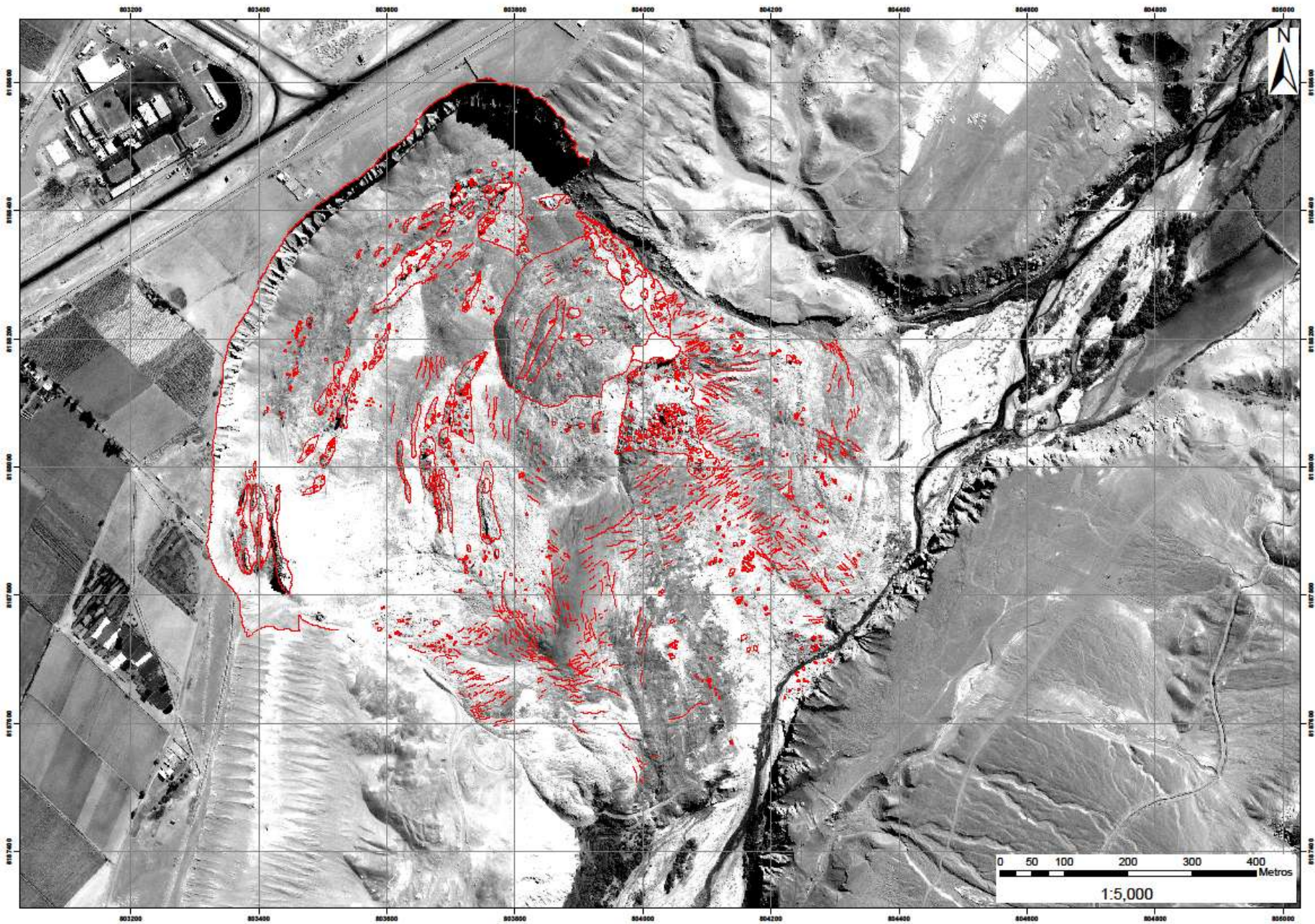
Sobre el cuerpo del deslizamiento se observan bloques de conglomerados altamente fracturados. Sobre materiales ignimbríticos de 2.5 metros de diámetro, que se mueven lentamente por compresión de la masa (Fotos 19 y 20).



Foto 19: Bloque fracturado sobre la zona de compresión del cuerpo del deslizamiento.



Foto 20: Sedimentos gravosos que muestran estructuras de compresión en la zona de depósito del deslizamiento.



Mapa 7: Cartografiado del deslizamiento de Sigüas, año 2015.

6.0 MONITOREO DEL DESLIZAMIENTO

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 (Figuras 2 y 3).

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.

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

Monitoreo LiDAR: El uso del LiDAR permite realizar medidas centimétricas de desplazamiento mediante superposición de imágenes en distintos periodos de tiempo (Foto 21). Actualmente se tiene escaneos del deslizamiento en los años 2015 y 2016.



Foto 21: Monitoreo LiDAR del deslizamiento de Sigwas.

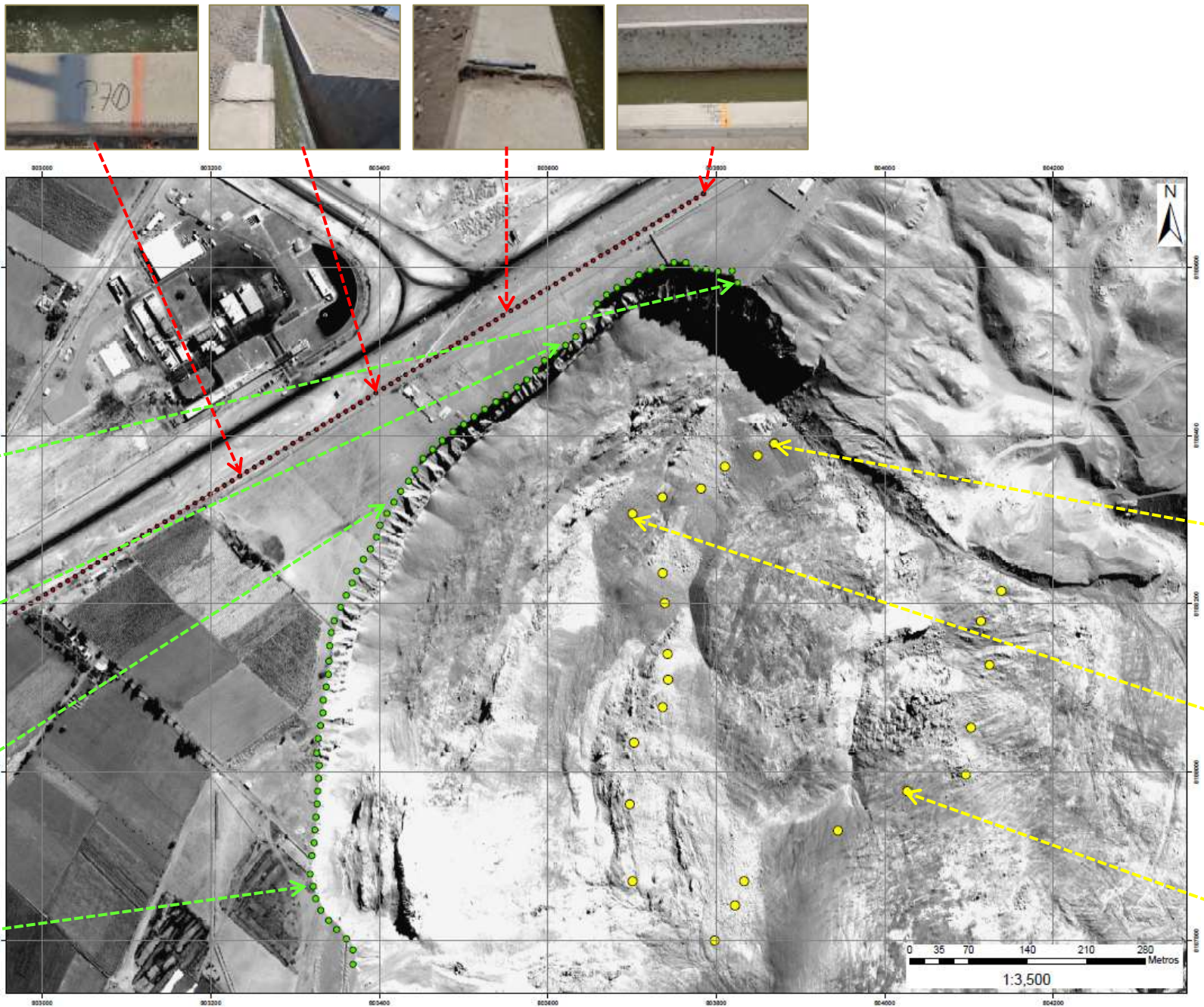


Figura 2: Los puntos rojos corresponden a los puntos de control sobre el canal de regadío, los mismos que muestran agrietamientos de la infraestructura con aperturas de 0.5 a 1 centímetros; los puntos verdes y amarillos representan los hitos monumentados sobre la escarpa y cuerpo del deslizamiento respectivamente.

A)

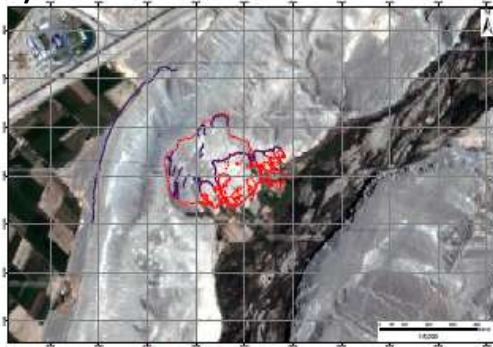


Imagen Satelital, Año 2004: Vista de reactivaciones en la parte baja del Valle del rio Sigüas, se observa el llmite del valle.

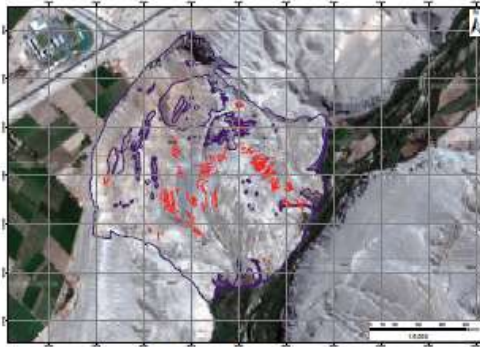


Imagen Satelital, Año 2010: Se muestra el cartografiado de bloques y estrias sobre el cuerpo del deslizamiento.

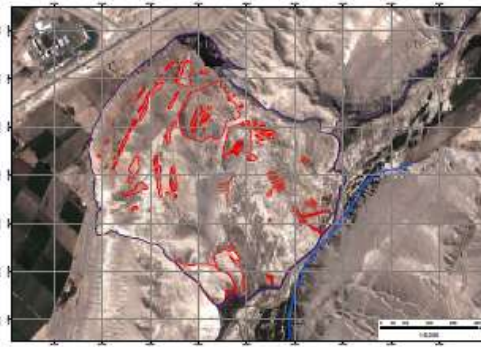


Imagen Satelital, Año 2010: Desplazamiento de las estructuras ya existentes, extension de las dimensiones de la escarpa

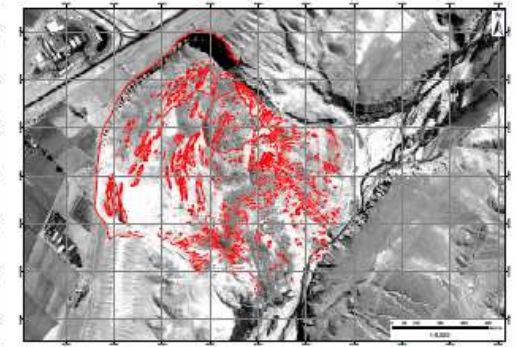


Imagen Aérea, Año 2015: Cartografiado de los bloques desplazados y estriamiento sobre el cuerpo del deslizamiento

C)

Años	ESCARPA			PIE		DESPLAZAMIENTO		
	LONGITUD (m)	DISTANCIA (m)	SUPERFICIE (m ²)	DISTANCIA (m)	SUPERFICIE (m ²)	EXTENSION ESTRIAMIENTO	GRETELAS	PIESAS
2004		30	41160	90	0.01			
2010	1250	55	33955	355	0.17	280	✓	✓
2012	1350	18	20426	30	0.2	1 kms.	✓	✓
2015 Mayo	1370	2	1292	8	0.02	1000 km ²	✓	✓
2015 Nov.	1376			1		280	✓	✓

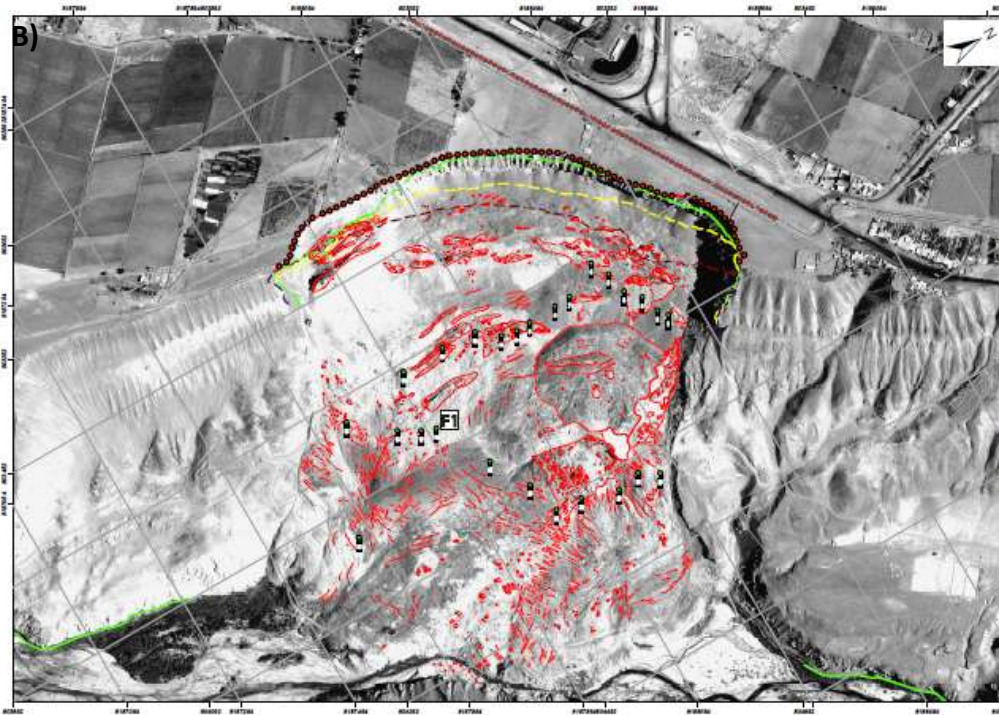


Imagen Satelital, Año 2015: Vista frontal del deslizamiento de Sigüas, se muestra la Evolución de la escarpa en el año 2004, 2010, 2012, mayo y noviembre del 2015; Así como los puntos de monitoreo sobre la escarpa, masa y canal de regadío.

D)



Fotografía 1: Vista frontal de ridges sobre el cuerpo del deslizamiento.

Figura 3: A). Comparación del cartografiado de imágenes cronológicas del deslizamiento de Sigüas, B).Puntos de Geocontrol sobre la escarpa y cuerpo del deslizamiento, así mismo muestra la variación de la escarpa en el año: 2004, 2010, 2012 y 2015; C). Comparación de zonas afectadas sobre la escarpa y pie del movimiento en el año: 2004, 2010, 2012 y 2015; D). Vista frontal de ridges con bloques de 10 a 20 centímetros de diámetro.

El cálculo de la deformación del deslizamiento está basado en el procesamiento y análisis de vectores de deformación de la escarpa del deslizamiento y vectores de desplazamiento entre bloques, en el cuerpo en los años: 2010-2012 y 2012-2015

6.1 ANÁLISIS DE VECTORES DE DESPLAZAMIENTO EN 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, ubicado a 41 metros de la escarpa principal.

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 (Figura 4). Los vectores de deformación fueron divididos en tres sectores, basados en nivel de destrucción que generó la escarpa a lo largo de su extensión sobre los terrenos de “El Pedregal”, estos son: Sector 1 engloba el análisis del vector N°1 al N°20 (Lado derecho de la escarpa); Sector 2 con vectores del N°21 al N°67(Lado central); Sector 3 abarca vectores del N°68 al N°82 (Lado izquierdo de la escarpa) (Figura 4).

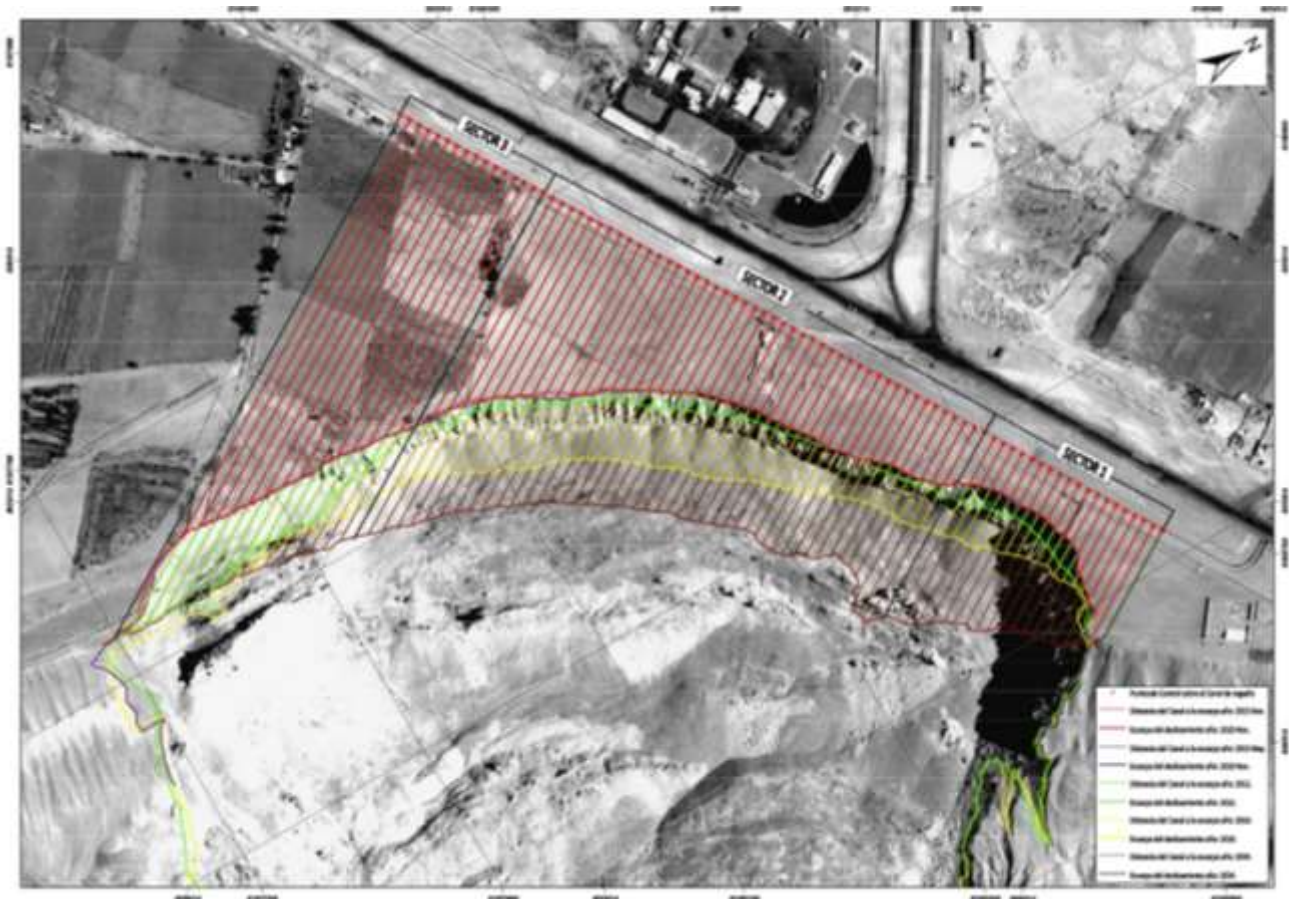


Figura 4: Sectores de división sobre la escarpa del deslizamiento, se observa las distancias de desplazamiento entre escarpas, respecto al canal de regadío (estructura estable).

7.0 DINÁMICA DE DESPLAZAMIENTO Y DEFORMACION DEL DESLIZAMIENTO DE SIGUAS.

7.1 DINÁMICA DE DESPLAZAMIENTO DE BLOQUES

Uno de los tipos de monitoreo que se realiza en el deslizamiento de Siguas está basado en el uso de imágenes satelitales cronológicas (obtenidas de softwares de cartografiado como Google Earth, Terraigonita e imágenes pleiades proporcionadas por CONIDA), que sirvieron de base para el cartografiado detallado de bloques y agrietamientos sobre la masa deslizada, 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.

Por disposición morfológica, litológica, dinámica y principalmente mejores fines explicativos, el perfil del deslizamiento fue sectorizado en tres zonas, estas son: Zona Alta (Arranque o escarpa), Zona Media (compresión o depósito) y Zona Baja (caída o pie) (Figura 5).

Se tiene pocos datos de desplazamiento de bloques en la zona alta porque no hay un control cronológico de los mismos, en vista que eran inexistentes años anteriores, esto explica la dinámica retrogresiva y aporte constante de sedimentos sobre la masa desplazada. En la zona media, el deslizamiento tiene bloques de conglomerado, ignimbrita, arena y arcilla medianamente consolidados, de 2 a 3 metros de diámetro, dispuestos sobre material suelto de gravas mal seleccionadas con clastos de 10 -20 cm de diámetro, es en esta zona de depósito donde se produce estructuras de compresión por segregación granular, estas geoformas son montículos alargados de cantos redondeados mayores a 10 cm. de diámetro, paralelos entre si y a la geometría de la escarpa del deslizamiento. La zona Baja presenta mayor cantidad de bloques ignimbríticos altamente fragmentados, dispuestos caóticamente, la matriz es arenosa y limosa lo que facilita la presencia de agrietamiento de varios metros de longitud con aperturas de 10cm a lo largo de la zona baja o pie del material desplazado.

De la totalidad de bloques cartografiados, 70 fueron seleccionados para el análisis del desplazamiento sobre las tres zonas de la masa deslizada, en periodos de tiempo de 2 y tres años, la selección de bloques está basada en la continuidad de existencia de bloques en las imágenes de satélite del 2010, 2012 y 2015. Donde las distancias de desplazamiento entre los años 2010-2012 y 2012-2015 son generados a partir de los puntos centrales de cada bloque cartografiado, mostrando inclinaciones de 320° respecto al norte principalmente en la zona media y final del cuerpo del deslizamiento (Figura N°5).

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 5).

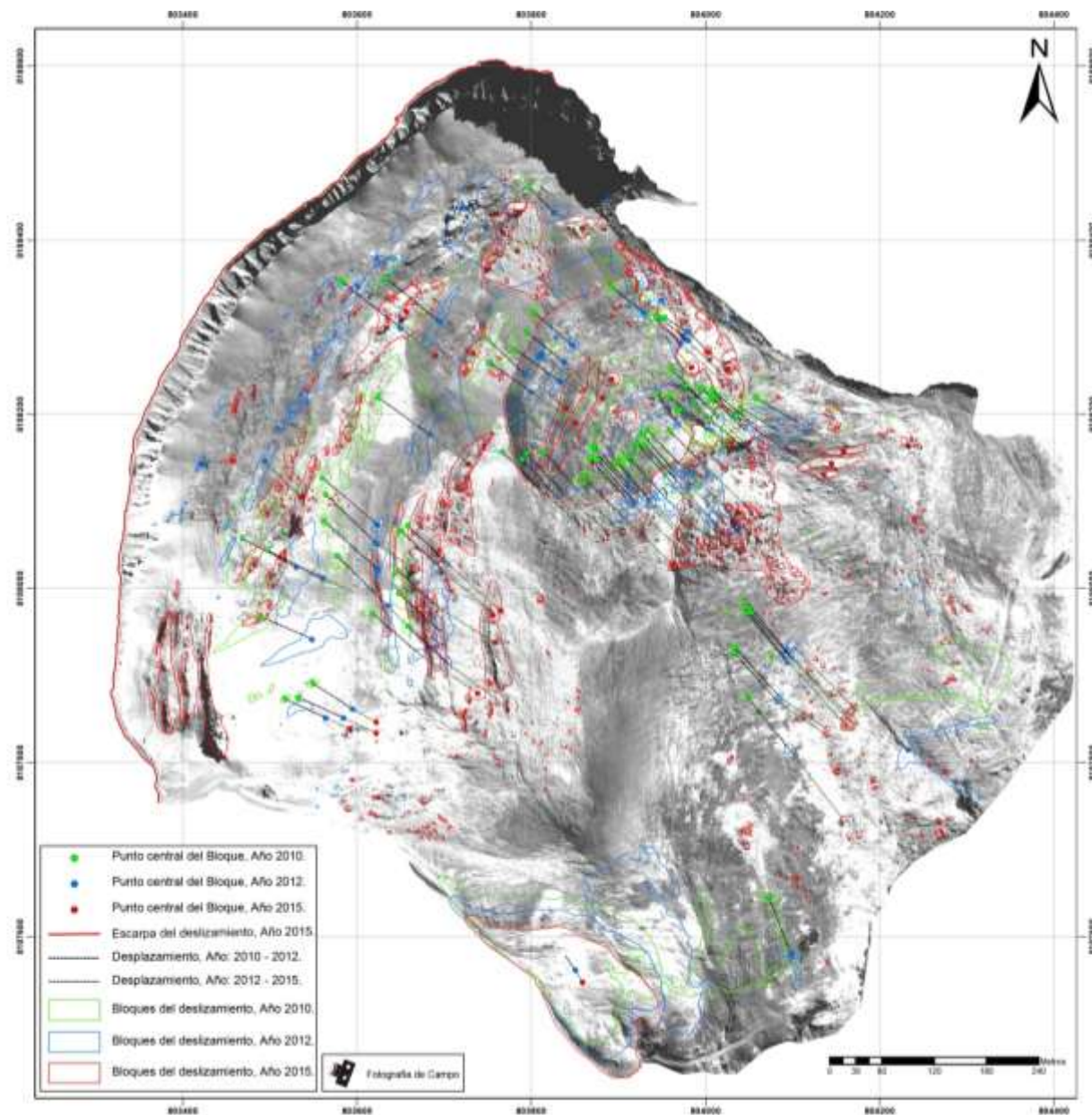
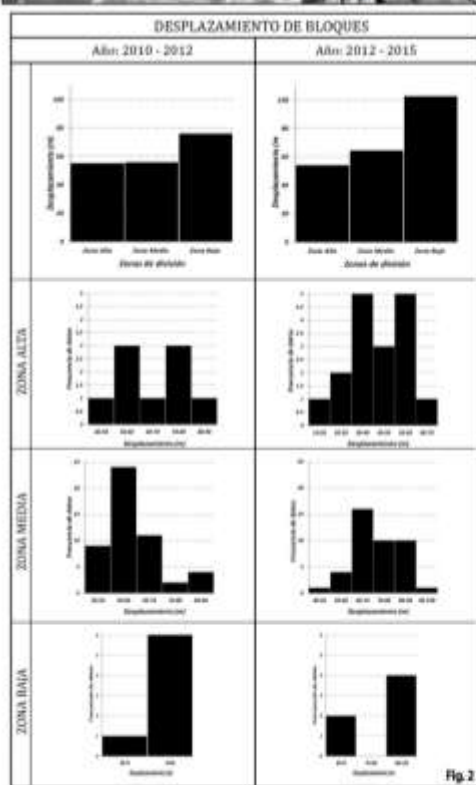


Figura 5: Vectores de desplazamiento sobre el cuerpo del deslizamiento de Siguas, generados a partir del cartografiado de bloques. Al lado derecho se observa la Sectorización Alta, media y baja de la masa deslizada y diagramas de frecuencia de la dinámica de desplazamiento de bloques en los años: 2010-2012 y 2012-2015.

Años atrás, el constante desplazamiento de la masa deslizada ha ido provocando el cierre de valle del Río Sigüas por la formación de represas naturales que suspende el curso del río, volviéndose indispensable un monitoreo constante del deslizamiento de Sigüas para estimar periodos de tiempo en el que sus avances provocarían eventos de represamiento que afectarían económicamente a los pobladores del Pedregal por encontrarse terrenos de cultivo en las cercanías del movimiento.

El uso de imágenes satelitales para la identificación del desplazamiento da una visión general de su dinámica, pero recientemente frente a la necesidad de obtener valores constantes de desplazamiento se optó por realizar un monitoreo más preciso, mediante el uso de sistemas de posicionamiento espacial a tiempo real (GPS-RTK). Con ese objetivo, preliminarmente se anclaron 27 hitos de control sobre la zona media y baja dentro del cuerpo del deslizamiento (Mapa 8), los que serán medidos constantemente para obtener las dimensiones exactas de desplazamiento y estimación de periodos de tiempo en los que su movimiento afectaría el cauce del río Sigüas. El punto de control base se encuentra ubicado en el flanco izquierdo del Valle del río Sigüas.

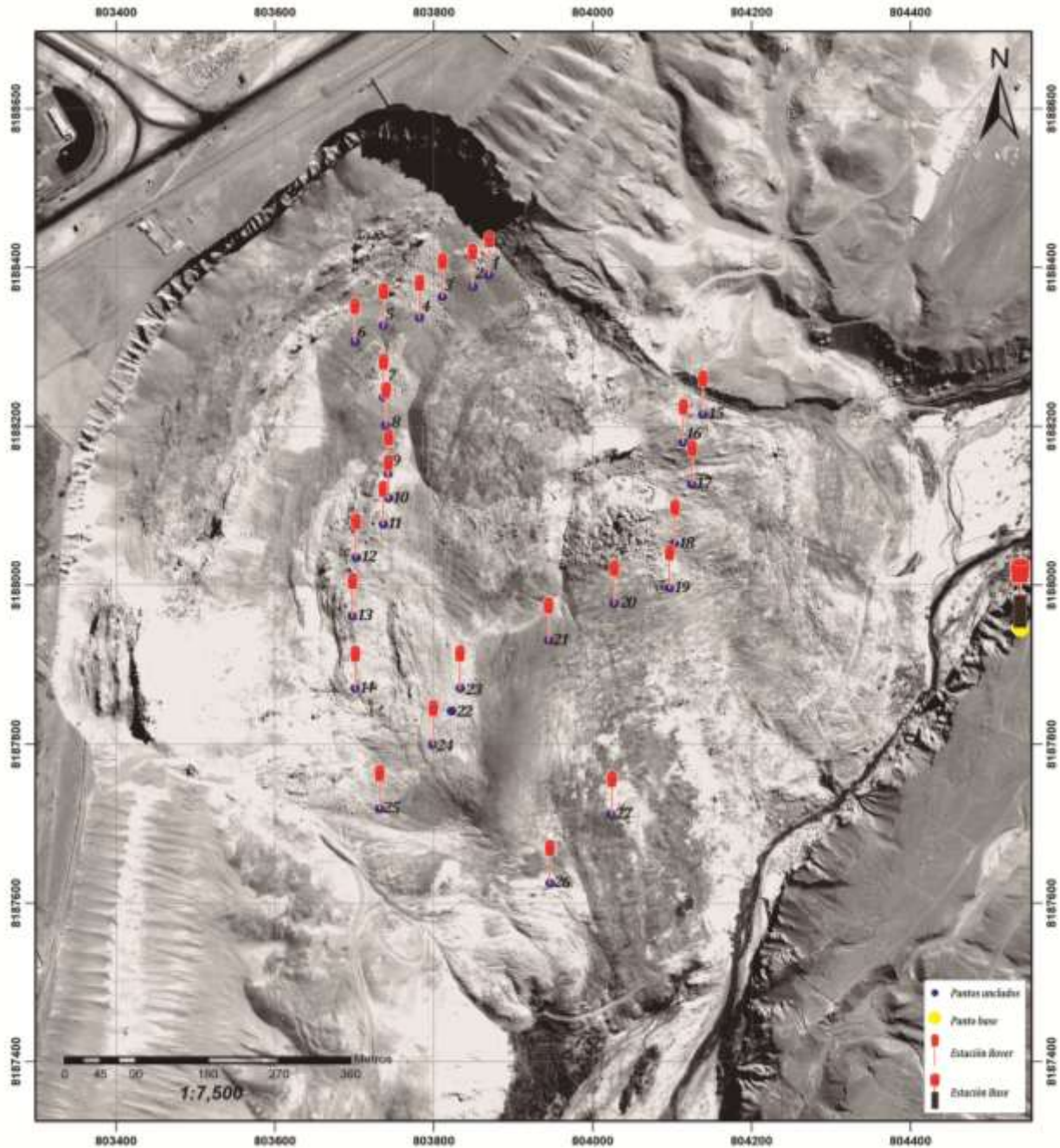
7.2 DINÁMICA DE DEFORMACIÓN DE LA ESCARPA DEL DESLIZAMIENTO

El cartografiado de la escarpa del deslizamiento de Sigüas desde el 2004 hasta el 2015 fue realizado en base al uso de imágenes satelitales cronológicas. Durante este lapso de tiempo la escarpa tuvo un comportamiento retrogresivo con ampliación de sus dimensiones, ocasionando la pérdida de hectáreas de terreno e infraestructura sobre las extensiones de “El Pedregal”.

El comportamiento de los componentes geológicos frente a los agentes erosivos y de saturación es variable a lo largo del plano de ruptura expuesto de la escarpa, hacia el lado derecho las paredes del plano son verticales y aparentemente presenta una alta competencia, mientras que en el lado izquierdo se tiene surcos erosivos dando una apariencia de inclinación moderada. Estas características están relacionadas a su vez con sectores de valores de deformación alta y baja en distintos periodos de tiempo. Estas diferencias en el comportamiento evolutivo nos da pie a sectorizar la escarpa de Sigüas en cuatro: Sector 1 (flanco derecho de la escarpa), sector 2, 3 (zona central de la escarpa), sector 4 (flanco izquierdo de la escarpa) (Figura 6.a).

El análisis evolutivo de la escarpa del deslizamiento de Sigüas, tiene como base la toma a tiempo real de 80 puntos de control cada 10 metros sobre el canal de irrigación (estructura estable de 57° de inclinación, ubicada a 46 metros de la escarpa actual del movimiento) y el cartografiado a detalle de la escarpa en periodos de 6 (2004-2010), 2 (2010-2012), 3 (2012-2015) y un año (mayo a noviembre del 2015) este último fue calculado en trabajos de campo con el uso del actual sistema de monitoreo a tiempo real (GPS-RTK). Los que sirven de límites para el trazo de vectores de deformación perpendiculares al canal de regadío en cada periodo de análisis.

El sector 1 presenta el análisis de 11 vectores mientras que el sector 2, 3, 4 tienen 23 vectores entre sus límites, los valores numéricos obtenidos en los cuatro periodos de análisis son agrupados en intervalos de deformación para el cálculo de frecuencias, dicho análisis determinará el promedio de deformaciones de la mayor cantidad de datos en los sectores 1, 2, 3 y 4 (Figura 6.b).



Mapa 8: Hitos de control monitoreados sobre depósito el deslizamiento con el uso del GPS-RTK, la medición de sus parámetros se realiza con el levantamiento preliminar de la estación base, la que transmite la información corregida a la estación Rover (dispositivo que capta las ondas del satélite para la medición de puntos fijos) para ser usada en tiempo real o después de su post procesamiento.

En un periodo de 6 años (2004-2010): El sector 4 es el que presentó mayor actividad con deformaciones entre 80-100 metros (Figura 6.c1), seguido del sector 3 y 2 con pérdidas de terreno de 40–50 metros, el sector 1 tuvo deformaciones entre 20-30 metros lo que indica que la escarpa del deslizamiento para el año 2010 se extendió al noreste, adoptando una forma elongada, La curva de deformación es una línea decreciente de izquierda a derecha (sector 4 a sector1) (Figura 6.c2).

En un periodo de 2 años (2010-2012): El sector 2 y 3 son los que presentan mayor actividad con valores de deformación entre 40 -80 metros respectivamente (Figura 6.c1), el sector 4 tiene valores de deformación en intervalos de 30-40 metros y el sector 1 tiene deformaciones de 0-10 metros por lo que es considerado un área con deformaciones bajas, la curva de deformación en un periodo de dos años en los cuatro sectores tiene como gráfica una parábola con deformaciones máximas en el sector 2 y 3, decreciendo significativamente hacia los extremos(Figura 6.c2), dicho comportamiento muestra la forma circular que la escarpa desarrollo para el año 2012 (Figura 6.a).

En un periodo de tres años (2012-2015): El sector 1 es el que representa la zona de deformación más activa con valores entre 60-120 metros (Figura 6.c1), intervalos que años anteriores no se presentaba en un periodo de tiempo tan corto y mucho menos en este sector, las deformaciones del sector 4 varían entre 15-20 metros, mientras el sector 2 y 3 tienen valores de deformación comprendidas entre 5-10 metros, la curva de deformación de la escarpa entre el 2012-2015 tiene por gráfica una función convexa con valores crecientes a los extremos y decreciente en el sector 3 y 2 (Figura 6.c2), adoptando una escarpa circular para el 2015 (Figura 6.a)

En un periodo de siete meses (Mayo a Noviembre del 2015): Este periodo de análisis es corto a comparación de los desarrollados anteriormente por lo tanto el análisis de los mismos está representado por deformaciones no mayores a 6 metros, el sector 2 presentó mayor actividad con valores entre 0-6 metros (Figura 6.c1), seguido del sector 1 con deformaciones de 0-2 metros, reduciendo sus valores en el sector 4 y3 con valores máximos de un metro de deformación, la curva de deformación esta representada por una línea cóncava con mayor deformación en el sector 2 seguido del sector 1 (Figura 6.c2), actualmente la escarpa del deslizamiento en dirección SW-NE, presenta una forma circular o cóncava (Figura 6.a)

La geoforma de la escarpa asociada a los sectores de deformación más activos muestra que durante los primeros seis años de origen del deslizamiento, el lado izquierdo (sector 4) tiene una deformación promedio de 88 metros, geomorfológicamente el plano de ruptura de este sector tiene una apariencia de inclinación moderada por la presencia de surcos perpendiculares al plano de ruptura generados por agentes erosivos, por lo tanto primariamente la escarpa del deslizamiento afecto una zona inestable, expuesta a alta erosión. En los próximos dos 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, geomorfológicamente el plano de ruptura en el sector 2 presenta una pendiente casi vertical, sin presencia de surcos, lo que explica una menor exposición a vientos del océano Pacífico, por lo tanto los altos valores de deformación son atribuidos a factores gravitacionales que provocaron al mismo tiempo el desplazamiento de áreas inestables como el sector 3. Durante el 2012-

2015 (tres años), el lado derecho del deslizamiento (sector 1) tiene una deformación promedio de 92 metros, su desestabilización aparentemente es por efectos gravitacionales e inestabilidad de terreno removido en años anteriores (sector 2 y 3 entre el año 2010-2015). La última etapa de análisis comprende un periodo de siete meses (mayo a noviembre del 2015), el sector 2 ubicado en el extremo derecho de la parte central presenta deformaciones de 3 metros por efectos gravitacionales.

El análisis de la deformación respecto al tiempo en los cuatro periodos de análisis muestra que desde el 2004-2010 la velocidad del sector 4 es de 88m / 6 años, durante el 2010-2012 la velocidad entre el sector 2 y 3 es de 60m / 2 años, entre el 2012-2015 se tiene velocidades de 92 metros en un periodo de tres años y el último periodo de análisis del año 2015 se determina que el sector 1 presenta mayor actividad con velocidades de deformación de 3m / 7 meses (Figura 6.c.3).

	DEFORMACIÓN DE LA ESCARPA DEL DESLIZAMIENTO DE SIGUAS ENTRE LOS AÑOS:				DISTANCIAS MÁXIMAS		ZONAS MÁS ACTIVAS		CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS	CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS	ZONAS AFECTADAS	
	2004 - 2010	2010 - 2012	2012 - 2015 May	2015 May - 2015 Nov	2004 - 2010	2010 - 2012	2012 - 2015 May	2015 May - 2015 Nov			INFRAESTRUCTURA DESTRUIDA	
Velocidad	80 m/6 años	80 m/7 años	12 m/1 año	3 m/año	2004 - 2010	2010 - 2012	2012 - 2015 May	2015 May - 2015 Nov				
SECTOR 1					20 - 30 m	0 - 10 m	60 - 120 m	1 - 2 m				
SECTOR 2					40 - 50 m	60 - 80 m	5 - 10 m	0 - 4 m				
SECTOR 3					40 - 50 m	40 - 60 m	5 - 10 m	0 - 0.5 m				
SECTOR 4					80 - 100 m	30 - 40 m	15 - 20 m	0 - 1 m				

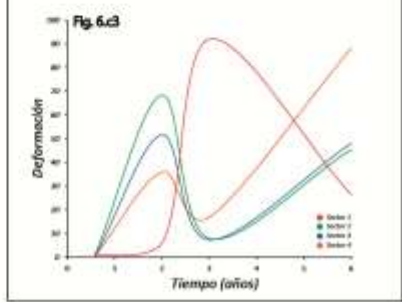
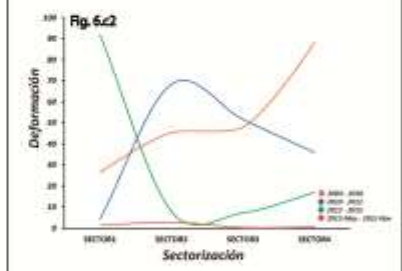
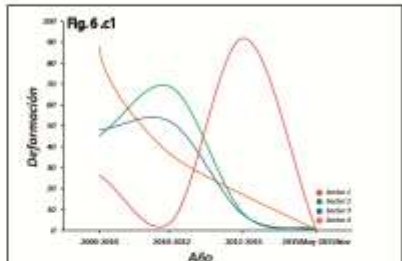
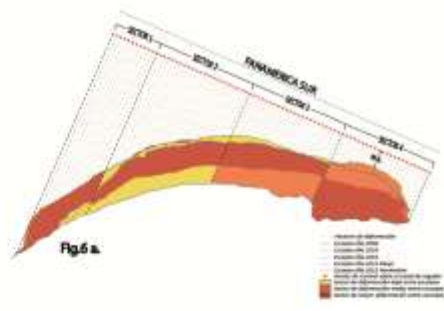


Fig. 6b.

Figura 6: 6a. Sectorización de la escarpa del deslizamiento; 6b. diagrama de frecuencias que muestran las deformaciones de la escarpa en los cuatro periodos de análisis; 6c. Diagramas comparativos que indica los periodos de mayor actividad.

La zona alta del deslizamiento de Sigüas se comporta como una cuenca de recepción, al estar condicionada al desplazamiento de sedimentos por deformaciones diarias de la escarpa; La zona media del material deslizado está formada por estructuras de compresión que explican un escenario de empuje del material gravoso y arenoso, el movimiento de estas estructuras es lento pero de valores cuantitativos vistos en el cartografiado de las imágenes temporales, la zona baja o caída de pie del deslizamiento se caracteriza por tener una mayor inclinación de pendiente, lo que origina bruscas variaciones de desplazamiento representadas por la formación de estriamientos radiales.

Las condiciones geomorfológicas de la zona baja condiciona a un mayor desplazamiento de bloques, Los vectores de movimiento en los dos periodos de análisis (2010-2012, 2012-2015) muestra que entre el 2010 y 2012 se tuvo un desplazamiento de bloques de 76 metros en la zona baja de la masa deslizada, mientras que en los próximos tres años (2012-2015) la masa de la zona media acelera su movimiento a 64 metros/3 años, sin dejar de lado la zona baja con desplazamientos promedios de 103 metros a más.

La deformación máxima de la escarpa en los seis primeros años es de 88 metros en el sector 4, durante el 2010-2012 el deslizamiento tuvo mayor actividad en el sector 2 y 3 con deformaciones de 68 y 52 metros, en el 2012-2015 el lado derecho del deslizamiento es el más activo (sector 1).

La promedios de deformación máxima en los cuatro periodos de análisis muestra que la escarpa del deslizamiento pierde terreno en dirección NE-SW (lado izquierdo a derecho), afectando primero zonas expuestas a alta erosión (sector 4), seguida de sectores afectados por agentes gravitacionales e inestabilidad de masas por desplazamiento de zonas aledañas a sus límites.

Los valores de deformación de la escarpa del deslizamiento en periodos de 6, 2, 3 años y 7 meses muestra intervalos de deformación entre <80-100], <40-80], <60-120], <0-6] metros respectivamente, donde se observa que los valores de deformación en un periodo de dos (2010-2012) y tres (2012-2015) años son altos a comparación de deformaciones alcanzadas en un periodo de 6 años (2004-2010), estos valores explican la inestabilidad por efectos de la infiltración del agua de regadío del Proyecto de Irrigación Majes – Sigüas I

Actualmente el sector más activo de la escarpa del deslizamiento (sector 2 y 1) tiene una deformación de 3 metros en un periodo menor a un año, este sector es afectado por terrenos de cultivos cercanos que utilizan un sistema de riego por aspersión. Sin embargo, en este periodo de tiempo, los sectores con deformaciones de 0-1 metro (sector 3,4) son zonas abandonadas sin uso del sistema hídrico y con reducción del caudal del canal de irrigación hasta su cierre permanente por el replanteo de 300 metros de la estructura, los agentes que condicionaban su movimiento años anteriores fueron reducidos y ahora la deformación de la escarpa es afectada principalmente por factores gravitatorios.

CONCLUSIONES

1. El proceso en estudio corresponde a un peligro geológico correspondiente a un movimiento en masa de tipo deslizamiento rotacional retrogresivo, dinámicamente activo y de movimiento lento - moderado, denominado Deslizamiento de Sigwas
2. El deslizamiento de Sigwas es un deslizamiento activo cuya velocidad supera los 4 m de desplazamiento mensual.
3. 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.
4. 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).
5. 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.
6. Hasta el año 2014, se detectaron deformaciones de 92 metros y desplazamientos de 103 metros, este comportamiento provoco el represamiento (cierre) del valle del río Sigwas.
7. 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.
8. 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**.
9. 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.
10. 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 grades sismos y/o infiltraciones de aguas de proyectos de regadío sobre las pampas adyacentes.

RECOMENDACIONES

Deslizamiento sector El Zarzal (Sigwas): Movimiento en masa de tipo deslizamiento rotacional retrogresivo, dinámicamente activo y de movimiento lento – moderado; cuya causa principal son las infiltraciones de agua de regadío del proyecto de irrigación Majes – Sigwas I.

De lo anterior alcanzaremos algunas recomendaciones preliminares:

1. Continuar con el monitoreo permanente del deslizamiento (a cargo de INGEMMET, pero que podría ser complementado por el GORE Arequipa o AUTODEMA, previa coordinación)
2. Monitorear la margen derecha del río Sigwas, para ubicar zonas con posibles deslizamientos.
3. Cambiar el modo de regadío en el área de influencia del deslizamiento (para determinar el área de influencia se necesitan los estudios hidrogeológicos complementarios que sugiere INGEMMET). Se recomienda el riego por goteo. Este método de regadío implica también cambio del tipo de cultivo (con cultivos que requieran menos agua)
4. Con lo anterior se deprimiría la napa freática (estudios complementarios de hidrogeología pueden proporcionar la cantidad de agua a reducir)
5. Deprimir la napa freática con estaciones de bombeo también es usual. Pero, se necesita más información para: colocar la batería de pozos, profundidad del pozo, etc. El agua bombeada puede llevarse a zonas alejadas del deslizamiento para de esta manera ampliar el área agrícola (siempre y cuando se ubiquen en zonas donde la posibilidad de deslizamientos sea nula. Este método es costoso, pero sería bueno hacer cálculos de costo/beneficio para su aplicación.
6. El Ministerio de Transportes, debe tener un plan de contingencia para cambiar el trazo de la Carretera Panamericana, para que de esta manera el tráfico no se interrumpa, en caso de que el deslizamiento la afecte.
7. Dadas las dimensiones del deslizamiento, no es posible recomendar medidas estructurales de contención.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Acosta J. (1968) – Geología del Cuadrángulo de Aplao. INGEMMET, Boletín, N°25:52p.

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, 10,249pKosaka, 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,139p.

Marocco R. (1984)- Dynamique du remplissage dum basin intramontagneux cénozoïque andin,laboratoire

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 gestion para la prevencion 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.

Galdós, J.(2007) - Geomorfología de la zona de Sihuas. Tesis de bachiller, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, 37p.

S. Uhlemann, 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.

Elena Kiseleva , Valentin Mikhailov , Ekaterina Smolyaninova Pavel Dmitriev ,Vasily Golubev , Elena Timoshkinaa, 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.