

ANÁLISIS DE LA DINÁMICA DE DEFORMACIÓN Y DESPLAZAMIENTO DEL DESLIZAMIENTO DE SIGUAS MEDIANTE EL USO DE IMÁGENES SATELITALES MULTITEMPORALES.

G.Araujo¹, P. Valderrama², R. Miranda², L. Fidel², E. Taipe², C. Huarez³, J. Díaz², Y. Loaiza⁴, C. Villón⁴

¹Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC), ²Instituto Geológico Minero Metalúrgico (INGEMMET), ³Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM). ⁴ Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial, (CONIDA).

INTRODUCCIÓN.

El deslizamiento de Sigwas representa uno de los fenómenos geodinámicos más activos del sur del Perú. Originado en el año 2005 por las filtraciones de las aguas utilizadas para el proyecto de irrigación Majes-Sigwas I, tiene 1Km de largo y ancho. Está ubicado en distrito de El Pedregal - Arequipa (Figura). 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 y su corona está a menos de 100 metros de la carretera Panamericana Sur, la vía de comunicación más importante del país. Por lo tanto, este estudio que viene siendo desarrollado dentro de la dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Instituto Geológico Minero Metalúrgico (INGEMMET), ayuda a explicar las zonas con mayor dinámica de desplazamiento y deformación basados en datos de monitoreo por medio de imágenes satelitales multitemporales, cartografiado a detalle de estructuras en distintos periodos de tiempo y uso del GPS-RTK en tiempo real, que muestran las zonas y sectores de mayor desplazamiento.

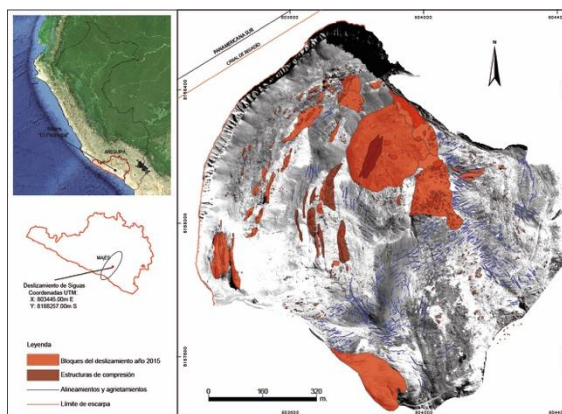


Figura 1: Ubicación del deslizamiento de Sigwas y cartografiado de bloques sobre el material desplazado (Año 2015).

CONTEXTO GEOLÓGICO.

La formación Moquegua es la unidad más representativa en espesor y extensión en todo el valle del río de Sigwas. Está dividida en dos unidades (G. Steinmann, 1930): Moquegua Inferior, litológicamente compuesta por arenisca arcósicas, arcillas rojas y abundantes conglomerados, y Moquegua Superior, de edad Oligoceno Superior (Marocco, et al., 1984), se caracteriza por haber presentado un aporte volcánico durante el proceso de depositación, litológicamente está formado por sedimentos conglomerádicos, areniscas blancas grisáceas y bancos de arcilla. Los depósitos cuaternarios que se ubican en la zona de interés son conglomerados pleistocenos concordantes a la formación Moquegua superior, formados por gravas y arenas mal seleccionadas, conos aluviales antiguos sobre la pendiente del valle del río Sigwas, terrazas fluviales en el piso de valle y depósitos eólicos con dunas de más de 2 metros de altura y 5 metros de longitud (J. Guisado et al., 1968).

DINÁMICA DE DESPLAZAMIENTO DE BLOQUES DEL DESLIZAMIENTO

Uno de los tipos de monitoreo que se realiza en el deslizamiento de Siguas está basado en el uso de imágenes satelitales cronológicas, que sirvieron de base para el cartografiado detallado de bloques y agrietamientos sobre la masa deslizada.

Los bloques suspendidos en la masa deslizada son estructuras recurrentes en los diferentes estadios de evolución del deslizamiento, que sirven de puntos de control para el cálculo multitemporal de la magnitud y dirección de desplazamiento en las zonas sectorizadas, Su análisis se da con la finalidad de determinar la zona con mayor desplazamiento. 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 fracturamiento, además nuevos bloques son generados por caída de la escarpa, la misma que contribuye en el aporte de sedimentos.

Para 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) ver Figura 2.

La zona alta presenta pocos datos de desplazamiento en vista a que los bloques cartografiados en el 2015 son acumulaciones recientes inexistentes en el año 2012, por tener el deslizamiento una escarpa retrogresiva. En la zona media, el deslizamiento tiene bloques de conglomerado, ignimbrita, arena y arcilla medianamente consolidados, de 2 a 3 metros de diámetro, con estructuras de segregación granular en la matriz gravosa producto de compresión del depósito. La zona Baja presenta mayor cantidad de bloques ignimbéricos altamente fragmentados, dispuestos caóticamente, la matriz es arenosa y limosa lo que facilita la presencia de agrietamiento de varios metros con aperturas de 30 cm.

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, para obtener el promedio de distancia con la mayor cantidad de datos, de donde se obtiene desplazamientos promedios de 55 m, 56 m y 76 m en un periodo de dos años (2010-2012) y 54 m, 64 m y 103m para el periodo de los tres años siguientes (2012-2015). Siendo actualmente la zona baja (caída o pie) y la zona media o de depósito las que presentan mayor dinámica de desplazamiento (Figura 2).

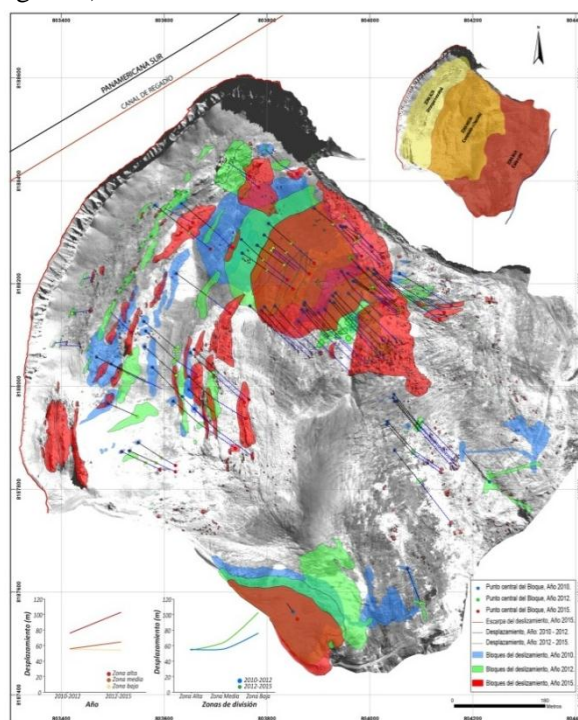


Figura 2: Vectores de desplazamiento del año 2010-2012 y 2012-2015, zonas de división de la masa deslizada y diagramas de la dinámica de desplazamiento de bloques en sus dos periodos de análisis.

DINÁMICA DE DEFORMACIÓN DE LA ESCARPA DEL DESLIZAMIENTO

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 SW las paredes del plano son verticales y de competencia alta, mientras que en el lado NE se tiene surcos erosivos dando al plano de ruptura una inclinación moderada. Las diferencias en el comportamiento evolutivo de la escarpa del deslizamiento nos da pie a dividirla en cuatro: Sector 1(lado SW de la escarpa), sector 2, 3(parte central de la escarpa), sector 4 (lado NE de la escarpa) (Figura 3).

El análisis evolutivo de la escarpa del deslizamiento de Siguan, tiene como base la toma de 80 puntos de control cada 10 metros sobre el canal de irrigación del sistema de regadío de Majes-Siguan I (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 años (2004-2010), 2 años (2010-2012), 3 años (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) instalado por INGEMMET.

De los puntos de control tomados sobre la estructura del canal se generaron vectores perpendiculares que se extienden hasta el límite de la escarpa del deslizamiento del año 2004, 2010, 2012 y 2015, para medir la deformación entre los límites de la escarpa en el año (2004-2010), (2010-2012) y (2012-2015). Con la finalidad de realizar un análisis que determinará el promedio de deformaciones de la mayor frecuencia de datos en los sectores 1, 2, 3 y 4.

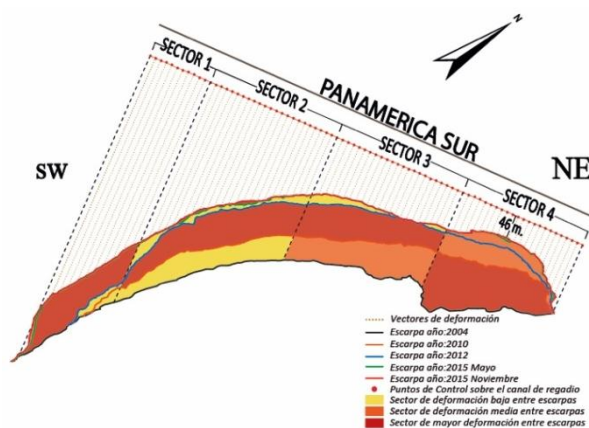


Figura 3: Sectorización, evolución de la escarpa del deslizamiento de Siguan que marcan las zonas de deformación más activa y vectores perpendiculares que parten de puntos de control a lo largo del canal de Irrigación Majes Siguan I

La forma de la escarpa asociada a los sectores de deformación más activos muestra que durante los primeros 6 años de origen el lado NE del deslizamiento (Sector 4) tiene deformaciones máximas promedio de 88 metros (Figura 4a), geomorfológicamente el plano de ruptura de este sector tiene inclinaciones moderadas por la presencia de surcos perpendiculares al plano generados por agentes erosivos como el viento y el agua. En los próximos 2 años la parte central del deslizamiento (Sector 2 y 3) presenta deformaciones de 68 y 52 metros respectivamente (Figura 4a), 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 (Figura 4a).

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 88 m/6 años, durante el 2010-2012 la velocidad entre el Sector 2 y el Sector 3 es de 60 m/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 5 metros/año (Figura 4b).

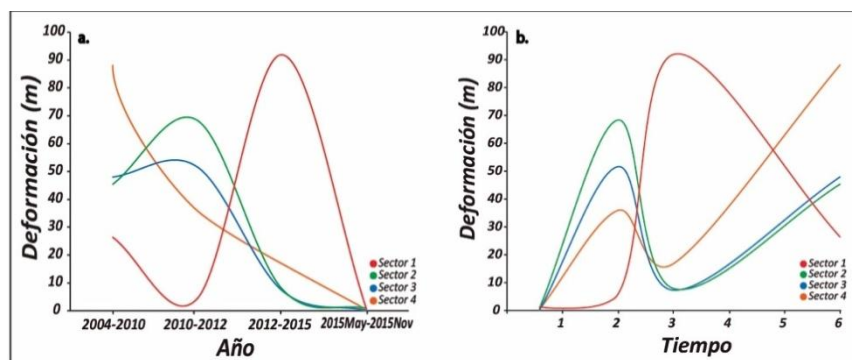


Figura 4: Evolución de los sectores de la escarpa y relación de velocidades de deformación del deslizamiento en el año 2004, 2010, 2012 y 2015

DISCUSIÓN

La zona baja o de acumulación del deslizamiento tiene mayor área de expansión, por tal presenta mayor desplazamiento de estructuras (bloques, grietas e infraestructura), al mismo tiempo este comportamiento se asocia a infiltraciones y al nivel freático del río de Siguan que contribuyen en la desestabilización y avance de la masa acumulada.

En un periodo de seis años la escarpa del deslizamiento tuvo deformaciones de 88 metros, los próximos 5 años marcan la mayor dinámica en la evolución del deslizamiento, análisis realizado en periodos de tiempo de 2 años (2010-2012) y 3 años (2012-2015) con deformaciones de 60 y 92 metros. Recientemente se viene realizando el análisis del movimiento actual de la escarpa, teniéndose deformaciones de 4 a 6 metros. La deformación de los datos obtenidos en un periodo de análisis de 2 años (2010-2012) y 3 años (2012-2015) son altos a comparación de un periodo de 6 años (2004-2010), estos valores explican la inestabilidad por efectos de saturación hídrica del material geológico a consecuencia del mal uso del sistema de riego después de la construcción del canal de irrigación.

CONCLUSIONES

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), observándose un desplazamiento aproximado de 35 metros anuales.

La dinámica de deformación más activa se dio en un periodo de 2 años (2010-2012) y 3 años (2012-2015) afectando los sectores de la parte central (Sector 2 y Sector 3) y lado SW (Sector 1) de la escarpa del deslizamiento con velocidades de 60 m/2años y 92 m/3años con desplazamientos aproximados de 30 metros anuales, periodos de actividad relacionados al mayor desplazamiento de bloques en la zona baja de la masa deslizada (comportamiento que provocó el cierre del valle del río Siguan en el año 2014).

El promedios de deformación máxima en los cuatro periodos de análisis muestra que la escarpa del deslizamiento pierde terreno en dirección NE-SW, 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. Actualmente el sector más activo de la escarpa del deslizamiento (Sector 2 y Sector 1), con deformaciones de 3 metros en un periodo menor a un año, vienen siendo afectados por terrenos de cultivos cercanos que utilizan un sistema de riego por aspersión.

El uso de imágenes satelitales multitemporales para el cálculo de magnitudes de desplazamiento y deformación no es tan preciso como el uso de equipos especializados de monitoreo, pero su análisis es de gran importancia para tener una visión general de la evolución del deslizamiento desde sus orígenes; recientemente se viene realizando el monitoreo del deslizamiento de Siguan con el uso de quipos de precisión como el GPS-RTK Y escáner LiDAR.

REFERENCIAS

- Steinmann, G. (1930). Geología del Perú, Carl Winters Universitätsbuchhandlung, Heidelberg. J. Guisado, et al. (1968). – Geología del Cuadrángulo de Aplao. INGEMMET, Boletín, N°25:52p. Marocco R. (1984).- Dynamique du remplissage dum basin intramontagneux cénozoïque andin, laboratoire.