

# ÚLTIMA REACTIVACIÓN DEL MOVIMIENTO COMPLEJO DE RANRACCASA-YAURISQUE-PARURO-CUSCO

Vilchez M.<sup>1</sup>, Lacroix, P.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Av. Canadá N° 1470, San Borja, Lima.

<sup>2</sup>ISTerre - IRD/CNRS/Universite de Grenoble, 1381, rue de la Piscine, 38400 Saint Martin d'Heres, France.

## RESUMEN

En el presente documento se presenta una caracterización del último episodio de actividad ocurrido en el movimiento complejo (deslizamiento rotacional-flujo de tierra) del área de Ranraccasa, del distrito de Yaurisque, en la región Cusco, que afectó a terrenos de cultivo, a la carretera que conduce hacia el distrito de Paruro; y que representa un peligro potencial para los pobladores y viviendas que se asientan en su área de influencia. El proceso identificado tiene antecedentes históricos de actividad intermitente de más de 100 años; donde el substrato geológico y la presencia de aguas subterráneas son al parecer el principal condicionante de la inestabilidad de la ladera. Para su evaluación, en primera instancia se utilizaron fotos aéreas de la zona, así como imágenes satelitales de los últimos años para determinar los límites y desplazamientos ocurridos en el cuerpo del movimiento complejo. Posteriormente estas imágenes satelitales fueron tratadas en un software para determinar la magnitud de los movimientos presentados en esta última reactivación.

## INTRODUCCIÓN

La zona de Ranraccasa se localiza al sur de la ciudad de Cusco a una distancia en línea recta de 16 km. Políticamente se encuentra dentro del distrito de Yaurisque, provincia de Paruro, región Cusco; a unos 45 minutos de la capital Cusco. El substrato rocoso está conformado por rocas sedimentarias del Cenozoico (del Paleógeno al Cuaternario; Carlotto & Cárdenas, 2002). Así se tiene rocas del Grupo San Jerónimo, conformado por las Formaciones Kayra del Eoceno (areniscas feldespáticas, intercaladas con niveles de lutitas rojas de medios fluviales, en el techo hay conglomerados fluviales y en la base bancos arenosos) y los dos miembros de la Formación Sonco del Eoceno-Oligoceno (el primer miembro presenta lutitas y margas de color rojo ladrillo con intercalaciones delgadas de yesos de medio lacustre y areniscas fluviales en la parte superior, el segundo miembro está constituido por areniscas feldespáticas fluviales blancas y verdosas, en el techo se tienen conglomerados fluviales y en la base con bancos arenosos); La Formación Paruro del Mioceno (El miembro I se tiene

una secuencia de lutitas y limolitas lacustres, areniscas y conglomerados fluviales, en esta secuencia se encuentra el cuerpo del deslizamiento rotacional-flujo de tierra de Ranraccasa; y el miembro II conformado por conglomerados gruesos de origen fluvial proximal y de conos aluviales, en esta secuencia arranca la escarpa del deslizamiento rotacional-flujo de tierra de Ranraccasa.); Formación Paccaritambo del Plioceno (constituido por conglomerados aluviales y fluviales); y Depósitos coluviales conformado por bloques rocosos angulosos heterométricos y de naturaleza litológica homogénea, acumulados al pie de taludes escarpados, en forma de conos, los bloques angulosos más gruesos se depositan en la base y tamaños menores disminuyen gradualmente hacia el ápice del depósito; también se incluyen los depósitos formados por movimientos en masa.

Las geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional diferenciadas en el área estudiada corresponden a relieves montañosos modelados en rocas sedimentarias y estructurales; las geoformas de carácter agradacional las constituyen el valle fluvial, los abanicos proluviales y los abanicos coluvio-deluviales.

El peligro geológico identificado en la zona de Ranraccasa corresponde a un movimiento complejo (deslizamiento rotacional-flujo de tierra) (PMA: GCA, 2007), que tiene como condicionantes intrínsecos el tipo de rocas que conforman el sustrato, la geometría del terreno (ladera de pendiente moderada), el tipo de suelo (limo-arenoso con gravas y bloques; también se presentan suelos limo-arcillosos), el drenaje superficial-subterráneo y la cobertura vegetal (cultivos); combinados con factores extrínsecos (construcción de viviendas en zonas no adecuadas, carreteras, canales, tala de árboles, etc.). El “detonante” del evento fue las precipitaciones pluviales que caen en la zona en los meses de verano (diciembre-abril).

## ANTECEDENTES

Según relatos orales, las primeras manifestaciones de movimientos en el terreno en la zona de Ranraccasa se dieron antes de 1900. A partir de 1950 los cam-

pesinos observaron reactivaciones y avance del terreno en dirección al poblado de Yaurisque. En 1961 el evento destruyó la carretera Yaurisque-Paruro, cuyo desarrollo atravesaba la parte media del fenómeno (Aguilar. & Mollohuanca, 1989). En diciembre de 1985 desplazamientos de terreno en el cerro Ranraccasa afectaron la carretera Yaurisque-Paruro (Escalante, 2014). En febrero de 1986 el evento se manifestó destruyendo totalmente la carretera Yaurisque-Paruro, siendo necesario desviar el trazo de la carretera. También se destruyeron terrenos de Cultivo (Aguilar & Mollohuanca, 1989)

En abril de 2002, durante los trabajos de campo del “Estudio de Riesgo Geológico del Perú: Franja N° 3” realizado por INGEMMET, se identificó y clasificó al evento de Ranraccasa como un “Movimiento Complejo” de tipo “Deslizamiento Rotacional-Flujo de Tierra”. Se observó una reactivación en un depósito de deslizamiento antiguo, con agrietamientos transversales y longitudinales a la escarpa principal, saltos hacia la cara libre en una longitud de 400 m, presencia de abundante agua subterránea que forman manantiales. Presencia de un juego de tres grietas paralelas, con separaciones de 1-1,5 m detrás de la corona del deslizamiento. Se encontraba afectando terrenos de cultivo y comprometía el tramo carretero que conduce a Paruro.

Finalmente a consecuencia de las precipitaciones caídas en la zona de Yaurisque y Ranraccasa entre los meses de enero y abril del 2014, el evento Ranraccasa intensificó su actividad y produjo un asentamiento del terreno del orden de 3 y 4 metros, que afectó la carretera a Paruro y los terrenos de cultivo.

### **Movimiento complejo (Deslizamiento rotacional-flujo de tierra de Ranraccasa)**

En la ladera norte del cerro Ajoñanjay, se localiza el movimiento complejo de Ranraccasa de tipo deslizamiento rotacional-flujo de tierra, que compromete gran parte de la ladera, en donde se localizan varias comunidades, así como también se desarrollan actividades agrícolas. Los trabajos realizados por INGEMMET en la región Cusco el año 2002, han permitido identificar y verificar la magnitud de los daños que ocasiona el evento. Posteriormente la actividad del evento Ranraccasa continuaron hasta el presente, manifestándose con mayor intensidad en los meses de verano (diciembre-abril) cuando se producen las precipitaciones pluviales en la zona.

El deslizamiento-flujo de tierra de Ranraccasa compromete secuencias de conglomerados gruesos de la Formación Paruro (Miembro I) en la zona de arran-

que y una secuencia de lutitas y limolitas, con areniscas y conglomerados del Miembro II de la Formación Paruro en el cuerpo del evento, las cuales se inclinan de forma perpendicular a la dirección de avance del deslizamiento-flujo de tierra, se consideran a estas secuencias de rocas sedimentarias como unidades litológicas de mala calidad.

### **METODOLOGÍA**

El análisis de imágenes satelitales de alta resolución disponible en la plataforma Google Earth, para los años 2011 y 2014, nos ha permitido delimitar un evento antiguo y sus reactivaciones (figura 1). Las últimas reactivaciones del evento Ranraccasa de los años 2011 y 2014 tienen los mismos límites ya que el ancho y la distancia recorrida por el flujo se superponen. La identificación de dichos límites ha permitido interpretar que después de las últimas lluvias del año 2014 el terreno se sobresaturó en la zona de arranque, la parte superior y media del cuerpo del evento. Esto produjo el movimiento y empuje del terreno ladera abajo, por pérdida de la presión de poros del suelo, el cual se ha manifestado en los abombamientos y agrietamientos que forman terrazetas o “pisadas de vaca” dentro de la masa deslizada.

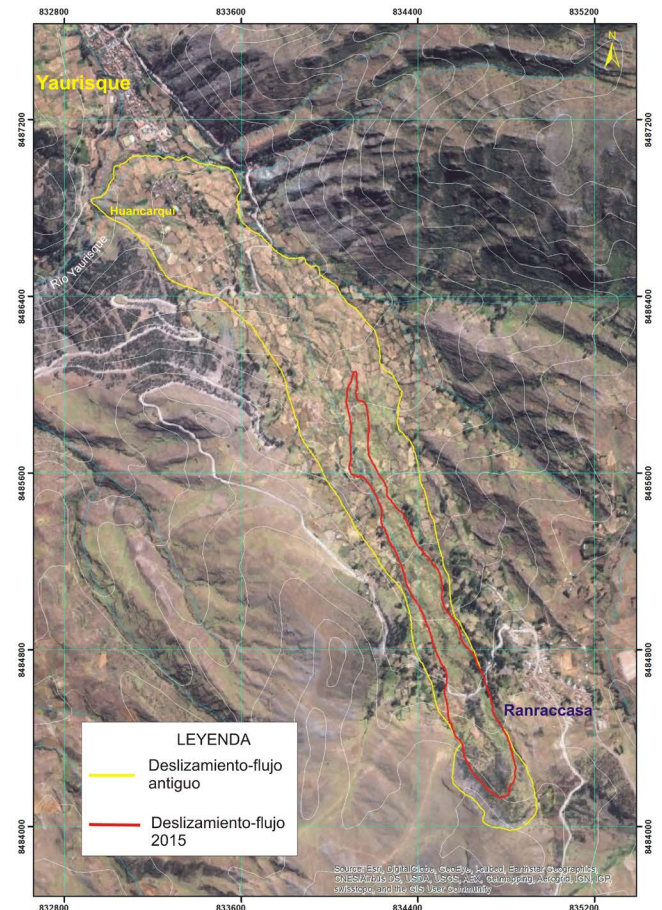


Figura 1: Imagen Google Earth, donde se ha señalado con líneas de diferente color los eventos identificados en la zona de Ranraccasa.

El deslizamiento-flujo de tierra de Ranraccasa compromete secuencias de conglomerados gruesos de la Formación Paruro (Miembro I) en la zona de arranque y una secuencia de lutitas y limolitas, con areniscas y conglomerados del Miembro II de la Formación Paruro en el cuerpo del evento, las cuales se inclinan de forma perpendicular a la dirección de avance del deslizamiento-flujo de tierra, se consideran a estas secuencias de rocas sedimentarias como unidades litológicas de mala calidad.

El deslizamiento-flujo de tierra de Ranraccasa presenta una zona de arranque semicircular continua, con un depósito de forma alargada, un ancho de escarpa principal de 416 m, ancho de escarpa de la última reactivación del 2014 de 115 m en promedio, superficie de ruptura de forma circular, salto principal de 15 m y saltos secundarios de 4 m, área comprometida estimada del deslizamiento-flujo de tierra de 1,0075 km<sup>2</sup> (100,75 Has), pendiente de la ladera (en el cuerpo del deslizamiento) de 10°, se tiene la presencia de numerosas grietas abiertas, transversales a la dirección del movimiento de la masa deslizada, estas forman terracetos; presencia de dos grietas longitudinales principales en ambos flancos del evento, los cuales limitan el ancho máximo del deslizamiento-flujo de tierra; grietas abiertas detrás de la corona del deslizamiento, separación entre grietas de 1-1,5 m, el estado de la actividad se considera reactivado, la distribución de la actividad es retrogresivo, con estilo de la actividad complejo. La velocidad del desplazamiento, según la información que se tiene, se puede decir que el evento Ranraccasa tiene una velocidad extremadamente lenta entre los meses de mayo a noviembre, cambia a velocidad moderada entre los meses de diciembre a abril, cuando se presentan las lluvias en la zona. El evento Ranraccasa afectó terrenos de cultivo, destruyó 228 m de la carretera que conduce hacia el distrito de Paruro; al observar y comparar las imágenes de Google Earth de los años 2011 y 2014, se puede medir un desplazamiento horizontal ladera abajo de la carretera en una distancia equivalente a 30 m, la carretera también sufrió asentamientos importantes. La cuantificación de los desplazamientos sufridos en el cuerpo del movimiento complejo de Ranraccasa se desarrolló procesando las imágenes satelitales tomadas de Google Earth de fechas, 2011 y 2014 (figura 2). Las dificultades vienen (1) de que las imágenes de Google Earth están parcialmente ortorectificadas, y por ende parte de la topografía no está bien corregida y (2) que no se conoce tampoco el modelo de elevación de la zona. La resolución espacial de estas imágenes fue estimada en 60 cm. La metodología

consistió en la elección de 41 “Tie Points” entre las dos imágenes, elegidos a mano en partes estables de las imágenes. Un polinomio de grado 1 fue calculado basado en estos puntos (equivalente a 1 rotación + 1 translación) para georeferenciar la imagen del 2011 sobre la del 2014. Las 2 imágenes georeferenciadas fueron correlacionadas usando el software COSI-CORR. El parámetro de correlación fue: estadístico, de ventana 64 píxeles con un radio de búsqueda de 128 píxeles. A notar que el correlator de frecuencia no funciona para este movimiento (movimiento demasiado fuerte). La correlación da un desplazamiento en número de píxeles en las direcciones E-O y N-S. La calidad de la correlación está definida por el parámetro SNR (Signal to Noise Ratio). Para suprimir el ruido, los puntos que tienen valores de SNR bajo 0.4 fueron suprimidos, y un filtro median fue aplicado.



Figura 2. Imágenes 2011 y 2014 georeferenciadas.

El campo de desplazamiento está representado en las figuras 3 y 4. A notar que los movimientos medidos son los movimientos únicamente horizontales. Las incertidumbres están calculadas en las partes estables de la zona, al oeste del flujo. La desviación estándar del movimiento en las partes estables son de 2.4 m en cada EO en NS dirección, es decir 3.4 m en horizontal. Este error se debe a la topografía que no fue bien corregida en Google Earth. También pueden existir errores en partes de la imagen donde los árboles o casas tienen sombras diferentes entre las 2 adquisiciones de imágenes (Figura 3). Los desplazamientos alcanzan 37.3 metros  $\pm$  3.4 en la parte central del flujo, donde la correlación funciona mejor. La superficie del flujo que se mueve a más de 10 m en 3 años es de 48 000 m<sup>2</sup>. Se puede también notar un desplazamiento de 7.3 m  $\pm$  3.4 en la parte sur-oeste del flujo (Figura 5). Este movimiento coincide bien con un bloque de alrededor de 7 000 m<sup>2</sup> limitado por una escarpa visible en la imagen, y que mueve en la dirección noreste.



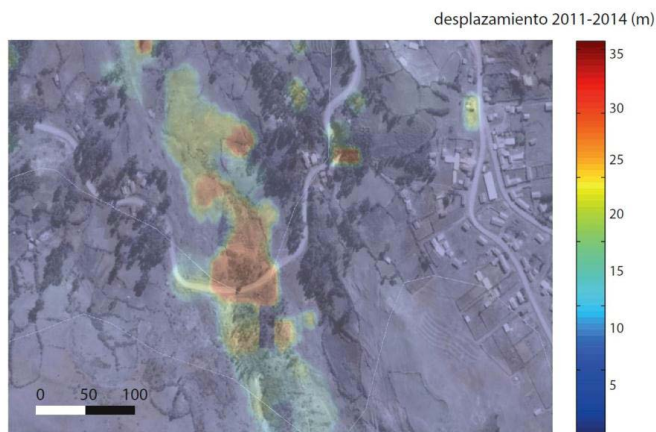


Figura 3: Amplitud del movimiento entre los años 2011 y 2014.

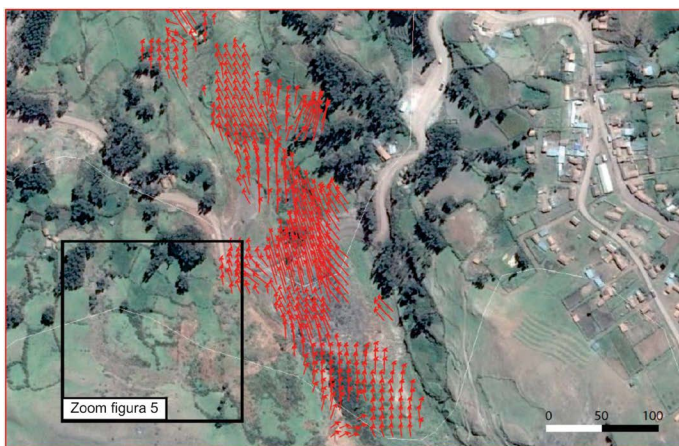


Figura 4: Izquierda. Desplazamientos del flujo de tierra entre los años 2011 y 2014.

Figura 5: Derecha. Zoom del lado suroeste de la zona donde se ubica un deslizamiento con movimientos de más de 7 m entre el 2011 y 2014.

## CONCLUSIONES

- En la ladera norte del cerro Ajoñanjay (distrito de Yaurisque y provincia Paruro) se localiza el movimiento complejo de Ranraccasa, de tipo deslizamiento rotacional-flujo de tierra, que compromete gran parte de la ladera en donde se localizan varias comunidades, así como también se desarrollan actividades agrícolas.
- La actividad del proceso identificado se manifiesta

desde el año 1900 y la última reactivación se produjo entre los meses de enero y abril del 2014, la cual destruyó 228 m de la carretera que conecta Cusco, Yaurisque y Paruro.

- Se considera que el evento se encuentra actualmente en estado activo.
- En un primer análisis de las imágenes satelitales del área de los años 2011 y 2014 disponible en Google Earth, nos permito estimar un desplazamiento horizontal aproximado de la plataforma de carretera de 30 m. Posteriormente estas imágenes se analizaron con el software COSI-CORR y se ha podido establecer que los desplazamientos alcanzan los 37.3 metros  $\pm$  3.4 en la parte central del flujo. También permitió identificar en el lado suroeste de las imágenes un deslizamiento que tiene un desplazamiento de 7.3 m  $\pm$  3.4 entre los años 2011 y 2014.

## BIBLIOGRAFÍA

Aguilar, A. & Mollohuanca, W. (1989) Estudio geodinámico y geotécnico del deslizamiento de Ranraq'asa. Tesis pregrado, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Cusco, 140 p.

Quispe, R. (2014) Informe de evaluación del riesgo Cerro Ranraccasa del distrito Yaurisque, provincia Paruro. Cusco: Gobierno Regional del Cusco, 9 p.

Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para Comunidades Andinas (2007) Movimientos en Masa en la Región Andina. Una guía para la evaluación de Amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, N° 4, 432 p., 1 CD-ROM.