

# **MONITOREO DE DEFORMACION DEL DESLIZAMIENTO DE MACA CON SCANNER LIDAR, PERIODO 2015**



**INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO  
DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO  
GEOLÓGICO**

Por:  
Rafael Miranda Cruz  
Edu Taipe Maquerhua  
Jonathan Diaz Apaza  
Gael Araujo Huamán

## **1. INTRODUCCION**

Los deslizamientos son fenómenos geológicos que se encuentran distribuidos a lo ancho del territorio Peruano, generando durante su ocurrencia grandes pérdidas materiales, humanas e infraestructura que se encuentran dentro del área de influencia del fenómeno. Así mismo en la región sur del Perú específicamente en la Provincia de Caylloma se encuentran distribuidos a lo largo del valle del Colca deslizamientos, unas más activas que otras, como es el caso del deslizamiento de Maca que es una de las más activas desde la década de los 80 y de la que se tienen reportes (Yanqui 1983), este presenta un comportamiento de tipo rotacional (Zavala et al., 2012) y viene afectando de manera recurrente al Distrito de Maca y las infraestructuras de mayor tránsito como son la carretera Chivay – Cabanaconde (Cañón del Colca) considerados vías de uso de ruta turística que durante el año 2015 se estimó una concurrencia alrededor de 200000 visitantes. Conocedores de esta problemática, procesos de movimientos en masa y la actividad sísmica, el INGEMMET viene realizando esfuerzos por conocer la naturaleza y evolución del fenómeno natural, desde la última década (Informe Técnico N° A6628-INGEMMET), este fenómeno geológico también afecta a los andenes pre-incaicos que son parte del atractivo turístico de esta importante zona.

Este año 2015 se ha iniciado el monitoreo de este deslizamiento empleando un escáner LIDAR el cual fue adquirido en un gran esfuerzo por instrumentar con mejores equipos el monitoreo de los deslizamientos. Es así que el INGEMMET se pone a la vanguardia en el estudio de estos fenómenos en el presente reporte se han empleado datos de monitoreo obtenidos mediante el empleo de un scanner 3D LiDAR de última generación, para establecer la línea base.

## **2. OBJETIVOS**

Los objetivos de este reporte son:

- Mostrar los avances alcanzados durante el año 2015 respecto a la monitoreo del deslizamiento de Maca empleando el escáner LIDAR
- Describir el diseño de la red de hitos para el monitoreo con el escáner LIDAR.
- Establecer la línea base del monitoreo mediante LiDAR, mediante la generación del modelo digital del terreno base para posteriores estudios.

## **3. ANTECEDENTES DEL DESLIZAMIENTO**

Los movimientos en masa en el valle del colca del Distrito de Maca son tan antiguas como su historia y por ende y en forma de reseña histórica y de acuerdo a los registros en la zona de Maca ocurrieron varios sismos que reactivaron otra vez el deslizamiento.

- El 23 de Julio de 1991, un sismo superficial ocurrido en Maca ( $m_b = 5.4$ ), localizado a 8 km de la zona (Antayhua et al., 2002), reactivó el deslizamiento, provocando un hundimiento de la carretera de al menos 2 metros (Bulmer et al., 2002).
- El 23 de Junio del 2001, el sismo de subducción de Arequipa ( $M_w 8.4$ ) también contribuyo a la reactivación del deslizamiento (Gómez et al., 2001). Aunque no se tienen valores exactos acerca de la tasa de deformación o desplazamiento.
- Entre Febrero y Marzo del año 2013, una crisis sísmica genero varios sismos locales de magnitudes superiores a 4 mb. Al menos uno de estos sismos (14-03-2013,  $m_b 4.5$ ) provoco un nuevo hundimiento de la carretera Chivay – Cabanaconde de cerca de 50 cm (La Republica, Viernes, 15 de marzo de 2013).

Estudio basado en datos sísmicos, precipitación pluvial, prospección geofísica, monitoreo mediante GPS e imágenes satelitales, demuestran que existe una estrecha relación entre las estaciones lluviosas y los movimientos sísmicos. Durante estos últimos años se ha venido implementando y optimizando la red de monitoreo geodésico y sísmico con el fin de registrar el comportamiento de dicho fenómeno en cada época del año.

## **4. INSTRUMENTACION**

El equipo empleado para realizar el trabajo es un scanner laser tipo LiDAR de la marca OPTTECH modelo ILRIS-LR (figura 1), este es un instrumento de gran versatilidad y excelente tecnología. Con este equipo se logra reducir enormemente los tiempos de escaneo ya que cuenta con su complemento denominado Pan & Tilt que permite cubrir un horizonte de 360 grados gracias a sus servomotores que permiten giros horizontales y

---

verticales de gran precisión y autoreferenciados lo que permite hacer la fusión de las imágenes escaneadas de manera automática. Ello permite realizar los trabajos más confiables y de alta precisión aminorando cada vez más los errores humanos. Sin embargo, una de las características más importantes que la hace ideal para el monitoreo de deslizamientos es su gran alcance, al tener un laser de largo alcance puede realizar lecturas sobre superficies de 80 % de reflectividad hasta 3 Km de distancia, tal como se puede ver en las especificaciones técnicas que se presentan en la tabla 1, esta es una tabla proporcionada por el fabricante. Las condiciones de lectura pueden variar dependiendo de las condiciones de terreno y medioambientales como humedad, presión, temperatura etc.

Parameter	ILRIS-HD	ILRIS-HD-ER	ILRIS-LR
Range 80% reflectivity	1250 m (4101 ft)	1800 m (5905 ft)	3000 m (9842 ft)
Range 10% reflectivity	400 m (1312 ft)	650 m (2132 ft)	1330 m (4363 ft)
Minimum range		3 m (9 ft, 10 in)	
Laser repetition rate (peak and effective PRF) <sup>1</sup>		10,000 Hz	
Efficiency (effective PRF/peak PRF)		100%	
Raw range accuracy <sup>1,2</sup>		7 mm @ 100 m	
Raw range accuracy <sup>1,3</sup>		4 mm @ 100 m	
Raw angular accuracy		8 mm @ 100 m (80 µrad)	
<b>Scanner Performance</b>			
Field of view	40° × 40° (-20° through 90°, -90° through 20° with 3 <sub>d</sub> option)		
Minimum step size <sup>4</sup>	0.001146° (20 µrad)		
Maximum density (point-to-point spacing)	2 cm @ 1000 m (1 in @ 3280 ft)		
Rotational speed	0.001 to 20°/sec		
Rotational step size (minimum)	0.001146° (20 µrad)		
Beam diameter (1/e <sup>2</sup> )	19 mm @ 100 m		27 mm @ 100 m
Beam divergence	0.008594° (150 µrad)		0.014324° (250 µrad)
Laser wavelength	1535 nm		1064 nm
Laser class <sup>5,7</sup>	1 or 3M		3
Integrated camera	3.1 MP		
<b>Physical and Environmental</b>			
Size (L × W × H)	320 × 320 × 240 mm (12.6 × 12.6 × 9.5 in)		
Weight	14 kg (31 lbs)		
Operating temperature	-20°C to +40°C (-4°F to +104°F)		
Storage temperature	-20°C to +50°C (-4°F to +122°F)		
Relative humidity	0 – 95% non-condensing		
Power consumption	75 W		
Battery operation (standard battery pack, hot-swappable)	5 hours operation		
Data storage	Removable USB drive		
<b>Optional Configuration</b>			
3 <sub>d</sub>	Automated pan/tilt base (7 kg/16 lbs)		
MC	Motion compensation option: Enables GPS timestamping (from INS system)		
<b>Standard Accessories</b>			
Scanner control software for Windows-based computers	Data extraction software to generate user-selectable file formats		
Automated alignment software	2.0-GB USB memory drive		
User manuals	Universal AC voltage power supply		
Interconnect power/battery cables	Rugged carrying case		
<b>Optional Accessories</b>			
Manual pan/tilt base	GPS/external camera mounting kit		
PDA, UMPC, Notebook PCs	Batteries and chargers		
Backpack	Cold-weather jacket		

Tabla 1. Especificaciones técnicas proporcionadas por el fabricante para el escáner LIDAR OPTTECH modelo ILRIS-LR.



Figura 1. Escáner LiDAR marca OPTECH modelo ILRIS-LR instalada en la base MAB3, mientras se escanea los escarpes del deslizamiento de Maca.

## 5. DISEÑO DE LA RED

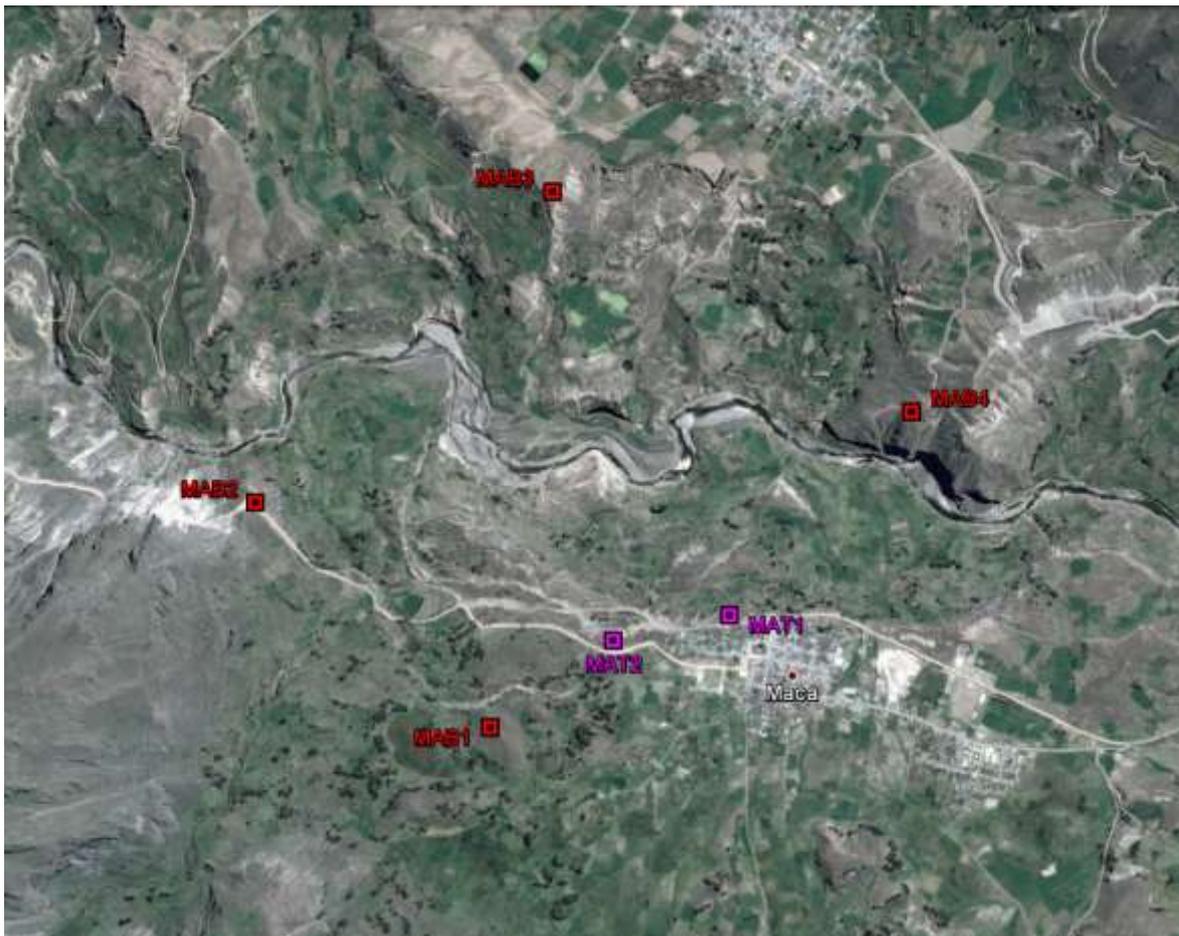
Los objetivos descritos para el año 2015, en el estudio y monitoreo de los movimientos en masa de Maca, mediante el método de modelos digitales se ha implementado e iniciado en la instalación y optimización de nuevas estaciones de monitoreo durante este periodo, es así que se logró construir tres pilares de concreto para la instalación del equipo LiDAR (ver figura 2) estas con la finalidad de georeferenciar los puntos de disparo y verificar su desplazamiento con GPS diferencial.

El diseño de la red representado por la ubicación de los puntos de disparo obedece a la necesidad de cubrir óptimamente todos los espacios de la estructura deslizante, de manera que se pueda tener la menor cantidad de sombras posible, para ello fue necesario tener lecturas de puntos distantes horizontal y verticalmente, primero para generar una aproximación del modelo digital de terreno, siendo este el primer resultado, a partir del cual se propone optimizar las lecturas corrigiendo los espacios vacíos o sombras presente en el primer modelo, esto es importante ya que al no haber un DEM de la precisión y resolución que genera el LiDAR no se puede efectivamente diseñar los puntos de disparo mas óptimos.

La primera campaña de medición se realizó tomando el emplazamiento de los puntos descritos en la figura 3, esta res de puntos consta de 4 hitos de concreto y dos puntos provisionales (trípode), con la finalidad de cubrir la mayor cantidad de terreno posible en el área de monitoreo, siendo la distancia máxima de escaneo desde el hito más lejano es de aproximadamente de 1.8 Km. tal como se puede apreciar en la figura 3, se ha establecido un total de seis puntos de monitoreo que cubren el área del deslizamiento en su totalidad, para ellos los puntos color rojo indican hitos de monitoreo construidos en base a concreto (hito permanente) y los puntos color magenta indican estaciones de monitoreo temporal (sobre trípode).



Figura 2. Construcción de las bases de concreto para la instalación del escáner LiDAR.



**Figura 3.** Distribución de hitos de monitoreo para el estudio del deslizamiento de Maca, símbolos de color rojo puntos de medición por campañas, símbolos color verde estaciones permanentes de monitoreo y símbolos color morado puntos de monitoreo LIDAR.

Además de los hitos construidos a manera de pilares de concreto se requiere contar con puntos de referencia sobre el terreno escaneado, llamamos a estos puntos de referencia puntos conocidos, los cuales son estructuras naturales o artificiales de coordenadas conocidas de fácil identificación en los datos generados por el LiDAR (en la nube de puntos), estos puntos pueden ser Rocas grandes con aristas fácilmente identificables (figura 4) en las cuales se realizan mediciones con GPS diferencial para conocer sus coordenadas.

Los puntos de referencia en un levantamiento mediante scanner LiDAR permiten definir el sistema de coordenadas a la nube de puntos del área escaneada, este paso es de crucial importancia, ya que definir ello se podrá realizar la correlación de DEM dentro del área de trabajo en diferentes épocas con lo cual se podrá realizar un análisis de series temporales y calcular la velocidad de desplazamiento en todo el área de interés con buena precisión y resolución.



**Figura 4.** Lectura con GPS diferencial en un punto de referencia para la georreferenciación de las imágenes LiDAR.

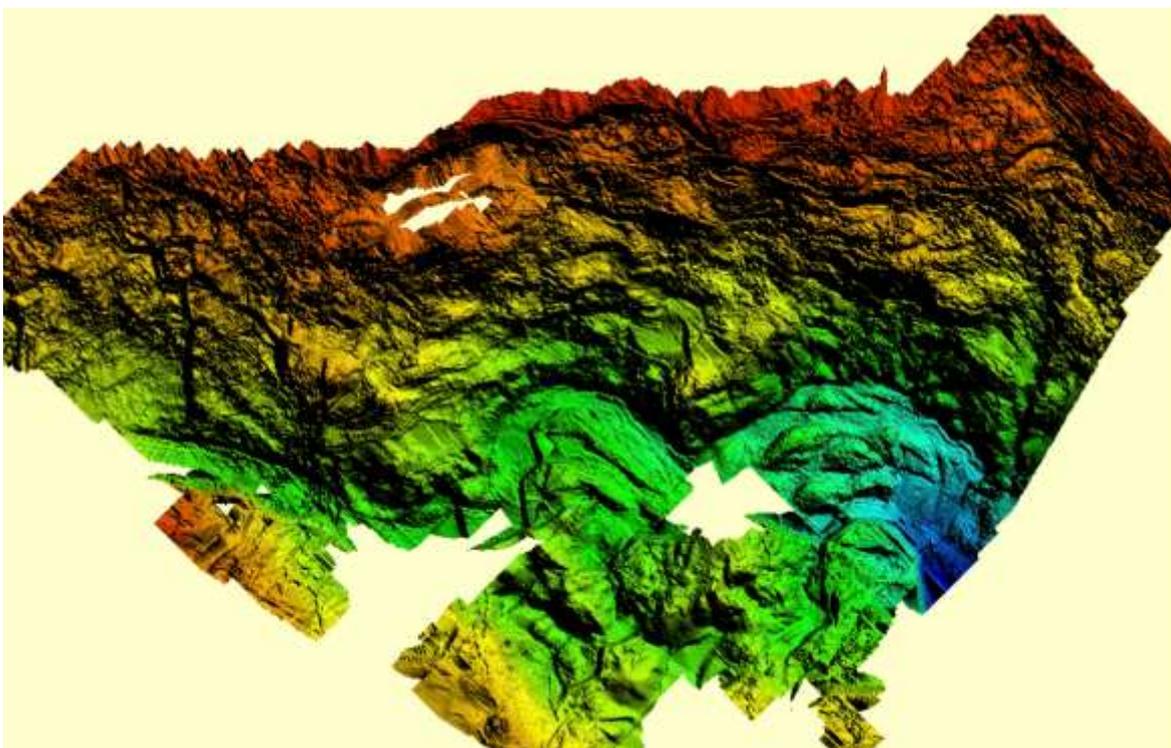
## 6. RESULTADOS PRELIMINARES

Durante los estudios de monitoreo una de las limitantes fue el de obtener un modelo digital de terreno a una alta resolución con el fin de obtener características a detalle del deslizamiento, para superar estas limitaciones y con la llegada del sensor LIDAR terrestre (Optech ILRIS 3D-LR) para el seguimiento de forma intensiva los cambios ocurridos en uno de los deslizamientos mas activos del Valle de Colca. Usando este sistema ha sido posible y capaz de capturar a un nivel de detalle de 10 cm la topografía del cuerpo del deslizamiento durante la campaña agosto del 2015, la lectura de datos consiste en la adquisición automática de varios millones de puntos con una densidad media entre 100 puntos por metro cuadrado, dependiendo de la distancia del escáner al objetivo. Es así que se obtiene el primer DEM de alta resolución (figura 5), que permitirá determinar movimientos menores al centímetro a escala local.

Una de los objetivos de esta primera lectura es conocer las zonas de sombra o vacíos e donde el laser no llega y no se tienen datos, esto permitirá considerar nuevos puntos de disparo para completar estos vacíos del DEM. Luego, con posteriores escaneos del cuerpo del deslizamiento se podrá realizar las comparaciones de un sucesivo conjunto de datos tridimensionales, con estos resultados no solo se estudiara la magnitud y la frecuencia del

---

deslizamiento, sino también identificar si hay nuevos focos de desplazamiento o debilidad que pudieran indicar un cambio en la geodinámica del deslizamiento. En el presente reporte mostramos los resultados del procesamiento de la nube de puntos obtenido en esta primera campaña y procesados a través de los software Polyworks, LAS en QGIS y Global Mapper.



**Figura 5.** Modelo digital de terreno preliminar de la zona de deslizamiento de Maca.

## 7. CONCLUSIONES

- Se ha logrado diseñar y construir los primeros hitos para la instalación del escáner LiDAR que permita monitorear el deslizamiento de Maca.
- Con el empleo de equipos de última generación como el scanner LiDAR, se ha obtenido el primer DEM este permitirá además de comparara con posteriores DEMs mejorar la distribución de los hitos de disparo.

## **8. BIBLIOGRAFIA**

- 1.- Benavente C., Carlotto, V. & Castillo, B. 2010. Evolución Estratigráfica Y Tectónica De La Cuenca Pleistocena Colca, Cordillera Occidental-Sur Del Perú. Congreso Peruano de Geología, 15, Resúmenes. Lima: Sociedad Geológica del Perú, 5 p.
  - 2.- Fidel L. y Zavala B. (1994), Estudio Geodinámico de la cuenca del rio Camaná-Majes (Colca), departamento de Arequipa. Dirección de Geotecnia, INGEMMET, Bol No. 14, Serie C: Geodinámica e Ingeniera Geológica. Lima, Perú.
  - 3.- Gomez J.C., D. Huamán, E. Norabuena & L. Ocola (2005), Monitoreo geodésico de deslizamientos activos en el sector medio valle del rio Colca, región Arequipa, CONCYTEC, IGP, Lima, Perú.
  - 4.- Lacroix P., J. Marino, E. Taïpe, M. Wathelet, L. Tatard, B. Guillier, F. Bondoux, B. Zavala, P. Valderrama, L. Fidel, J.-C. Gómez, E. Norabuena (2012), Caracterización de los procesos sísmicos y gravitacional sobre el deslizamiento de Maca (Colca), Congreso de Geología Peruano, Sept 2012, Lima.
  - 5.- Lacroix P.,M. Wathelet,E. Taïpe,J. Marino,E. Norabuena,B. Guillier,L. Tatard,C. Flores (2013), Reactivation of the slow-moving landslide of Maca, Peru, by rainfalls and earthquakes, Landslides.
  - 6.- RIVERA, M.; SAMANIEGO, P.; MARIÑO, J.; DELGADO, R.; GUILLOU, H.; LE PENNEC, JL. (2012) - Historia eruptiva del complejo volcánico Ampato-Sabancaya (Arequipa). En: XV Congreso Peruano de Geología, Lima-Perú, 2012. Resúmenes extendidos. Lima: Sociedad Geológica del Perú, 5 p.
-