

MONITOREO DE DEFORMACION DEL DESLIZAMIENTO DE MACA, PERIODO 2015



Edu Taipe Maquerhua
Rafael Miranda Cruz
Gael Araujo Huamán
Jonathan Díaz Apaza

**INSTITUTO GEOLOGICO
MINERO Y METALURGICO
DIRECCION DE GEOLOGIA
AMBIENTAL Y RIESGOS
GEOLÓGICOS**

ACT3: MONITOREO GEOFISICO Y
GEODESICO DE FALLAS ACTIVAS Y
MOVIMIENTOS EN MASA ACTIVOS

1. INTRODUCCION

Los deslizamientos es un fenómeno geológico que viene afectando durante varios años al Distrito de Maca, el INGEMMET viene realizando esfuerzos por conocer la naturaleza y evolución del fenómeno natural, desde la última década del siglo (Informe Técnico N° A6628-ingemmet), el deslizamiento de Maca es un fenómeno geodinámico rotacional muy antiguo que afecta directamente al pueblo de Maca (Zavala et al., 2012) y las infraestructuras de mayor tránsito como la carretera Chivay – Cabanaconde (Cañón del Colca) consideradas vías de acceso turístico, por otra parte este fenómeno geológico afecta también a los andenes pre-incaicos que son parte del atractivo turístico de esta importante zona.

Este deslizamiento es considerado muy activo, su desplazamiento se asocia a dos razones importantes como lo son: a) La lluvia estacional que se infiltra y satura el suelo alterando las propiedades físico-químicas de este material, b) los sismos locales y regionales que son predominantes por las fallas activas entre el volcán Sabancaya y la zona de Maca.

Los sismos históricos que reactivaron el deslizamiento son:

- El 23 de Julio de 1991, el sismo superficial de 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 reactivó el movimiento (Gómez et al., 2002). Aunque no se tienen valores exactos acerca de la tasa de deformación o desplazamiento.
- Entre Febrero y Marzo del año 2013, una crisis sísmica generó varios sismos locales de magnitudes superiores a 4 mb. Al menos uno de estos sismos (14-03-2013, $m_b 4.5$) provocó un nuevo hundimiento de la carretera de cerca de 50 cm (La Republica, Viernes, 15 de marzo de 2013).

Estudio basado en datos sísmicos, precipitación pluvial, prospección geofísica, monitoreo GPS, demuestran que existe una estrecha relación entre las estaciones lluviosas y los movimientos sísmicos, evidenciándose tres importantes reactivaciones del deslizamiento de Maca. Así mismo, durante estos últimos años se ha venido implementando y optimizando una red de monitoreo geodésico y sísmico para ser registrados de forma temporal y permanente. Es así que para el presente reporte se han empleados datos de monitoreo GPS únicamente.

2. OBJETIVOS

Los objetivos principales del monitoreo de deformación del deslizamiento son:

- Cuantificar la tasa anual de deformación de la zona.
- Determinar los límites del área que se desliza y la zona más susceptible a ocurrir dicho fenómeno.
- Analizar los efectos de la lluvia y los sismos sobre la dinámica del movimiento.

3. DATOS

Para alcanzar los objetivos descritos, para el año 2015, en la zona de Maca se ha dedicado a la implementación, instalación y optimización de nuevas estaciones de monitoreo, reforzando los sistemas de seguridad de los equipos de monitoreo que continuamente son objeto de vandalismo, en tal sentido se ha instalado tres estaciones, bajo una estructura de concreto que permite monitorear de manera permanente y segura este fenómeno geológico a través de sismógrafos y GPS (Figura 1, puntos color verde), dentro del deslizamiento se optimizaron los 12 hitos geodésicos existentes que son reocupados periódicamente con GPS diferencial (Figura 1, puntos color azul), en estos trabajos de monitoreo geodésico se tiene la participación del IRD (Instituto de Investigación para el desarrollo) e INGEMMET.



Figura 1. 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.

Durante el periodo 2015 se realizaron reiteradas medidas geodésicas con GPS diferencial de doble frecuencia (Figuras 2). Las medidas de este instrumento, seguido de un procesamiento con el software TBC (Trimble Business center), permite medir la posición de un punto en la superficie del deslizamiento, con una precisión inferior al centímetro. La reiteración de las medidas sobre estos puntos permite conocer la dirección, magnitud y velocidad del deslizamiento y como es su comportamiento a través del tiempo. Con ello se puede interpretar las características geodinámicas del deslizamiento.



Figura 2. Equipo GPS diferencial marca Trimble modelo R6 de doble frecuencia instalado en uno de los hitos de monitoreo del deslizamiento.

4. PUNTOS DE CONTROL PARA GPS

Para el periodo de mediciones de campo durante el año 2015, se realizaron tres observaciones reiterativas en 12 puntos de monitoreo (ejemplo en la figura 3), que se encuentran distribuidos en diferentes puntos estratégicos donde el fenómeno natural se encuentra activo, estos puntos son fijados en roca aflorante mediante la incrustación de pines de bronce y sellados con pegamento epoxico (figura 1), el tiempo de medición de los puntos varía entre 1 a 3 horas, dependiendo de la distancia entre la base y el móvil usando GPS de doble frecuencia (Tabla 1).

Fecha Campo	Puntos medido	Tiempo de mediciones	Equipos empleados
03/03/2015	MA00, MA01, MA02, MA03, MA04, MA05, MA06, MA07, MA08 y MA09, MA10 y MA11.	1:00 horas a 1:30 horas	Receptor: TRIMBLE R7 Antenna: Zephyr Geodetic Model2 (TRM55971.00) sin domo y TRIMBLE R6.
20/05/2015	MA00, MA01, MA02, MA03, MA04, MA05, MA06, MA07, MA08 y MA09, MA10 y MA11.	1:00 horas a 1:30 horas	Receptor: TRIMBLE R7 Antenna: Zephyr Geodetic Model2 (TRM55971.00) sin domo y TRIMBLE R6.
05/08/2015	MA00, MA01, MA02, MA03, MA04, MA05, MA06, MA07, MA08 y MA09, MA10 y MA11.	Con Corrección en tiempo real	Receptor: TRIMBLE R10 Antena:

Tabla 1. Campañas de campo de registro de datos de mediciones GNSS de los puntos de la red de monitoreo del deslizamiento de Maca.

Con los datos obtenidos en las diferentes campañas de campo se realizaron los cálculos de la posición de cada uno de los puntos empleando como base la estación MAC9 la cual se considera por ser instalada en un zona de mínimo desplazamiento (orden milimétrico) con ello se realiza el post-procesamiento de los puntos móviles obteniendo como resultado las coordenadas (X, Y, Z) de cada punto para ser comparados con campañas anteriores en series temporales .



Figura 3. Foto del momento de registros de datos GNSS en el punto MA09.

5. ESTACIONES PERMANENTES

Entre el 05 y 07 de octubre 2015, se instalaron tres (03) estaciones GNSS de manera permanente dentro de la zona con mayor deformación asignándole el nombre de MAD1, MAD2 y MAD3 (figura 6); estas estaciones albergaran los equipos dedicados al monitoreo permanente y en tiempo real del deslizamiento, siendo estos registradores sísmicos y GPS, sensores sísmicos, antenas GPS geodésicos de doble frecuencia y equipos de transmisión mediante tecnología WIFI.

La configuración de las estaciones será con una antena GPS sobre el techo de la estructura de concreto, así como los paneles blindados y empotrados en el techo y una antena WIFI, sistema diseñado para estos fines (Figura 4). Los equipos que irían dentro de la caseta son: tres receptores GPS marca TRIMBLE modelo NetR9 con antena Zephyr Geodetic Model 2 incluido el domo protector y un GPS TOPCON, modelo GB-1000. Dichas estaciones permitirán cuantificar y medir con mejor resolución temporal el comportamiento del deslizamiento (Velocidad, magnitud y posición) frente a factores meteorológicos (lluvia) o factores internos como los sismos locales o regionales.

A través del IRD (Instituto de Investigación para el desarrollo) se obtuvieron 3 sismómetros marca AGECODAGIS, modelo NOEMAX (figura 5) donde estos sensores sísmicos proporcionan información sobre las vibraciones o ruido sísmico, con cuya información se propone analizar las variaciones de la rigidez de la estructura del deslizamiento y correlacionarla con probables aceleraciones del deslizamiento.



Figura 4. Foto de las estaciones GNSS MAD1 y MAD2 de registro permanente, el mismo es alimentado por una batería de 12V y dos paneles solares. El receptor GPS y accesorios están instalados dentro de la estructura de concreto.



Figura 5. Sensores sísmicos marca AGECODAGIS, modelo NOEMAXNOE, instalados en las casetas de concreto MAD1, MAD2 y MAD3.

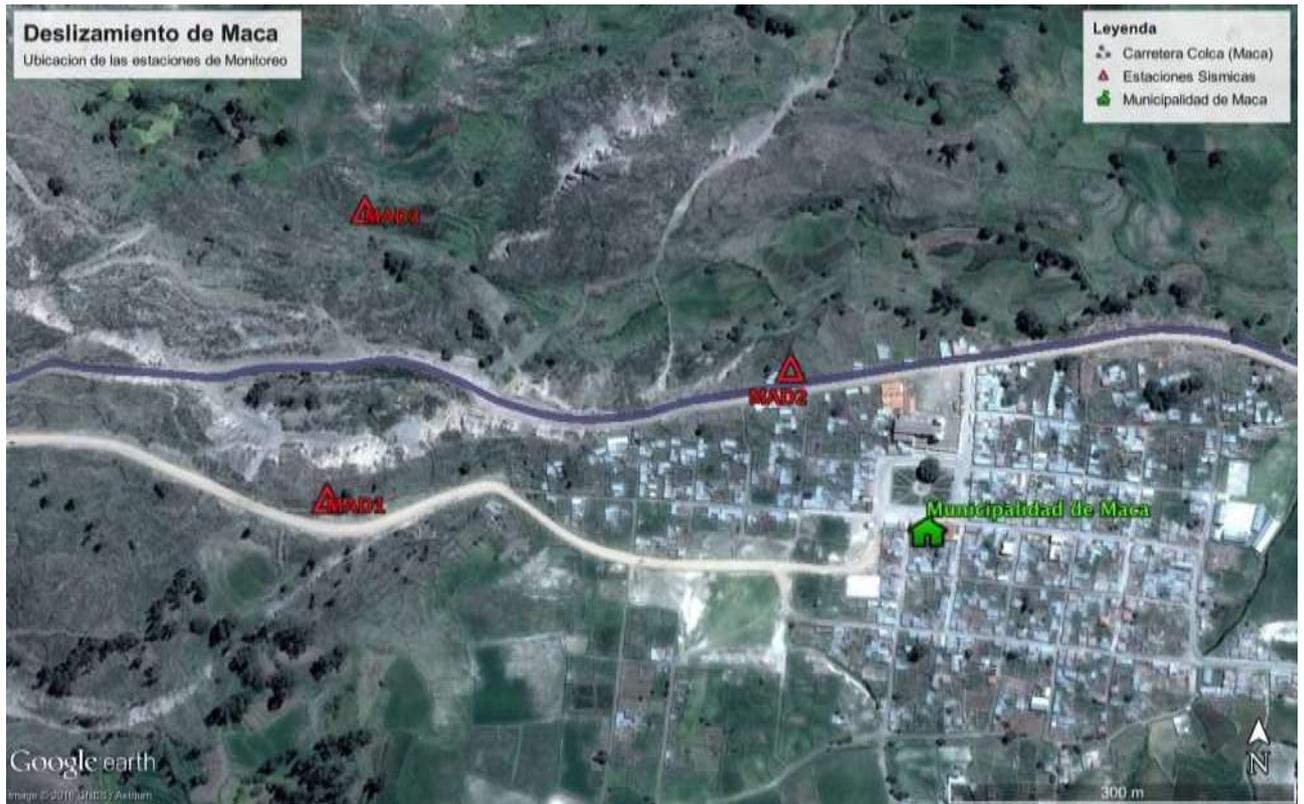


Figura 6. Ubicación de las estaciones GNSS permanentes y sísmicos (MAD1, MAD2 y MAD3)

6. RESULTADOS

En el presente reporte mostramos los resultados del procesamiento de datos de las doce (12) estaciones de monitoreo correspondiente al periodo del año 2015 en la cual se realizaron tres mediciones reiterativas (Marzo, Mayo y Agosto del 2015), se hace un análisis de las series temporales y se calcula la velocidad promedio de desplazamiento de cada uno de los hitos. Los cálculos de la posición del punto se realizaron empleando registros de la campaña en modo absoluto con el software TBC, La precisión alcanzada es de 3 mm sobre los componentes horizontales y 6 mm en la vertical, para determinar la ubicación geográfica de la base de procesamiento se empleó el punto MAC9.

Mostramos las series temporales de los puntos primero de menor desplazamiento MA00, MA01, MA02, MA06, MA07, MA08, MA09 (MA01 en la figura 7) y un segundo grupo de mayor desplazamiento; MA04, MA05, MA10 y MA11 (figuras 8 a 10, para MA04, MA05 y MA11 respectivamente). Estas series temporales muestran que el desplazamiento no es constante, se ha encontrado mayor desplazamiento en la primera mitad del año y esta se reduce para la segunda mitad. En relación a años anteriores el promedio de desplazamiento en la zona mas critica se habría reducido de 6 m/año a 1 m/año, esta reducción estaría directamente correlacionada con el nivel de precipitaciones en esta zona la cual se redujo en relación a años anteriores.

En la figura 11 podemos ver la totalidad de las estaciones procesadas en forma de

vectores de desplazamiento horizontal, estas muestran desplazamientos más fuertes sobre la componente Norte, y con mayor magnitud en los hitos ubicados en la zona norte y noroeste del deslizamiento. Y los hitos que presentan menor desplazamiento se encuentran ubicados al sur y este del desplazamiento, ambas zonas se delimitan bien por la presencia de las escarpas principales del deslizamiento.

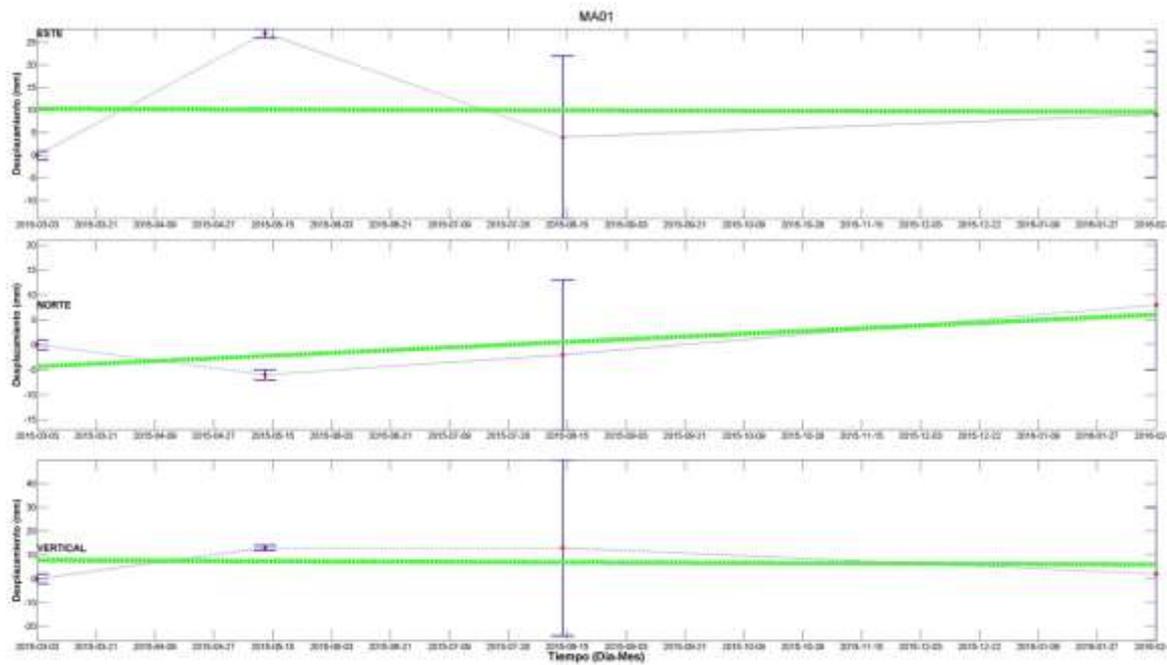


Figura 7. Serie temporal de posición GPS para el hito MA01, ubicado en la plaza principal de Maca.

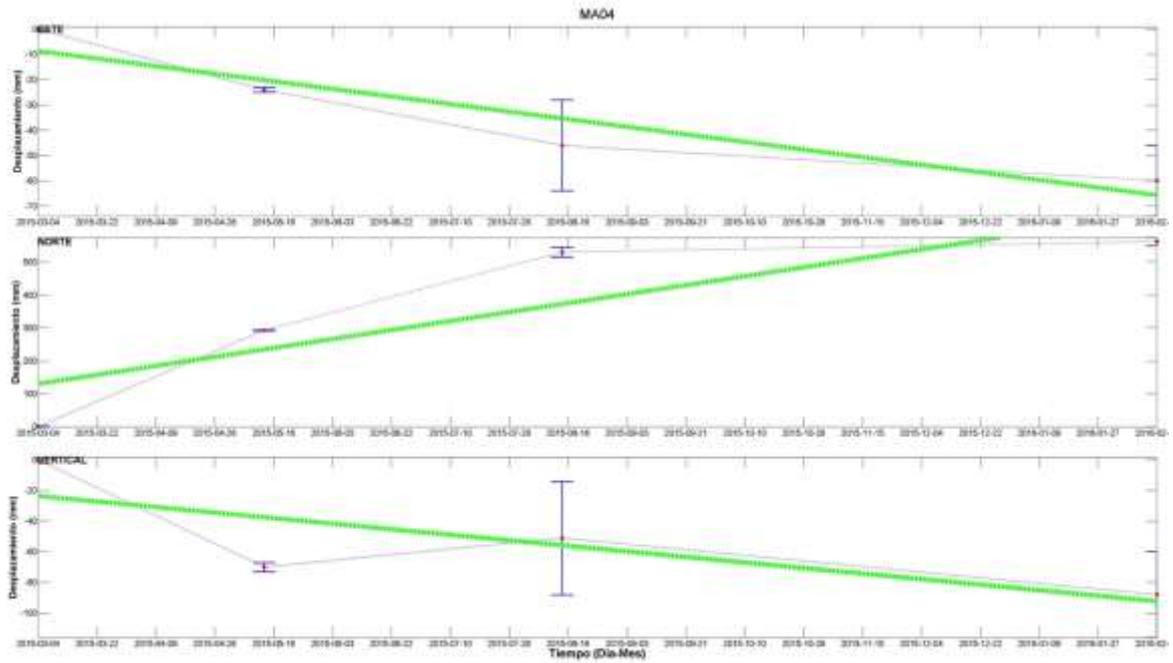


Figura 8. Serie temporal de posición GPS para el hito MA04, ubicado en la zona central de mayor desplazamiento.

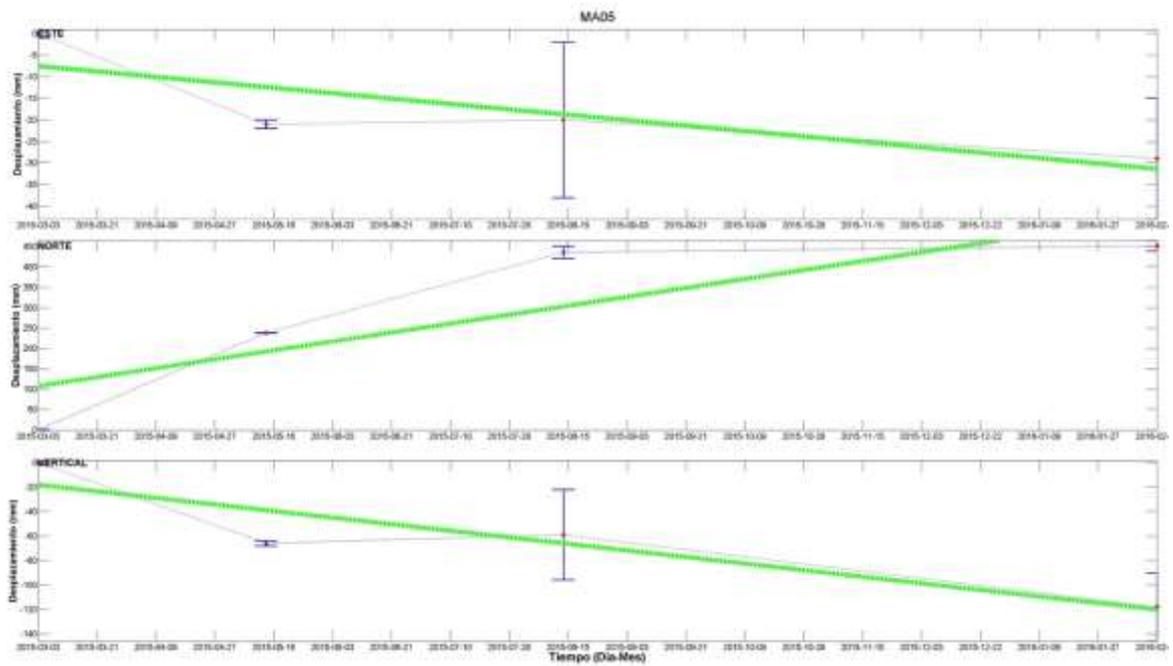


Figura 9. Serie temporal de posición GPS para el hito MA05, ubicado en la zona de central mayor desplazamiento.

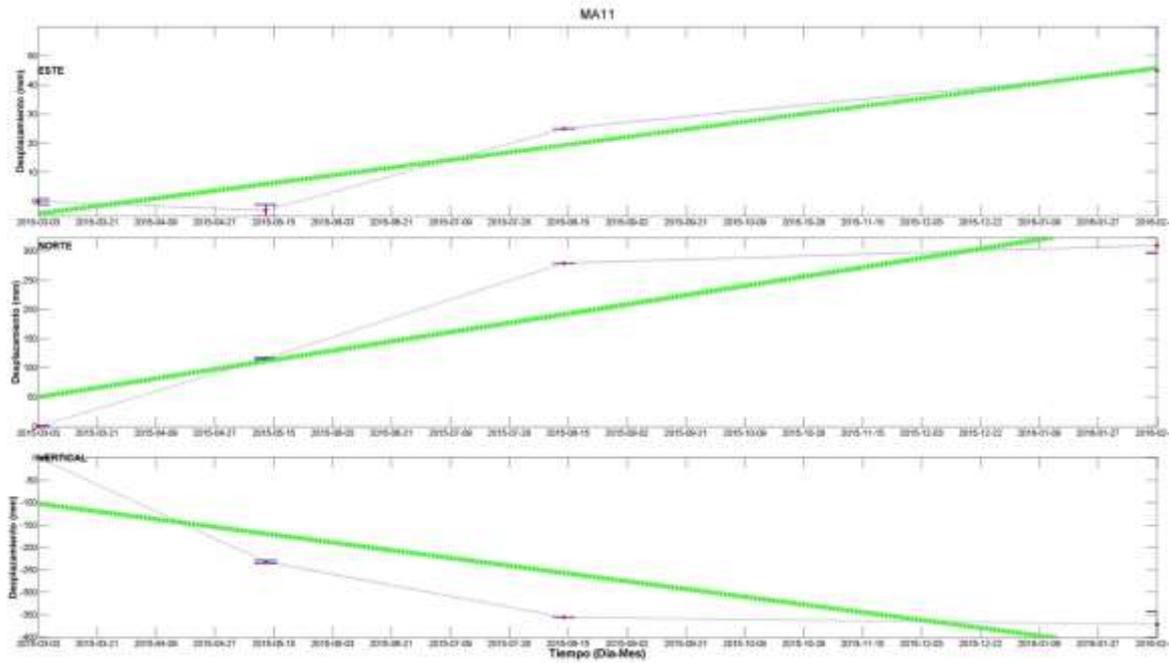


Figura 10. Serie temporal de posición GPS para el hito MA11, ubicado en la zona oeste de mayor desplazamiento.

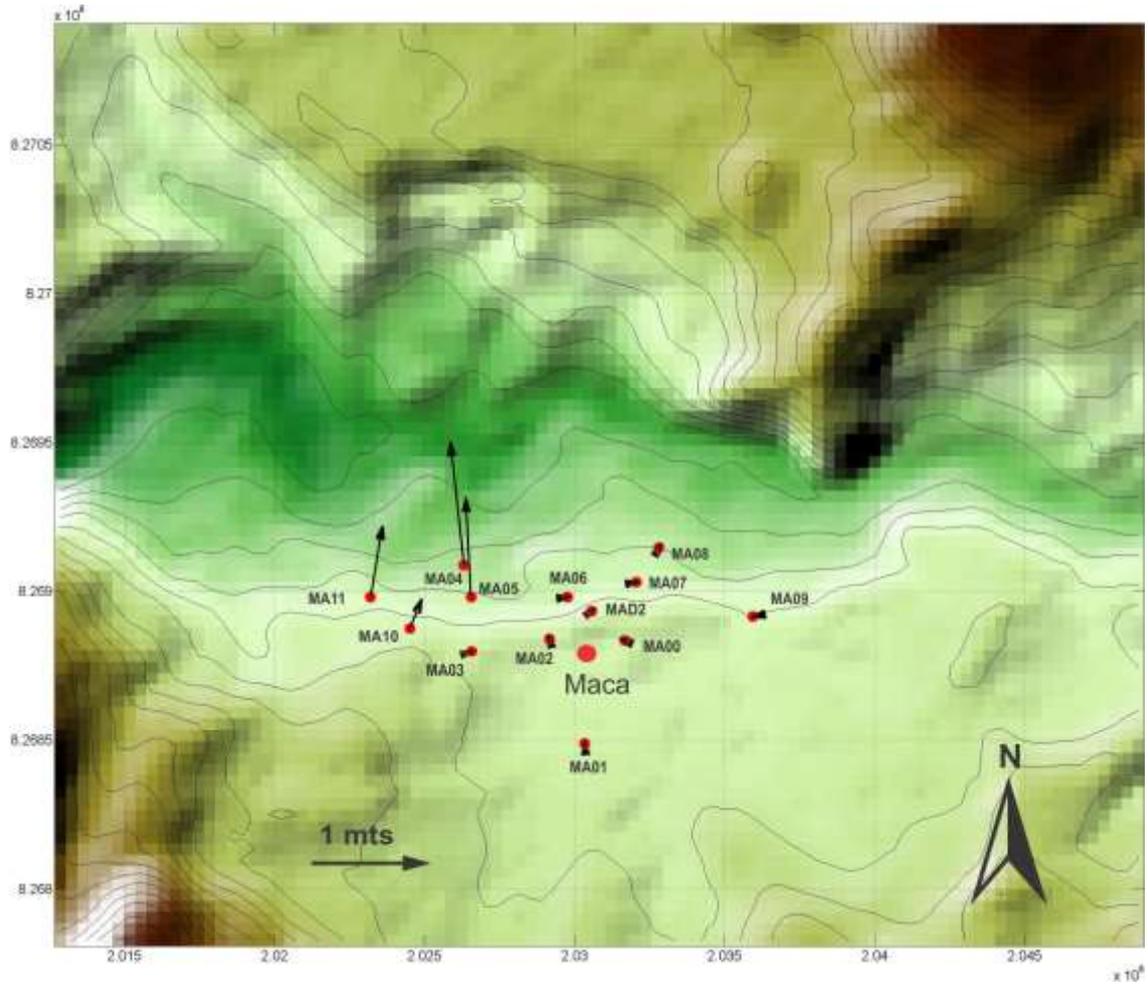


Figura 11. Mapa de vectores de desplazamiento obtenido para el deslizamiento de maca periodo 2015.

7. CONCLUSIONES

- El deslizamiento de Maca continúa siendo el deslizamiento más predominante del valle del colca, teniendo una tasa de desplazamiento mensual entre 0.12 a 1.0 m/año.
- Así mismo los puntos de monitoreo muestran que existe dos áreas de deslizamiento las cuales definen claramente que el sector oeste y norte del deslizamiento se diferencian del resto y están delimitadas por las escarpas principales.
- Estos resultados permiten delimitar el deslizamiento en dos áreas de desplazamiento las cuales se desplazan a diferentes velocidades y no permiten conocer que la zona de mayor desplazamiento esta a 1 m/año, mucho menor que años anteriores y esto se debería a la ausencia de lluvias.

8. BIBLIOGRAFIA

- Antayhua V; Tavera, H.; Comte S. Diana Y. Salas, H. Bernal, I. Rodríguez, S. Millones, J. Jiménez T. Pérez, Y. Portugal, D. Inza, A. Zamudio, Y. (2002), Análisis de la distribución espacial de las réplicas del terremoto de Arequipa del 23 de junio del 2001 (MW=8.2), Congreso Peruano de Geología, 11, Lima, PE, 25-28 setiembre 2002, Trabajos científicos. Lima: Sociedad Geológica del Perú 2002, tomo 2, pp. 647-650.
- Gomez J.C., F. Audemard, J. Quijano (2002), Efectos geológicos asociados al sismo del 23 de junio del 2001 en el sur del Perú. Centro Nacional de Datos Geofísicos Instituto Geofísico del Perú, pp 159 - 174.
- Zavala, B. Mariño, J. Lacroix, P. Taipe, E. Benavente, C. Pari, W. Macedo, L. Peña, F. Paxi, R. Delgado, F. Fidel, L. Tatard, L.(2012), Evaluación de la seguridad física del distrito de Maca- Estudios geológicos, geofísicos y monitoreo de movimientos en masa, Informe Técnico, INGEMMET, Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, 160p