



SECTOR ENERGÍA Y MINAS

INGEMMET

INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7039

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA CARRETERA MACA – CABANAONDE, AFECTADA POR EL DESLIZAMIENTO OCURRIDO EL 22 DE MARZO

Región Arequipa
Provincia Caylloma
Distrito Maca



ABRIL
2020

CONTENIDO

RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1 Metodología de trabajo	2
1.2 Objetivo del estudio.....	2
2. GENERALIDADES	3
2.1 Ubicación y accesibilidad	3
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS	4
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	7
5. PELIGROS GEOLÓGICOS.....	9
6. MAPA DE PELIGROS POR MOVIMIENTOS EN MASA.....	10
6.1 Mapa de peligrosidad a movimientos en masa	10
6.2 Mapa de peligrosidad múltiple.....	11
7. MONITOREO GEODÉSICO DEL DESLIZAMIENTO DE MACA	12
8. DESLIZAMIENTO OCURRIDO EL 22 MARZO DEL 2020	17
9. PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN	22
CONCLUSIONES.....	26
RECOMENDACIONES.....	27
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

RESUMEN

En la zona de Maca afloran en su gran mayoría rocas volcánicas, pero también rocas sedimentarias en zonas restringidas. Las rocas más antiguas se formaron durante el Jurásico superior y las más recientes durante el Pleistoceno tardío y Holoceno. La zona evaluada (carretera Maca - Cabanaconde), se asienta sobre depósitos de avalanchas de rocas; así mismo en los alrededores se encuentran depósitos lacustres (limoarcillitas y diatomitas), secuencias proluvio-aluviales y depósitos coluviales. Estos depósitos poseen malas características geotécnicas y son susceptibles a ser afectados por procesos de movimientos en masa, tales como por deslizamientos, derrumbes y reptación de suelos.

La carretera Maca - Cabanaconde, se encuentra sobre la unidad de piedemonte, subunidad piedemonte coluvio – deluvial, conformada por depósitos de avalancha de escombros, que en conjunto son depósitos no consolidados y friables. En los alrededores se identificó una planicie, asociada a depósitos coluviales y aluviales. Además, se encuentra la unidad de colina volcánica, conformada por ignimbritas dacíticas a riolíticas del Grupo Tacaza.

La carretera Maca – Cabanaconde es la vía principal del Valle del Colca y se encuentra dentro del cuerpo del deslizamiento de Maca. Desde el 22 de marzo de 2020, un tramo de 10 m del sector oeste de dicha vía, viene siendo afectado por hundimientos/asentamientos que han generado agrietamientos de geometría circular y aperturas de terreno en la carretera asfaltada. La inestabilidad de este deslizamiento tiene relación con la incompetencia del material afectado, conformado por depósitos lacustres, proluviales, avalanchas de escombros y con la presencia de la napa freática superficial.

El INGEMMET en el año 2015 realizó una evaluación de peligros geológicos del área propuesta para el reasentamiento (Informe Técnico A6773), sector de Pampas Bajas de Majes N°5. Vale mencionar que el área asignada cuenta con ordenanza regional para ejecutar el reasentamiento. Los resultados del estudio, indica que el terreno para el reasentamiento de Maca, es de susceptibilidad muy baja.

El monitoreo continuo y permanente al deslizamiento de Maca mediante la técnica geodésica satelital, para periodo de evaluación entre 2018 a febrero del 2020, evidencian que tiene un comportamiento activo definido en el sector noreste del deslizamiento, con altos valores de desplazamiento de hasta 0.6 m/año de hundimiento, lo cual es coincidente con la zona afectada de la carretera Maca - Cabanaconde.

Se recomienda realizar un nuevo trazo de la vía Maca - Cabanaconde, para lo cual se plantea dos propuestas, a corto plazo y a largo plazo (ideal). La primera consiste en trazar la vía por una trocha carrozable al sur del pueblo de Maca, hasta la quebrada Japo, de allí seguir el trazo por la margen izquierda de dicha quebrada hasta empalmar con la carretera actual. La segunda propuesta es realizar el trazo definitivo, para la vía que une a los distritos de Maca y Pinchollo. Es un trazo más largo que la primera propuesta, donde gran parte de su trayectoria, va a cruzar por rocas volcánicas del volcán Hualca Hualca.

1. INTRODUCCIÓN

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), como ente técnico-científico, incorpora dentro de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR), la ACT.7: Evaluación de peligros geológicos y consideraciones geotécnicas a nivel nacional.

Su alcance contribuye con entidades gubernamentales en los diferentes niveles de gobierno (nacional, regional y local), a partir del reconocimiento, caracterización y diagnóstico de peligros geológicos en territorios susceptibles a movimientos en masa, inundaciones u otros peligros geológicos asociados a eventos hidroclicmáticos, sísmicos o de reactivación de fallas geológicas, o asociados a actividad volcánica.

Mediante esta asistencia técnica el INGEMMET, proporciona un informe técnico que incluye resultados de la evaluación geológica-geodinámica realizada, así como recomendaciones pertinentes para la mitigación y prevención en el marco del Sistema de Gestión de Riesgo de Desastres.

La Ing. Yeny Flores Ramos, encargada de la Subgerencia de Defensa Civil y Defensa Nacional de la Municipalidad Provincial de Caylloma, mediante Oficio N° 049-2020-MPC-CHIVAY-A, de fecha 02 de abril del presente año, solicitó una evaluación técnica sobre peligro geológico por deslizamiento en la zona de Maca.

El INGEMMET mediante los proyectos ACT10: Monitoreo de Movimientos en Masa Activos y ACT7: Evaluación de Peligros Geológicos y Consideraciones Geotécnicas a Nivel Nacional, preparó este informe técnico, para mostrar cuantitativamente el desplazamiento del deslizamiento activo de Maca, hasta febrero de 2020 y los efectos destructivos que su dinámica ha causado sobre infraestructura adyacente, cuyo enfoque está basado en la afectación de la carretera Maca – Cabanaconde el pasado 22 de marzo 2020.

1.1 Metodología de trabajo

La metodología para la elaboración del presente informe consta básicamente de recopilación bibliográfica, trabajos de campo y gabinete, las cuales se describen a continuación:

1.1.1. Recopilación bibliográfica y trabajos de gabinete

Recopilación de recursos bibliográficos de estudios realizados en la zona de estudio.

1.1.2. Trabajos de campo

Del 13 al 26 de febrero se realizó el levantamiento fotogramétrico en la zona de estudio, para ello se utilizó el DRONE Phantom 4 Pro. Además, se hizo la toma de datos de las características geológicas y geomorfológicas del sector. También se tomaron datos de monitoreo geodésico para cuantificar la deformación del deslizamiento.

1.1.3. Trabajo de gabinete

Los trabajos realizados en esta etapa consistieron en elaborar mapas y redacción del informe técnico, el cual contiene las conclusiones y recomendaciones pertinentes.

1.2 Objetivo del estudio

- Identificar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos que afectan la carretera Maca - Cabanaconde.

- Cuantificar la deformación del deslizamiento para el periodo comprendido entre el año 2019 - 2020, proporcionado por la red de monitoreo permanente la cual consta de 03 estaciones GNSS.
- Presentar a las autoridades y pobladores alternativas de mitigación, en función de los resultados de los estudios técnicos realizados en el sector de Maca.

2. GENERALIDADES

2.1 Ubicación y accesibilidad

El área afectada está ubicada en la margen izquierda del río Colca, en el distrito de Maca, provincia Caylloma, región Arequipa. La zona es accesible por la carretera asfaltada Arequipa – Chivay (capital de la provincia Caylloma) – Maca (figura 1 y 2).

Tabla 1: Distancia y tipo de vía para acceder al sector consultado.

Tramo		Km.	Tipo de vía	Duración
Arequipa	Chivay	163	asfaltada	3h 06 min
Chivay	Maca	23	asfaltada	22 min

Tabla 2: Coordenadas geográficas de las zonas de estudio:

Zonas de estudio	Coordenadas
Punto afectado de la carretera Maca	– 15°38'24.07"S – 71°46'51.83"O

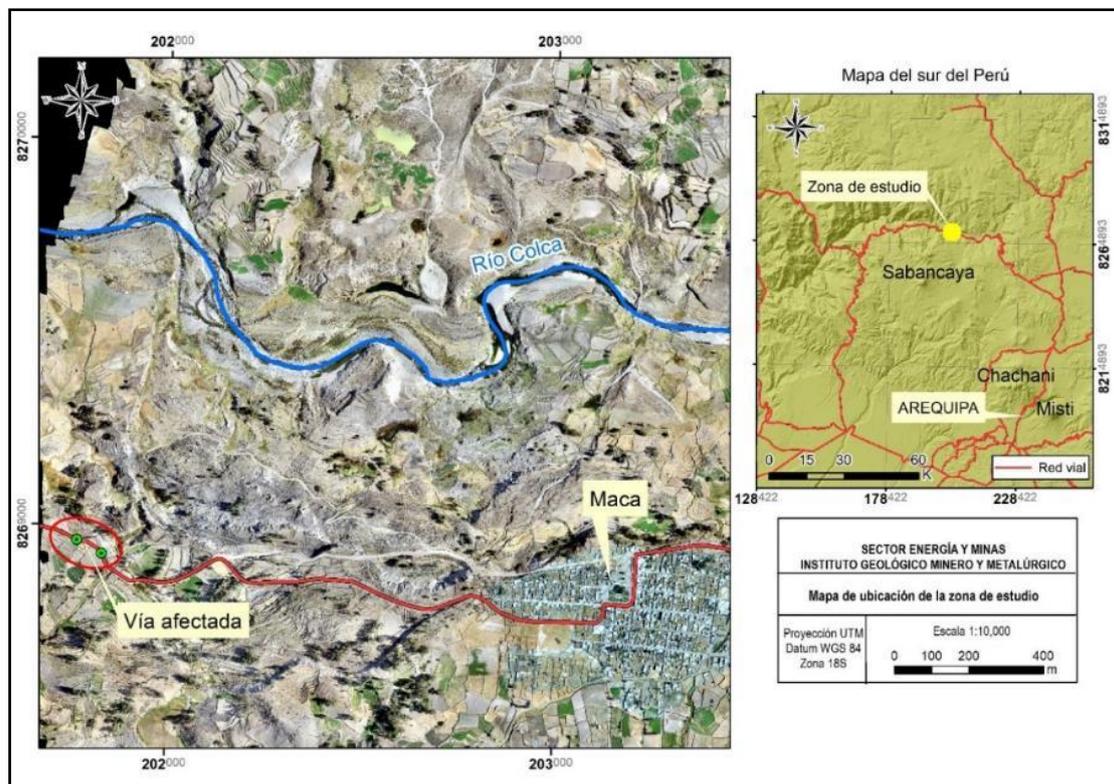


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.



Figura 2. Ruta de acceso desde Arequipa hasta Maca.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

La geología del sector de Maca a escala 1/25,000, según Mariño, et al. (2011) (figura 3), así como los trabajos realizados por Klinck & Palacios (1985) y Quispesivana & Navarro (2001), de la Carta Geológica Nacional, indican que en el sector se tienen afloramientos de rocas volcánicas y en menor proporción rocas sedimentarias.

Las rocas más antiguas se formaron durante el Jurásico Superior y las más recientes durante el Pleistoceno Tardío y Holoceno.

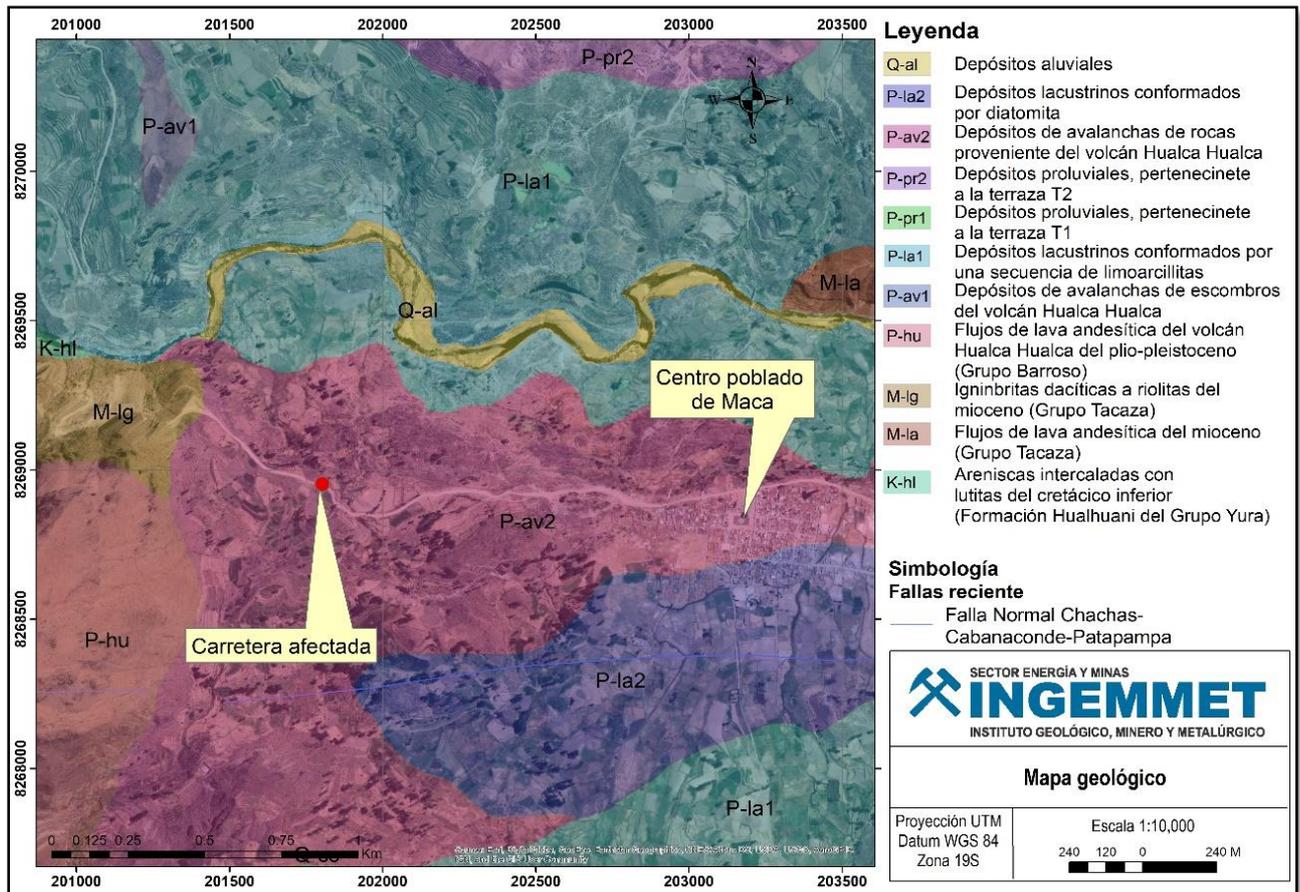


Figura 3. Mapa geológico de Maca y alrededores, a escala 1/25,000 (tomado de Mariño, et al., 2011).

3.1 IGNIMBRITAS Y FLUJOS DE LAVA DEL MIOCENO (GRUPO TACAZA, M-ig, M-la)

A poco más de 2 km al oeste de Maca, en el sector de Peña Blanca, aflora una secuencia ignimbrítica de composición dacítica a riolítica, de aproximadamente 200 m de espesor. Esta secuencia, producto de un vulcanismo de tipo explosivo, posee color gris-blancuecino y las paredes del afloramiento son casi verticales. Las características geotécnicas de estos depósitos volcánicos son regulares a buenas, debido a que la ignimbrita está medianamente soldada y fracturada.

Al noreste y sureste de Maca, entre 1 y 3 km de distancia, afloran secuencia de flujos de lava andesítica, de color gris verdoso. Posee bancos decimétricos a métricos, con más de 450 m de espesor. Estos afloramientos poseen pendientes fuertes a moderadas y desde el punto de vista geotécnico las rocas presentan un buen comportamiento, debido a que está constituida por una secuencia monolítica y subhorizontal de flujos de lava, y además de estar poco fracturadas (Zavala, et al., 2012).

Las ignimbritas y flujos de lava antes descritos, han sido correlacionadas con rocas del Grupo Tacaza, originadas durante un periodo de intensa actividad volcánica ocurrido durante el Mioceno, entre 23 y 13 Ma (Schildgen, et al., 2005; Thouret, et al., 2007; Thouret, et al., 2008).

3.2 FLUJOS DE LAVA DEL VOLCÁN HUALCA HUALCA DEL PLIO- PLEISTOCENO (GRUPO BARROSO, P-hu)

Al sur de Maca se encuentra el estratovolcán Hualca Hualca, que emplazó extensos y voluminosos flujos de lava de composición andesítica. Una importante secuencia de flujos de lava fluyó emplazó en dirección Norte y llegó a poco menos de 2 km de distancia de Maca. Esta secuencia lávica posee más de 1000 m de espesor, es del Plio-Pleistoceno (4 y 2 Ma), ha sido correlacionado con el Grupo Barroso (Thouret et al., 2007) y se encuentra sobreyaciendo a las rocas de los grupos Yura y Tacaza.

Desde el punto de vista geotécnico esta secuencia presenta un buen comportamiento, ya que está conformada por flujos de lava dispuestos en forma sub-horizontal. Este hecho es corroborado, ya que en estos afloramientos se han identificado limitados procesos de deslizamientos, derrumbes o reptación de suelos. Lo que si abundan son caídas de rocas, pero se debe principalmente a que los afloramientos presentan fuerte pendiente (Zavala, et al., 2012).

3.3 DEPÓSITOS DE AVALANCHAS DE ROCAS DE MACA (P-av2)

En Maca y sus inmediaciones afloran depósitos de avalanchas de rocas de limitada extensión, que posee entre 30 y 100 m de espesor. Estos depósitos están conformados por fragmentos de litología heterogénea y tamaño heterométrico, que en conjunto son depósitos no consolidados, friables. En este caso, lo que más abundan son las facies de bloques, aunque también de manera muy restringida se tienen facies de matriz. Los bloques, que son mayormente de lava andesítica, poseen dimensiones centimétricas a métricas, angulosos a sub-angulosos, y se encuentran englobados por una matriz limo-arcillosa.

La zona de colapso de esta avalancha de escombros se encuentra en la margen derecha de la quebrada Japo, aproximadamente a 4500 m s.n.m., a 5 km al suroeste de Maca, donde se observa una cicatriz en forma de herradura, abierto hacia el este, de aproximadamente 1 km de diámetro. El cartografiado geológico ha puesto en evidencia que la avalancha fluyó en dirección noreste, alcanzando la zona de Maca, e incluso el río Colca, en cuyas inmediaciones se observa que se encuentra sobreyaciendo a los depósitos lacustrinos conformados por arcillita y limoarcillita.

Debido a que son depósitos no consolidados y que están conformados por bloques heterométricos englobados en una matriz limo-arcillosa, se les considera de malas características geotécnicas. Tal como demuestra la presencia de deslizamientos, derrumbes y reptación de suelos, principalmente al oeste de Maca (Zavala, et al., 2012).

Cabe resaltar que la carretera afectada Maca - Cabanaconde se encuentra sobre este tipo de depósito.

3.4 DEPÓSITO LACUSTRINO DE DIATOMITA (P-la2)

En inmediaciones del Pueblo de Maca, se han identificado depósitos de diatomita, de coloración blanquecina y de algunos metros de espesor. Las diatomitas son rocas sedimentarias, formadas por la acumulación de micro fósiles de diatomeas, que son algas unicelulares que secretan un esqueleto silíceo denominado frústula.

Estos depósitos se originan normalmente en ambientes lacustres muy tranquilos, de poca profundidad y con actividad volcánica explosiva importante, que provee de sílice para la proliferación de diatomeas.

Desde el punto de vista geotécnico estos depósitos lacustrinos de diatomita presentan características pésimas, tanto en la cimentación como en las laderas. Las características en mención, se deben a que son rocas muy porosas, de baja densidad, friables, frágiles y poseen alta capacidad de absorber líquidos (Zavala, et al., 2012).

3.5 DEPÓSITOS ALUVIALES (Q-al)

Los depósitos aluviales se encuentran a lo largo del río Colca, en ambas márgenes, formando pequeñas terrazas. Son depósitos de algunos decímetros a varios metros de espesor. Litológicamente están conformados por arena, gravas y bloques lávicos, estos últimos redondeados, subredondeados y subangulosos. En algunos casos estos depósitos se encuentran formando secuencias interestratificadas con lahares o depósitos proluviales de espesor centimétrico.

Las terrazas que forman estos depósitos, son zonas vulnerables, porque se encuentran en las zonas bajas, y durante fuertes avenidas pueden ser afectadas por inundaciones, flujos de lodo y erosión (Zavala, et al., 2012).

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

La geomorfología de la subcuenca del Colca, comprende unidades o relieves de origen volcánico-erosional, seguidos de unidades de relieve de origen tectónico-erosional, y relieves de origen deposicional en menor porcentaje.

A continuación, se describen las unidades geomorfológicas que afloran en el área de estudio y alrededores (figura 4).

4.1 Unidad de piedemonte

Corresponde a aquellas geoformas de pendientes inclinadas con acumulaciones de material detrítico, siendo identificable por su característica de rupturas o cambios bruscos de pendiente (Zavala et al., 2009)

Subunidad de Vertiente o piedemonte coluvio - deluvial

Esta subunidad se encuentra al oeste y al sur de Maca. El tramo afectado en la carretera Maca-Cabanaconde se encuentra sobre esta subunidad.

Esta subunidad está conformada por materiales acarreados por gravedad, como también por depósito de avalanchas de escombros que descienden del volcán Hualca Hualca. Tiene una morfología cóncava por procesos de erosión y su forma tiene una disposición semicircular a elongada.

El tramo afectado de la carretera está conformado por depósitos de avalancha de escombros, compuesto por matriz soportada con clastos angulosos que se superpone a terrazas lacustres caracterizada por montículos con diferencias de elevaciones de hasta 100m entre cresta y montículo (Roberti et al., 2018).

Subunidad de Vertiente con depósito de deslizamiento

Se presentan con relieves de cierta pendiente y superficies de planas a levemente inclinada, son originados por deslizamientos antiguos y recientes, constituidos por depósitos coluvio-deluviales.

4.2 Unidad de Planicie

Son geformas asociadas a depósitos coluviales y aluviales, limitados por depósitos de piedemonte o ladera de montaña, identificados por presentar pendientes bajas a llanas.

Subunidad de Terraza alta coluvial

Son terreno con pendientes bajas a subhorizontales, se encuentran a mayor altura que las terrazas bajas y el cauce del río Colca, dispuestos a los costados de la llanura de inundación. Representan niveles antiguos inconsolidados de materiales coluviales, con procesos erosivos como consecuencia de la profundización del valle.

4.3 Unidad volcánica

Son geformas asociadas a depósitos volcánicos.

Subunidad de Planicie piroclástica disectada

Son terrenos con pendientes relativamente planas a moderadas con frente escarpado. Está conformada por secuencia de ignimbritas dacíticas a riolíticas del Grupo Tacaza provenientes de la actividad volcánica, se presenta hacia el oeste del centro poblado de Maca.

4.4 Unidad de Montaña

Es la unidad o componente de cualquier cadena montañosa y se define como una gran elevación natural del terreno, de diverso origen, con más de 300 metros de desnivel, cuya cima puede ser aguda, sub aguda, semiredondeada, redondeada o tabular y cuyas laderas regulares, irregulares a complejas y que presenta un declive promedio superior al 30% (FAO, 1968).

Subunidad de montaña y colina en roca sedimentaria (RCM-rs)

Esta unidad geomorfológica se da por la continuidad de la colina hacia la zona de montaña y es difícil de separarla, se compone de depósitos lacustrinos conformada por una secuencia de limoarcillita, presenta laderas con pendientes suaves y con un patrón de drenaje sub paralelo.

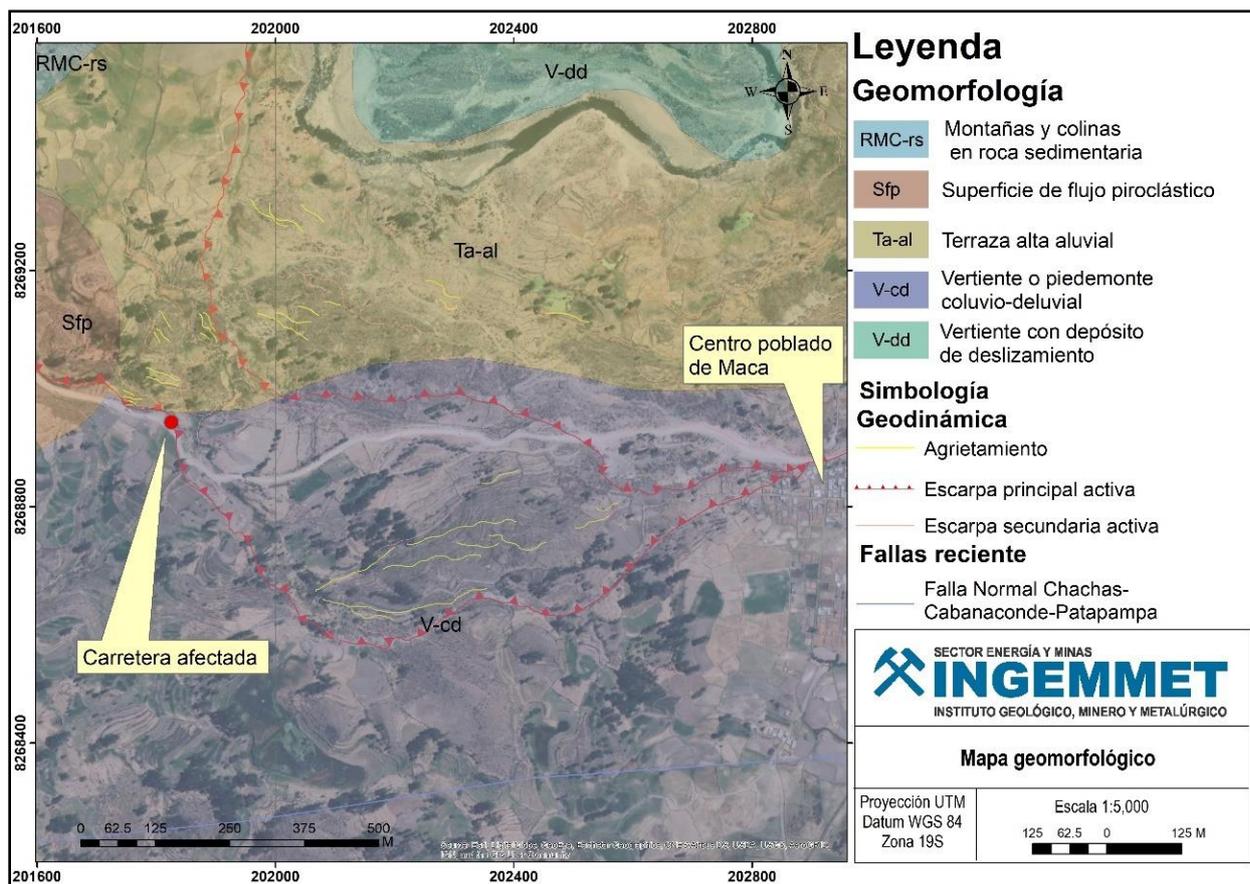


Figura 4. Mapa geomorfológico de la zona de estudio y alrededores.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

En el valle del Colca se evidencian diversos procesos por movimientos en masa de magnitud importante; en la zona de interés se presentan procesos geológicos activos que afecta la zona urbana en Maca, terrenos de cultivo y la carretera que une los distritos de Maca y Cabanaconde (zona de estudio), estos procesos tienen un avance progresivo “hacia el río Colca” como retrogresivo “hacia el poblado de Maca”, (Valderrama y Araujo, 2016).

Las evidencias del deslizamiento en Maca son altamente conocidas, el sector occidental del pueblo de Maca, siendo la zona más activa, mientras que la zona menos activa comprende la extensión del poblado. Durante los últimos años este fenómeno geológico viene afectando de manera recurrente al poblado de Maca, afectando principalmente la carretera que une todo el Valle del Colca (Taípe y Araujo, 2017).

En el valle Colca (Benavente et.al., 2012), identificaron cinco secuencias sedimentarias de tercer orden. La primera secuencia suprayace en discordancia angular a los depósitos volcánicos del Grupo Tacaza y de los centros volcánicos Hualca Hualca y Mismi del Plioceno. Esta secuencia aflora en el tramo Chivay–Yanque–Maca, tiene un espesor de ~100 m y está compuesta por intercalaciones de limoarcillitas de color pardo con laminación paralela, niveles delgados de areniscas de grano medio a fino, con laminaciones de tipo ripples y calizas de tipo packstone. En la parte central y tope de esta secuencia se observan canales de microconglomerados y areniscas de grano medio a grueso con laminaciones oblicuas, así mismo fallas sinsedimentarias y 8 niveles de sismitas, mayormente volcanes de arena y slumps, estos últimos varían entre 0.20

m a 3 m de espesor. Esta secuencia corresponde a una sedimentación de tipo lacustre profunda.

Las secuencias superficiales descritas por (Benavente et.al., 2012), aunados a la presencia de aguas subterráneas (en algunos casos superficiales), hacen que estos depósitos sean muy inestables, donde se encuentran grandes deslizamientos antiguos y recientes.

Actualmente estos deslizamientos continúan siendo investigados y estudiado con el fin de conocer la naturaleza y su evolución en el tiempo. Para ello el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) viene dando soporte al sistema de monitoreo permanente y continuo.

6. MAPA DE PELIGROS POR MOVIMIENTOS EN MASA

De acuerdo al informe técnico del INGEMMET N° A6736 “Peligros Geológicos en Maca”, el mapa de peligrosidad a movimientos en masa, indica que el sector afectado en la carretera Maca - Cabanaconde, se encuentra ubicado entre la zona de “peligro alto” y “peligro medio”; y de acuerdo al mapa por peligros múltiples (peligros en masa y sísmicos), indica que se encuentra en “peligro muy alto” y “peligro alto” (Valderrama et al. 2016).

6.1 Mapa de peligrosidad a movimientos en masa

En este mapa se aprecia la zonificación del sector Maca de acuerdo a su grado de peligrosidad, diferenciándose tres sectores (figuras 5).

- **Peligro Muy Alto:** Corresponde a la zona de mayor deformación y la que es actualmente la más afectada por el deslizamiento. Se caracteriza por tener una superficie irregular, con escarpas secundarias y grietas importantes y la presencia de zonas de emanación de agua de infiltración permanentes, que constituye el principal detonante del deslizamiento. Las estaciones de monitoreo han registrado desplazamientos importantes, llegando a 1.3 m al año (periodo 2015-2016).
- **Peligro Alto:** Corresponde al resto del cuerpo del deslizamiento; presenta también una superficie ondulada con saltos y escarpas secundarias. Zona que muestra una deformación importante, principalmente en épocas de lluvias o cuando se producen inundaciones asociadas a la agricultura. La presencia de zonas de emanación de agua de infiltración es limitada en época de estiaje, pero abundante en época de lluvia. Las estaciones de monitoreo han reportado pequeños desplazamientos menores en esta área que oscilan entre 0.5cm a 2cm por año
- **Peligro Medio:** Representa el área alrededor del deslizamiento de Maca, tanto aguas abajo, como aguas arriba de la escarpa principal del deslizamiento. Esta zona puede ser incorporada al deslizamiento por la acción de un detonante externo, caso de un sismo de regular intensidad. Presenta tazas de movimiento menores a 1cm por año, sin embargo, esta condición podría cambiar de incrementarse el agua de infiltración en el terreno, por un fenómeno de lluvias extremas, por ejemplo.

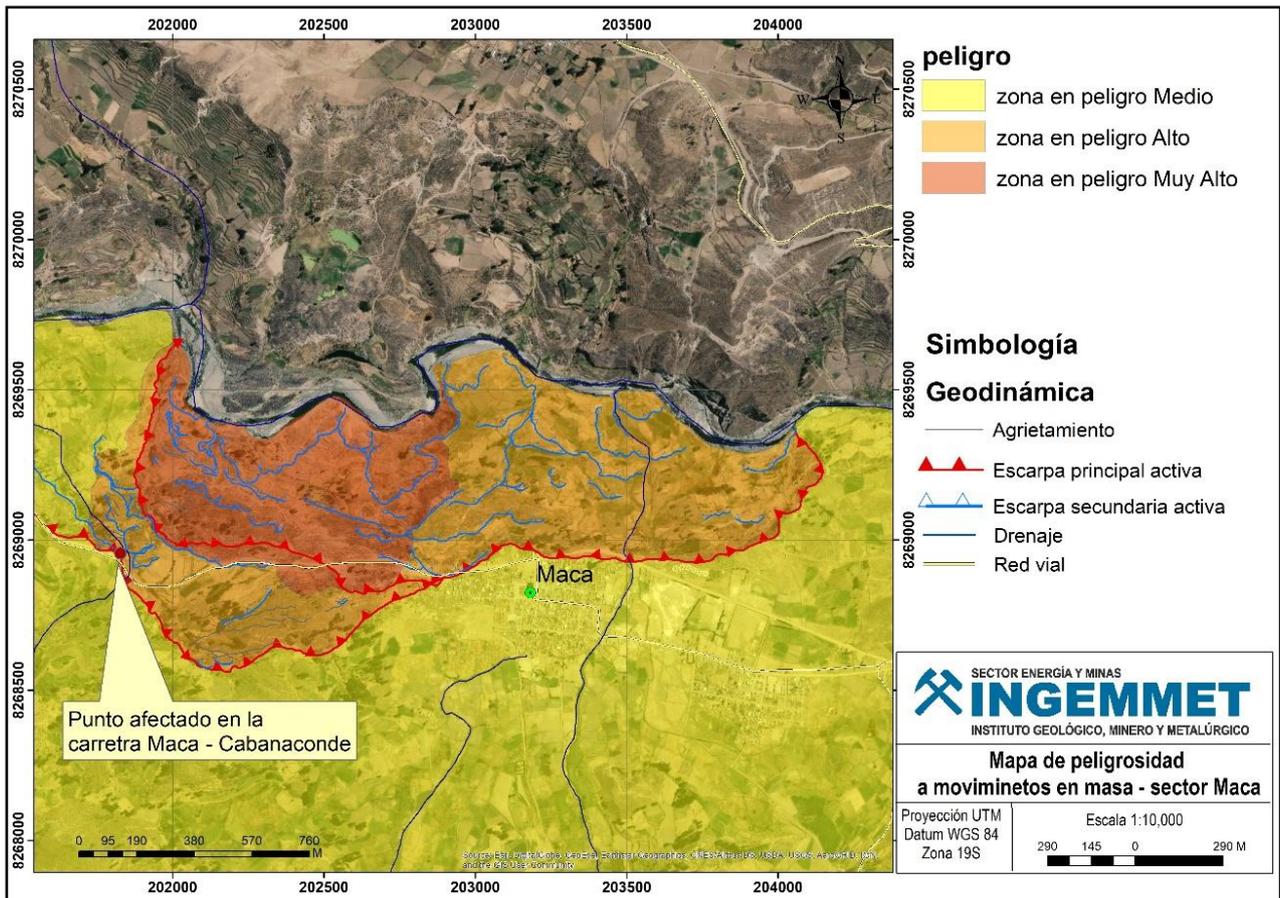


Figura 5. Mapa de Peligrosidad a Movimientos en Masa, sector Maca.

6.2 Mapa de peligrosidad múltiple

Muestra cómo el sector de Maca está expuesto a la ocurrencia de fenómenos geológicos. Para este caso se consideran dos zonas (figura 6).

- **Zona de Peligro Muy Alto:** Engloba las escarpas y cuerpo del deslizamiento activo, ya que está en constante movimiento. Los desplazamientos en esta zona se podrían acelerar por la ocurrencia de un sismo o temporadas extremas de lluvias teniendo en cuenta su intensidad y duración (lluvias de baja intensidad pero de larga duración o prolongadas, o lluvias cortas pero de gran intensidad).
- **Zona de Peligro Alto:** Corresponde a los alrededores del deslizamiento. Esta zona es donde se ubica el poblado de Maca, puede ser afectada tanto por deslizamientos activos como por los procesos asociados a un sismo (licuación de suelos, agrietamiento del terreno, derrumbes locales, etc.).

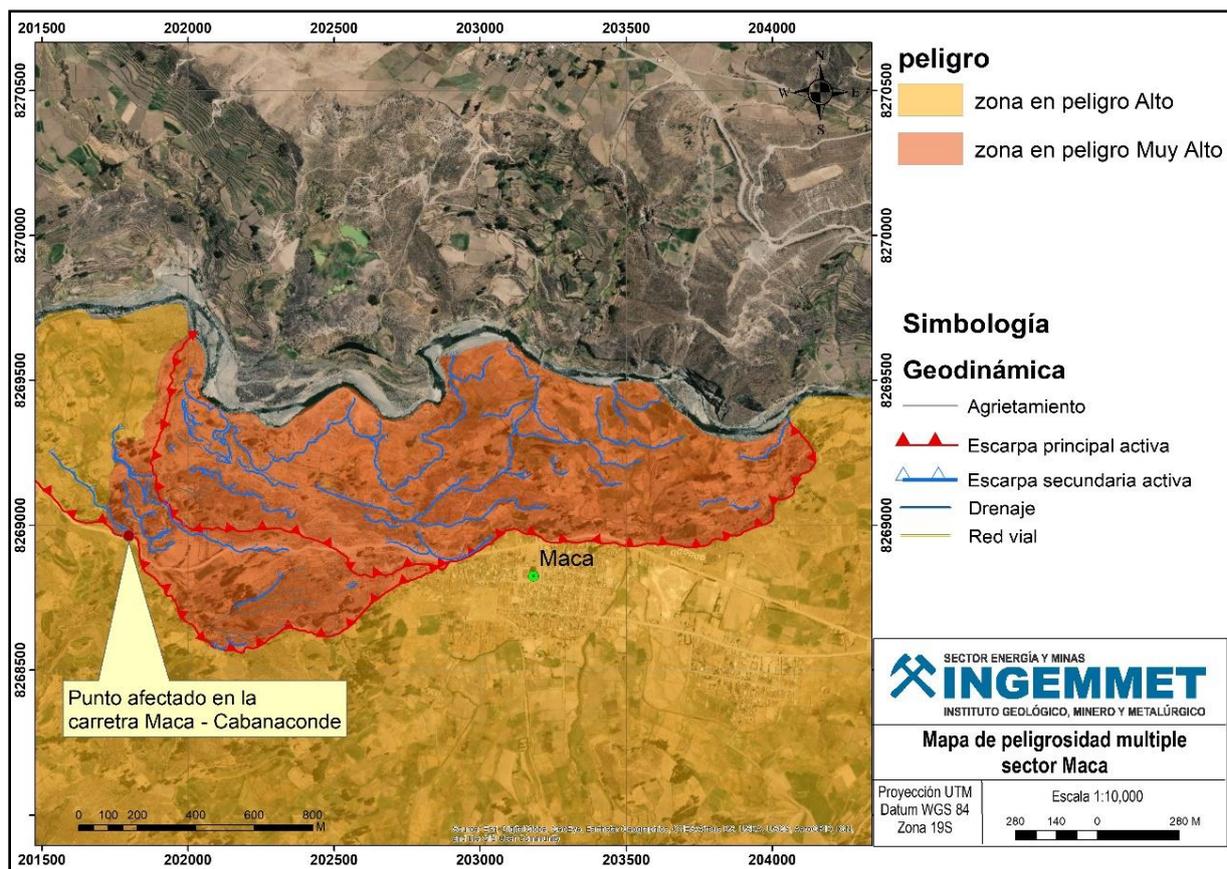


Figura 6. Mapa de peligrosidad por movimiento en masa y peligrosidad múltiple del sector de Maca.

7. MONITOREO GEODÉSICO DEL DESLIZAMIENTO DE MACA

El presente informe de monitoreo tiene como finalidad cuantificar la deformación del deslizamiento de Maca para el periodo comprendido entre el año 2019-2020, con datos proporcionados por la red de monitoreo geodésico permanente, dicha red consta de 03 estaciones GNSS. Así como mostrar la influencia de la precipitación con datos disponibles del periodo 2018-2019 existentes y la tasa de sismicidad que se registran frecuentemente, ambos factores son desencadenantes que aceleran el desplazamiento. Actualmente es un fenómeno continuamente investigado y estudiado con el fin de conocer la naturaleza y su evolución en el tiempo, para ello el INGEMMET y el IRD vienen continuamente implementando sistema de monitoreo permanente y temporal.

7.1 METODOLOGÍA

El deslizamiento de Maca cuenta con red de 03 estaciones GNSS con registro permanente y en tiempo real (MAD1, MADM y MAD3) las cuales nos permite realizar un monitoreo continuo del deslizamiento. Este método nos permite conocer y cuantificar la magnitud, velocidad y dirección del desplazamiento en cada estación de monitoreo. La distribución espacial de la red geodésica se puede observar en la figura 7.

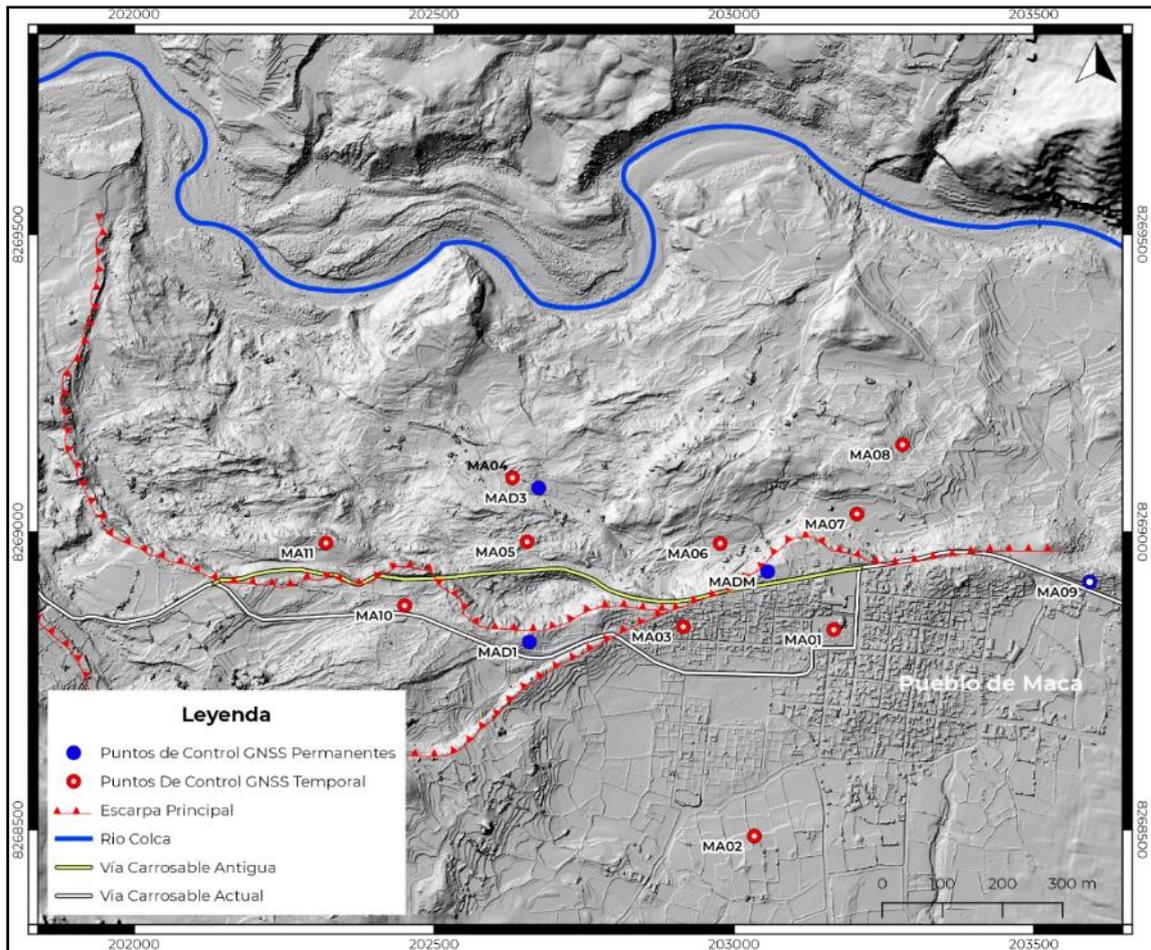


Figura 7. Distribución de la red geodésica de monitoreo del deslizamiento de Maca, donde los puntos color azul, indican las estaciones GNSS permanente.

7.2 SEGUIMIENTO DEL DESLIZAMIENTO DE MACA MEDIANTE ESTACIONES GNSS PERMANENTES

El sistema de seguimiento de monitoreo permanente consta de un registrador GNSS y una antena de recepciones de señales de satélite, denominados estaciones GNSS CORS (del inglés Continuously Operating Reference Stations o estaciones de referencia de operación continua, figura 8) marca TRIMBLE NETR9 (H: 3 mm +0.1 ppm, V: 3.5 mm +0.4 ppm).



Figura 8. Estaciones GNSS CORS permanentes conocidos como MAD1 (A), MADM (B) y MAD3 (C).

La data generada por estas estaciones de monitoreo son transmitidos vía telemetría hacia el centro de procesamiento de datos del INGGEMMET – AREQUIPA, el paso de muestreo de registro es de a 1", generándose una archivo cada 24 horas, estas son procesados a través del software GAMIT/GLOBK v 10.70, generando un archivo de resultados en las que se tiene las posiciones absolutas (este, norte y altitud), que permiten determinar una serie de tiempo de la evolución del deslizamiento.

La data sísmica corresponde al catálogo de sismos del Instituto Geofísico del Perú para el periodo que abarca desde enero de 2018 a febrero de 2020, de las que para el análisis de los datos se han clasificado únicamente sismos mayores a 4 ML.

7.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

- **SISMICIDAD**

Los sismos son uno de los principales factores desencadenantes del deslizamiento, para ello se ha compilado el catálogo de sismos sentidos del Instituto Geofísico del Perú (IGP) correspondiente al periodo entre el 2018 a febrero de 2020, para los que se han clasificado aquellos sismos registrados dentro del ámbito de la localidad de Maca que tiene un alto impacto en el avance y aceleración del deslizamiento, esta frecuencia de ocurrencia y magnitud de los sismos se observa en la figura 9, donde se visualiza la ubicación de los sismos ocurridos en un rango de 25 Km, donde los puntos color azul son aquellos sismos con magnitudes menores a 4.0ML y los puntos color rojo son sismos con magnitudes mayores a 4.0 ML, que de manera directa o indirecta generan la reactivación del deslizamiento.

En síntesis, las principales fuentes sísmicas en el área de estudio están asociadas con fallas geológicas y con la actividad volcánica muy activa (figura 9).

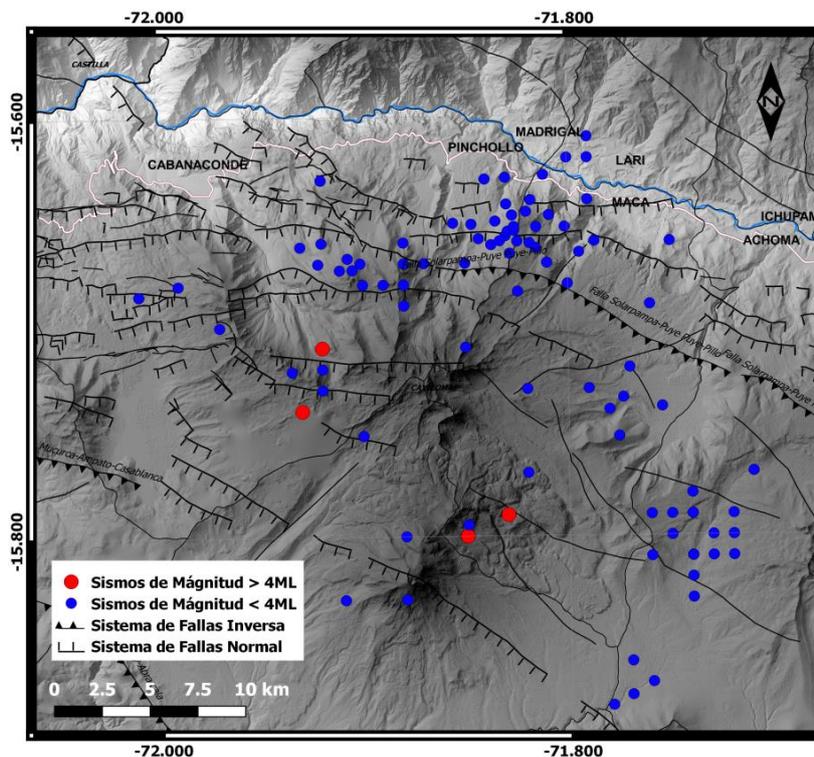


Figura 9. Mapa de distribución de sismos del catálogo del IGP, localizados en el valle de la colca, periodo 2018 - 2020.

Otro factor de importancia son las precipitaciones pluviales que intervienen tanto en los procesos condicionantes como en los desencadenantes debido a las condiciones climáticas de la zona, con precipitaciones características en los meses de diciembre a abril. En el año 2018 se registró una máxima precipitación acumulada de 254 mm, mientras para el año 2019 se tiene un registro de 27 mm (figuras 10).

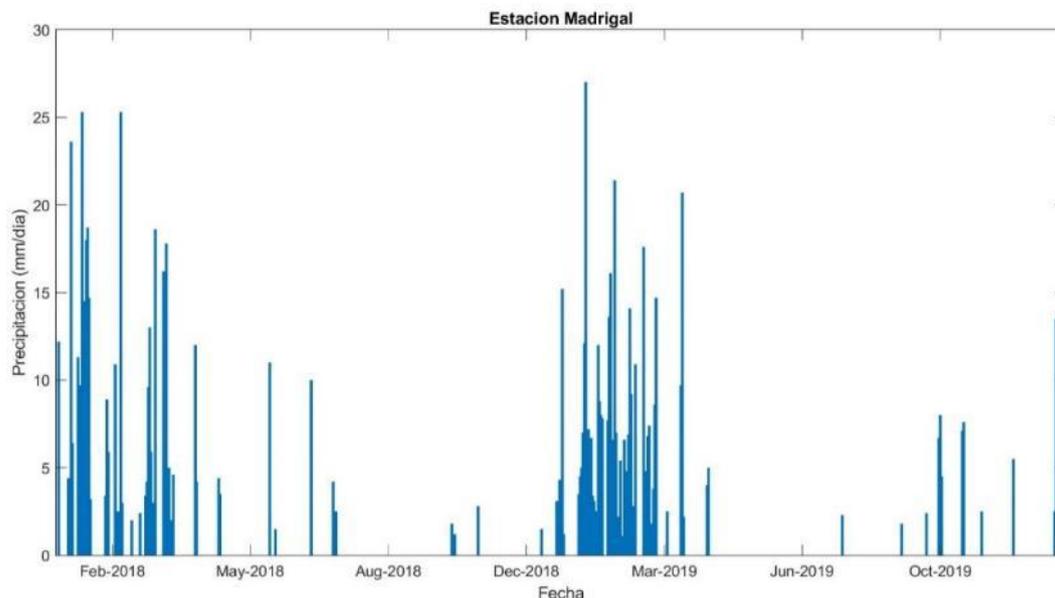


Figura 10. Registro de precipitaciones de la estación Madrigal, situada a aproximadamente a 5 km del deslizamiento, los registros corresponden al periodo 2018 y 2019.

• **MONITOREO GNSS PERMANENTE**

Para efectos de realizar un análisis sobre el papel de la lluvia y de los sismos como factores desencadenantes del deslizamiento de Maca vamos a considerar las series temporales de las 3 estaciones GNSS permanente MAD1, MADM y MAD3 considerando las tres componentes (Este, Norte y Elevación). La ventana temporal de los datos utilizados se extiende desde enero de 2018 a febrero de 2020, que permitirán determinar un análisis en una ventana de tiempo más amplia de cómo se comporta geodinámicamente el deslizamiento visto desde cada estación.

Las series temporales del comportamiento del deslizamiento durante esta ventana de tiempo (2018 a febrero de 2020), evidencian que la magnitud y velocidad del desplazamiento no presenta un comportamiento constante, se observan variaciones muy marcadas en la estación MAD3 y MAD1, probablemente influenciadas directamente por la alta tasa de precipitaciones dada en los periodos de lluvia, y sumado a ello la alta tasa de ocurrencia de sismos las cuales están representados por líneas rojas verticales (figura 12 y 13), mientras en la estación MADM la serie temporal evidencia estabilidad estable.

Al correlacionar estas variables podemos diferenciar 2 periodos distintos con respecto al comportamiento del deslizamiento de Maca frente a la precipitación y a los sismos, para el que analizaremos al periodo 2019 a febrero de 2020.

- a. El análisis de las velocidades de desplazamiento obtenido para las tres estaciones presentan periodos de alta velocidad de desplazamiento, estas se observan en la estación MAD3 experimentado una mayor tasa velocidad respecto a las demás estaciones (MADM y MAD1, figura 11 y 12), por lo que

dicha estación permitió diferenciar hasta dos periodos, el primer periodo está definido desde junio a setiembre del 2018, su velocidad para la componente Este fue de 0.36 m/año y la componente Norte 1 m/año, el segundo periodo está definido entre marzo a junio del 2019, con una velocidad para la componente Este de -0.19 m/año y la componente Norte de 2 m/año, los sismos registrados entre mayo y junio del 2019 (6 sismos), con magnitudes mayores a 4ML, no han mostrado un efecto directo al deslizamiento. Para el mes de junio a febrero del 2020 la velocidad de desplazamiento disminuyó hasta alcanzar una velocidad de 9 cm/año.

- b. En el deslizamiento de Maca se han registrado hasta 2 periodos de subsidencia (hundimiento) muy marcados, observado en la estación MAD3 y MAD1 (figura 11 y 12), este primer periodo comprende entre marzo a noviembre del 2018 registrando un hundimiento de 0.34 m/año, la tasa de precipitaciones entre enero a marzo para este periodo fue de 25 mm, mientras la estación MAD1 registro aproximadamente de 0.20 m/año, el segundo periodo que va desde febrero a junio del 2019 ha registrado una menor tasa de hundimiento observado en la estación MAD3 de entre 0.60 m/año mientras en la estación MAD1 fue de 10 cm/año, podemos observar que las precipitaciones durante diciembre a marzo del 2019 fue de 27 mm.

Estos resultados del análisis de las series temporales de las estaciones de monitoreo mediante GNSS, evidencian claramente un comportamiento temporal del deslizamiento de Maca, así mismo se ha observado un periodo muy marcado a los periodos lluviosos registrados en el valle del Colca, lo ha correlaciona que existe una estrecha relación de la aceleración vs la tasa de infiltración y saturación de la masa del cuerpo del deslizamiento.

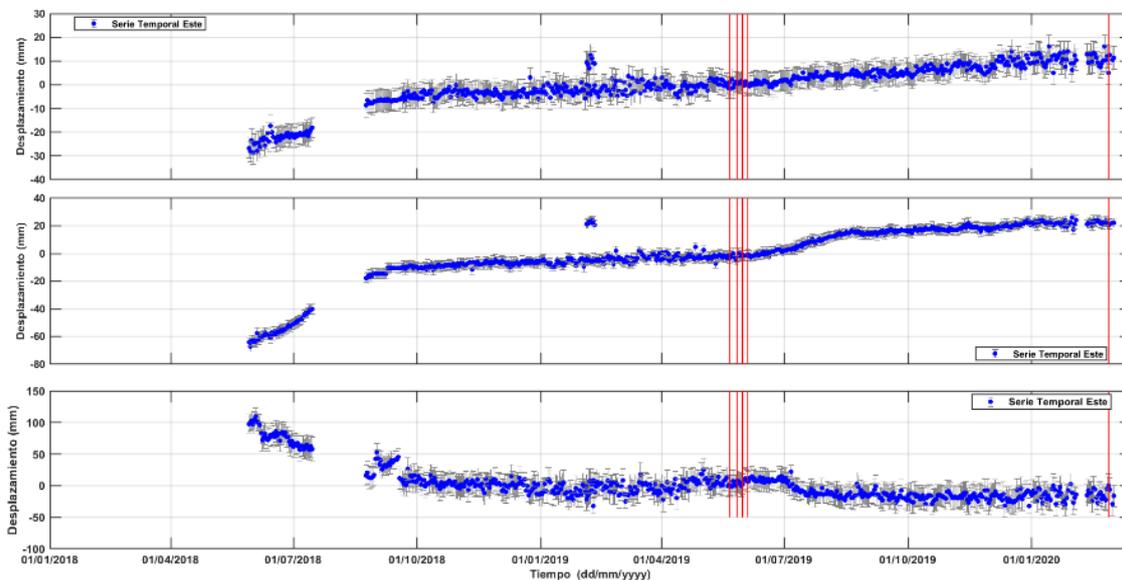


Figura 11. Serie temporal correspondiente a la estación GNSS permanente MAD1.

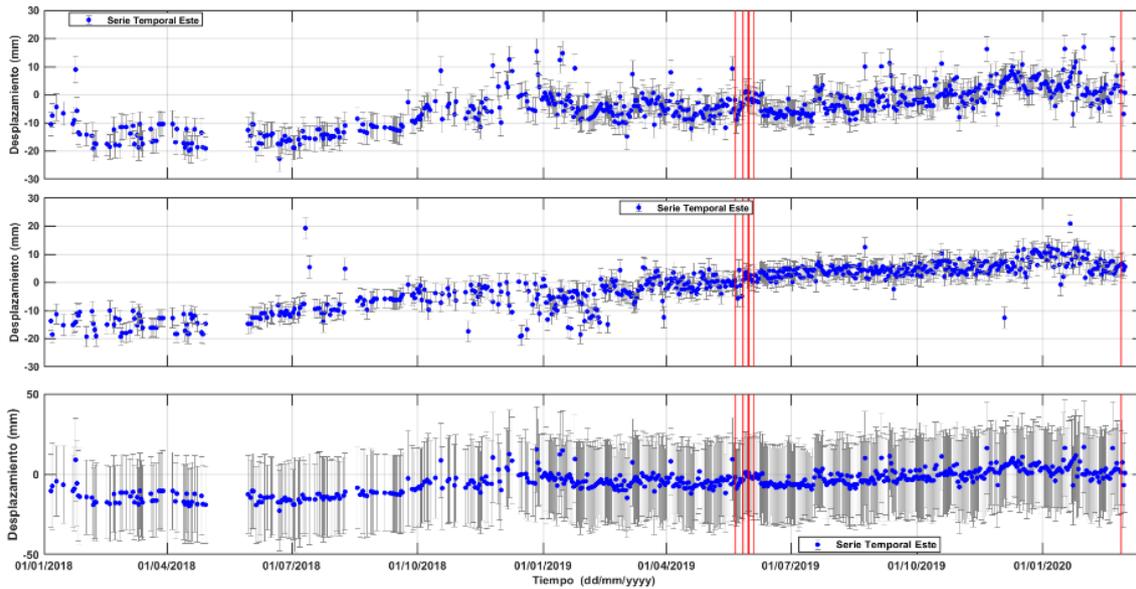


Figura 12. Serie temporal correspondiente a la estación GNSS permanente MADM.

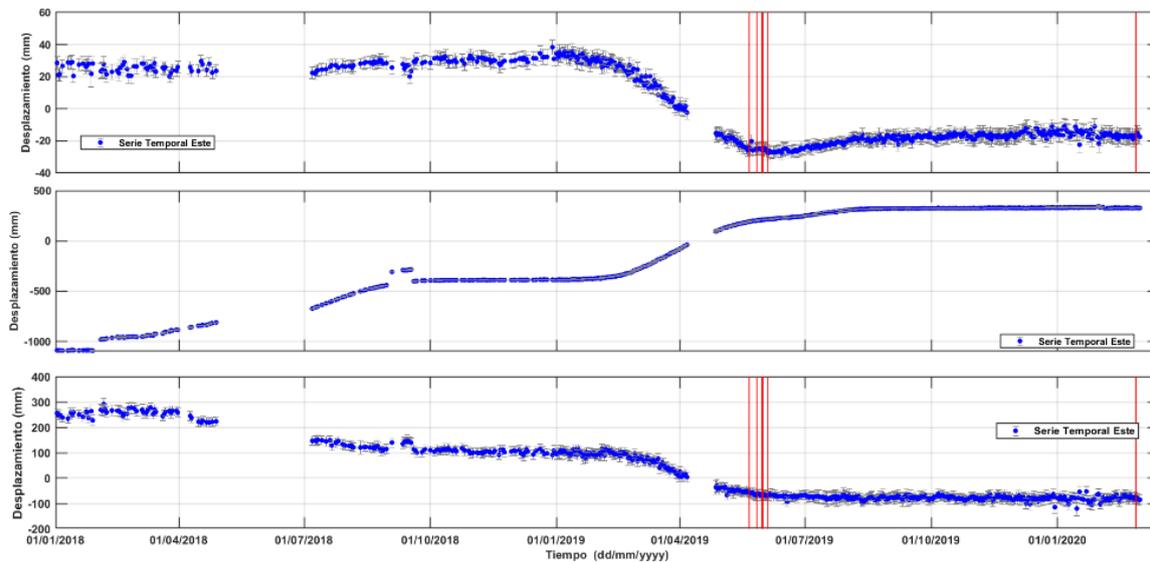


Figura 13. Serie temporal correspondiente a la estación GNSS permanente MAD3.

8. DESLIZAMIENTO OCURRIDO EL 22 MARZO DEL 2020

El deslizamiento de Maca está ubicado en la margen izquierda del río Colca, se trata de un movimiento en masa complejo, con una escarpa principal de aproximadamente 3 km, dividida en dos en su sector oeste (figura 14).

Se trata de un deslizamiento que presenta importantes fracturas y grietas paralelas a su corte principal.

Zavala B. en el 2012 indica que el deslizamiento de Maca presenta una dinámica más activa en su sector oeste, con grandes agrietamientos en la parte superior, afectando un importante tramo de la carretera Maca – Cabanaconde, terrenos de cultivo, caminos de herradura, etc.



Figura 14. Muestra la escarpa principal del deslizamiento de Maca y tramo afectado de la carretera Maca – Cabanaconde.

Carretera Maca – Cabanaconde:

Actualmente el corte de la carretera principal del Valle del Colca “Maca – Cabanaconde” pasa por el cuerpo del deslizamiento de Maca, cortando la escarpa principal del movimiento activo en varios puntos (figura 15).

En este sentido, desde el pasado 22 de marzo de 2020, un tramo de 10 m del sector oeste de carretera Maca – Cabanaconde, viene siendo afectada por hundimientos/asentamientos, que han generado agrietamientos de geometría circular y aperturas del terreno en la carretera asfaltada (figura 16). Este comportamiento amenaza con generar un desprendimiento permanente, ladera abajo de este sector.

Es importante mencionar que el tramo comprometido por agrietamientos, hundimientos y/o asentamientos en el sector oeste de la carretera, es uno de los puntos que disecta la escarpa principal del deslizamiento de Maca. Por lo tanto, de ocurrir factores desencadenantes como sismos excepcionales, sismos continuos, precipitaciones intensas y/o actividad antrópica, su futuro avance y agrietamientos en la parte superior es inevitable.

Otros tramos en el sector oeste de la carretera Maca – Cabanaconde también se encuentran comprometidos por el desplazamiento progresivo de la escarpa principal del deslizamiento (círculos negros de la figura 15).

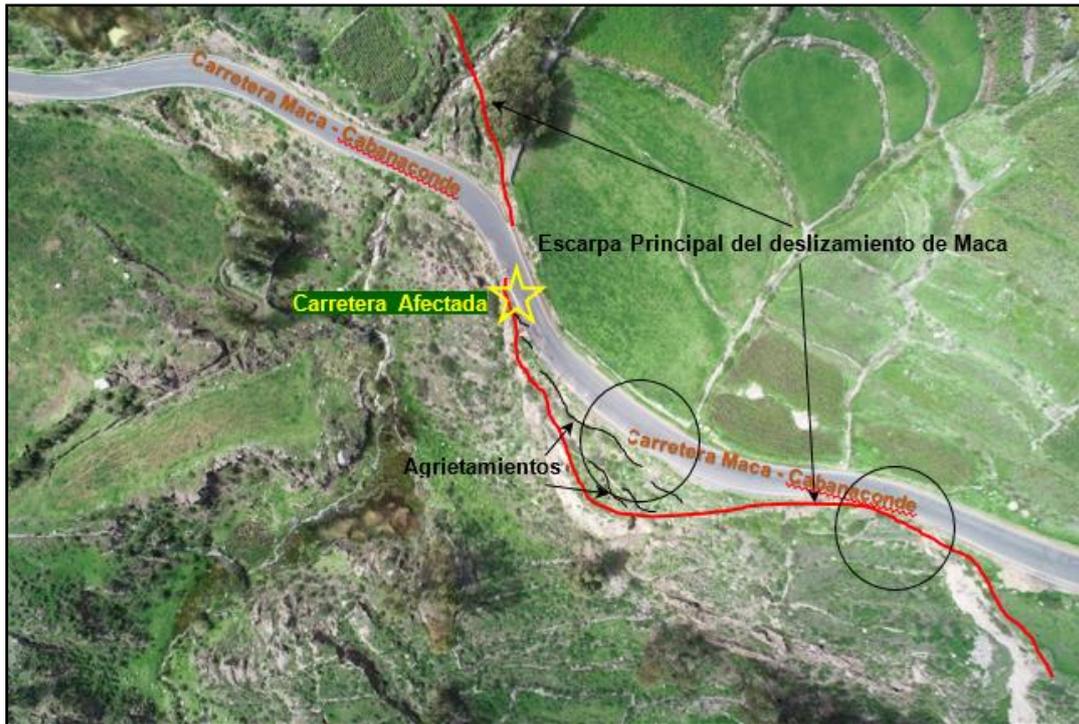


Figura 15. Fotografía tomada con DRONE, el 13 de febrero del 2019. Muestra la carretera Maca – Cabanaconde afectada por el deslizamiento. También muestra en círculos negros, los tramos comprometidos por el avance de la escarpa principal del deslizamiento.



Figura 16. Muestra agrietamientos circulares y hundimientos en el tramo oeste de la carretera Maca – Cabanaconde.

Factores condicionantes

- Incompetencia del material conformado por depósitos de avalancha de escombros, lacustres (diatomitas, lodolitas, arenas, arcillitas blandas) y depósitos coluviales.
- Influencia de las aguas subterráneas (ojos de agua, manantiales, oconales, bofedales).

Factores desencadenantes

- Sismos: El deslizamiento de Maca ha sido continuamente activado por sismos de origen tectónico interplaca (proceso de subducción) e intraplaca (sistema de fallas geológicas activas en la zona).

Históricamente se han reportado tres eventos de gran magnitud para este deslizamiento: El 23 de Julio de 1991, un sismo superficial ($M_b = 5.4$) localizado a 8 km de Maca (Antayhua et al., 2002) reactivó el deslizamiento, provocando el hundimiento de la carretera de al menos 2 metros (Bulmer et al., 2002).

El 23 de junio del 2001, un sismo de subducción en las costas de Arequipa ($M_w = 8.4$) reactivó el deslizamiento de Maca (Gómez et al., 2001 pero no se tienen valores exactos acerca de la tasa de deformación o desplazamiento. (Taipe E., et al. 2017)

Una crisis sísmica generó varios sismos locales de magnitudes superiores a 4 Mb. Al menos uno de estos sismos (14 marzo 2013, Mb 4.5) provocó el hundimiento de la carretera de aproximadamente 0,5 m (La Republica, 15 de marzo 2013) y (Taipe E., et al. 2017).

Es así que este deslizamiento genera el interés, de nuestra institución, para ser estudiado dado el impacto que ocasiona en la economía local y regional (Taipe E., et al. 2017).

En la tabla 3, es el registro del catálogo sísmico del IGP, corresponde a la semana del 28 de marzo al 4 de abril (estrellas color amarillas), muestra que el poblado de Maca es continuamente expuesto a sismos de intensidades de grado II, debido a sismos de magnitud 3.4 a 3.6 ML., generados al SWW de Maca, con profundidades entre 10 a 12 km (tabla 3 y figura 17).

Tabla 3: Catalogo de registro Sísmico del IGP, semana 28 de marzo a 4 de abril.

Fecha	Hora local	Latitud	Longitud	Profundidad Km	Magnitud local	Referencia	Intensidad
17/03/2020	14:25:07	-15.7387	-71.7543	9	3.3	11 km al Sur de Maca, Caylloma - Arequipa	II Maca
17/03/2020	14:55:47	-15.6848	-72.0093	9	3.3	8 km al Sur-SO de Cabanaconde, Caylloma - Arequipa	II Cabanaconde
19/03/2020	20:53:26	-15.7528	-71.7754	13	3.4	12 km al Sur de Maca, Caylloma - Arequipa	II Maca
19/03/2020	21:22:46	-15.7343	-71.7732	12	3.6	10 km al Sur de Maca, Caylloma - Arequipa	II-III Maca
25/03/2020	05:17:37	-15.67	-71.9217	10	3.9	8 km al SE de Cabanaconde, Caylloma - Arequipa	II - III Cabanaconde
25/03/2020	23:35:11	-15.6618	-71.9304	9	3.7	7 km al Sur-Este de Cabanaconde, Caylloma - Arequipa	II-III Cabanaconde
28/03/2020	21:16:39	-15.7947	-71.8495	12	3.6	19 km al Sur SO de Maca, Caylloma - Arequipa	II Maca
01/04/2020	02:31:06	-15.6515	-71.8467	10	3.4	4 km al Sur-SO de Pinchollo, Caylloma - Arequipa	II Pinchollo
01/04/2020	12:42:46	-15.6729	-71.905	10	3.4	10 km al Sur-Este de Cabanaconde, Caylloma - Arequipa	II Cabanaconde
01/04/2020	17:50:38	-15.673	-71.9112	12	3.4	9 km al SE de Cabanaconde, Caylloma - Arequipa	II Cabanaconde
02/04/2020	17:35:06	-15.6698	-71.9011	10	3.4	10 km al Este-SE de Cabanaconde, Caylloma - Arequipa	II Cabanaconde

Para el periodo comprendido entre el 17 al 25 de marzo (estrellas color púrpura), se registran sismos con intensidades de grado II a III, asociados a los sismos de magnitud 3.3 a 3.9, localizados al sur del poblado de Maca, con profundidades entre 9 a 13 km (figura 17, Fuente catalogo sísmico del IGP y registros de localización determinados por Observatorio Vulcanológico del INGEMMET, a través de su red sísmica de monitoreo del volcán Sabancaya).

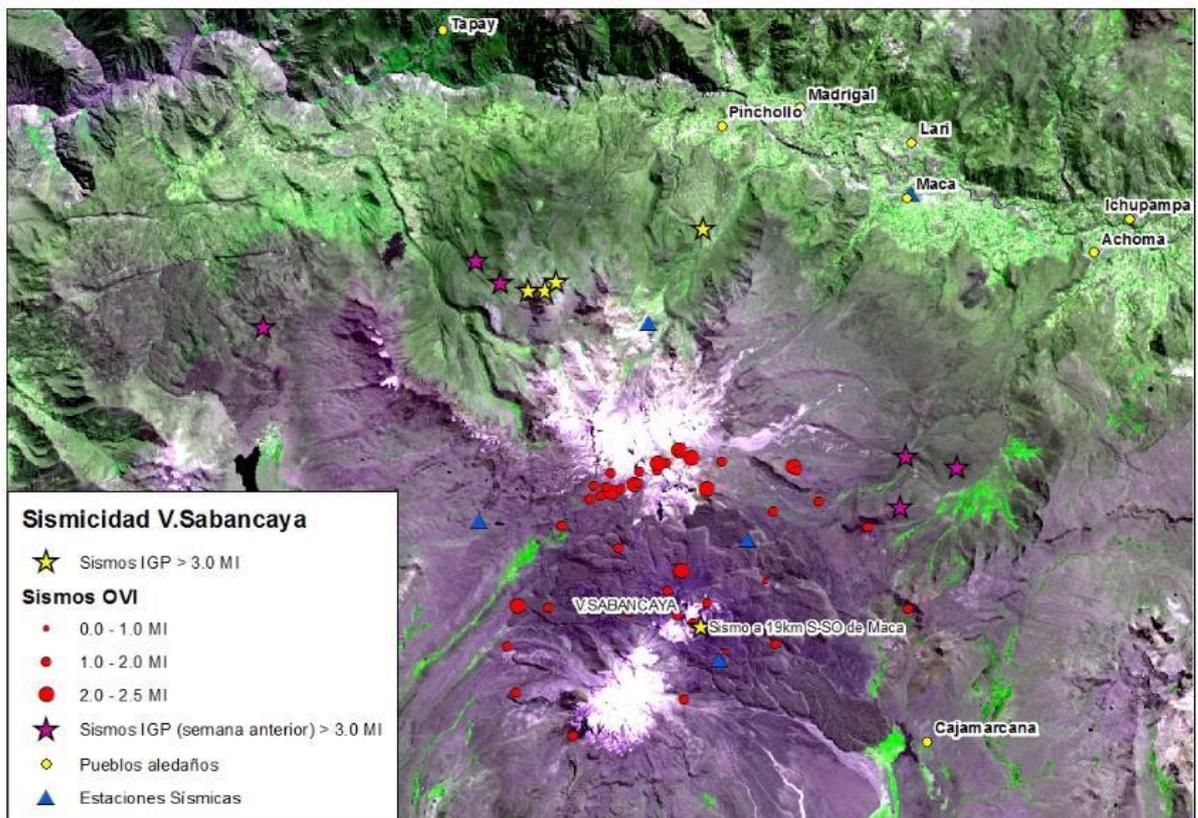


Figura 17. Mapa de localización de sismos registrados por la red del IGP y sismos registrados por la red de monitoreo volcánico del OVI, obtenidos para el periodo del 17 de marzo al 4 de abril.

- Precipitaciones: El periodo de precipitaciones juega un rol importante en la aceleración o desaceleración del deslizamiento, principalmente cuando los valores son muy altos, influenciados por el fenómeno del niño (Zerathe et al., 2016).
- Influencia Antrópica: El riego indiscriminado de terrenos de cultivo, modificación de los taludes al construir nuevas carreteras y canales generan un efecto perjudicial sobre los suelos no consolidados y el avance del deslizamiento de Maca.

9. PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN

Las propuestas de intervención más resaltantes están orientadas a drenar el agua subterránea, impermeabilizar y realizar el mantenimiento periódico de la totalidad de canales de riego y reservorios de irrigación, refaccionar e impermeabilizar los sistemas de drenaje antiguos que poseen los sistemas de andenería, implementar eficientes sistemas de riego de las áreas de cultivo, preferentemente por goteo, reubicar el tramo de la carretera que pasa por Maca hacia el extremo sur del pueblo, y reforestar el cuerpo del deslizamiento y áreas adyacentes, con plantas nativas (Zavala B., et al. 2012).

9.1 NUEVAS PROPUESTAS PARA EL CAMBIO DEL TRAZO DE LA VÍA

Actualmente la vía que comunica Maca y Pinchollo cruza una serie de deslizamientos en el sector de Maca, el cual viene siendo afectado año tras año por los sucesivos movimientos de los deslizamientos. Se considera urgente realizar un nuevo trazo de la vía; para lo cual se plantea dos propuestas, uno a corto plazo y otro como una propuesta ideal a largo plazo.

a) PROPUESTA A CORTO PLAZO

La primera propuesta es a corto plazo (línea color amarilla, figura 18 y 19), principalmente para mantener comunicado a los distritos ubicados en la parte baja de Maca. Un tramo de esta propuesta se encuentra sobre roca firme, sin embargo, otro tramo se encuentra sobre suelos de mala calidad, para el cual es importante realizar estudios geotécnicos previos a la construcción de infraestructura.

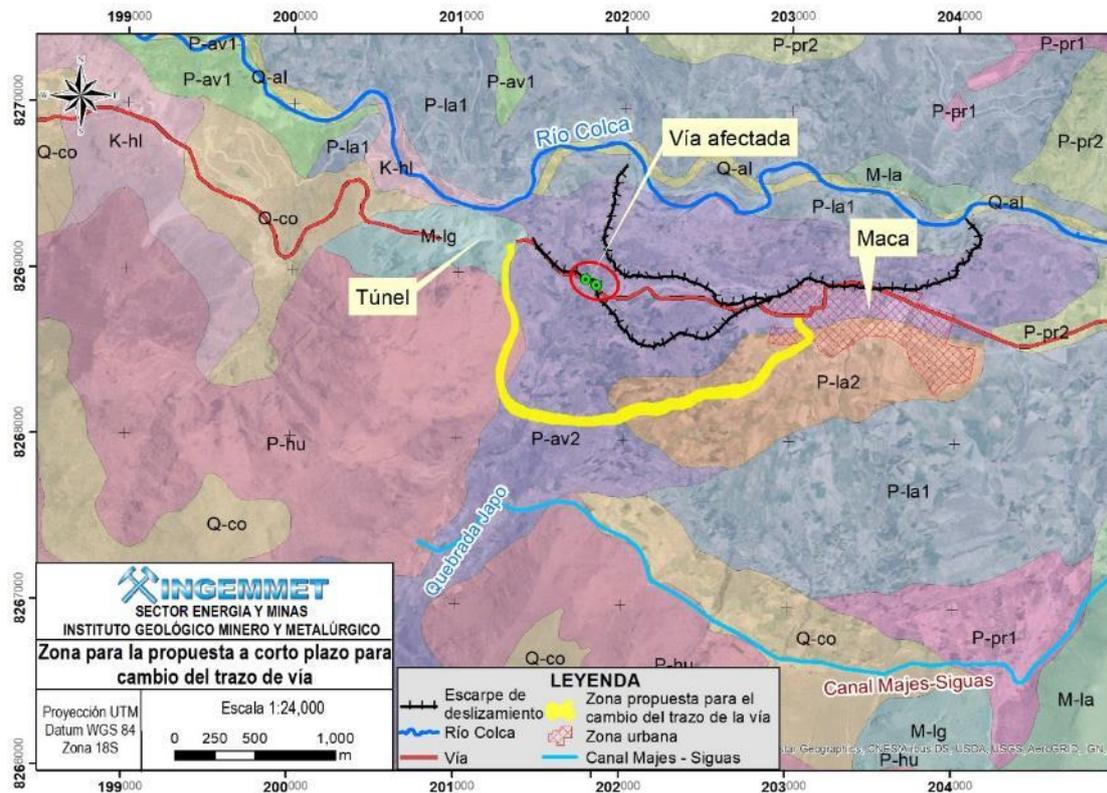


Figura 18. Muestra la propuesta a corto plazo para el trazo de la vía que une a los distritos de Maca y Pinchollo.

La propuesta a corto plazo, está ubicada sobre las siguientes unidades litoestratigráficas:

- **Trazo A.** Se inicia en dirección sureste del distrito de Maca, por la carretera trocha que asciende hacia la quebrada Japo. En este sector el trazo propuesto cruza una zona de depósitos lacustritos (**P-la2**), el cual está conformado por secuencias de diatomitas, geotécnicamente son suelos de mala calidad. Es importante mencionar que se debe ampliar el ancho de la trocha existente, de acuerdo al manual de construcción de carreteras elaborada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).
- **Trazo B.** La trocha continúa por depósitos de avalanchas de rocas del volcán Hualca Hualca (**P-av2**). En este sector se tiene que realizar un buen estudio de suelos antes de construir infraestructura sobre ella, ya que son suelos de mala calidad.
- **Trazo C.** Cruza la margen izquierda de la quebrada Japo, conformado por rocas volcánicas (lavas andesíticas del volcán Hualca Hualca, **P-hu**). Este tipo de rocas es firme y compacta, es buena para la construcción de infraestructura.
- **Trazo D.** Debe empalmar a la vía asfaltada a la altura del primer túnel. En este sector afloran ignimbritas de composición dacíticas a riolitas (**M-ig**). Este tipo de rocas presentan buenas características para la construcción de infraestructura.

La descripción geológica se realizó en base al mapa geológico de Maca y alrededores, elaborado a escala 1/25,000 por Mariño, et al., 2011.

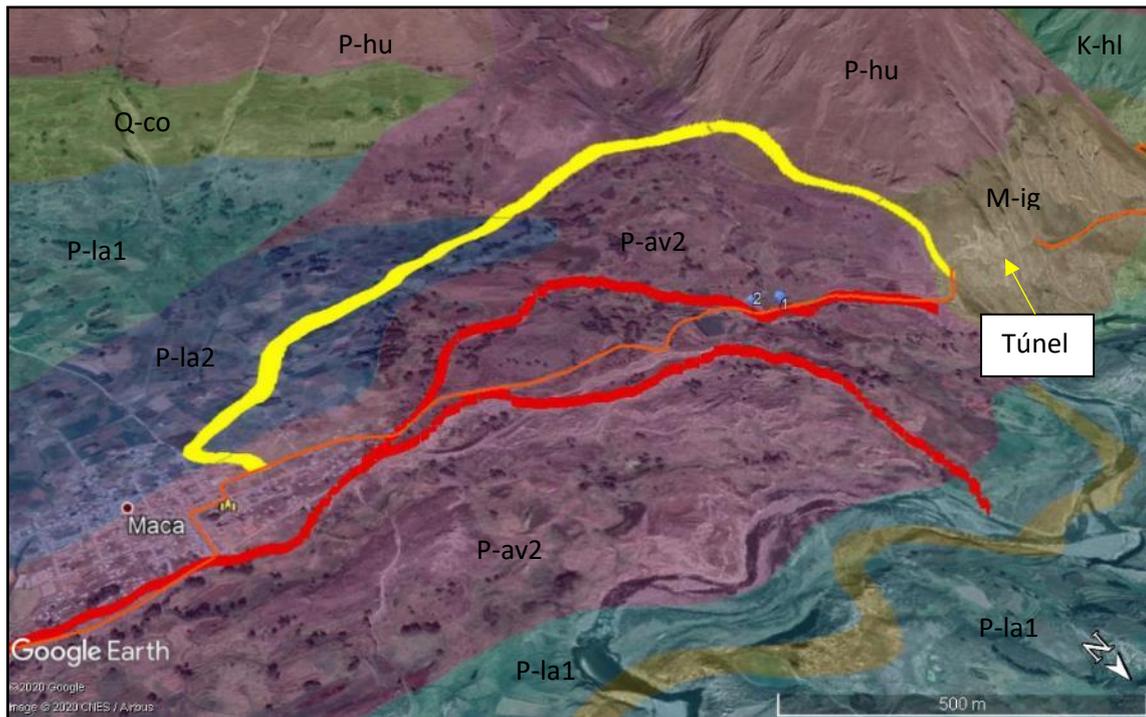


Figura 19. Vista hacia el suroeste. Muestra la propuesta a corto plazo para el cambio del trazo de la vía que une a los distritos de Maca y Pinchollo (polígono de color amarillo).

b) PROPUESTA IDEAL A LARGO PLAZO

La segunda propuesta representa la zona ideal para realizar el trazo definitivo para la vía que une a los distritos de Maca y Pinchollo. Esta zona está ubicada sobre roca firme en gran parte de su trayectoria, conformado por rocas volcánicas del volcán Hualca Hualca. Además, se encuentra entre 1 y 2 km del cuerpo del deslizamiento (figura 20).

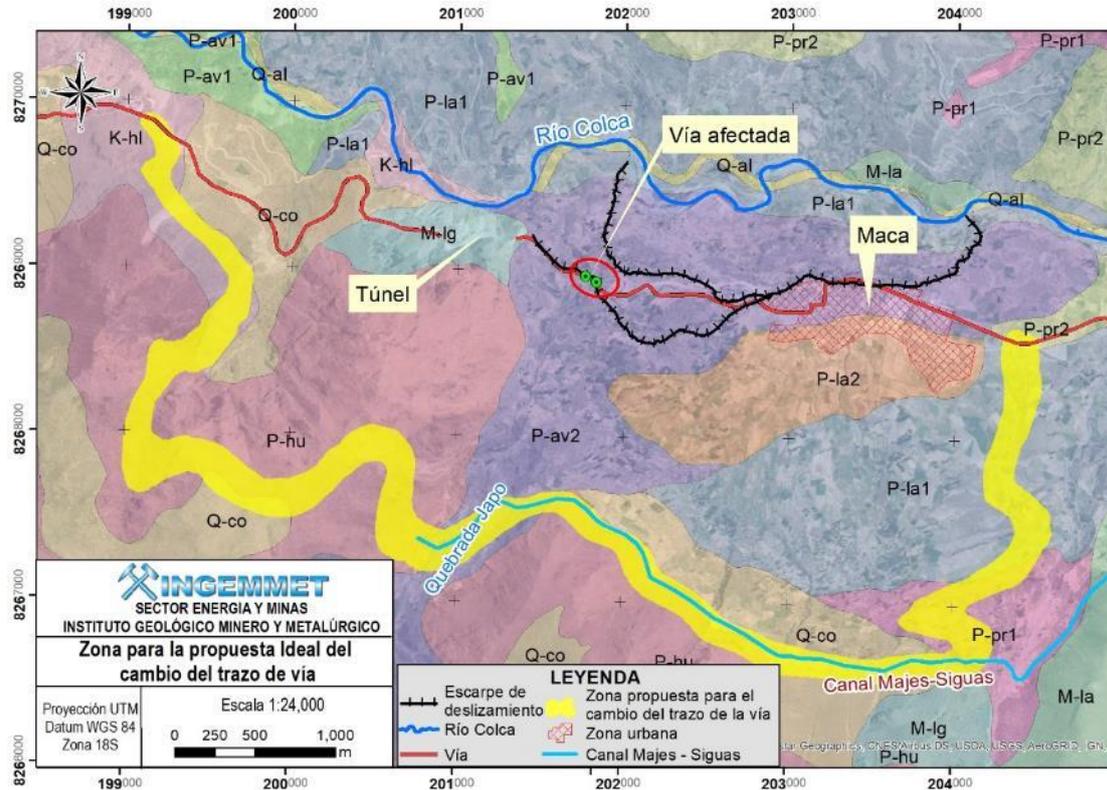


Figura 20. Muestra la propuesta ideal para el nuevo trazo de la vía que une a los distritos de Maca y Pinchollo

En base las características litológicas de las rocas en el sector, se plantea una zona para el nuevo trazo de la carretera (polígono de color amarillo, figura 20), el cual se describe a continuación:

- **Trazo A.** La nueva vía debe desviarse en la entrada a Maca hacia la izquierda, cruzando una zona de depósitos lacustritos (**P-la1**), el cual están conformados por una secuencia de limoarcillitas. En este tramo se debe poner énfasis para realizar un buen estudio de suelo, ya que estos son suelos de mala calidad geotécnica.
- **Trazo B.** La vía propuesta continua por depósitos proluviales (**P-pr1**), los cuales poseen buenas características para la construcción de infraestructuras.
- **Trazo C.** Su trayectoria cruzaría un sector con depósitos coluviales (**Q-co**), en esta zona también se tiene que realizar un buen estudio de suelos.
- **Trazo D.** La vía cruza una zona de rocas volcánicas, conformadas por lavas andecíticas del volcán Hualca Hualca (**P-hu**). Este tipo de rocas es firme y compacta, es buena para la construcción de infraestructura vial.
- **Trazo E.** Cruza un tramo de depósitos de avalanchas de rocas (**P-av2**), provenientes del volcán Hualca Hualca. Se tiene que realizar un buen estudio de suelos en este sector para construir infraestructura sobre ella.
- **Trazo F.** Este tramo de la vía cruza un sector con roca sedimentaria del Grupo Yura (**K-hl**). Estos depósitos están conformados por areniscas intercaladas con Lutitas, en esta zona las areniscas aportan buen soporte al substrato.

CONCLUSIONES

- a) La carretera afectada Maca – Cabanaconde se asienta sobre depósitos de avalanchas de rocas; así mismo en los alrededores del pueblo de Maca se encuentran depósitos lacustres (limoarcillitas y diatomitas), secuencias proluvio-aluviales y depósitos coluviales. Estos depósitos poseen malas características geológicas, geotécnicas y son susceptibles a ser afectados por procesos de movimientos en masa, tales como por deslizamientos, derrumbes y reptación de suelos, siendo inestable para las vías de acceso hacia los diferentes pueblos del valle del Colca, específicamente en su margen izquierda (aguas abajo).
- b) En el mapa de peligros por movimientos en masa, de acuerdo a Valderrama et al. (2016), el sector afectado en la carretera Maca – Cabanaconde, se encuentra ubicado entre la zona de “peligro alto” y “peligro medio”. Así mismo, el mapa de peligrosidad múltiple (peligros en masa y sísmicos), indica que la carretera se encuentra en “peligro muy alto” y “peligro alto”.
- c) Desde el pasado 22 de marzo de 2020, un tramo de 10 m del sector oeste de carretera Maca – Cabanaconde, viene siendo afectada por hundimientos/asentamientos que han generado agrietamientos de geometría circular y aperturas de terreno en la carretera asfaltada. El tramo afectado intercepta la escarpa principal del deslizamiento de Maca. En tal sentido, de ocurrir factores desencadenantes (sismos excepcionales, sismos continuos, precipitaciones intensas y/o actividad antrópica), su futuro avance y agrietamientos en la parte superior sería inevitable.
- d) Otros puntos, cercanos al tramo de la carretera afectada por el evento ocurrido el pasado 22 de marzo de 2020, son altamente vulnerables a hundimientos y agrietamientos producto del avance de la escarpa principal del deslizamiento en el sector oeste. Por lo tanto, el peligro a desprendimiento es INMINENTE.
- e) El monitoreo continuo y permanente al deslizamiento de Maca mediante la técnica geodésica satelital, para periodo de evaluación entre 2018 a febrero del 2020, evidencian que tiene un comportamiento activo definido en el sector noreste del deslizamiento, con altos valores de desplazamiento de hasta 0.6 m/año de hundimiento, lo cual es coincidente con la zona afectada de la carretera Maca - Cabanaconde.
- f) Los periodos de mayor desplazamiento en el deslizamiento son registrados por el estadio MAD3, el que ha permitido definir dos periodos de aceleración del deslizamiento, que están correlacionados por la influencia por la alta tasa de precipitación registrados en el valle del Colca, además esto evidencia la alta sensibilidad del deslizamiento frente a la interacción de la precipitación y los eventos sísmicos.
- g) Las series de tiempo de las estaciones de monitoreo han puesto en evidencia que los periodos de mayor desplazamiento se dan entre marzo a junio, periodo en la cual el cuerpo del deslizamiento alcanza un punto crítico de sobresaturación.

RECOMENDACIONES

1. **Realizar un nuevo trazo de la vía**, para lo cual se plantea dos propuestas, uno a corto plazo y otro como una propuesta ideal a largo plazo.
 - a) La primera propuesta es a corto plazo consiste en trazar la vía por la trocha carrozable al sur del pueblo de Maca, hasta la quebrada Japo, de allí seguir el trazo por la margen izquierda de dicha quebrada hasta empalmar con la carretera actual, antes del túnel de Peña Blanca. Un tramo de esta propuesta se encuentra sobre roca firme, sin embargo, otro tramo se encuentra sobre suelos de mala calidad para el cual es importante realizar estudios geotécnicos previos a la construcción de infraestructura.
 - b) La segunda propuesta, representa la zona ideal para realizar el trazo definitivo para la vía que une a los distritos de Maca y Pinchollo. Es un trazo al sur del pueblo de Maca y más largo que la primera propuesta. Esta zona está ubicada sobre roca firme en gran parte de su trayectoria, conformado por rocas volcánicas del volcán Hualca Hualca. Además, se encuentra entre 1 y 2 km al sur del cuerpo del deslizamiento (ítem 9.1).

Los trazos finales de ambas propuestas deben ser realizados por expertos en esta clase de trabajos (ingenieros civiles e ingenieros geólogos especialistas en carreteras).

2. Prohibir la construcción de carreteras, caminos de herradura, canales de riesgo u otra actividad antrópica, dentro del cuerpo activo del deslizamiento de Maca.
3. **Reasentar a la población de Maca**, porque el poblado está asentado sobre el cuerpo de un deslizamiento activo y representa una amenaza para la vida y bienestar de los pobladores de la zona.
4. El INGEMMET, realizó un informe técnico A6773, donde evaluó el sector Pampas Bajas de Majes N°5, para el reasentamiento poblacional de Maca, donde concluyó que en esta área no se han identificado actualmente movimientos en masa, es apta para la reubicación. Vale mencionar que este terreno cuenta con Ordenanza Regional para el reasentamiento del Pueblo de Maca.



Jessica Carolina Vela Valdez
Ingeniera Geóloga
CIP N° 215198



César Augusto Chacaltana Budiel
Director de Geología Ambiental y
Riesgo Geológico

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Antayhua Y. (2002). Análisis de la actividad sísmica en la región del volcán Sabancaya y los sismos de Maca (1991), Sepina (1992) y Cabanaconde (1998). Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa.

Gómez 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.

INGEMMET. (2017). Mapa Geomorfológico del Distrito de Tomaykichua. Recuperado de, <http://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>

Mariño, J., & Macedo, L. (2012). Mapa geológico a escala 1/25,000 del valle del Colca (Arequipa): herramienta para la gestión de riesgos y la planificación del turismo.

Roberti, Gioachino & Ward, Brent & van Wyk de Vries, Benjamin & Araujo, Gael & Contreras, Rigoberto & Llerena, Nelida & Roberts, Nicholas. (2018). Estudio geomorfológico y paleoambiental de las avalanchas de escombros de Maca y Lari, Valle de Colca.

Tavera, H., Guzmán, J., Velarde, L., Cuya, A. Sismo de Ichupampa del 14 de agosto del 2016 (5.3 ML). Chivay – Arequipa. Aspectos Sismológicos, 2016, 18p.

Taipe, E., Araujo, G., Miranda, R., & Valderrama, P. (2017). Monitoreo Geodésico y Estudio Geodinámico del deslizamiento de Maca. Informe Técnico N° A6741, INGEMMET - Dirección de Geología Ambiental y Riesgo geológico, 2017, 31p.

Taipe E.; Miranda R.; Araujo. G. & Diaz J. (2016). Monitoreo de deformación del deslizamiento de Maca - periodo 2015-2016, INGEMMET - Dirección de Geología Ambiental y Riesgo geológico, 2016, 10p.

Zavala B, Mariño J., Lacroix P., Taipe E., Tatar L., Benavente C., Pari W., Macedo L., Peña F., Paxi R., Delgado F., Fídel L., Vilchez M., Villacorta S., Ochoa M., Luque G., Rosado M., Antayhua Y., Nuñez S., Vasquez S., Wathelet M., Guillier B., Bondoux F., Norabuena E., Gomez C. (2013). Evaluación de la Seguridad Física del Distrito de Maca. Informe Técnico Nro A6628, INGEMMET.

Zerathe, S., Lacroix, P., Jongmans, D., Marino, J., Taipe, E., Wathelet, M., (2016) L. Morphology, structure and kinematics of a rainfall controlled slow-moving Andean landslide, Peru. Earth Surface Processes and Landforms.