

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

**Informe Técnico N° A7262**

# MONITOREO DEL DESLIZAMIENTO DE MACA PERIODO 2021

Departamento Arequipa  
Provincia Caylloma  
Distrito Maca



MAYO  
2022

**MONITOREO DEL DESLIZAMIENTO DE MACA**

**PERIODO 2021**

*(Distrito Maca, provincia Caylloma, departamento Arequipa)*

Elaborado por la Dirección de Geología Ambiental y  
Riesgo Geológico del INGEMMET

Proyecto:

ACT14: Caracterización y Monitoreo de Movimientos en  
Masa en el Perú

*Equipo de investigación:*

*Joseph Huanca*

*Luis Albinez*

*Dulio Gómez*

**Citación:**

*Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2022). Monitoreo del deslizamiento de Maca, periodo 2021, distrito Maca, provincia Caylloma, departamento Arequipa. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7262, 33 p.*

## INDICE

1.	INTRODUCCION .....	4
1.1.	Objetivos.....	4
1.2.	Antecedentes y trabajos anteriores .....	5
1.3.	Ubicación.....	5
2.	ASPECTOS GEOLÓGICOS .....	7
2.1.	Contexto tectónico-volcánico y actividad sísmica .....	8
3.	ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS .....	10
3.1.	Unidad de piedemonte.....	10
3.1.1.	VERTIENTE COLUVIAL DE DETRITOS .....	10
3.1.2.	VERTIENTE CON DEPÓSITO DE DESLIZAMIENTO .....	10
3.1.3.	VERTIENTE O PIEDEMONTE ALUVIO-LACUSTRE.....	10
3.2.	Unidad de piedemonte volcánico .....	10
3.2.1.	PLANICE PIROCLÁSTICA Y VOLCANOCLASTICA .....	10
3.3.	Unidad de planicie .....	11
3.3.1.	TERRAZA ALUVIAL.....	11
4.	MOVIMIENTOS EN MASA.....	12
4.1.	Deslizamiento de Maca.....	12
4.1.1.	FACTORES CONDIONANTES.....	12
4.1.2.	FACTORES DETONANTES.....	12
5.	MONITOREO GEODÉSICO, FOTOGRAFÍCO Y REGISTRO DE PRECIPITACIONES .....	15
5.1.	Monitoreo geodésico .....	15
5.1.1.	MONITOREO TEMPORAL O PERIÓDICO.....	15
5.1.2.	MONITOREO PERMANENTE.....	17
5.2.	Monitoreo fotogramétrico.....	18
5.3.	Precipitaciones .....	19
6.	ACTIVIDAD DEL DESLIZAMIENTO DE MACA PERIODO 2021 .....	21
6.1.	Cinemática de la masa deslizada.....	21
6.1.1.	DESPLAZAMIENTOS OBTENIDOS EN BASE A DATOS GEODESICOS PERIODICOS 2021 .....	21
6.1.2.	DESPLAZAMIENTOS OBTENIDOS EN BASE A DATOS GEODESICOS PERMANENTES 2021.....	25
7.	CONCLUSIONES.....	28
8.	RECOMENDACIONES .....	29

## 1. INTRODUCCION

El deslizamiento de Maca, ubicado a 70 km al norte de Arequipa, es uno de los deslizamientos de mayor magnitud del Valle del Colca. Presenta un volumen estimado de  $60 \times 10^6 \text{ m}^3$  con un espesor máximo de 70 metros (Zerathe et al., 2016). Se desarrolla en depósitos de avalanchas de rocas volcánicas no consolidadas y depósitos lacustres (limoarcillitas y diatomitas) poco compactos (Zavala et al., 2013).

El sector oeste, según su velocidad, el más rápido del deslizamiento, presentó movimientos entre  $\sim 0,8-1,5 \text{ m/año}$  durante los últimos 30 años (Bontemps et al., 2018) y actualmente amenaza la seguridad de la localidad de Maca de alrededor de 800 habitantes, los andenes pre-incaicos (Fidel y Zavala, 1994), e infraestructura vial vital para la población local y para el desarrollo del turismo en el valle del Colca, que en el año 2019 contó con la visita de  $\sim 254\,000$  turistas (Figuroa, 2019).

La cinemática del deslizamiento de Maca es impulsada principalmente por las precipitaciones pluviales intensas y/o prolongadas, (Zerathe et al., 2016); así como la erosión del río. Así mismo, es continuamente reactivado por sismos intraplaca correspondientes al sistema de fallas geológicas activas en la zona, siendo los de mayor magnitud los años 1991, 2001 y 2013 (Antayhua et al., 2002, Gomez et al., 2002, Zavala et al., 2013) y en los últimos años por los sismos ocurridos el 19 de febrero y 14 de agosto de 2016 (de 5.0 ML y 5.3 ML respectivamente).

Por esa razón, el INGEMMET, como ente técnico-científico, mediante el proyecto ACT14 - "Caracterización y monitoreo de movimientos en masa en el Perú", de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, en colaboración con el Instituto de Investigación para el Desarrollo de Francia (IRD), vienen realizando el monitoreo instrumental de este deslizamiento.

Este estudio tiene por finalidad dar a conocer el estado de la actividad del deslizamiento de Maca a través de la información que provee el monitoreo geodésico y fotogramétrico durante las 4 campañas de medición realizadas en el año 2021.

### 1.1. Objetivos

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Cuantificar la magnitud y determinar la dirección del desplazamiento de la masa deslizada.
- b) Caracterizar la influencia de la precipitación y la sismicidad en el deslizamiento.
- c) Caracterizar las zonas con presencia de agrietamientos.

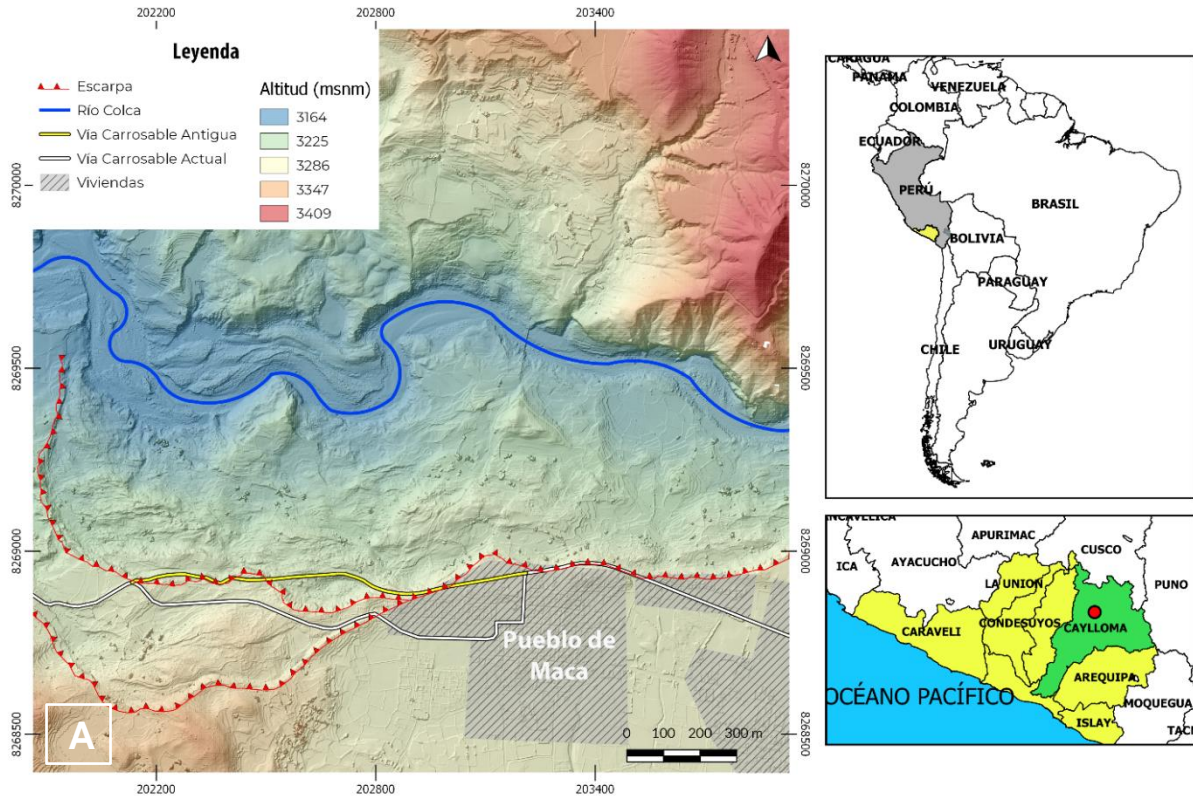
## 1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Se han realizado diversos estudios sobre el deslizamiento de Maca. Entre los trabajos más recientes podemos citar:

- A) En el año 2016 se emitió el primer informe técnico N°A6736: Peligros geológicos en Maca. A solicitud del Gobierno Regional de Arequipa mediante Oficio N° 097-2016-GR/ORDNDC.
- B) En enero del 2017 se emitió el informe técnico N° A6741: Monitoreo geodésico y estudio geodinámico del deslizamiento de Maca.
- C) En septiembre del 2017 se publicó el informe técnico N° A6773: Evaluación de peligros geológicos de la zona de reubicación de Maca "PB5-Majes". A solicitud de la Municipalidad Distrital de Maca mediante Oficio N° 013-2017-WMDM, donde solicita se realice la evaluación de peligros geológicos del área PB5-Majes, Pampas Bajas. Esta evaluación de peligros se realizó con la finalidad de que los pobladores de Maca, afectados por el deslizamiento, sean reasentados a este sector de la costa.
- D) En abril de 2020 se emitió el informe técnico N° A7039: Evaluación de peligros geológicos en la carretera Maca-Cabanaconde, afectada por el deslizamiento ocurrido el 22 de marzo. A solicitud de la Municipalidad de Caylloma mediante Oficio N° 049-2020-MPC-CHIVAY-A. Este informe recomienda un nuevo trazo de la vía Maca – Cabanaconde.
- E) En Setiembre de 2020 se publicó la opinión técnica N° 005-2020: Ruptura y afectación de la carretera Maca – Cabanaconde. A solicitud del jefe de la Oficina Regional de Defensa Nacional y Defensa Civil (COER-Arequipa) mediante Oficio N° 403-2020-GR/GGR/ORDNC.

## 1.3. Ubicación

El deslizamiento de Maca se encuentra en la margen izquierda del río Colca a una altitud entre 3200 y 3300 msnm, en el distrito de Maca, provincia de Caylloma, departamento de Arequipa (figura 1).



**Figura 1.** (A) Localización del área de estudio. (B) Modelo 3D del deslizamiento de Maca.

## 2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

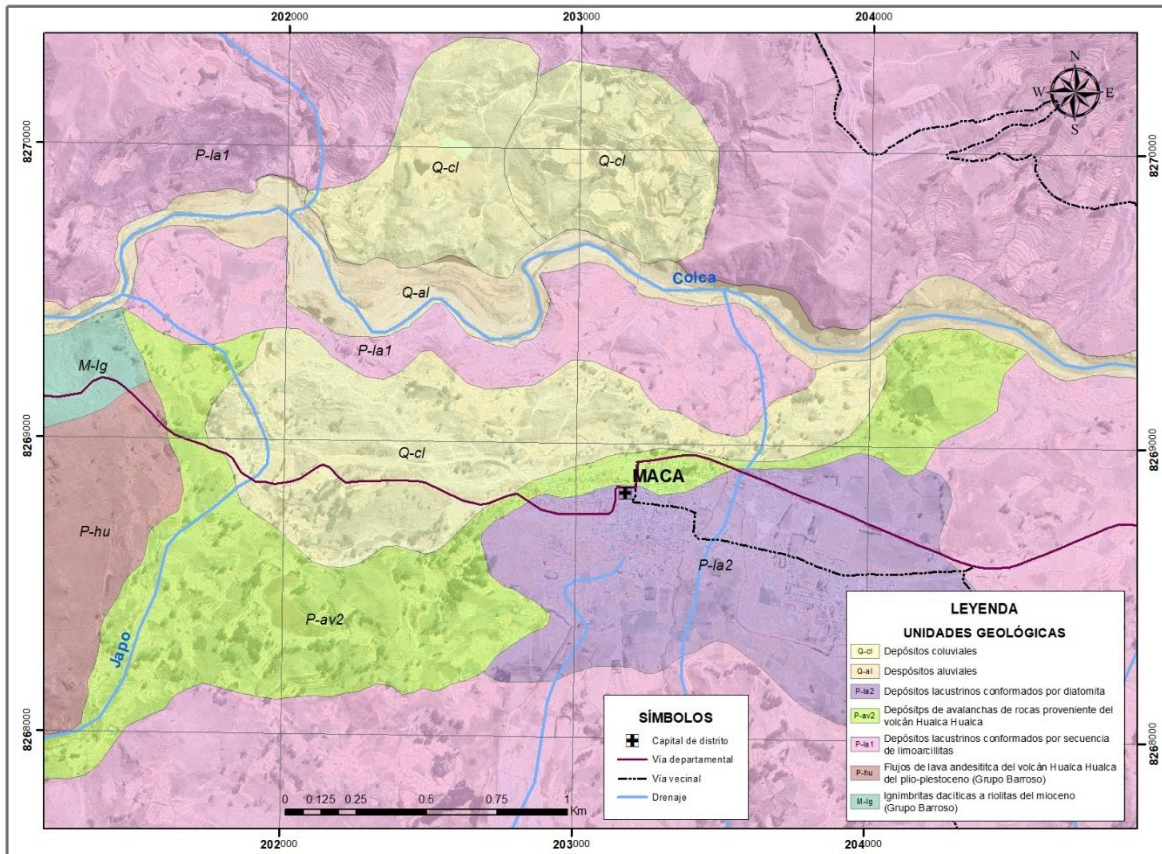
La descripción geológica en los alrededores de Maca, tomando como base estudios realizados por Mariño et al., (2012), así como estudios elaborados por Klinck & Palaciós (1985) y Quispesivana & Navarro (2001), de la Carta Geológica Nacional, indican que en el área de estudio se tienen afloramientos de rocas volcánicas y en menor proporción rocas sedimentarias.

En las inmediaciones del deslizamiento de Maca afloran depósitos de avalanchas de rocas, estos están formados por fragmentos angulosos a subangulosos de litología heterogénea y tamaño heterométrico, y se encuentran englobados en una matriz limo-arcillosa, no consolidados, fiables y se le considera de malas características geotécnicas. Susceptible a la ocurrencia de peligros de tipo deslizamientos, derrumbes y reptación de suelos.

En las inmediaciones del pueblo de Maca, afloran depósitos de diatomitas de coloración blanquecina. Estas son rocas sedimentarias formadas por la acumulación de microfósiles de diatomeas, que son algas unicelulares, que vive en el mar, en el agua dulce o en la tierra húmeda, y que tiene un caparazón silíceo formado por dos valvas de tamaño desigual. Estos depósitos son normalmente de ambiente lacustre muy tranquilos, de poca profundidad y con actividad explosiva, que provee de silíceo 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).

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).

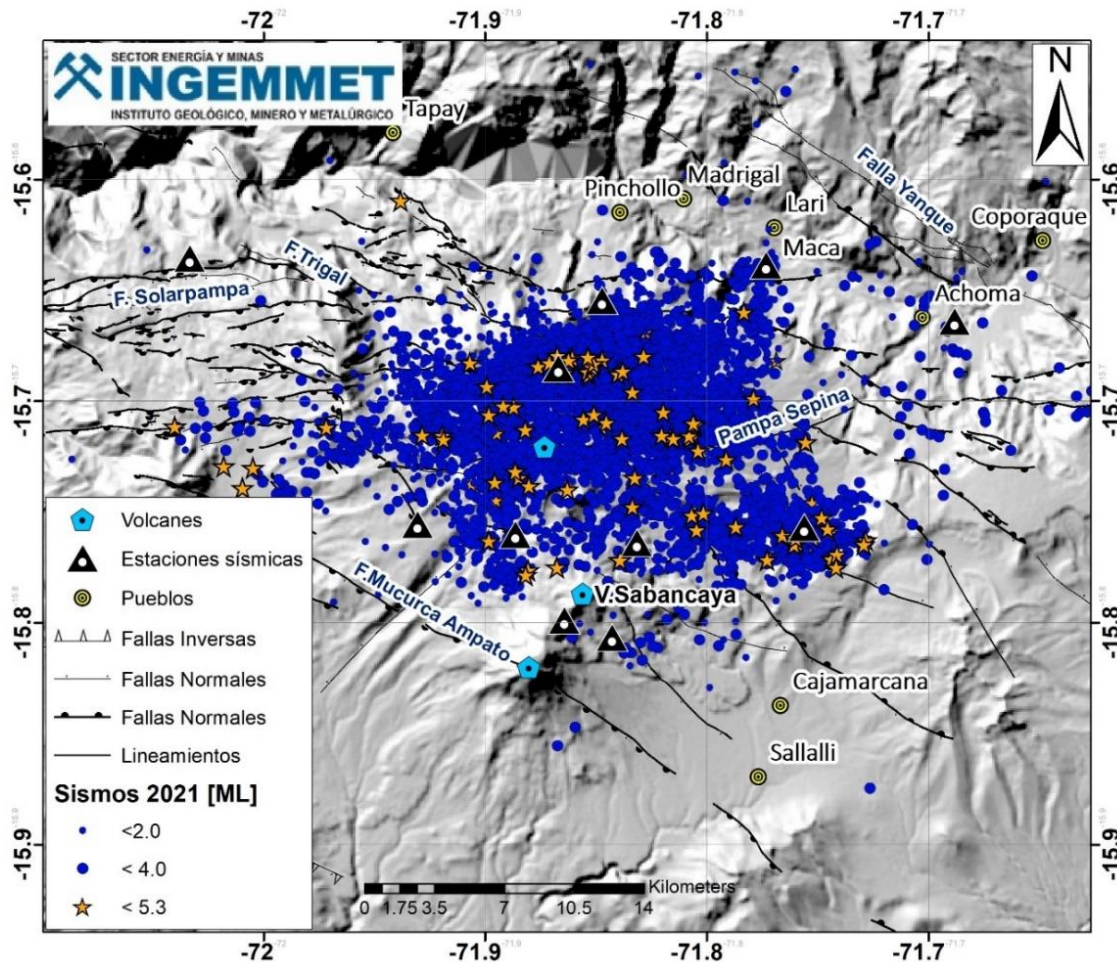


**Figura 2.** Mapa de geológico de los alrededores del deslizamiento de Maca (tomado como referencia de Mariño, et al. 2012)

## 2.1. Contexto tectónico-volcánico y actividad sísmica

En el valle del Colca existe un sistema de fallas que presentan una intensa actividad sísmica superficial (Benavente et al, 2017; Sebrier et al., 1988; Mering et al., 1996 y Huamán-Rodrigo et al., 1993). Estas fallas geológicas junto a la actividad volcánica constituyen las principales fuentes sísmicas en el área de estudio. Así lo reafirman la distribución espacial de los epicentros de los sismos registrados entre enero y diciembre de 2021 en el Valle del Colca publicado por el Observatorio Vulcanológico del INGEMMET (figura 3).





**Figura 3.** Sismicidad volcano–tectónica (de enero a diciembre de 2021) y distribución de fallas activas en el área de estudio. INGEMMET 2022.

Un ejemplo de dicha actividad es el sismo superficial que ocurrió en el Colca, el 14 de agosto de 2016, con una magnitud de 5.3 ML, que fue producto de la reactivación de la Falla Yanque. Este evento originó importantes efectos cosísmicos, tales como desprendimientos de rocas, derrumbes, deslizamientos, grietas en el terreno y otros; los cuales afectaron las localidades de Ichupampa, Yanque y Achoma (Delgado et al., 2016).

En relación a licuefacción de suelos, la composición litológica de origen lacustre del subsuelo de Maca, condiciona efectos de sitio durante la ocurrencia de sismos, como ya ha sido comprobado en los sismos de 1991, 1992 y 2013.

El 8 de octubre del 2021, ocurrió un sismo de 5.5 Mw, a 10 Km de profundidad, con epicentro a 8 km al SO de Pinchollo (INDECI, IGP). Este sismo generó derrumbes de Maca a Cabanaconde. No se observaron efectos superficiales en el cuerpo del deslizamiento de Maca, ni la aparición de nuevas grietas, sin embargo, las estaciones geodésicas permanentes registraron movimientos en la masa deslizada, que serán descritos más adelante.

### **3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS**

La geomorfología en los alrededores del deslizamiento de Maca está comprendida por unidades con geoformas de carácter volcánico y geoformas de carácter deposicional o agradacional. A continuación, se describen las unidades geomorfológicas que comprende el área de estudio y alrededores (figura 4).

#### **3.1. Unidad de piedemonte**

Según la descripción realizada por Zavala, et al., 2009, son aquellas geoformas de pendiente inclinada con acumulaciones del material detrítico, siendo identificable por su característica de rupturas o cambios bruscos de pendiente.

##### **3.1.1. VERTIENTE COLUVIAL DE DETRITOS**

Esta sub-unidad se encuentra al suroeste de Maca en la quebrada Japo, está conformado por materia acarreado por gravedad, como son los depósitos de avalancha de rocas que desciende del volcán Hualca Hualca, presenta una morfología cóncava por los procesos de erosión.

##### **3.1.2. VERTIENTE CON DEPÓSITO DE DESLIZAMIENTO**

Son relieves de cierta pendiente y superficie levemente inclinada, que corresponden acumulaciones de laderas originas por procesos de movimientos en masa antiguos o recientes que son del tipo deslizamientos.

##### **3.1.3. VERTIENTE O PIEDEMONTE ALUVIO-LACUSTRE**

Esta sub-unidad geomorfológica, ocupan las partes bajas del relieve montañoso y colinoso adyacentes a las referidas zonas; su origen radica en la acumulación de sedimentos aluviales y fluviales sobre una concavidad vieja de tipo lagunar.

En el área de estudio se encuentran ocupando parte del área urbana del poblado de Maca que forman depósitos lacustrinos de diatomitas.

#### **3.2. Unidad de piedemonte volcánico**

Son geoformas asociados a depósitos volcánicos.

##### **3.2.1. PLANICIE PIROCLÁSTICA Y VOLCANOCLASTICA**

Son sub-unidades que forman terrenos con pendiente relativamente plana a moderadas con frente escarpado, en el área de estudio se encuentra al oeste del poblado de Maca, formado

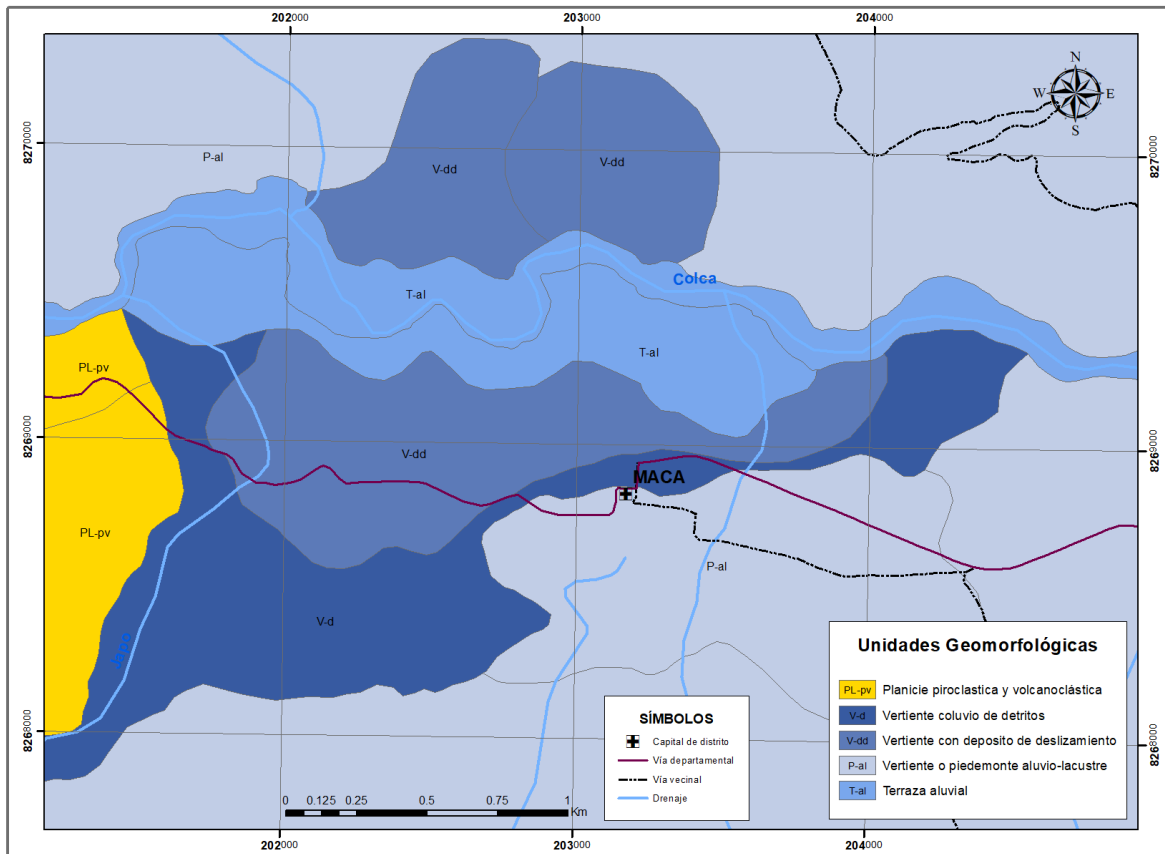
por secuencia de ignimbritas dacíticas a riolitas de Grupo Tacaza proveniente de la actividad volcánica.

### 3.3. Unidad de planicie

Son geformas con superficies planas con ligeras ondulaciones. Están asociadas a depósitos aluviales y fluvio-glaciares, limitados en muchos casos por depósitos de piedemonte y laderas de montañas y colinas.

#### 3.3.1. TERRAZA ALUVIAL

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 no consolidados de materiales coluviales, con procesos erosivos como consecuencia de la profundización del valle.



**Figura 4.** Mapa de unidades geomorfológicas del área de estudio – deslizamiento de Maca.

## 4. MOVIMIENTOS EN MASA

El área de estudio presenta una geodinámica muy activa en ambos márgenes del río Colca, representada por deslizamientos antiguos y reactivados, derrumbes, depósitos de flujos de detritos antiguos y recientes.

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 afectan 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).

### 4.1. Deslizamiento de Maca

El deslizamiento de Maca es un movimiento en masa de tipo deslizamiento rotacional en cuyo escarpe se observa un avance retrogresivo, donde se identificaron 15 sectores que presentan grietas abiertas con apertura entre 3 cm a 5 cm y una longitud que oscila entre 1 m hasta 8 m, así mismo tiene un avance progresivo con dirección al río Colca.

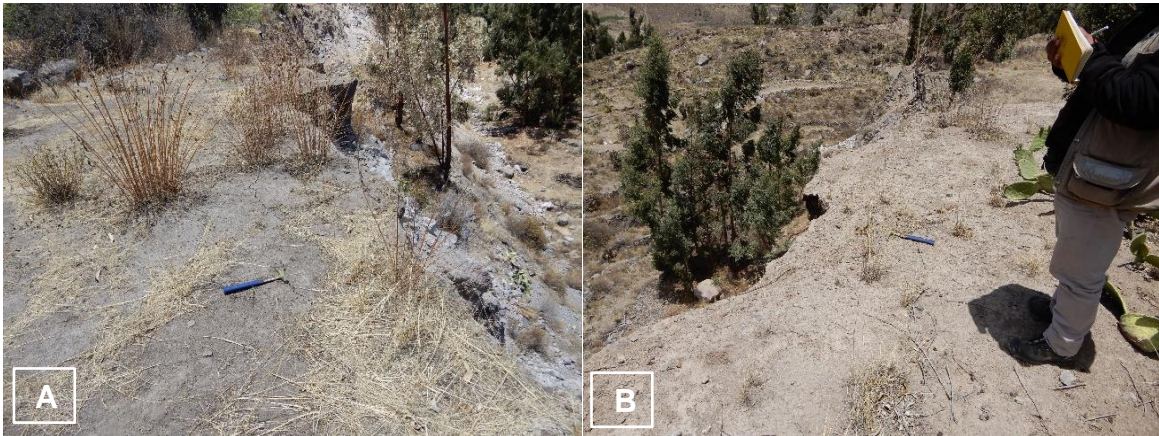
Los movimientos se han registrado con velocidades que van desde muy lentos a lentos según la escala de velocidades propuesta por Cruden y Varnes (1996). Estos movimientos son detonados por intensas precipitaciones, sismos (frecuentes en el área), erosión fluvial (río Colca), y riego indiscriminado (Bilberto, et al., 2012).

#### 4.1.1. FACTORES CONDICIONANTES

- Morfología del área de estudio.
- Incompetencia del material (depósitos lacustres y proluviales).
- Influencia de las aguas subterráneas (ojos de agua, manantiales, oconales, bofedales).
- Acción erosiva o de socavamiento del río Colca.

#### 4.1.2. FACTORES DETONANTES

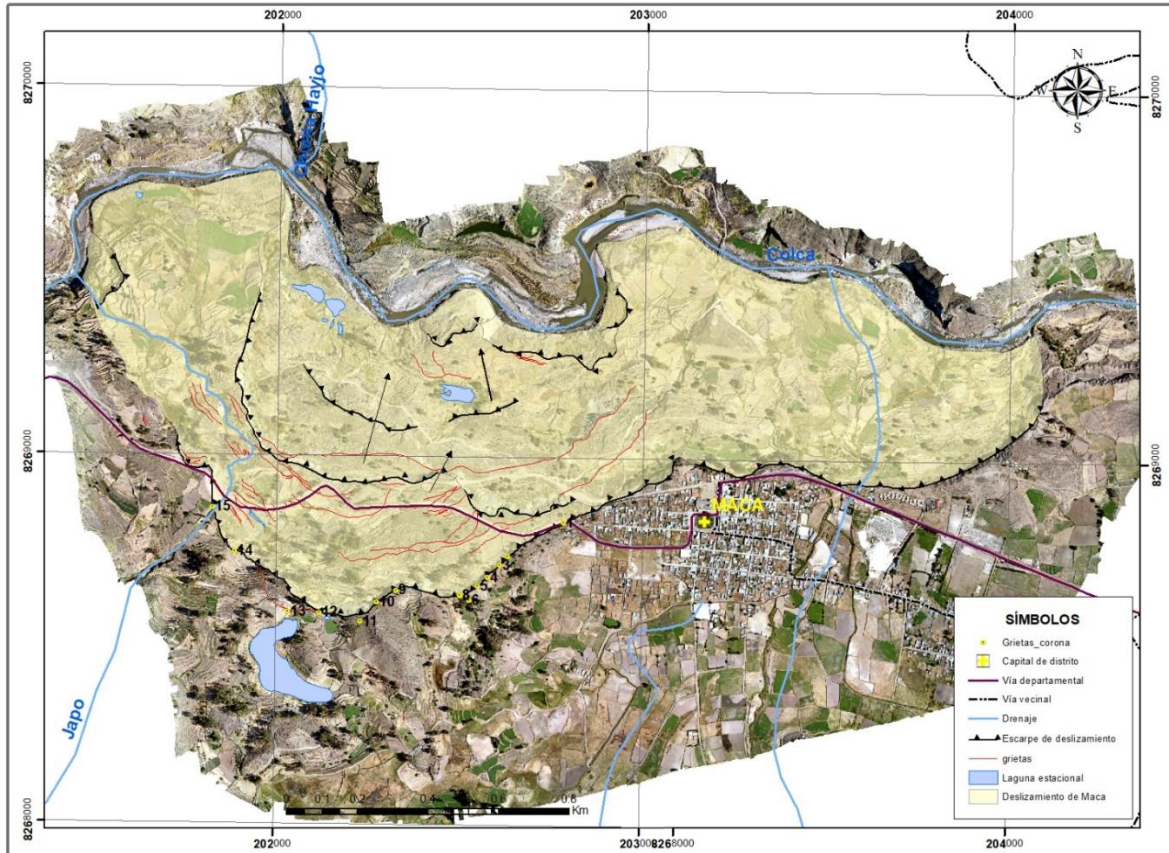
- Sismos.
- Precipitaciones pluviales estacionales y/o excepcionales.
- Acción Antrópica (riego indiscriminado, modificación de los taludes al construir carreteras y canales).



**Figura 5.** Se observa: A) Grieta N° 2 con tendencial norte 220°, apertura 40cm, distancia desde el eskarpe 80 cm, longitud 4.10 m y B) grieta N° 10 con tendencia norte 270°, apertura 9 cm, distancia desde el eskarpe principal 0.7 m y longitud 9.15m.



**Figura 6.** A) Grieta N°12 con tendencial norte 300°, apertura 30cm, distancia desde el eskarpe 2.30 cm, longitud 6.80 m y B) grieta N°13 con tendencia norte 315°, apertura 50 cm, distancia desde el eskarpe principal 3.40 m y longitud 11.10m.

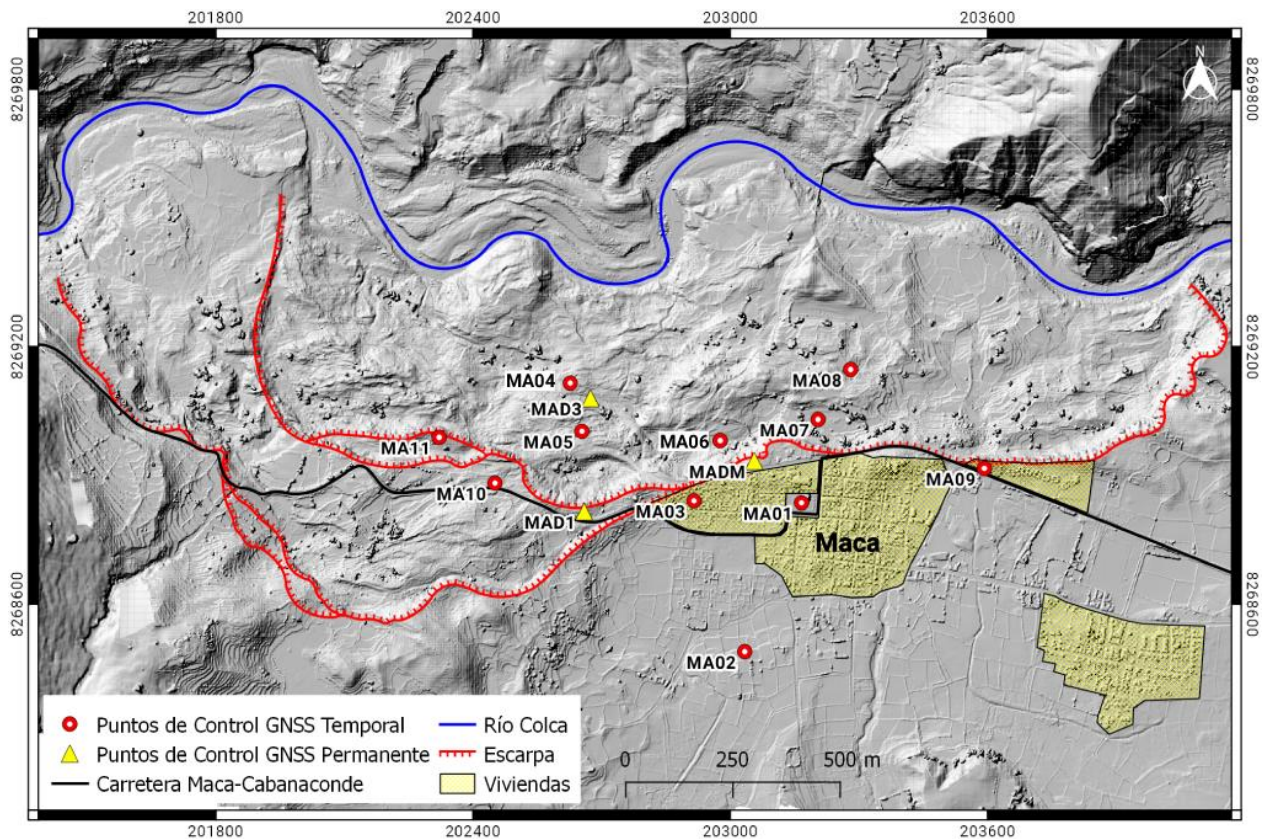


**Figura 7.** Cartografía del deslizamiento de Maca, noviembre 2021.

## 5. MONITOREO GEODÉSICO, FOTOGRAMÉTRICO Y REGISTRO DE PRECIPITACIONES

### 5.1. Monitoreo geodésico

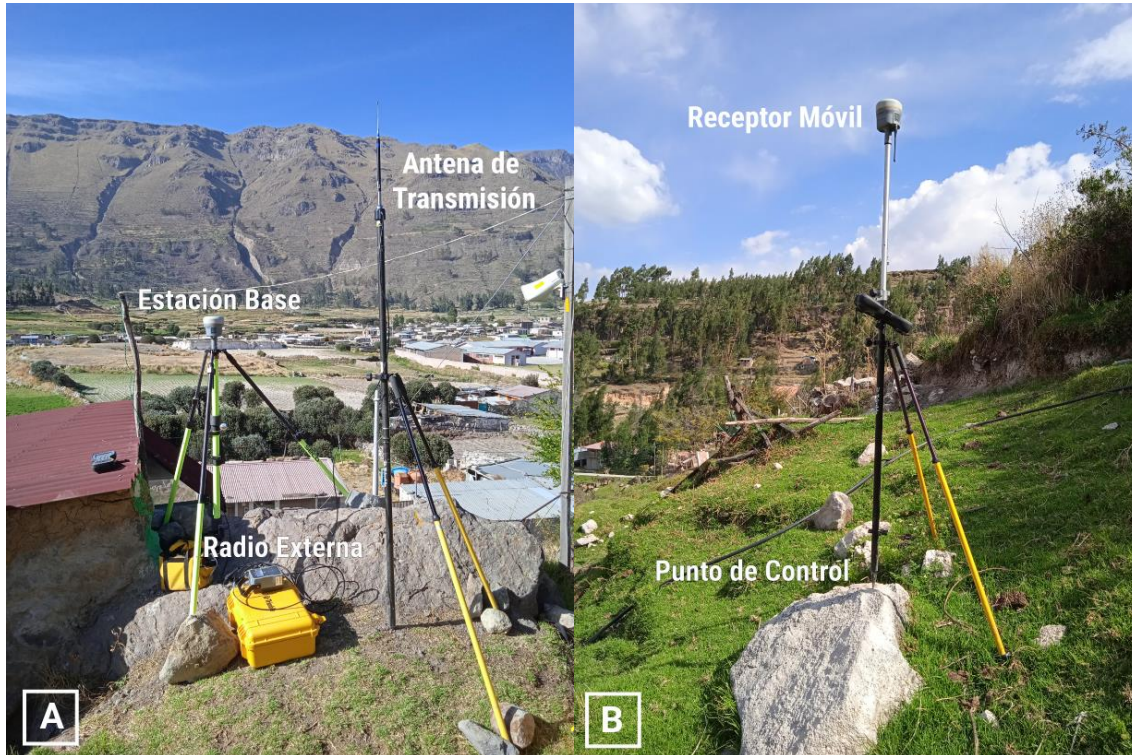
En el deslizamiento de Maca se cuenta con 11 hitos (MA01, MA02, MA03, MA04, MA05, MA06, MA07, MA08, MA09, MA10, MA11) monitoreados periódicamente a través del método GNSS diferencial RTK. De igual modo se cuenta con 3 estaciones GNSS permanentes (MAD1, MADM y MAD3) las cuales nos permite realizar un monitoreo continuo y en tiempo real del deslizamiento. La distribución espacial de la red geodésica se puede observar en la figura 8.



**Figura 8.** Red geodésica de monitoreo GNSS del deslizamiento de Maca.

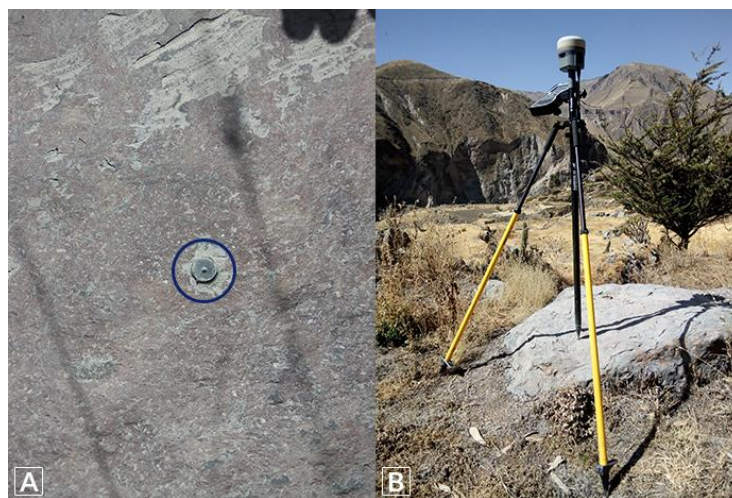
#### 5.1.1. MONITOREO TEMPORAL O PERIÓDICO

Para el monitoreo de los 11 hitos geodésicos de control temporal se utilizó el método GNSS diferencial RTK (cinemático en tiempo real). Este método utiliza dos receptores GNSS operando de manera simultánea (figura 9).



**Figura 9.** Instalación de Equipos para Levantamiento GNSS RTK. Los valores de corrección se envían directamente por radio desde la estación base (A) al receptor móvil (B). De esta manera, con este último se miden los puntos de control con una precisión por debajo del decímetro.

En cada campaña de medición, el receptor GNSS denominado estación base, ocupó el mismo punto de coordenadas conocidas ubicado en una zona estable (figura 9A), mientras que el otro, denominado receptor móvil (figura 9B), se utilizó para medir las coordenadas de los 11 puntos de control (pines metálicos empotrados en roca –figura 9-) que forman parte de la red de monitoreo geodésico temporal del deslizamiento de Maca.



**Figura 10.** (A) Hito geodésico empotrado en roca. (B) Reocupación del hito.



El equipo utilizado para el levantamiento corresponde al sistema GNSS integrado Trimble R12. Esta red se encuentra referenciada con Datum WGS 1984, Zona 18 S, y modelo geoidal EGM 08.

En el año 2021, se realizaron 4 campañas de campo, el 2 de abril, el 27 de mayo, el 7 de octubre y el 29 de noviembre. Por lo tanto, el marco temporal en análisis comprende 8 meses aproximadamente.

La información obtenida que comparó la posición de los puntos de control en diferentes campañas de medición permitió determinar los desplazamientos horizontales y verticales de los movimientos de la superficie del deslizamiento.

### 5.1.2. MONITOREO PERMANENTE

Para el caso del sistema de monitoreo permanente se cuenta con 3 casetas de concreto (figura 11) cada una de las cuales alberga equipos GNSS CORS (del inglés Continuously Operating Reference Stations o estaciones de referencia de operación continua).



**Figura 11.** Red de estaciones GNSS permanentes. MAD1 (A), MADM (B) y MAD3 (C)

La adquisición de datos de esta red cuenta con un sistema de transmisión de datos en tiempo casi real en la cual se envían los datos de los receptores GNSS vía telemetría hacia la oficina descentralizada de INGEMMET en Arequipa para su procesamiento con el software GAMIT/GLOBK v 10.7.

Para analizar el comportamiento geodinámico de la zona de peligro se graficaron series temporales de posición para cada una de las componentes de las estaciones GNSS: MAD1, MADM y MAD3. El marco temporal en análisis comprende desde el 01 de enero al 31 de diciembre de 2021.

## 5.2. Monitoreo fotogramétrico

Para el monitoreo fotogramétrico del deslizamiento de Maca se han utilizado drones de ala fija (eBee Plus) y multirrotor (Matrice300 RTK) (figura 12), durante tres campañas de campo llevadas a cabo en abril, octubre y noviembre de 2021.



**Figura 12.** (A) Dron eBee Plus. (B) Drone Matrice 300 RTK

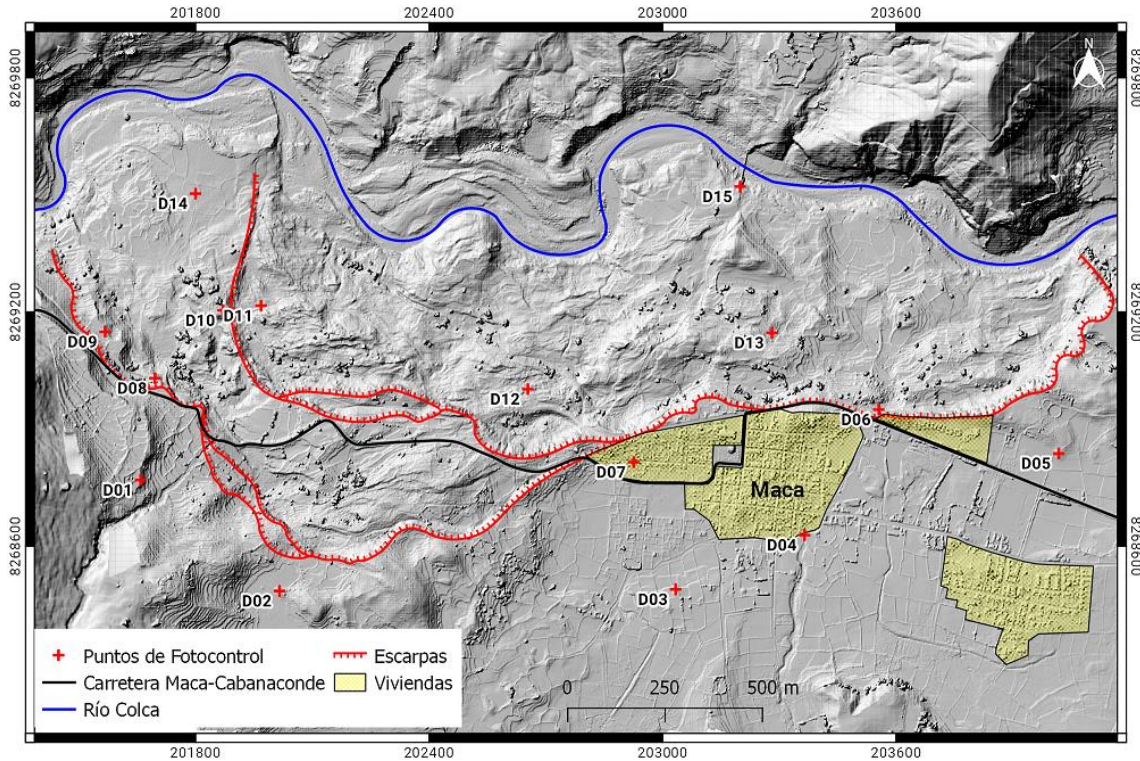
Cada levantamiento fotogramétrico con dron contó con puntos de control terrestre (figura 13) tanto en el cuerpo del deslizamiento como en zonas estables (figura 14). La medición de coordenadas de cada punto de fotocontrol se realizó de la misma forma que para los 11 puntos de control GNSS tratados en el punto anterior.

Para el proceso fotogramétrico se utilizó la técnica SFM (Structure From Motion) a través del software Agisoft Metashape 1.7., obteniéndose en primera instancia una nube de puntos 3D dispersa y posteriormente una nube de puntos 3D densa. Finalmente se obtuvieron los DEM y ortomosaicos los cuales se exportaron en el formato TIFF (figura 14).

Las ortofotos se utilizaron para cartografiar la posición multitemporal de la escarpa principal del deslizamiento de Maca y las distancias mínimas a la infraestructura afectada y amenazada en el software QGIS V.3.20.



**Figura 13.** Marcas de pintura con centro claramente definido en infraestructura existente (A) y en roca (B)



**Figura 14.** Ubicación de los puntos de fotocontrol para georreferenciar las imágenes de dron.

### 5.3. Precipitaciones

La base de datos de precipitación se obtuvo de las estaciones del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) denominadas Chivay y Madrigal.

En general, de acuerdo con los estudios y monitoreo de los deslizamientos en el valle del Colca, la evolución de estos está fuertemente influenciada por factores externos como las temporadas de alta precipitación y la sismicidad local.

Las precipitaciones pluviales intervienen como procesos desencadenantes debido a las condiciones climáticas de la zona, con la mayor tasa de precipitación durante los meses de enero a marzo como se puede observar en la tabla 5 y figura 15.

La precipitación durante el año 2021 fue menor en comparación a la precipitación observada durante los 3 últimos años (figura 16). Con una precipitación acumulada de 395 mm en la estación de Chivay y de 422 mm en la estación de Madrigal (figura 17).

Tabla 5. Precipitaciones mensuales y anuales de las estaciones de Chivay y Madrigal (2018-2021)

Fecha	Estación Madrigal				Estación Chivay			
	Precipitación (mm/mes)				Precipitación (mm/mes)			
	2018	2019	2020	2021	2018	2019	2020	2021
<b>Enero</b>	179	139	216	114.4	156	94	124	93.9
<b>Febrero</b>	63	146	177	56.9	62	129	188	56.9
<b>Marzo</b>	116	101	126	76.6	83	63	96	76.6
<b>Abril</b>	24	9	n/a	40.4	44	20	13	40.4
<b>Mayo</b>	0	0	n/a	1.9	0	4	2	1.9
<b>Junio</b>	12	0	n/a	0	13	0	0	0.4
<b>Julio</b>	19	2.3	n/a	0	27	3	0	17.1
<b>Agosto</b>	0	0	0	0	7	0	0	4.3
<b>Setiembre</b>	0	4.2	1	6.6	12	5	0	9.9
<b>Octubre</b>	3	33.9	31	0	2	38	28	12.3
<b>Noviembre</b>	3	8	11	10.2	4	18	15	24.1
<b>Diciembre</b>	12	16	92	45.3	38	17	85	46.9
<b>Total (mm/año)</b>	432	459	654	352.3	444	392	551	384.7

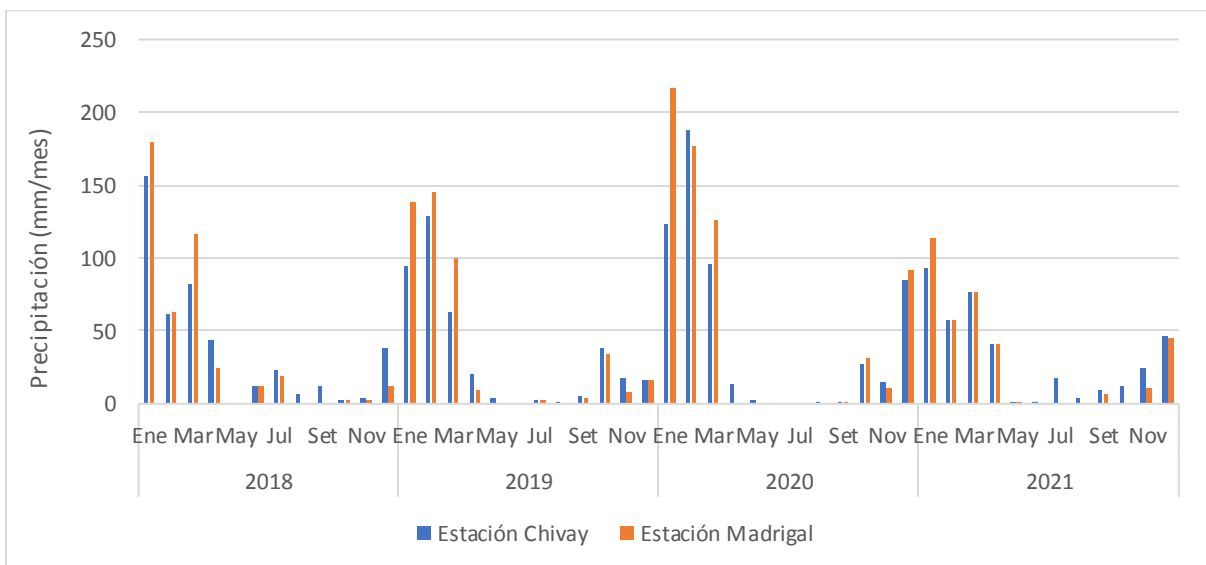
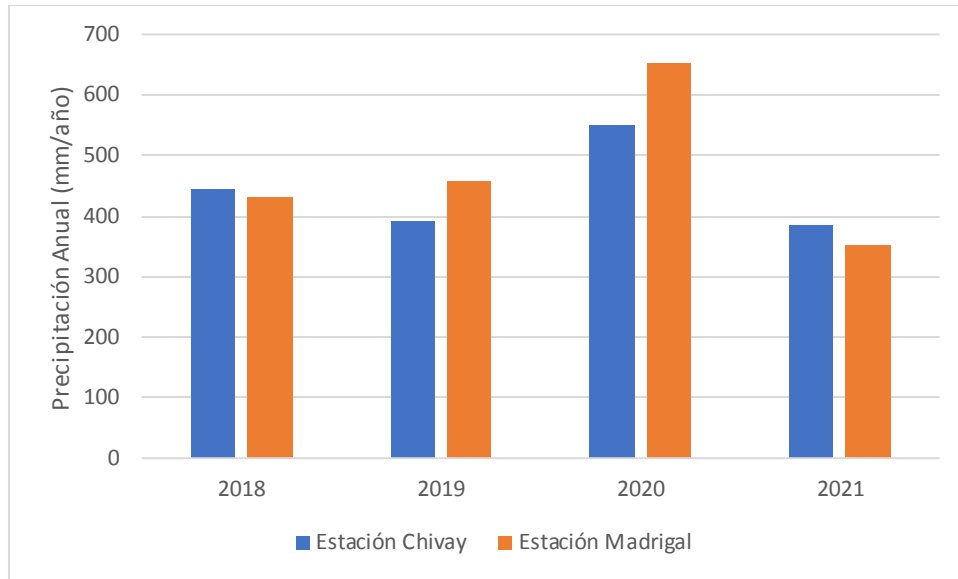


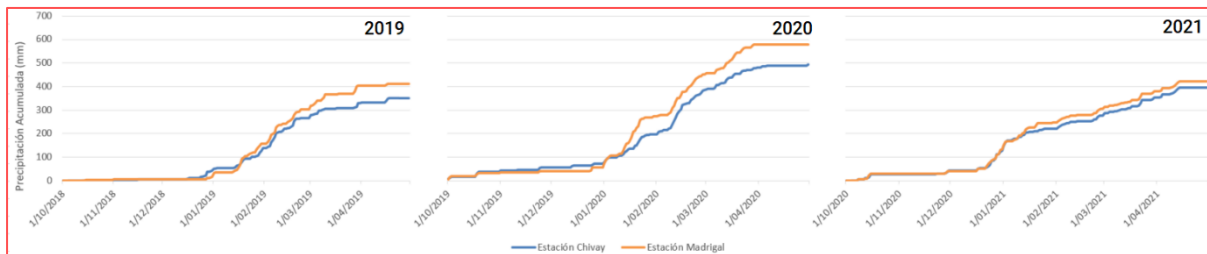
Figura 15. Precipitación mensual de las estaciones de Chivay y Madrigal

Periodo: enero de 2018 a diciembre de 2021



**Figura 16.** Precipitación anual de las estaciones de Chivay y Madrigal

Periodo: enero de 2018 a diciembre de 2021



**Figura 17.** Precipitación acumulada entre octubre y abril para los años 2019, 2020 y 2021.

## 6. ACTIVIDAD DEL DESLIZAMIENTO DE MACA PERIODO 2021

### 6.1. Cinemática de la masa deslizada

#### 6.1.1. DESPLAZAMIENTOS OBTENIDOS EN BASE A DATOS GEODESICOS PERIODICOS 2021

En el transcurso del 2021, se realizaron 4 campañas de medición de la red de puntos de control GNSS instalados en el deslizamiento de Maca. A partir de estos datos se calcularon los desplazamientos horizontales y verticales de cada punto monitoreado (tabla 1).

Durante el periodo comprendido entre el 02 de abril y 27 de mayo de 2021 ( $\approx 1.8$  meses), el desplazamiento horizontal y vertical máximo fue de 3.56 m y -1.20 m respectivamente, que corresponde al punto de control MA05. El desplazamiento horizontal y vertical mínimo fue de

0.72 y -0.09 m respectivamente el cual pertenece al punto de control MA10. Los demás puntos de control no presentaron desplazamientos horizontales ni verticales significativos.

Así mismo, entre el 27 de mayo y el 07 de octubre de 2021 ( $\approx 4.4$  meses), el desplazamiento horizontal y vertical máximo fue de 1.61 m y -0.24 m respectivamente, que corresponde al punto de control MA04. El desplazamiento horizontal y vertical mínimo fue de 0.53 y -0.13 m respectivamente el cual pertenece al punto de control MA10. Los demás puntos de control no presentaron desplazamientos horizontales ni verticales significativos para este periodo.

Entre el 07 de octubre y el 29 de noviembre de 2021 ( $\approx 1.8$  meses) no se observan desplazamientos horizontales ni verticales significativos.

**Tabla 1.** Desplazamiento de los puntos de control GNSS del deslizamiento de Maca entre campañas.

$D_H$  = Desplazamiento horizontal,  $D_V$  = Desplazamiento Vertical.

PUNTOS DE CONTROL GNSS	02/04/2021 al 27/05/2021		27/05/2021 al 07/10/2021		07/10/2021 al 29/11/2021	
	$(\approx 1.8$ meses)		$(\approx 4.4$ meses)		$(\approx 1.8$ meses)	
	$D_H$	$D_V$	$D_H$	$D_V$	$D_H$	$D_V$
	$\Delta E-N$ (m)	$\Delta z$ (m)	$\Delta E-N$ (m)	$\Delta z$ (m)	$\Delta E-N$ (m)	$\Delta z$ (m)
MA01	0.03	-0.04	0.01	0.01	0.01	-0.02
MA02	0.01	0.00	0.02	0.02	0.00	-0.01
MA03	0.01	0.00	0.04	0.01	0.01	-0.01
MA04	3.33	-0.60	1.61	-0.24	0.02	-0.01
MA05	3.56	-1.20	0.58	-0.14	0.02	-0.01
MA06	0.05	-0.03	0.01	0.00	0.01	-0.01
MA07	0.01	-0.01	0.01	0.01	0.02	-0.03
MA08	0.02	-0.01	0.02	0.00	0.02	0.00
MA09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MA10	0.72	-0.09	0.53	-0.13	0.01	0.00
MA11	0.99	-0.13	0.62	-0.20	0.01	0.00

Durante todo el periodo comprendido entre el 02 de abril y el 29 de noviembre de 2021 ( $\approx 8$  meses) (tabla 2), el desplazamiento horizontal y vertical máximo fue de 4.96 m y -1.35 m respectivamente, que corresponden a los puntos de control MA04 y MA05. El desplazamiento horizontal y vertical mínimo fue de 1.27 y -0.22 m respectivamente el cual pertenece al punto de control MA10. Los demás puntos de control no presentaron desplazamientos horizontales ni verticales significativos.

Así mismo en la figura 18, se aprecia la representación gráfica de la magnitud y la dirección del desplazamiento horizontal de los 11 puntos de control GNSS, para este mismo periodo (abril-noviembre 2021). En este mapa se observa claramente un empuje de material en dirección al noroeste (hacia el río Colca). También se observa que el sector oeste del deslizamiento de Maca presenta la mayor tasa de desplazamiento (monitoreado por los puntos de control MA04, MA05, MA10 y MA11) con valores de desplazamiento horizontal

fluctúan entre 1.27 a 4.96 metros y de desplazamiento vertical o hundimiento desde -0.22 hasta -1.35 metros (tabla 2).

**Tabla 2.** Desplazamiento acumulado de los puntos de control GNSS del deslizamiento de Maca. entre abril y noviembre de 2021. DH = Desplazamiento horizontal. DV = Desplazamiento Vertical.

PUNTOS DE CONTROL GNSS	02/04/2021 AL 29/11/2021 (≈8 meses)	
	DH	Dv
	$\Delta E-N$ (m)	$\Delta z$ (m)
MA01	0.01	-0.05
MA02	0.01	0.02
MA03	0.02	0.00
MA04	4.96	-0.85
MA05	4.06	-1.35
MA06	0.07	-0.04
MA07	0.00	-0.02
MA08	0.02	-0.01
MA09	0.00	0.00
MA10	1.27	-0.22
MA11	1.62	-0.32

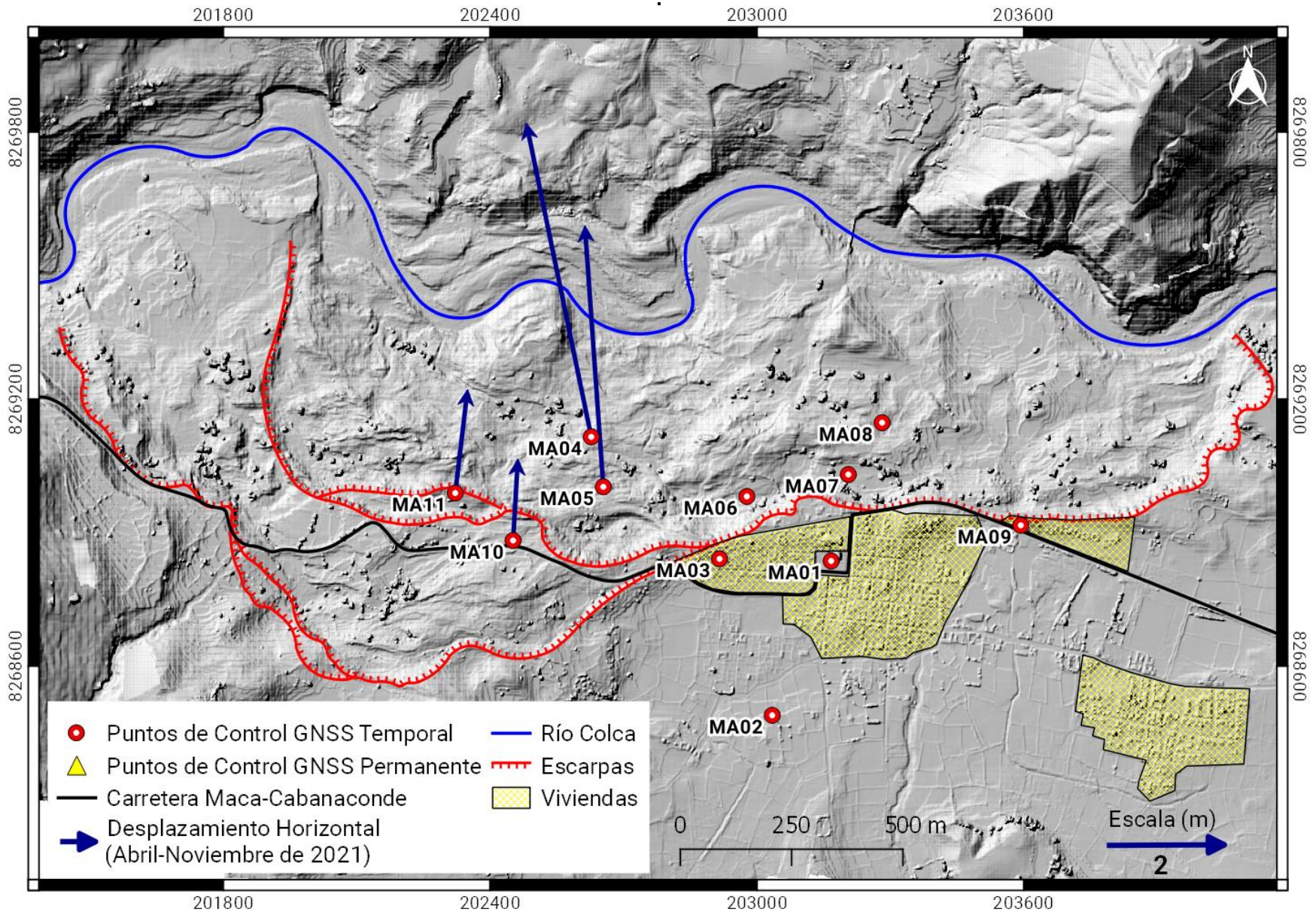


Figura 18. Mapa de Vectores mostrando el desplazamiento horizontal del deslizamiento de Maca del 02/04/2021 al 29/11/2021(≈8 meses).



### 6.1.2. DESPLAZAMIENTOS OBTENIDOS EN BASE A DATOS GEODESICOS PERMANENTES 2021

En la figura 19A, 19B y 19C, se presentan las series temporales para las estaciones MAD1, MADM y MAD3 respectivamente. Estas muestran la magnitud del desplazamiento y su variación a través del tiempo. Además de la dirección del desplazamiento.

Las magnitudes de estos desplazamientos para el periodo entre enero y diciembre de 2021, se pueden ver en la tabla 3 y 4.

*Tabla 3. Desplazamiento de las estaciones geodésicas permanentes por componentes entre enero y diciembre de 2021*

ESTACIÓN GNSS	Desplazamiento		
	$\Delta E$ (m)	$\Delta N$ (m)	$\Delta z$ (m)
MAD3	-0.169	7.529	-2.321
MADM	0.006	0.008	0.021
MAD1	0.358	0.561	-0.968

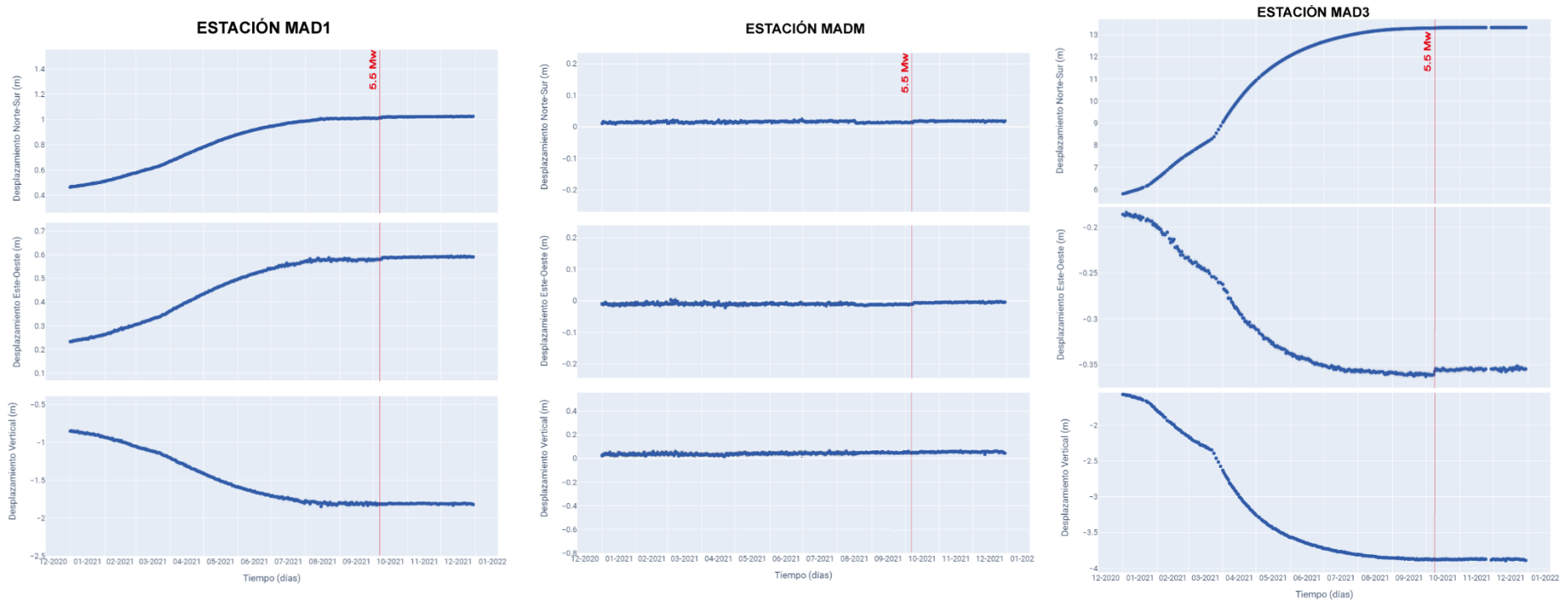
*Tabla 4. Desplazamiento Horizontal y Vertical de las estaciones de monitoreo permanente. DH = Desplazamiento horizontal. DV = Desplazamiento Vertical.*

ESTACIÓN GNSS	01/01/2021 AL 31/12/2021 (12 meses)	
	DH	Dv
	$\Delta E-N$ (m)	$\Delta z$ (m)
MAD3	7.531	-2.321
MADM	0.010	0.021
MAD1	0.665	-0.968

La estación GNSS permanente MAD1 ubicada en el sector oeste del deslizamiento, al costado de la carretera Maca-Cabanaconde, presenta un desplazamiento horizontal de 0.66 metros hacia el noreste y un hundimiento de 0.97 metros (figura 19A).

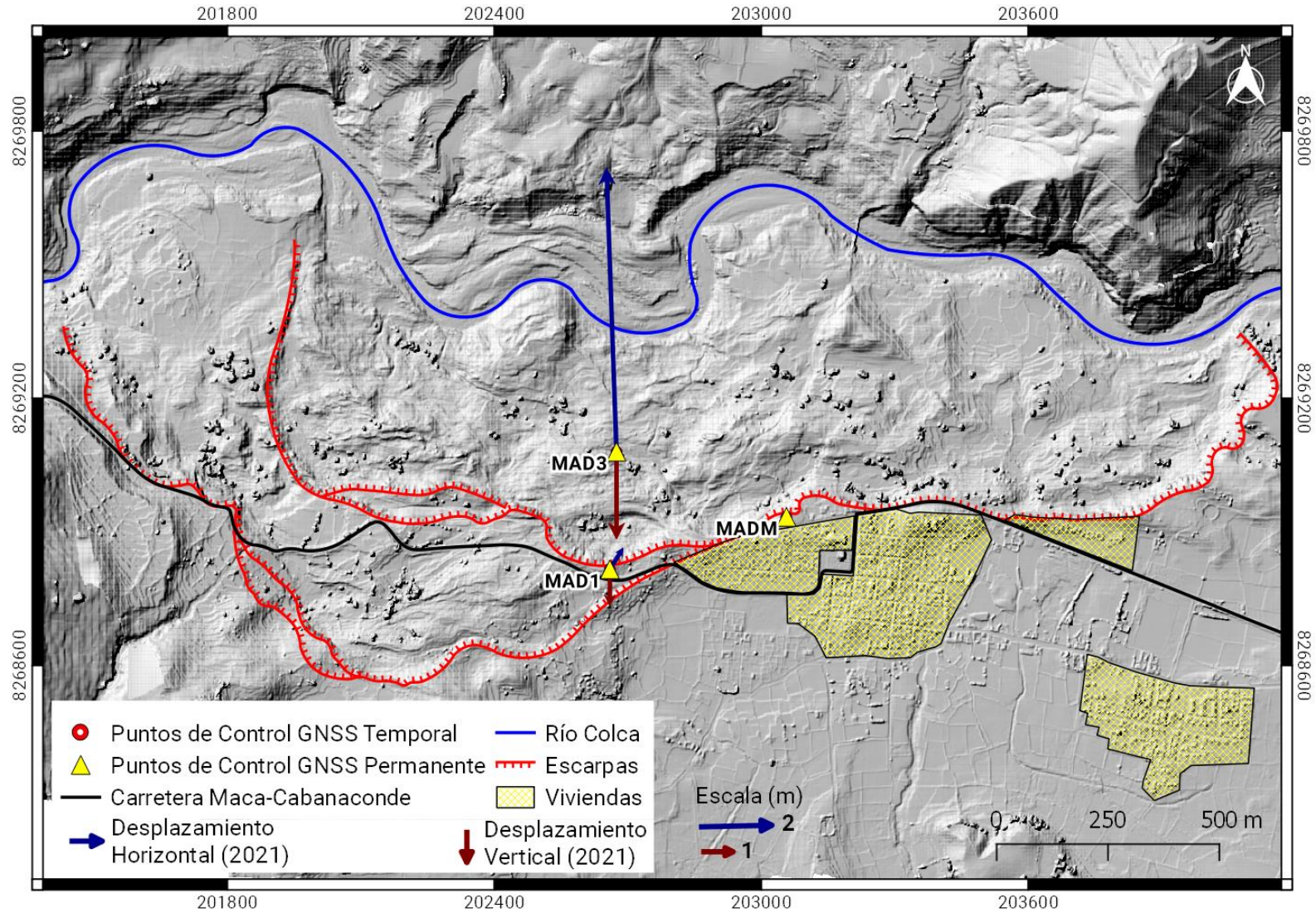
Con respecto a la estación GNSS MADM, esta se encuentra ubicada en la corona del deslizamiento, en el pueblo de Maca. En la serie temporal de esta estación (figura 19B) para el periodo en estudio no se aprecia desplazamientos horizontales ni verticales significativos.

Por otro lado, la estación MAD3 localizada en el cuerpo del deslizamiento, es la que presenta mayor deformación, con un desplazamiento horizontal de 7.53 metros en dirección noroeste y un hundimiento de 2.32 metros (tablas 2 y 3 y figura 19C).



**Figura 19.** Series temporales de Posición GNSS para la estación (A) MAD1, (B) MADM y (C) MAD3, donde se puede apreciar la influencia de la actividad sísmica en la aceleración de la velocidad de desplazamiento de la masa deslizada. La línea roja continúa ploteada sobre las series temporales corresponde al sismo del 08 de octubre de 2021.

Así mismo en la figura 20, se aprecia la representación gráfica de la magnitud y la dirección del desplazamiento horizontal de los 3 puntos de control GNSS permanente, para este mismo periodo (enero-diciembre 2021).



**Figura 20.** Mapa de Vectores mostrando el desplazamiento horizontal de las estaciones GNSS permanentes del deslizamiento de Maca. Periodo enero-diciembre, 2021.

## 7. CONCLUSIONES

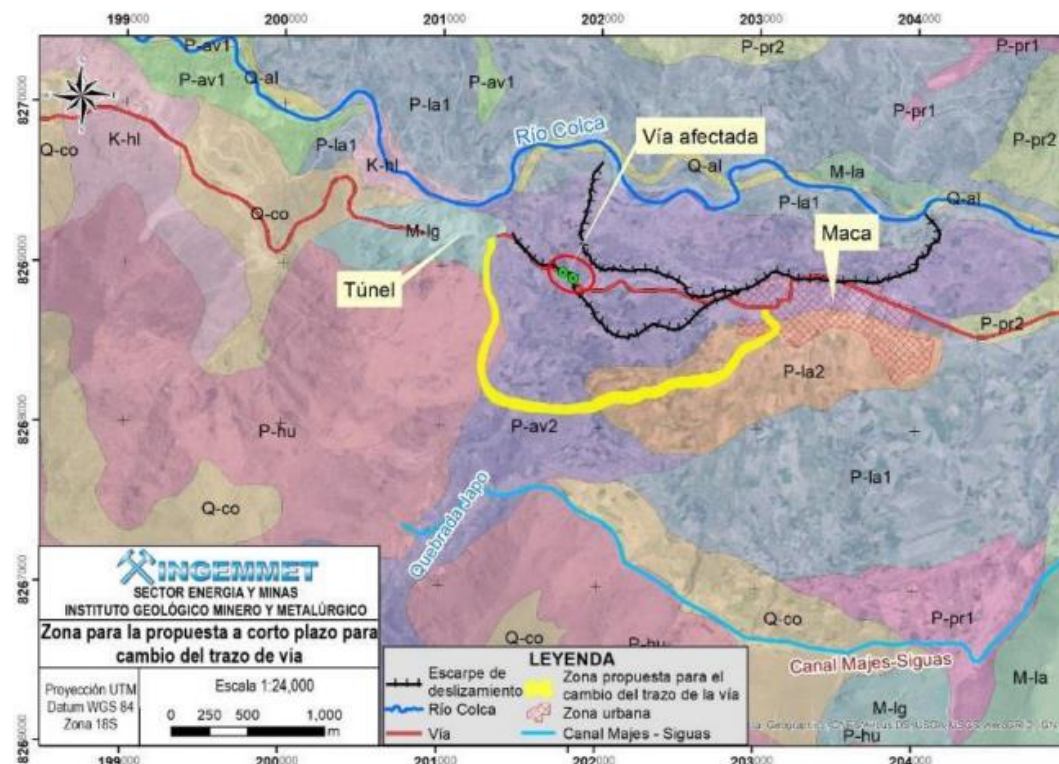
- A) Los datos de monitoreo geodésico-fotogrametrico del año 2021 y su correlación con precipitaciones, sismicidad e información anterior disponible, **CORROBORAN TÉCNICAMENTE** que el deslizamiento de Maca **CONTINUA ACTIVO**, por tanto, se reitera que la zona es **CRITICA** y de **MUY ALTO PELIGRO**.
- B) Los resultados geodésicos obtenidos del monitoreo GNSS, temporal y permanente, muestran una alta actividad del sector oeste del deslizamiento de Maca. Por ello, esta zona representa muy alto peligro para infraestructura, parcelas de cultivo y otras actividades locales; y peligro inminente, de producirse sismos superficiales con epicentros más cercanos (fallas activas) mayores a los registrados en años anteriores, así como precipitaciones pluviales intensas y/o prolongadas u otro detonante antrópico.
- C) El monitoreo geodésico (estación MADM) muestra que la zona donde se encuentra el pueblo de Maca tiene un comportamiento más estable, ya que no presenta desplazamientos significativos. Sin embargo, la zona poblada por sus características ingeniero – geológicas de los suelos de cimentación, es susceptible a asentamientos, intensificación de ondas sísmicas y a la licuefacción de suelos que pueden provocar el colapso de las viviendas y obras de infraestructura. Las capas de agua subterránea también pueden variar temporal o permanentemente, producto de las intensas precipitaciones pluviales en las cuencas altas e intermedias de las quebradas que drenan al río Colca en este sector. u otro detonante antrópico como exceso de riego o filtraciones del canal de riego. Dichos eventos provocarían un comportamiento lateral del deslizamiento, reflejado en agrietamientos hacia la población, la aceleración y retrogresión de la zona que actualmente tiene menos movimiento o la generación de nuevos escarpes al este del deslizamiento actual.
- D) La red de 11 hitos geodésicos de monitoreo temporal, para el periodo comprendido entre abril y noviembre de 2021 (~8 meses), presentaron valores de desplazamiento horizontal entre 1.27 a 4.96 metros y de desplazamiento vertical (hundimiento) desde -0.22 hasta -1.35 metros.
- E) La red de 3 estaciones de monitoreo permanente, para el periodo comprendido entre enero y diciembre de 2021 (12 meses), presentan valores de desplazamiento horizontal entre 0.66 y 7.53 metros y de desplazamiento vertical (hundimiento) desde -0.97 hasta -2.32 metros.
- F) Los datos de monitoreo mostraron desplazamiento en el deslizamiento de Maca, posterior al sismo del 8 de octubre del 2021. Teniendo en cuenta que sismos superficiales de magnitudes superiores a 5.3 Mw, han tenido efectos cosismicos destructivos en el Cañón del Colca, la permanente actividad sísmica se considera un factor desencadenante que puede incrementar la aceleración del deslizamiento de Maca y generar efectos impredecibles en zonas aledañas, de ocurrir sismos similares o de magnitudes mayores, con epicentros más cercanos.

## 8. RECOMENDACIONES

- A) Retomar el proceso de reasentamiento poblacional que se inició varios años atrás. Cabe resaltar que el INGEMMET, ya ha realizado una evaluación de peligros geológicos (Informe Técnico A6773), en el terreno de 400 hectáreas asignado en el 2015 (Pampas Bajas de Majes N°5) mediante ordenanza regional para el reasentamiento del Pueblo de Maca.
- B) Considerando la recurrente afectación de la carretera Chivay-Cabanaconde, se reitera las recomendaciones realizadas por el INGEMMET, en el Informe Técnico N° A7039 de abril del 2020:

*“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.*

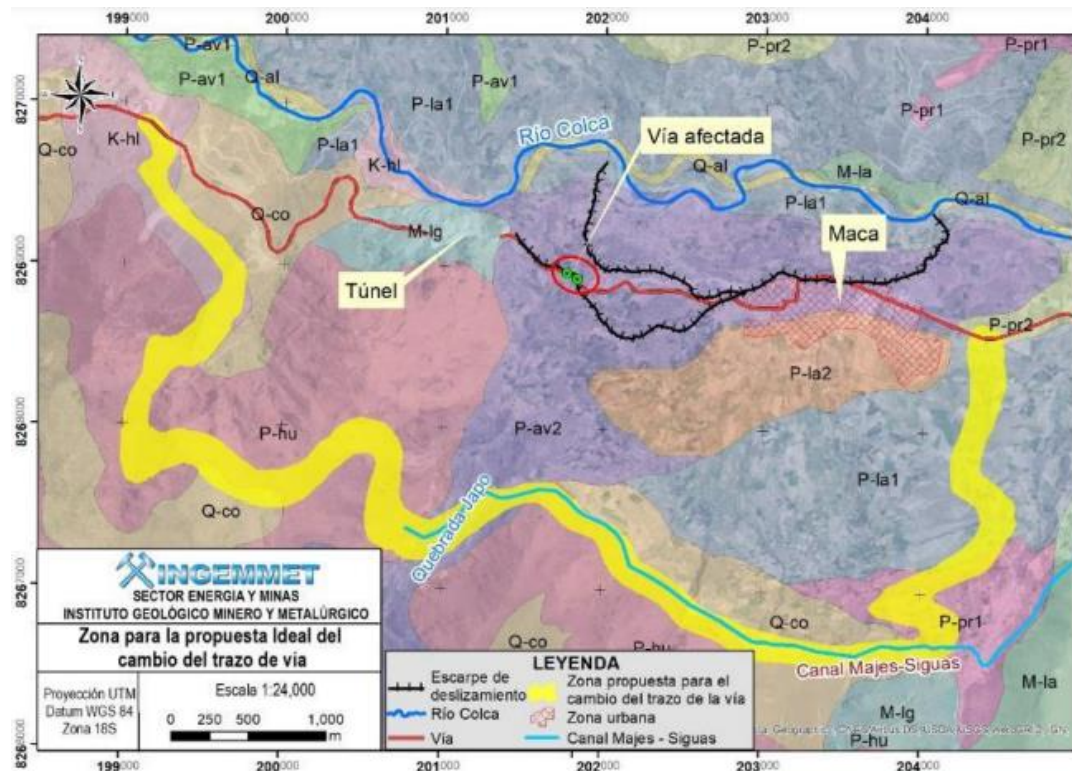
*a) La primera propuesta (figura 21) es a corto plazo, consiste en trazar la vía por la trocha carrozable al sur del pueblo de Maca, hasta la quebrada Japo, de allí seguir el trazo por la margen izquierda de dicha quebrada hasta empalmar con la carretera actual, antes del túnel de Peña Blanca. Un tramo 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.*



**Figura 21.** Muestra la propuesta a corto plazo para el trazo de la vía que une a los distritos de Maca y Pinchollo. Tomado de Vela & Miranda, 2020.

*b) La segunda propuesta (figura 22), 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. Los trazos finales de ambas propuestas deben ser realizados porexpertos en esta clase de trabajos (ingenieros civiles e ingenieros geólogos especialistas en carreteras).”



**Figura 22.** Muestra la propuesta ideal para el nuevo trazo de la vía que une a los distritos de Maca y Pinchollo. Tomado de Vela & Miranda, 2020.

- C) Colocar paneles informativos para explicar las causas que originaron el deslizamiento de Maca y por qué se mantiene activo. Este material se podría trabajar de manera conjunta entre INGEMMET y la Municipalidad de Maca.
- D) Declarar este sector como zona intangible.
- E) Drenar el agua acumulada en varios puntos del cuerpo del deslizamiento. Impermeabilizar y realizar el mantenimiento periódico de la totalidad de canales de riego. Refaccionar e impermeabilizar los sistemas de drenaje antiguos que poseen los andenes. Implementar sistemas de riego tecnificado de las áreas de cultivo, preferentemente por goteo y reforestar el cuerpo del deslizamiento y áreas adyacentes, con plantas nativas. Estas medidas de mitigación deben ser diseñadas y dirigidas por profesionales especialistas en el tema.

Debe considerarse que la mitigación propuesta está dirigida a disminuir el agua relacionada con el desplazamiento del cuerpo, retrogresión y avance hacia el río colca, sin embargo, la actividad del deslizamiento también puede ser acelerada, reactivada o detonada por precipitaciones pluviales intensas y/o prolongadas y sismos de gran magnitud, los cuales, no se pueden controlar.

- F) No construir infraestructura (carreteras, caminos de herradura, canales de riesgo u otra actividad antrópica) dentro de la zona activa del deslizamiento de Maca.
- G) Realizar un permanente monitoreo visual y reportar al INDECI, la aparición de nuevas grietas aledañas la zona activa. De registrar ocurrencias, evacuar inmediatamente a la población afectada.
- H) Realizar simulacros de evacuación ante sismos de gran magnitud.



ING. LUIS ALBÍNEZ BACA



Ing. LIONEL V. FIDEL SMOLL  
Director  
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico  
INGEMMET

## 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.

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.

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. <https://repositorio.ingemet.gob.pe/handle/20.500.12544/785>

Zavala B, Mariño J., Lacroix P., Taipe E., Tatard 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.

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.

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

Zavala B; Mariño J.; Lacroix P, Taipe E.; Tatard L.; Benavente C. & Otros (2012). Evaluación de la seguridad física del distrito de Maca - Estudios geológicos, geofísicos y monitoreo de movimientos en masa, INGEMMET - Dirección de Geología Ambiental y Riesgo geológico, IRD Francia e Instituto Geofísico del Perú, 2012 -159 p.

Quispesivana, L., Navarro, P. (2001) - Mapa geológico del cuadrángulo de Chivay, escala 1/100,000. Actualización. Carta Geológica Nacional, INGEMMET, versión digital. O

Klinck, B., Ellison, R, Hawkins, M., Palácios, O. De La Cruz, J. & Palacios, 1985. Geología de la Cordillera Occidental y Altiplano del Oeste del Lago Titicaca-Sur del Perú. (Proyecto integrado del Sur). Boletín 42, Serie A: Carta Geológica Nacional, 257 p., 13 mapas. ESTE

Bontemps, N., Lacroix, P., Doin, M.-P., 2018. Inversion of deformation fields time-series from optical images, and application to the long term kinematics of slow-moving landslides in Peru. Remote Sensing of Environment 210, 144–158.



Fidel Smoll, L., Zavala, B., 1994. Estudio geodinámico de la cuenca del río Camana-Majes (Colca): Departamento de Arequipa. Ingemmet Instituto Geológico Minero y Metalúrgico-.

Figuroa, J. (2019). Arequipa and the Colca valley tourism and colonial heritage in the southern Andes. *Journal of Tourism and Heritage Research*, vol. 2, nº 3, pp. 302-321.

Vela J., Miranda R. (2020) Evaluación de peligros geológicos en la carretera Maca-Cabanaconde, afectada por el deslizamiento ocurrido el 22 de marzo. Informe Técnico N° A7039, Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, INGEMMET. 30 p. <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/2615>

Valderrama, P., Araujo, G. (2016). Peligros geológicos en Maca. Informe Técnico N° A6736, Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, INGEMMET. 11 p. <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/995>

Taipe, E., Araujo, G. (2017). Evaluación de peligros geológicos de la zona de reubicación de Maca "PB5-Majes". Informe Técnico N° A6773, Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, INGEMMET. 16p. <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/823>

Aguiar, R., Taipe, E. (2020). Ruptura y afectación de la carretera Maca – Cabanaconde. Opinión Técnica N° 005-2020, Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, INGEMMET. 11p. <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/2996>

Benavente, C., Delgado, G., García, B., Aguirre, E. & Audin, L. (2017) - Neotectónica, evolución del relieve y peligro sísmico en la región Arequipa. INGEMMET, Boletín, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica 64, 370 p.,1 mapa. <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/1223>

Sébrier M., Lavenu A., Fornari M. Soulas J-P. (1988). Tectonics and uplift in Central Andes (Peru, Bolivia and Northern Chile) from Eocene to present. *Geodynamique* 3. 1988:85-106.

Mering, C., Huamán, R., Chorowicz, B. y Guillaude, R. (1996). New data on the geodynamics of southern Perú from computerized analysis of SPOT and SAR ERS-1 images: *Tecton.*, 259, 153-169.

Huamán-Rodrigo D., Chorowicz J., Deffontaines B., Guillaude R., Rudant J-P., 1993. Cadre structural et risques géologiques étudiés à l'aide de l'imagerie spatiale: la région du Colca (Andes du sud Pérou). *Bull. Soc. Géol. France*. T. 164, N°6, pp. 807-818.

Delgado, G. et al (2016). Evaluación geológica post-sismo del 14 de agosto del 2016: Reactivación de la falla Yanque, Arequipa.

Cruden DM, Varnes DJ (1996) Landslide types and processes. In: Turner AK, Schuster RL (eds) *Landslides investigation and mitigation*. Transportation research board, US National Research Council. Special Report 247, Washington, DC, Chapter 3, pp. 36–75