

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7508

MONITOREO DEL DESLIZAMIENTO DE PUNILLO 2018 - 2023

Departamento: Arequipa
Provincia: Arequipa
Distrito: Vitor



MAYO
2024

MONITOREO DEL DESLIZAMIENTO DE PUNILLO 2018 - 2023

(Distrito Vitor, provincia y departamento Arequipa)

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

Equipo de investigación:

Luis Albinez

Dulio Gómez

Joseph Huanca

Angella Zegarra

MAYO 2024

Citación:

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2024). Monitoreo del deslizamiento de Punillo 2018 - 2023. Distritos La Joya y Vitor, provincia y departamento Arequipa. Lima: INGEMMET, Informe Técnico A7508, 20 p.

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN.....	4
1.1 Aspectos generales.....	4
1.1.1 ANTECEDENTES.....	4
1.1.2 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD.....	4
1.1.3 ASPECTOS GENERALES.....	5
1.1.4 MOVIMIENTOS EN MASA Y OTROS PELIGROS GEOLOGICOS.....	6
2 MONITOREO DEL DESLIZAMIENTO DE PUNILLO.....	8
2.1 Obtención y análisis de datos.....	8
2.1.1 GEODESIA.....	8
2.1.2 INSUMOS FOTOGRAFÍAS.....	¡Error! Marcador no definido.
2.1.3 FOTOINTERPRETACIÓN.....	13
2.1.4 COMPARACION DE PERFILES TOPOGRÁFICOS.....	14
2.2 Interpretaciones.....	14
2.2.1 DESPLAZAMIENTOS DEL CUERPO.....	14
2.2.1 AVANCE DE LA CORONA.....	15
3. CONCLUSIONES.....	16
4. RECOMENDACIONES.....	18
5. BIBLIOGRAFÍA.....	20

1 INTRODUCCIÓN

En el valle de Vítor se observan grandes deslizamientos activos ubicados en su margen izquierda, uno de los cuales es el deslizamiento de Punillo, activado en los años noventa por el riego de las pampas y con reactivaciones importantes desde el 2016 (INGEMMET, 2020). Durante el período comprendido entre agosto de 2018 y junio de 2023, los trabajos de monitoreo registraron movimientos en masa y desplazamientos retrogresivos. Estos eventos de aceleración afectaron principalmente terrenos de cultivo de la Irrigación La Cano, situados en la parte posterior de la escarpa principal, así como a varios sectores del valle debido al avance del cuerpo del deslizamiento.

A raíz de las emergencias generadas por la actividad del deslizamiento de Punillo y por ser una zona con eventos geológicos activos de interés científico, el INGEMMET, como ente técnico-científico especializado, mediante su Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, realiza su monitoreo temporal y estudios, generando informes sobre su evolución.

El presente informe tiene por finalidad dar a conocer los resultados del monitoreo y el estado de actividad del deslizamiento de Punillo, a través de la información obtenida durante el periodo 2018 - 2023.

1.1 Aspectos generales

1.1.1 TRABAJOS ANTERIORES

Sobre el monitoreo que el INGEMMET viene realizando en el deslizamiento de Punillo se puede citar:

- a) Reporte de monitoreo del deslizamiento de Punillo a diciembre 2022. Distritos La Joya y Vítor, provincia Arequipa, departamento Arequipa (INGEMMET, 2022), en respuesta al Gobierno Regional de Arequipa mediante Oficio N°859-2022-GRA-ORGRDDN (VV77999). El trabajo describe el monitoreo durante el 2022 y el evento de aceleración ocurrido desde mediados de septiembre de ese año, que generó estrangulamientos del cauce entre los sectores de la comisión de usuarios Valcarcel Desamparados y Huachipa, a la altura de la Irrigación La Cano del distrito de La Joya. Se registraron desplazamientos horizontales de entre 14.2 m y 49.9 m.
- b) Evolución y monitoreo fotogramétrico del deslizamiento de Punillo período 2020, Región Arequipa, Provincia Arequipa, Distritos de La Joya, Vítor (INGEMMET, 2020), en respuesta a la solicitud de la comisión de usuarios de La Cano, explica la dinámica activa del valle Vítor y los resultados de monitoreo fotogramétrico y GPS del deslizamiento de Punillo, en un periodo de 1 año y 5 meses, de 22 de agosto de 2018 al 24 de febrero de 2020.

1.1.2 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

El deslizamiento de Punillo se encuentra en el distrito de Vítor, provincia y departamento de Arequipa, en la margen izquierda del río Vítor (cuadro 1, figura 1).

Cuadro 1. Coordenadas del deslizamiento, zona 1.

COORDENADA CENTRAL				
N°	UTM - WGS84 - Zona 19S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
A	185043	8170840	16°31'25"S	71°57'02"O

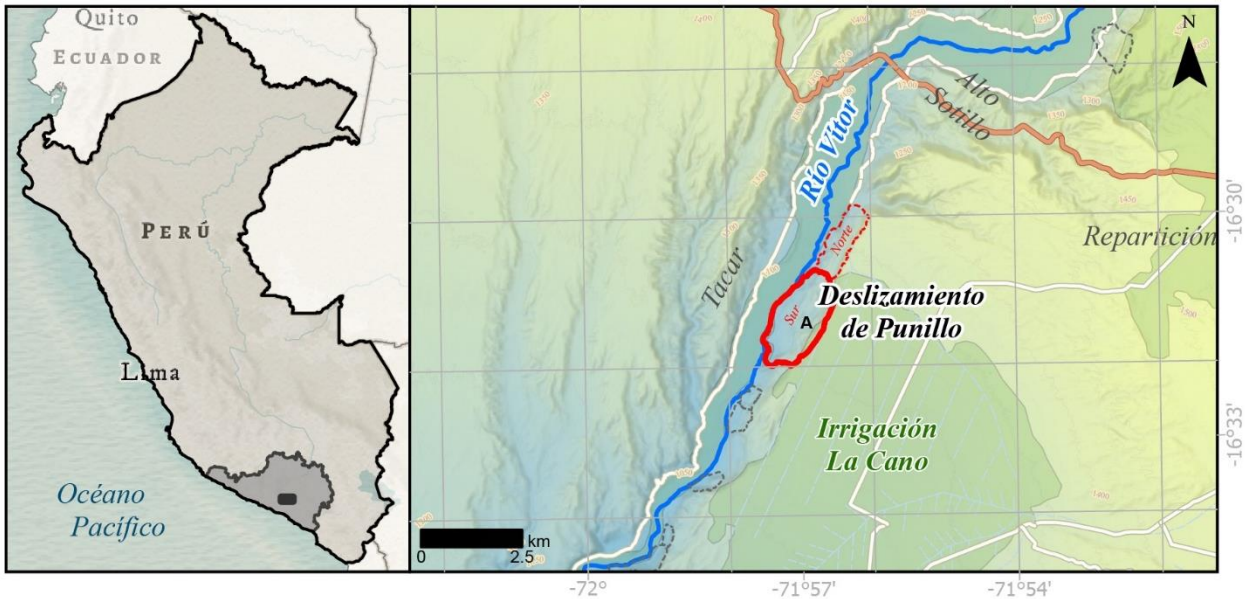


Figura 1. Mapa de ubicación del deslizamiento de Punillo (delimitado por las líneas rojas).

1.1.3 ASPECTOS GENERALES

1.1.3.1 Aspectos geológicos.

Las hojas 34s 1:100,000 (García & Landa 1968, actualizado Valencia & Chacaltana 2000) y 34-s-IV 1:50,000 (GEOCATMIN) “Cuadrángulo de La Joya”, muestran en los flancos del valle del río Vítor, rocas del Paleógeno, Neógeno y Cuaternario. En la zona deslizada de Punillo e inmediaciones, pueden encontrarse limolitas y areniscas rojas intercaladas con tobas lapilli pobremente seleccionadas de la Formación Sotillo; areniscas de grano medio hasta conglomerádicas con algunas capas de arcilla, conglomerados de cantos chicos y bancos de tufo compacto de grano fino de la Formación Moquegua (Guizado, 1968); conglomerados con matriz areno tufácea de grano grueso, moderadamente consolidados de clastos gruesos más o menos redondeados de intrusivos, cuarcitas y volcánicos retrabajados de la Formación Millo (Vargas, 1970). En de la planicie desértica, afloran aluviales compuestos por gravas, arenas en matriz limoarenosa, arenas y material residual no consolidado. El piso de valle está compuesto por terrazas aluviales, usados como terrenos agrícolas cultivables y viviendas. Los depósitos coluviales están dispuestos al pie de las laderas y representan el aporte de movimientos en masa antiguos y recientes (Araujo et al. 2018).

1.1.3.2 Aspectos geomorfológicos.

Geomorfológicamente en la zona se observan las unidades de “Altiplanicie Sedimentaria”, “Colinas y Lomadas en roca Sedimentarias” y Colinas y Lomadas disectada en roca Sedimentarias”, “Vertiente con depósito de deslizamiento” y “Terraza Aluvial” (GEOCATMIN capa “Geomorfología”). La altiplanicie constituye un relieve predominantemente llano, asimismo, presenta ligera inclinación relacionadas con la disposición de las secuencias sedimentarias. Las colinas y lomadas son relieves suaves y de pendiente moderada (5°-15° y 15°-25°) y de desniveles de hasta 300 m. Exhibe surcos de erosión y sistema dendrítico de drenaje, además de cumbres subredondeadas producto de la erosión. Las colinas y lomadas disectadas son relieves notablemente disectados por la erosión y ligeramente cubiertos por depósitos eólicos en los fondos de valles, laderas de pendiente suave a moderada. Las vertientes corresponden a acumulaciones de ladera originadas por procesos de movimientos en masa, prehistóricos, antiguos y recientes, de corto a mediano recorrido. Las terrazas

son porciones de terreno plano dispuestas a los costados de la llanura de inundación del río, disectadas como consecuencia de la profundización del valle (Luque et al., 2021).

1.1.4 MOVIMIENTOS EN MASA Y OTROS PELIGROS GEOLOGICOS

1.1.4.1 Dinámica del valle de Vítor (INGEMMET 2020)

A lo largo del valle de Vítor se encuentran deslizamientos activos de kilómetros de extensión (Pie de Cuesta y Punillo), ubicados en su margen izquierda. También se observan flujos de detritos y conos aluviales principalmente en el flanco derecho. Además, ambos flancos del valle presentan erosión de laderas.

La comparación de áreas de susceptibilidad alta a muy alta muestra la disposición de características del terreno, resultados que corroboran la ocurrencia en el mapa de Movimientos en Masa (Araujo et al. 2018). Los sectores de Pie de Cuesta y Punillo, presentan alta a muy alta susceptibilidad ante la ocurrencia de movimientos en masa.

1.1.4.2 Deslizamiento de Punillo (INGEMMET, 2020; INGEMMET, 2022)

Está ubicado en el flanco izquierdo del valle de Vítor, sobre una zona desértica, pero con gran aporte hídrico sobre sus capas altamente permeables de conglomerados poco consolidados visibles en el corte de valle. Una de las causas principales del deslizamiento de Punillo es la infiltración hídrica generada por el riego de terrenos agrícolas proveniente de la irrigación La Cano (INGEMMET, 2020). La actividad del deslizamiento de Punillo inicio en los años 90s y tuvo 3 reactivaciones recientes iniciadas y reportadas entre el 2016 y 2022.

Entre noviembre del 2018 y febrero del 2020 se observó notable movimiento de su masa y desplazamientos retrogresivos de más de 100 m de terrenos de cultivo ubicados detrás de la escarpa principal (figura 2). En ese periodo se identificaron agrietamientos de más de 40 m de extensión a lo largo del límite del corte de valle de Vítor (paralelos a la escarpa principal del deslizamiento de Punillo) (INGEMMET, 2020).

El ultimo evento retrogresivo importante fue descrito en INGEMMET 2022. Acorde a testimonios de pobladores locales e informes de la emergencia, la aceleración del deslizamiento inició a mediados de setiembre del 2023. Según datos del ANA, la masa generó estrangulamientos del río Vítor a finales de setiembre e inicios de octubre, esta actividad del deslizamiento también fue observada durante los trabajos de campo realizados INGEMMET. El evento retrogresivo afectó un área aproximada de ~ 0.08 km², a su vez, la masa afecto un área aproximada de ~ 0.1 km².

En relación a la morfometría (figura 6), a junio del 2023 el deslizamiento de Punillo mostró un área de ~ 2.5 km², desnivel de corona a punta de ~ 230 m y longitud total en su parte central de ~ 1306 m. Sobre la tipología, cabe mencionar que las medidas de monitoreo publicadas anteriormente y los datos que serán expuestos en los siguientes apartados del presente informe, muestran un comportamiento principalmente traslacional de la masa.

Debe mencionarse además que el deslizamiento de Punillo también involucra un sector no tan activo denominado Punillo Norte (figura 2), que ha mostrado actividad entre 1978 y 2018 (Lacroix et al. 2020). La dinámica reciente de Punillo Sur podría conllevar procesos de ensanchamiento lateral hacia ese sector.

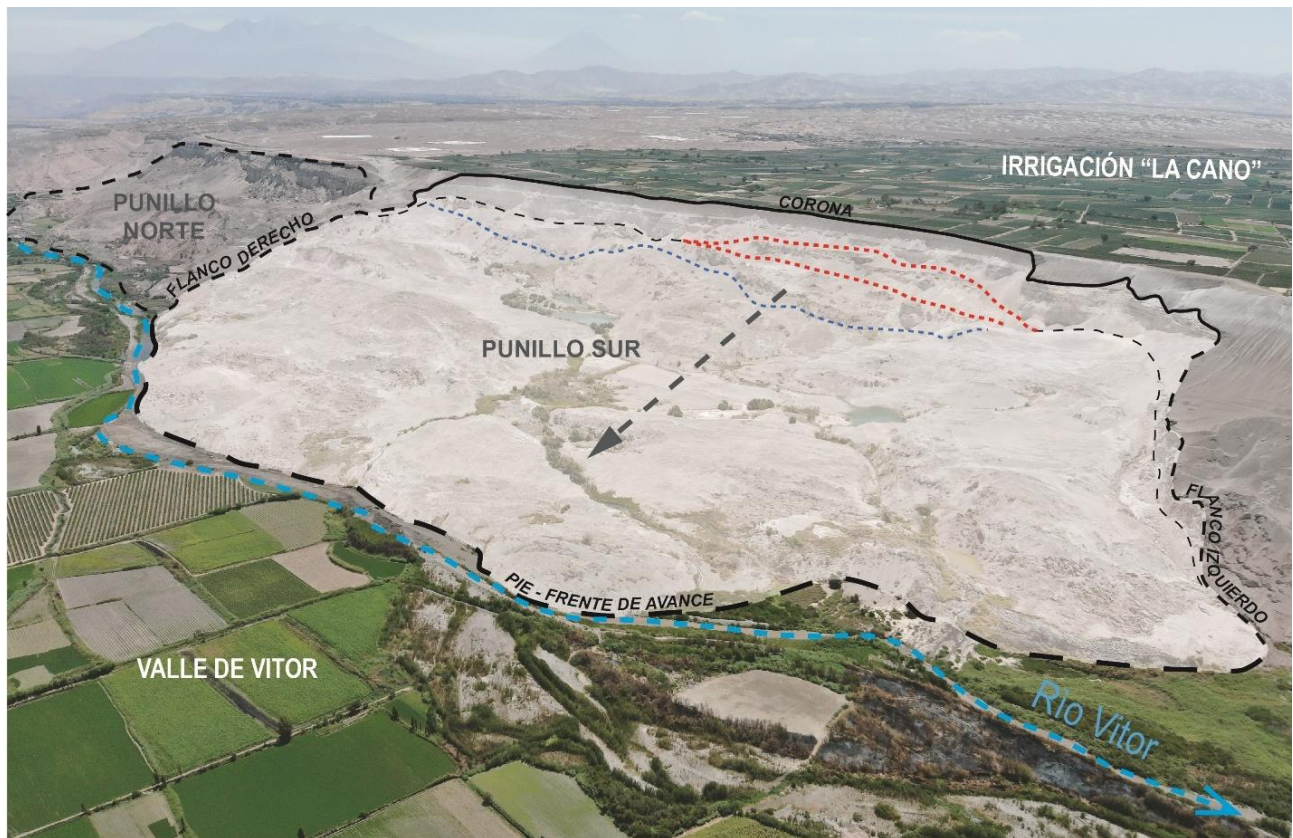


Figura 2. Vista aérea del deslizamiento de Punillo tomada con dron, modificada de Ingemmet (2022). La línea negra continua muestra la corona del deslizamiento de Punillo Sur. Las líneas entrecortadas muestran los límites del cuerpo. Las líneas rojas muestran el límite interpretado del último paquete retrogresivo (evento 2022) y las líneas entrecortadas azules muestran los paquetes inferidos de los eventos recientes anteriores entre el 2016 y 2018). Nótese que los paquetes consecuentes de la retrogradación terminan conservándose y hundiéndose detrás del cuerpo predecesor. En el lado izquierdo se observa el deslizamiento de Punillo sector Norte.

2 MONITOREO DEL DESLIZAMIENTO DE PUNILLO

Para este reporte de monitoreo se realizaron mediciones geodésicas y sobrevuelos con dron, a fin de obtener insumos mediante el procesamiento fotogramétrico. Utilizando los datos procesados, se aplicaron técnicas geodésicas, fotointerpretación y comparación de perfiles topográficos. Los resultados de las técnicas aplicadas permitieron describir e interpretar la dinámica del deslizamiento de Punillo durante el periodo comprendido entre agosto del 2018 y junio del 2023.

2.1 Obtención y análisis de datos

2.1.1 GEODESIA

La red de monitoreo geodésico del deslizamiento de Punillo del INGEMMET (figura 4), fue implementada en el 2018, mediante la instalación de tres puntos de control (hitos para monitoreo GNSS). En agosto de 2018 y en febrero del 2022, se implementaron dos puntos adicionales (INGEMMET, 2022).

Entre agosto del 2018 y junio de 2023, se realizaron nueve campañas de medición (tabla 1), utilizando receptores GNSS diferenciales de doble frecuencia (Trimble R6-2, R7, R10, R-12) aplicando la técnica de posicionamiento RTK (cinemático en tiempo real), la cual permitió una obtención de datos con precisiones centimétricas. El cálculo de desplazamientos realizado a partir de la diferencia de las coordenadas medidas durante cada campaña, muestra movimientos horizontales y verticales en el cuerpo del deslizamiento por periodo y en total (tabla 1).

2.1.1.1 Cinemática

El monitoreo GNSS del deslizamiento de Punillo 2018 – 2023 (cuadro 1), permitió registrar momentos poco movimiento y de aceleración.

Para el primer periodo estudiado del 13/08/2018 al 16/11/2018 (~3 meses) (tabla 1; figuras 4 y 5), se calcularon desplazamientos horizontales máximos de hasta 0.13 m hacia el oeste en la estación PU02. La estación PU03 mostró desplazamientos horizontales similares. En relación a los desplazamientos verticales, las tres estaciones mostraron desplazamientos mínimos de entre ~ -0,01 a ~ 0,02 m.

Para el segundo periodo que comprende del 16/11/2018 al 25/02/2020 (~15 meses) (tabla 1; figuras 4 y 5), se calcularon desplazamientos horizontales máximos de hasta ~ 68 m hacia el oeste en la estación PU03. Las estaciones PU01 y PU02 también mostraron desplazamientos horizontales importantes ~ 16 y ~ 48 m respectivamente. En relación a los desplazamientos verticales, las tres estaciones mostraron movimientos negativos de entre ~ -1.1 a ~ -2.8 m. Los datos de este intervalo de tiempo estarían mostrando los desplazamientos acumulados a un evento de aceleración.

Para el tercer periodo estudiado que comprende del 25/02/2020 al 29/05/2021 (~15 meses) (tabla 1; figuras 4 y 5), se calcularon desplazamientos horizontales máximos de hasta ~ 1.4 m hacia el oeste en la estación PU03. Las estaciones PU01 y PU02 mostraron desplazamientos horizontales de entre ~ 0.9 y ~ 1 m respectivamente. En relación a los desplazamientos verticales, las estaciones mostraron desplazamientos de entre ~ -0,6 a ~ 0,7 m.

Para el cuarto periodo estudiado del 29/05/2021 al 15/10/2021 (~5 meses) (tabla 1; figuras 4 y 5), se calcularon desplazamientos horizontales máximos de hasta ~ 1.5 m hacia el oeste en la estación PU03. Las estaciones PU01 y PU02 mostraron desplazamientos horizontales similares de

entre ~ 1.2 m y ~ 1.3 m respectivamente. En relación a los desplazamientos verticales, las estaciones mostraron hundimientos de entre ~ -1 m a ~ -1.3 m.

Para el quinto, del 15/10/2021 al 26/02/2022 (~4 meses) (tabla 1; figuras 4 y 5), se calcularon desplazamientos horizontales máximos de entre 0.06 a 0.08 hacia el oeste en las 3 estaciones. En relación a los desplazamientos verticales, las tres estaciones mostraron desplazamientos mínimos de entre -0,01 a -0,03 m. Este intervalo fue el de menores movimientos registrados a esa fecha.

Para el sexto periodo estudiado del 26/02/2022 al 20/08/2022 (~6 meses) (tabla 1; figuras 4 y 5), se calcularon desplazamientos horizontales máximos de hasta ~ 2.1 m hacia el oeste en la estación PU05. Las estaciones PU02 y PU03 mostraron desplazamientos horizontales de entre ~ 1.9 y ~ 1.6 m respectivamente, similares a las otras dos estaciones que también presentaron movimientos. En relación a los desplazamientos verticales, las estaciones mostraron desplazamientos de entre 0,04 a - 0,17 m. Mencionar que este periodo podría estar englobando el inicio de la aceleración registrada posteriormente.

Para el séptimo periodo del 20/08/2022 al 17/11/2022 (~3 meses) (tabla 1; figuras 4 y 5), se calcularon desplazamientos horizontales máximos de hasta ~ 50 m hacia el oeste en la estación PU05. Las estaciones PU02 y PU03 también mostraron desplazamientos horizontales importantes ~ 35 y ~ 43 m respectivamente. En relación a los desplazamientos verticales, las cinco estaciones mostraron movimientos negativos de entre ~ -0.4 a ~ -3.7 m. Los datos de este intervalo de tiempo estarían mostrando los desplazamientos del segundo evento de aceleración.

Para el octavo periodo estudiado del 17/11/2022 al 30/03/2023 (~4 meses) (tabla 1; figuras 4 y 5), se calcularon desplazamientos horizontales máximos de hasta ~ 16 m hacia el oeste en la estación PU05. Las estaciones PU02 y PU03 también mostraron desplazamientos horizontales importantes ~ 13 y ~ 15 m respectivamente. En relación a los desplazamientos verticales, las cinco estaciones mostraron movimientos negativos de entre -0.07 a -1.24 m. Los datos de este intervalo de tiempo corresponderían a la etapa final del segundo evento de aceleración.

Para el último periodo estudiado del 30/03/2023 al 12/06/2023 (~2 meses) (tabla 1; figuras 4 y 5), se calcularon desplazamientos horizontales máximos de entre 0.01 a 0.04 hacia el oeste en las 5 estaciones. En relación a los desplazamientos verticales, las tres estaciones mostraron desplazamientos mínimos de entre -0,01 a -0,02 m. Este intervalo muestra menores movimientos posteriores al segundo evento de reactivación.

En relación al periodo total, 13/08/2018 al 12/06/2023 (~ 58 meses) (tabla 1; figuras 4 y 5), el punto PU03 sirvió para calcular el mayor desplazamiento horizontal de ~ 128 m hacia el oeste y la estación PU01 el mayor desplazamiento vertical de ~ -5 m.

Del total de desplazamientos horizontales registrados desde la implementación del monitoreo, se estima una velocidad máxima general de hasta ~ 2 m/mes, equivalente a “lenta” según la clasificación de Cruden y Varnes (1996). Sin embargo, al haber registrado datos durante varios intervalos de tiempo (periodos), se pueden calcular velocidades para los periodos de “calma” y aceleración (figura 3). Con estos datos se estiman velocidades de entre ~ 0.02 m/mes a ~ 0.07 m/mes para los periodos de calma y de entre ~ 4.5 m/mes a ~ 9 m/mes para los periodos de aceleración. Cabe mencionar que estas velocidades podrían ser recalculadas utilizando datos continuos obtenidos con estaciones permanentes o aplicando otras técnicas de monitoreo como la teledetección.

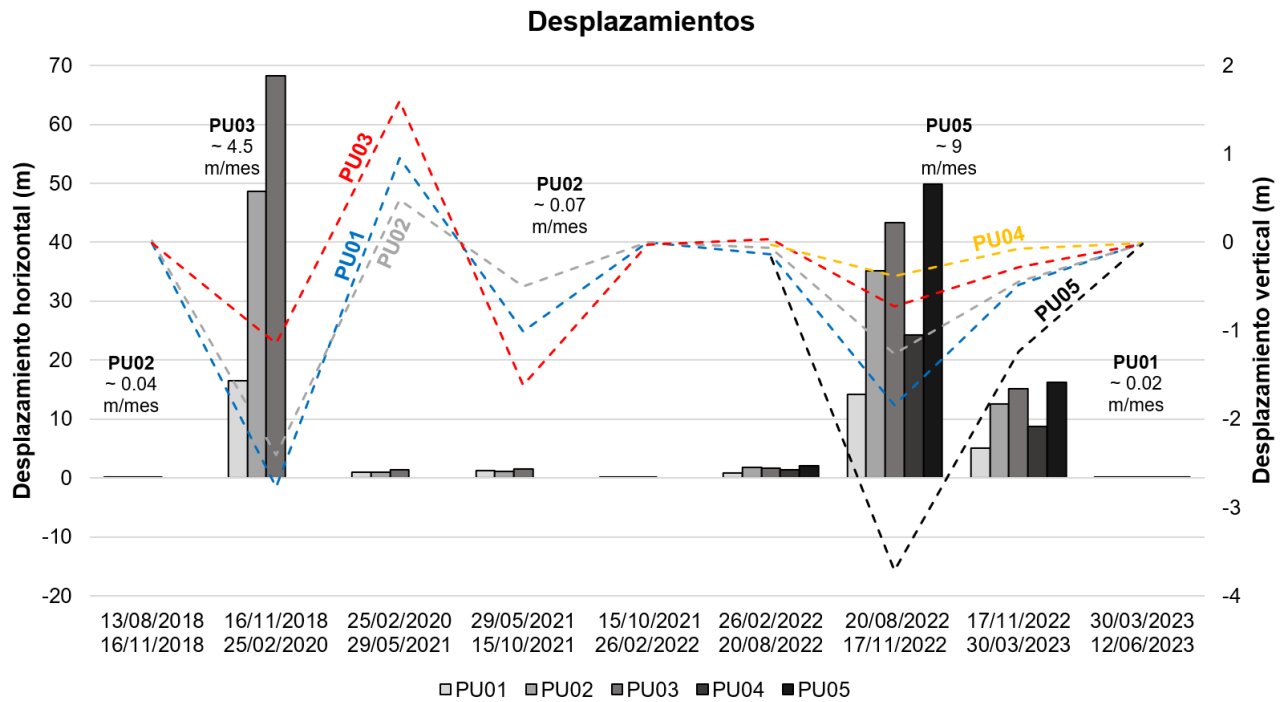


Figura 3. Serie temporal de magnitud de desplazamientos horizontales y valores de desplazamiento vertical. Se observan dos momentos con mayores valores de desplazamientos y tres momentos de desplazamientos mínimos en las estaciones instaladas en el cuerpo del deslizamiento desde el 2018. Los puntos PU04 y PU05 se implementaron a partir del año 2022.

Cuadro 2. Desplazamientos del deslizamiento de Punillo entre el 2018 y 2023, calculados en base a datos de la red geodésica temporal del INGEMMET.

Puntos de control GNSS	Primer periodo 13/08/2018 al 16/11/2018 (~3 meses)				Segundo periodo 16/11/2018 al 25/02/2020 (~15 meses)				Tercer periodo 25/02/2020 al 29/05/2021 (~15 meses)				Cuarto periodo 29/05/2021 al 15/10/2021 (~5 meses)			
	$\Delta E(x)$	$\Delta N(y)$	ΔZ	$\Delta E-N$ xy	$\Delta E(x)$	$\Delta N(y)$	ΔZ	$\Delta E-N$ xy	$\Delta E(x)$	$\Delta N(y)$	ΔZ	$\Delta E-N$ xy	$\Delta E(x)$	$\Delta N(y)$	ΔZ	$\Delta E-N$ xy
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
PU01	-0.05	0.01	-0.01	0.05	-15.13	6.46	-2.77	16.45	0.68	-0.62	0.95	0.92	-0.98	0.79	-1.01	1.26
PU02	-0.13	0.01	0.02	0.13	-45.73	16.41	-2.41	48.59	0.96	0.16	0.48	0.98	-1.15	-0.10	-0.50	1.16
PU03	-0.11	0.01	-0.01	0.11	-67.41	10.76	-1.14	68.26	1.18	0.67	1.60	1.36	-1.31	-0.65	-1.62	1.46
PU04																
PU05																
dmax	-0.05	0.01	0.02	0.13	-15.13	16.41	-1.14	68.26	1.18	0.67	1.60	1.36	-0.98	0.79	-0.50	1.46
dprom	-0.10	0.01	0.00	0.10	-42.76	11.21	-2.11	44.43	0.94	0.07	1.01	1.08	-1.15	0.01	-1.04	1.29
dmin	-0.13	0.01	-0.01	0.05	-67.41	6.46	-2.77	16.45	0.68	-0.62	0.48	0.92	-1.31	-0.65	-1.62	1.16

Puntos de control GNSS	Quinto periodo 15/10/2021 al 26/02/2022 (~4 meses)				Sexto periodo 26/02/2022 al 20/08/2022 (~6 meses)				Séptimo periodo 20/08/2022 al 17/11/2022 (~3 meses)				Octavo periodo 17/11/2022 al 30/03/2023 (~4 meses)			
	$\Delta E(x)$	$\Delta N(y)$	ΔZ	$\Delta E-N$ xy	$\Delta E(x)$	$\Delta N(y)$	ΔZ	$\Delta E-N$ xy	$\Delta E(x)$	$\Delta N(y)$	ΔZ	$\Delta E-N$ xy	$\Delta E(x)$	$\Delta N(y)$	ΔZ	$\Delta E-N$ xy
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
PU01	-0.06	0.04	0.00	0.08	-0.79	0.37	-0.14	0.88	-12.94	5.77	-1.84	14.16	-4.66	2.15	-0.48	5.14
PU02	-0.06	0.02	0.00	0.06	-1.74	0.65	-0.06	1.86	-33.11	12.02	-1.26	35.22	-11.76	4.33	-0.45	12.53
PU03	-0.06	-0.02	-0.03	0.06	-1.58	0.29	0.04	1.61	-42.65	7.30	-0.73	43.28	-14.89	2.62	-0.29	15.12
PU04					-1.29	0.36	-0.03	1.34	-23.40	6.24	-0.38	24.22	-8.43	2.30	-0.07	8.74
PU05					-2.05	0.40	-0.17	2.09	-48.85	10.18	-3.71	49.90	-15.81	3.54	-1.24	16.20
dmax	-0.06	0.04	0.00	0.08	-0.79	0.65	0.04	2.09	-12.94	12.02	-0.38	49.90	-4.66	4.33	-0.07	16.20
dprom	-0.06	0.02	-0.01	0.07	-1.49	0.41	-0.07	1.55	-32.19	8.30	-1.58	33.36	-11.11	2.99	-0.50	11.54
dmin	-0.06	-0.02	-0.03	0.06	-2.05	0.29	-0.17	0.88	-48.85	5.77	-3.71	14.16	-15.81	2.15	-1.24	5.14

Puntos de control GNSS	Noveno periodo 30/03/2023 al 12/06/2023 (~2 meses)				Periodo total 13/08/2018 al 12/06/2023 (~58 meses)			
	$\Delta E(x)$	$\Delta N(y)$	ΔZ	$\Delta E-N$ xy	$\Delta E(x)$	$\Delta N(y)$	ΔZ	$\Delta E-N$ xy
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
PU01	-0.03	0.03	-0.01	0.04	-33.98	15.01	-5.32	37.15
PU02	-0.01	0.01	-0.02	0.01	-92.73	33.50	-4.19	98.59
PU03	-0.02	0.00	-0.02	0.02	-126.85	20.99	-2.19	128.58
PU04	-0.01	-0.01	-0.01	0.01				
PU05	-0.01	0.01	-0.02	0.02				
dmax	-0.01	0.03	-0.01	0.04	-33.98	33.50	-2.19	128.58
dprom	-0.01	0.01	-0.02	0.02	-84.52	23.17	-3.90	88.11
dmin	-0.03	-0.01	-0.02	0.01	-126.85	15.01	-5.32	37.15

Nota: $\Delta E(x)$ =desplazamiento en el eje "x", hacia el este o longitud; $\Delta N(y)$ =desplazamiento en el eje "y", hacia el norte o latitud; ΔZ =desplazamiento en el eje "z" o altura; $\Delta E-N$ |xy|=desplazamiento horizontal "xy", en plano, valor absoluto.

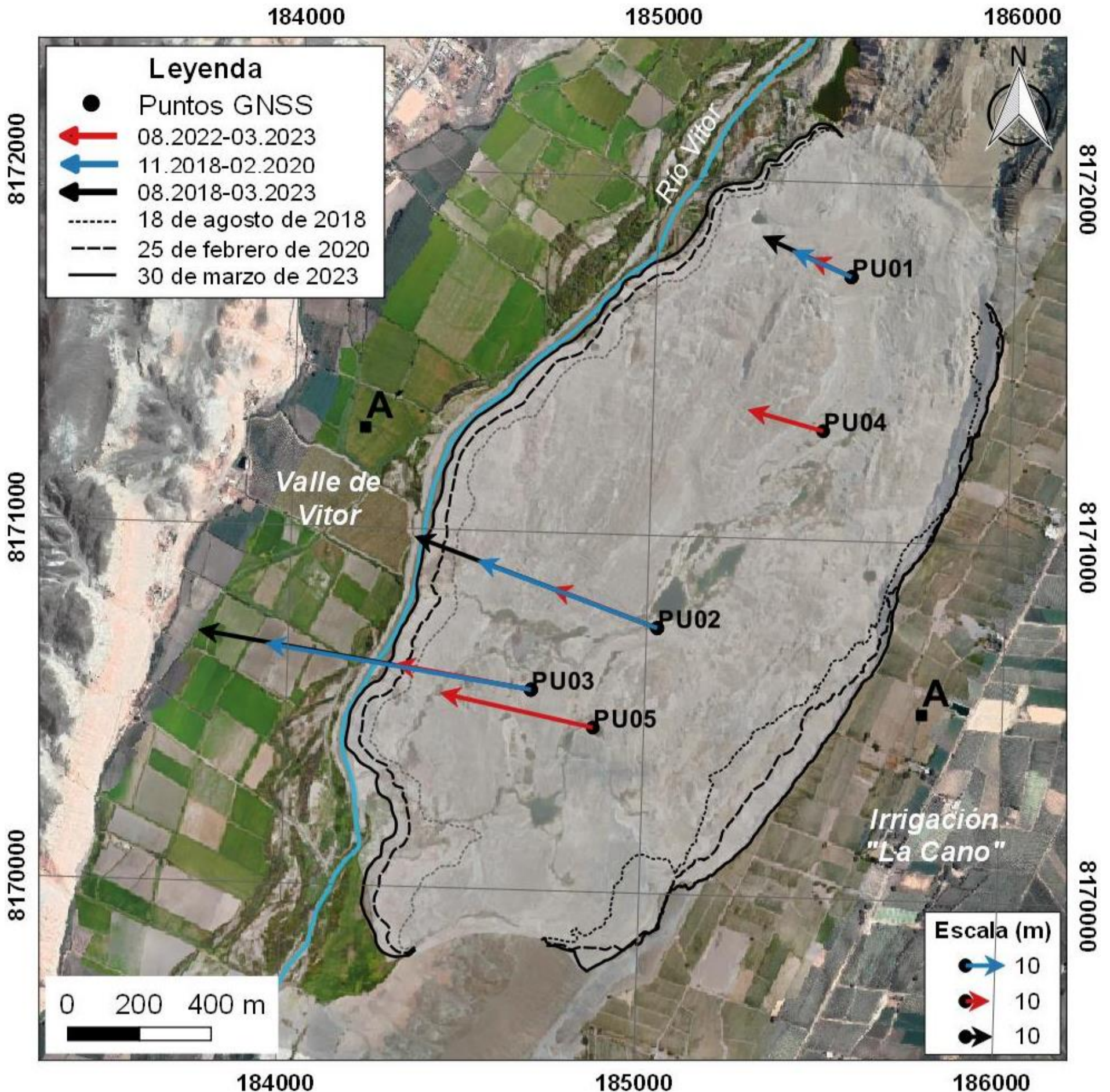


Figura 4. Mapa de vectores de desplazamiento horizontal de los puntos de control GNSS instalados en el deslizamiento de Punillo. La ortofoto base corresponde a marzo del 2023 y fue generada con fotogrametría en base a fotos aéreas. Se observa el desplazamiento acumulado (vector negro) de dirección preferente oeste. Los otros vectores corresponden a los momentos de aceleración de los dos eventos registrados. La escala muestra el tamaño del desplazamiento en proporción, se encuentra exagerada para mejor visualización. Las líneas negras continuas y entrecortadas corresponden a las coronas fotointerpretadas luego de los eventos de aceleración (retrogradación del escarpe y progresión de la masa).

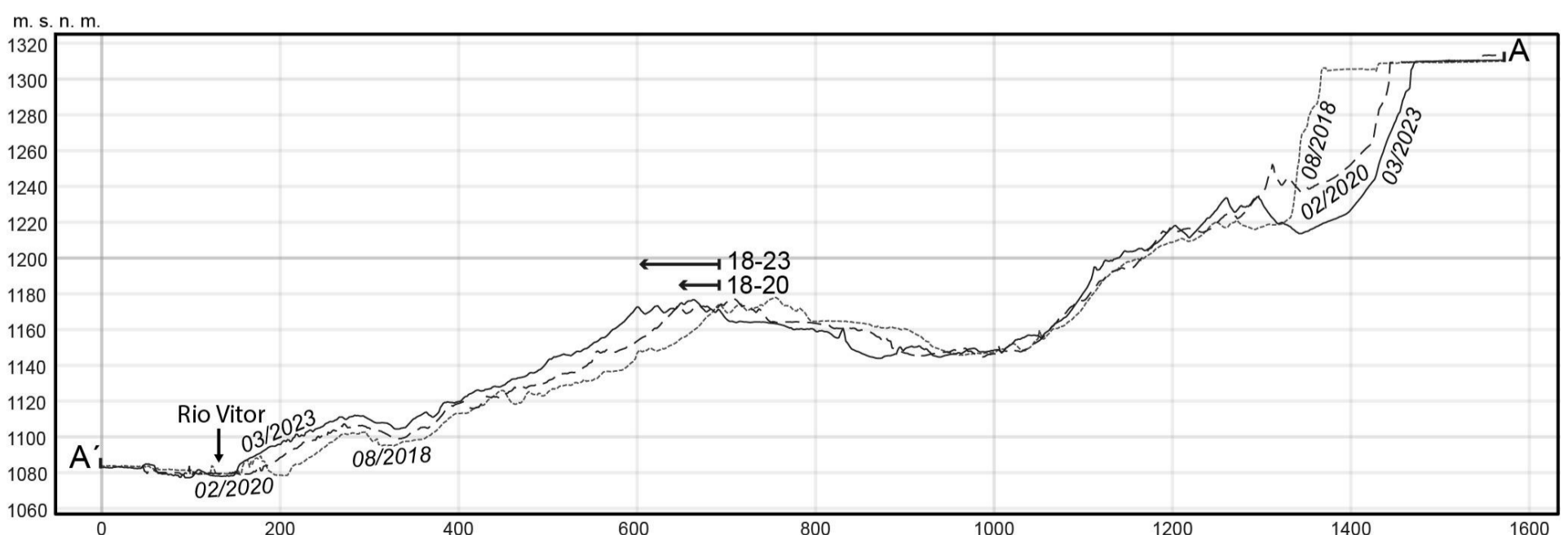


Figura 5. Comparación multianual de perfiles topográficos del deslizamiento de Punillo. Las secciones se obtuvieron de modelos digitales de elevación georreferenciados de alta resolución (generados con imágenes de dron), generados para las fechas indicadas en la figura. En la comparación de periodos, se observan paquetes desplazados hacia el lado de la corona (A) y el avance de la masa (A') en la zona del pie del deslizamiento. En la parte central, se observa claramente un avance principalmente horizontal de la masa en dirección al río Vitor.

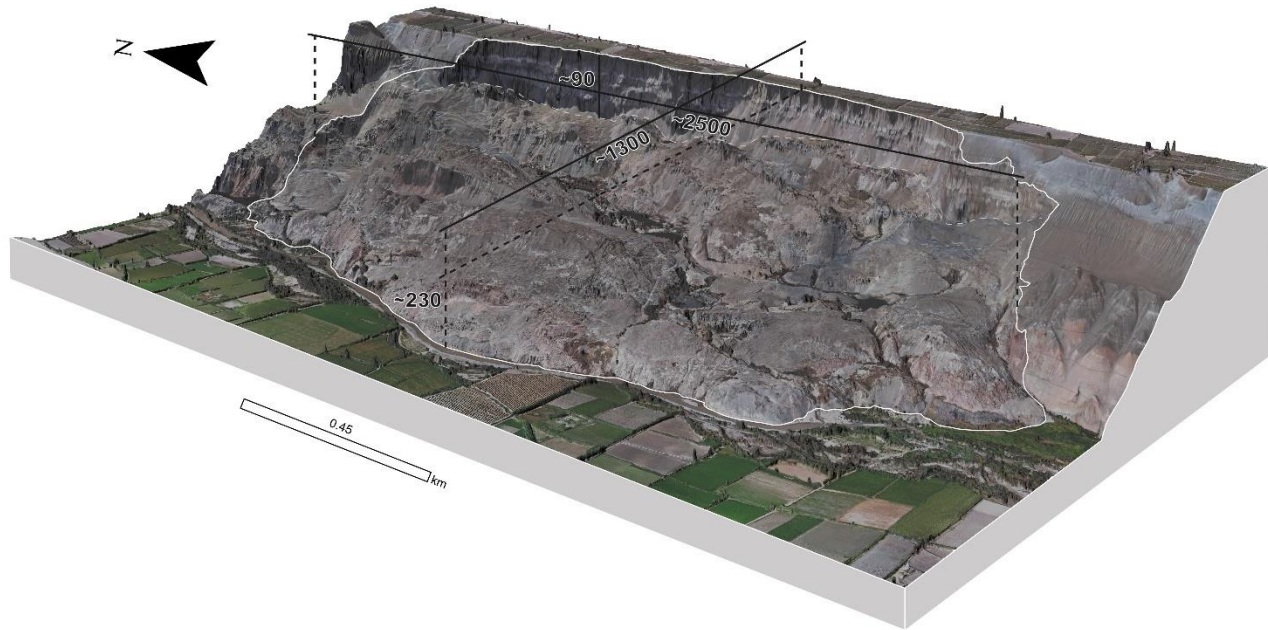


Figura 6. Modelo 3D realizado con DEM y ortofoto generados con fotos de dron (30/03/2023), mostrando la morfometría estimada del deslizamiento. Se observa un ancho de superficie de falla de ~ 2500 m, longitud total (planta) de ~ 1300 m, altura de escarpe principal ~ 90 m y altura de corona a punta de ~ 230 m.

2.1.2 INSUMOS FOTOGRAMÉTRICOS

Los sobrevuelos con dron para la obtención fotografías aéreas e insumos de alta resolución (ortomosaicos y modelos digitales de elevación) (figuras 4, 5 y 6), se realizaron con drones multirrotor y de ala fija, entre el 2018 y 2023. El procesamiento fotogramétrico se realizó con el software Agisoft Metashape, utilizando como referencia el sistema de coordenadas UTM (zona 19S), Datum WGS 1984.

2.1.3 FOTOINTERPRETACIÓN

2.1.2.1 Comparación multitemporal de imágenes de dron, periodo 2018 - 2023.

Se fotointerpretaron los límites multitemporales de la corona (retrogradación) y pie (progresión) del deslizamiento de Punillo. Las fechas de las ortofotos comparadas corresponden al 18 de agosto del 2018, 25 de febrero del 2020 y 30 de marzo del 2023 (figura 4); se escogieron en función a momentos anteriores y posteriores a eventos de aceleración.

Comparando el intervalo 2018 con el 2020, se observa que la mayor retrogradación está concentrada aproximadamente de la mitad, hacia suroeste de la corona (figura 4). El mayor valor de retroceso hacia los terrenos de cultivo La Cano, se estima entre los ~ 110 m a ~ 130 m. Este mismo periodo, en relación a la progresión de la masa (frente o pie), se observa que el avance mayor también se concentra de suroeste hacia el norte, disminuyendo progresivamente. Se calcula en la zona de mayor avance (sector de drenaje), hasta ~ 200 m hacia el río y valle de Vitor, teniendo la zona de lóbulo sur un avance de aproximadamente ~ 110 m.

En el intervalo 2020 - 2023, también se observa mayor retrogradación hacia suroeste de la corona. Los mayores valores de retroceso hacia los terrenos de cultivo se estiman entre los ~ 70 m a ~ 90 m. El avance de la masa también se concentra de suroeste hacia el norte, disminuyendo

progresivamente. Las zonas de mayores avances varían de ~ 40 m hasta ~ 60 m hacia el río y valle de Vitor.

En general, entre el 2018 y 2023, juntando los dos eventos, se observa mayor retrogradación hacia suroeste de la corona, de ~ 200 m, sin embargo, en el periodo 18 - 20 se observa un retroceso máximo de entre ~ 50 m a ~ 70 m en el lado noreste de la corona. La progresión general del frente es más homogénea, disminuyendo de extensión progresivamente de sur a norte. El mayor valor de progresión sería de ~ 240 m, en el suroeste del frente (sector de drenaje).

Otro aspecto importante a resaltar es la presencia de un ojo de agua al pie del sector medio de la corona, en el noreste, aledaño al reciente escarpe principal, aparentemente generado posterior al evento del 2022 (imagen base figura 4, marzo 2023).

2.1.4 COMPARACION DE PERFILES TOPOGRÁFICOS

Los perfiles topográficos utilizados para esta comparación (figura 5), se extrajeron de tres modelos digitales de elevación de alta resolución, correspondientes a las mismas fechas de la comparación para fotointerpretación multitemporal de ortomosaicos, 2018, 2020 y 2023. La sección A - A' (figura 4) se escogió aleatoriamente, estimando la dirección principal de movimiento en la parte central del deslizamiento, por esta razón que la descripción no incluye cuantificaciones.

La zona de la corona muestra los dos eventos de retrogradación ocurridos entre 2018 y 2020 y el evento de 2022, se observa mayormente desplazamiento vertical de las masas y un menor avance horizontal. La parte intermedia corresponde a la depresión donde está emplazado el lago principal, este sector no muestra variación vertical significativa, pero sí un avance horizontal y expansión. La zona central posterior, continua a la depresión intermedia, muestra desplazamientos principalmente horizontales y muy poca variación de la morfología en los tres perfiles. La zona de la punta, que corresponde al frente de avance de la masa, muestra elevaciones y el avance horizontal hacia el río Vitor.

2.2 Interpretaciones

2.2.1 DESPLAZAMIENTOS DEL CUERPO

En relación a la deformación del cuerpo, entre el 2018 y 2023, los datos de geodesia, comparación de imágenes de dron y perfiles topográficos, muestran mayores movimientos del centro del cuerpo hacia su lado izquierdo. Esta zona también concentra mayor presencia de agua superficial (lagunas) y zona de drenaje de escorrentía natural hacia el SO. La presencia de agua superficial estaría relacionada a la surgencia en depresiones, de aguas subterráneas alimentadas por el riego, las cuales discurren naturalmente hacia la dirección de preferente de pendiente del valle.

Al ver la comparación multianual del frente del deslizamiento, se diferencia un avance casi homogéneo en todo el frente, disminuyendo progresivamente hacia el norte o lado derecho del cuerpo. Este comportamiento sugiere un avance entero de la masa, con mayores movimientos en su lado izquierdo (sur), probablemente relacionados a la presencia de agua y a la recurrencia de retrogradaciones de mayor magnitud en esta zona.

Debe mencionarse que los datos GNSS muestran movimientos en el lado derecho (norte), lo cual también coincide con la retrogresión de una masa en ese sector entre el 2018 y 2020. La actividad evidenciada en este sector sugiere la posible ocurrencia de eventos de retrogradación mayores hacia el norte.

Sobre la deformación general de la masa, tanto en las secciones como en los datos GNSS, se observa paralelismo entre los eventos retrogresivos y el avance horizontal. De esta observación se puede interpretar que los bloques generados por la retrogradación estarían empujando toda la masa sobre un plano horizontal, a la vez que se hunden durante los eventos de aceleración. Esta descripción corresponde a un movimiento traslacional retrogresivo, con la deformación principal concentrada cerca de la corona o escarpe principal. Cabe mencionar que las últimas medidas estarían mostrando al deslizamiento en su periodo de calma.

2.2.1 AVANCE DE LA CORONA

Entre el 2018 y 2023, la corona ha mostrado retrocesos progresivos, concentrados principalmente de la mitad hacia su lado izquierdo (sur). La morfología resultante de estos eventos de retrogradación es lenticular, con una zona central más amplia. Este patrón del bloque movilizado se conserva dentro del cuerpo, pero con mucha mayor deformación. El último evento descrito en INGEMMET (2022), pone en evidencia que los bloques separados, viajan verticalmente casi sin basculamiento aparente. Este comportamiento estaría mostrando un plano de deslizamiento sin concavidades relacionadas a movimientos rotacionales.

3. CONCLUSIONES

Considerando las condiciones de peligrosidad a junio del 2023, se reiteran las siguientes conclusiones plasmadas en los informes INGEMMET 2020 y 2022:

1. El deslizamiento de Punillo es uno de los movimientos en masa más activos del Sur del Perú. Su movimiento empezó en los años 90s y desde entonces ha ido evolucionando. Ha afectado terrenos de cultivo, vías y viviendas ubicadas en su área de afectación.
2. Geológicamente el área de estudio está conformada por secuencias sedimentarias constituidas por limolitas, areniscas, niveles tobaceos, capas de arcilla y principalmente conglomerados de las formaciones Sotillo, Moquegua y Millo. Geomorfológicamente se encuentra sobre una colina disectada en roca sedimentaria.
3. Las condiciones geológico geomorfológicas de la zona, junto al detonante principal del deslizamiento de Punillo que es la infiltración hídrica generada por el riego de terrenos agrícolas provenientes de la irrigación La Cano y San Isidro, convierten a las laderas de zona en altamente susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa.

En función a los datos de monitoreo multianual 2018 - 2023 compendiados y analizados para este reporte, se concluye lo siguiente:

4. En relación a la actividad registrada instrumentalmente dentro del cuerpo del deslizamiento, los datos GNSS muestran dos eventos de aceleración: el primero ocurrido entre el 2018 y 2020 y el segundo entre el 2022 y 2023. Con estos datos se calculó un desplazamiento horizontal máximo en la masa, sector sur, de hasta ~ 128 m (PU03) en dirección oeste hacia el río Vitor, entre agosto del 2018 y junio del 2023. Los datos de todas las estaciones muestran principalmente movimientos horizontales relacionados al avance de la masa. Los movimientos verticales importantes se presentaron principalmente durante los eventos de aceleración, resaltando el movimiento vertical negativo acumulado de ~ -5 m (PU01), del lado derecho (norte), relacionados al hundimiento en proceso de la masa en este sector. Cabe reiterar que los movimientos descritos se registraron sobre el cuerpo del deslizamiento y son necesarios para entender su estado y tipo de actividad, sin embargo, pueden diferir de la cuantificación total del crecimiento del deslizamiento en sus límites, debido a diferentes factores como ubicación de la estación medida, variaciones volumétricas o cambios de forma interna dentro del cuerpo por la deformación constante, entre otros.
5. En relación a la expansión o crecimiento del deslizamiento tanto en su corona como en su frente, los datos de fotointerpretación de ortomosaicos generados con fotos de dron muestran retrogradación máxima de ~ 200 m, hacia el lado central-suroeste de la corona, así mismo, las fotos aéreas georreferenciadas muestran en la zona frontal, un valor mayor estimado de progresión o avance del pie de ~ 240 m, hacia el río Vitor. La fotointerpretación también muestra los dos eventos de retrogradación iniciados en el 2018 y 2022 respectivamente.
6. El deslizamiento continúa mostrando presencia de cuerpos de agua en su parte central hacia el sur, además, se observan nuevas surgencias de agua en la base del escarpe principal reciente, en la zona media de la corona.
7. La comparación de perfiles topográficos muestra de forma general, desplazamientos verticales en la corona, expansión en la zona central y avance de la masa entera desde la zona central hacia el frente, en dirección del río Vitor.
8. Del análisis de datos, se concluye que, en la actualidad, el deslizamiento de Punillo exhibe un comportamiento traslacional retrogresivo.
9. ***La secuencia entre momentos de muy poco movimiento y eventos de aceleración, sugieren la futura ocurrencia de nuevos eventos con el mismo o similar patrón de deformación, considerando que los factores condicionantes relacionados al constante aporte de agua (riego) continúen iguales.***

10. La aparición de cuerpos de agua al pie del escarpe principal estaría indicando la elevación general del nivel freático. Esta nueva condición podría generar un futuro cambio de la dinámica, reflejada en la mayor frecuencia de eventos de aceleración (mayor recurrencia), en el aumento de la magnitud de la retrogresión reflejado en la pérdida de áreas cultivadas más extensas o en mayor crecimiento del deslizamiento hacia sus lados.
11. Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas analizadas con datos de monitoreo del presente informe y anteriores, se reitera que el deslizamiento de Punillo, es una zona crítica de peligro Muy Alto a la ocurrencia de movimientos en masa y otros peligros geológicos, que pueden ser desencadenados por sismos, precipitaciones extraordinarias o **detonantes antrópicos relacionados al riesgo indiscriminado**. Consecuentemente, persiste la condición de avance progresivo de la masa deslizada hacia el río Vitor; además, también persiste el estado retrogresivo de la corona hacia terrenos de cultivo y otras direcciones en su ámbito.

4. RECOMENDACIONES

Considerando las condiciones de peligrosidad del periodo 2018-2023, se reiteran las siguientes recomendaciones brindadas en los informes del INGEMMET 2020 y 2022:

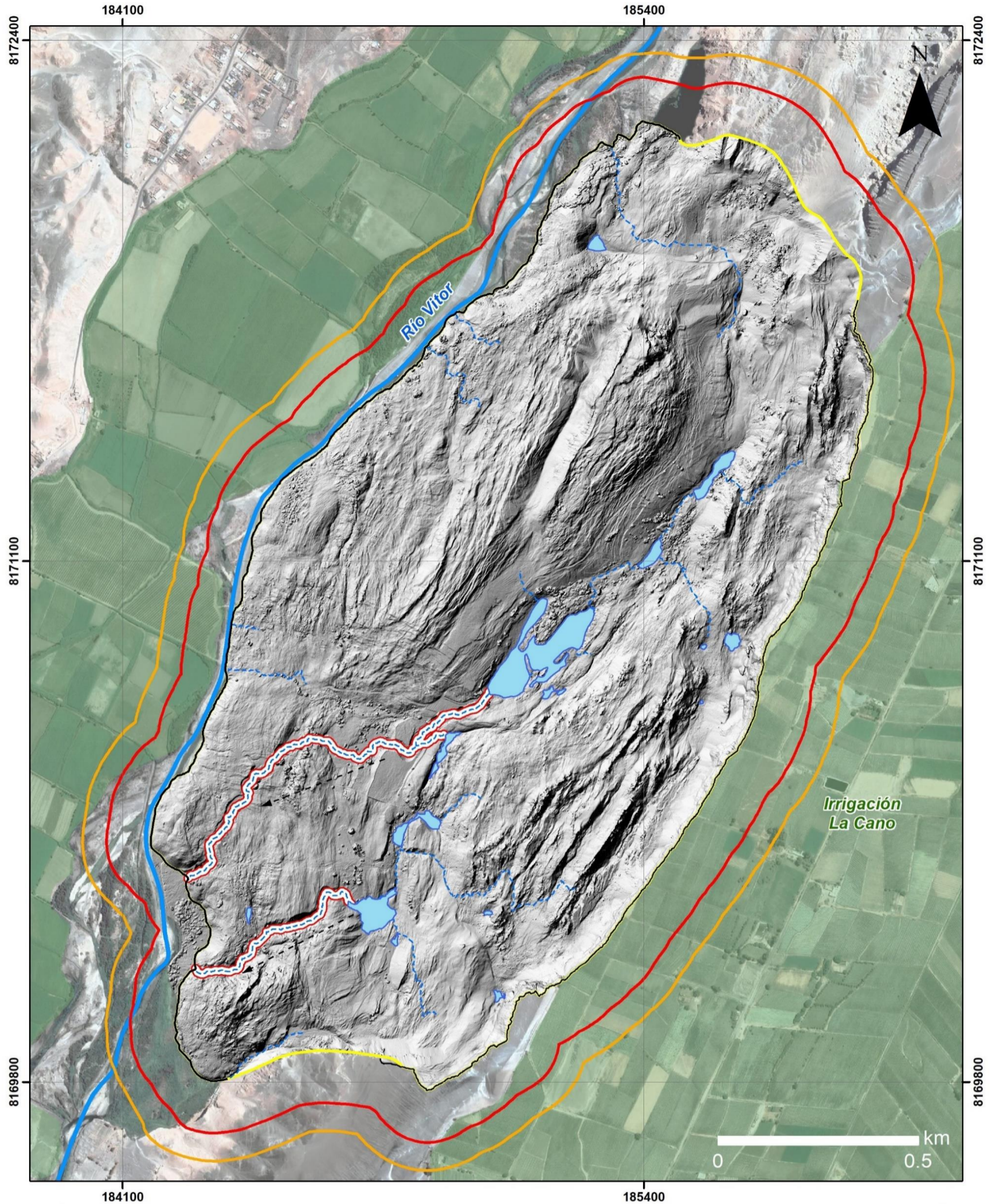
1. Implementar un sistema de riego tecnificado tipo goteo u otro recomendado por especialistas en la materia para la zona. Este debe tener un plan de acción a corto, mediano y largo plazo, que incluya la sensibilización de la junta de usuarios de las Irrigaciones La Cano y San Isidro, orientado a usar racionalmente el agua para el riego de cultivos. Esto permitirá disminuir la infiltración de agua al subsuelo (los conglomerados no consolidados) del valle de Vítor.
2. Prohibir el uso de terrenos para sembrío de plantas y/o agricultura que necesita mucha agua (Alfalfa, maíz, etc.), para evitar la saturación del terreno.
3. Reubicar viviendas cercanas al deslizamiento de Punillo, en la parte alta del valle de Vítor.
4. El área del deslizamiento de Punillo (cuerpo) y zonas cercanas, no deben ser usadas para vivienda u otras actividades que impliquen establecerse en el lugar, temporal o permanentemente, por el peligro latente de un evento de aceleración del deslizamiento o licuefacción de suelos generada por sismos de gran magnitud.

En función a los datos de este informe, se actualizan las siguientes recomendaciones:

5. Implementar un sistema de drenaje. Para ese fin, considerar la ubicación de los drenes como se muestra en la figura 6. Esta propuesta constituye obras de mitigación temporal mas no es una solución definitiva, sin embargo, podría ayudar a bajar el nivel freático en sectores del cuerpo del deslizamiento y reducir la saturación de masas, retrasando o reduciendo la magnitud de los eventos de aceleración.
6. Considerar las zonas de Muy alto y Alto peligro, desde el escarpe principal hasta una longitud de 200 m, susceptibles a la ocurrencia de un nuevo evento de retrogresión y de hasta 180 m delante del cuerpo del deslizamiento (avance) (figura 6).
7. El riego de las zonas altas del deslizamiento debe ser muy limitado o preferentemente restringido.
8. Reportar inmediatamente a INDECI local y COER, los agrietamientos futuros que aparezcan detrás de la corona y/o dentro de los terrenos de cultivo.
9. Mejorar la monumentación y señalización de la red de monitoreo temporal actual implementada por el INGEMMET, a fin de tener lugares fijos que puedan ser utilizados para reiteraciones futuras, de uso común.
10. No alterar ni retirar los puntos de monitoreo puesto que son una herramienta importante para la prevención, en la gestión de riesgo de desastres.
11. Ampliar la red de monitoreo temporal dentro de las zonas de muy alto y alto peligro y hacia el norte del deslizamiento, sector Punillo norte.
12. El monitoreo debe continuar y debe ser reforzado de forma conjunta entre el INGEMMET y autoridades competentes (municipalidades distrital, provincial y gobierno regional).


COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU
CONSEJO DEPARTAMENTAL CUSCO
Ing. Luis Angel Albinez Baca
INGENIERO GEOLOGO
CIP 222658


ING. JERSY MARIÑO SALAZAR
Director (e)
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET



LEYENDA			
— Muy alto	— Pie	 Area deslizamiento	- - -> Dirección de escorrentía estimada
— Alto	— Laguna	 Zonas de cultivo	— Río 03.23
— Corona	 Propuesta drenajes 2024	— — — Drenaje de escorrentia	

Figura 6. Actualización del mapa de surgencias de agua y red de drenajes 2022 (escorrentía superficial), en el cuerpo del deslizamiento de Punillo. Las líneas blancas con bordes rojos muestran los sectores óptimos según la configuración morfológica del deslizamiento a marzo del 2023, donde se podrían cavar drenes o canales de evacuación, según propuestas detalladas de ingeniería, para la mitigación temporal del deslizamiento. Los canales de evacuación deben profundizarse hasta conseguir secar las lagunas. Debe considerarse que los drenes podrían obstruirse o colapsar con el avance del cuerpo durante el desfogue de toda el agua de las lagunas, por tanto, el trabajo debe realizarse durante momentos de calma del deslizamiento. Esta medida de mitigación se realizaría con el fin de solo para retrasar los eventos de aceleración, pero no detendría definitivamente el avance mientras no se controle el riego de "La Cano". Este mapa también incluye los límites de zonas de los posibles futuros avances del siguiente evento de aceleración, considerando zonas de peligro muy alto (hasta la línea roja) y alto (hasta la línea naranja), estimadas según las morfológicas identificadas durante el monitoreo 2018 - 2023. Para definir estas zonas se consideró el máximo retroceso del primer evento de aceleración (hasta 130 m, zona de peligro muy alto) y el total de retrogresión acumulada (hasta 70 m, detrás de la zona de roja). Para el avance la masa se estimaron 110 m (Muy alto) y 70 m (Alto) más, respectivamente. Este escenario corresponde al análisis de los datos obtenidos hasta marzo del 2023, al estar el deslizamiento en constante cambio, los límites pueden variar con el tiempo considerando nuevos datos o un análisis que incluya más eventos de aceleración pasados. De observarse grietas por detrás de estos límites, debe generarse una alerta inmediata puesto que corresponderían a un evento de aceleración extraordinario, generado por nuevas condiciones de peligro.

5. BIBLIOGRAFÍA

Araujo, G., Pari W., Ojeda H., Huanca J., (2018). Geodinámica, Monitoreo Geodésico y Prospección Geofísica del deslizamiento de Pie de Cuesta – Vítor, Arequipa. Informe técnico A6813 – INGEMMET.

Cruden, D.M., Varnes, D.J., 1996, Landslide types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washington D. C, National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 247, p. 36–75.

García, W. Geología de los Cuadrángulos de Mollendo y La Joya (Hojas 34-r, 34-s). Lima: Servicio de Geología y Minería, Boletín 19, pp. 43-78.

Guizado J. (1968).- Geología del Cuadrángulo de Aplao (Hoja 33-r). Servicio de Geología y Minería. Boletín. Serie A: Carta Geológica Nacional, n. 20, 50 p.

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2020). Evolución y monitoreo fotogramétrico del deslizamiento de Punillo periodo 2020. Región Arequipa, provincia Arequipa, distritos La Joya, Vítor. Informe Técnico;N° A7041 – INGEMMET

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2022). Reporte de Monitoreo del Deslizamiento de Punillo periodo 2022. Región Arequipa, provincia Arequipa, distritos La Joya, Vítor. Opinión Técnica; N° 012-2022– INGEMMET

Lacroix, P., Dehecq, A., & Taipe, E. (2020). Irrigation-triggered landslides in a Peruvian desert caused by modern intensive farming. Nature Geoscience, 13(1), 56-60.

Luque, G.; Pari, W. & Dueñas, K. (2021) - Peligro geológico en la región Arequipa. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 81, 300 p., 9 mapas

Vargas, L. (1970). Geología del cuadrángulo de Arequipa. Servicio de Geología y Minería. No. 24. 64 pp.