

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7507

MONITOREO DEL DESLIZAMIENTO DE PIE DE LA CUESTA 2022 - 2023

Departamento: Arequipa
Provincia: Arequipa
Distrito: La Joya y Vitor



**MAYO
2024**

MONITOREO DEL DESLIZAMIENTO DE PIE DE LA CUESTA 2022 - 2023

(Distritos La Joya y 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 Pie de la Cuesta 2022 - 2023. Distritos La Joya y Vitor, provincia y departamento Arequipa. Lima: INGEMMET, Informe Técnico A7507, 17 p.

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN	4
1.1 Aspectos generales	4
1.1.1 TRABAJOS ANTERIORES.....	4
1.1.2 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD.....	5
1.1.3 ASPECTOS GENERALES.....	5
1.1.4 MOVIMIENTOS EN MASA Y OTROS PELIGROS GEOLOGICOS.....	6
2 MONITOREO DEL DESLIZAMIENTO DE PIE DE LA CUESTA	8
2.1 Obtención y análisis de datos	8
2.1.1 GEODESIA.....	8
2.1.2 INSUMOS FOTOGRAFÍAS.....	13
2.1.3 FOTOINTERPRETACIÓN.....	13
2.1.4 COMPARACION DE PERFILES TOPOGRÁFICOS.....	13
2.2 Interpretaciones	13
2.2.1 DESPLAZAMIENTOS DEL CUERPO Y AVANCE DE LA CORONA	13
3. CONCLUSIONES	15
4. RECOMENDACIONES	16
5. BIBLIOGRAFÍA	17

1 INTRODUCCIÓN

Las irrigaciones de La Joya Antigua, La Cano y San Isidro, forman parte de las áreas agrícolas más importantes del departamento de Arequipa. El desarrollo de estas irrigaciones provocó una serie de deslizamientos en el Valle de Vitor (Huerta, 1977). El deslizamiento de Pie de la Cuesta, uno de los más grandes y destructivos de este valle, inicio su actividad entre los años de 1974 y 1975, sepultando el pueblo homónimo, un colegio y viviendas, reubicando a más de 12 familias y cubriendo seis hectáreas del valle (Ponce, 2008). Tras más de 40 años, se reactivó en 2016, destruyendo terrenos de cultivo e infraestructura (Araujo et al, 2016).

A raíz de las emergencias generadas por la actividad del deslizamiento de Pie de la cuesta, 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 de monitoreo y estado de actividad del deslizamiento de Pie de la Cuesta, a través de la información obtenida durante el periodo 2022 - 2023.

1.1 Aspectos generales

1.1.1 TRABAJOS ANTERIORES

De los trabajos referentes de peligros geológicos y monitoreo que INGEMMET ha realizado en la zona se puede citar:

- a) En marzo de 2022, se publicó el informe técnico "Monitoreo del deslizamiento de Pie de la Cuesta período 2021, distrito de Vitor y La Joya, provincia de Arequipa, departamento de Arequipa", con el código A7242, elaborado por el Ingemmet. Este documento detalla el monitoreo del deslizamiento entre abril y noviembre de 2021, mostrando velocidades de desplazamiento de 1.3 a 3 metros por mes en dirección al valle de Vitor. Concluye que las áreas adyacentes al deslizamiento presentan un riesgo muy alto, por lo que se recomienda la reubicación de la población y la desviación de la carretera como medidas para mitigar los riesgos.
- b) En mayo de 2018 se publicó el informe técnico N° A6813: "Geodinámica, monitoreo geodésico y prospección geofísica del deslizamiento de Pie de la Cuesta". Este trabajo se elaboró en respuesta a los oficios N° 317-2017-A-MDV, N° 335-2018-MP-1FPPD y 136-2018-MP-1FPPD de la municipalidad distrital de Vitor, comisión de regantes de Ramo Socabón, el Ministerio Público y el Gobierno Regional de Arequipa. Incluyó mediciones GNSS y prospecciones geofísicas para detectar posibles filtraciones.
- c) En agosto de 2016 se emitió el informe técnico N° A6722: "Evaluación geológica y geodinámica de deslizamientos en el flanco izquierdo del Valle de Vitor, sectores Pie de la Cuesta, Telaya, Gonzales y Socabón", con el objetivo de identificar zonas críticas por peligros potencialmente activos que afecten a los poblados expuestos en el valle de Vitor, en respuesta a la solicitud de la municipalidad Distrital de Vitor y La Joya, según los oficios N°030-2016-GRA-ORDN, N°416-2016-GRA, N°423-2016-GRA/ORDNDC, 433-2016-GRA/ORDNDC.

1.1.2 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

El deslizamiento de Pie de la Cuesta se encuentra en la margen izquierda del Valle de Vítor, perteneciente al distrito del mismo nombre, en la provincia y departamento Arequipa, Perú (cuadro 1, figura 1). El avance de su corona afecta terrenos del distrito de La Joya.

Cuadro 1. Coordenadas del deslizamiento, zona 1.

COORDENADA CENTRAL				
N°	UTM - WGS84 - Zona 19S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
A	192819	8177805	16°27'42.16"S	71°52'36.32"O

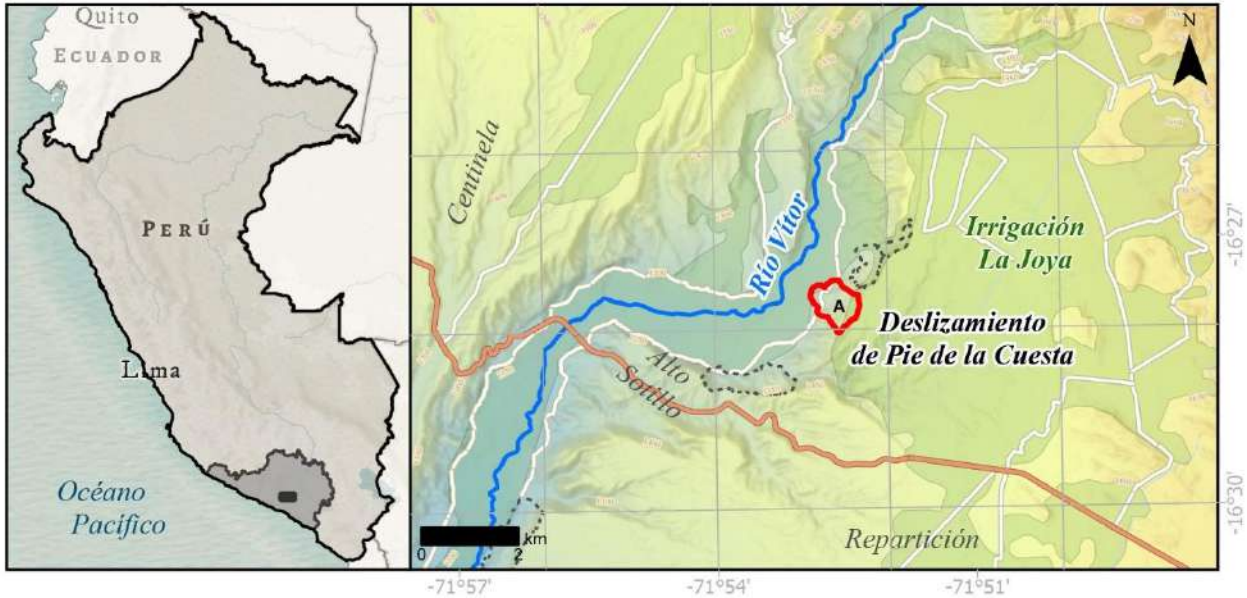


Figura 1. Mapa de ubicación, deslizamiento de Pie de la Cuesta (línea roja).

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 Pie de la Cuesta e inmediaciones, pueden encontrarse lutitas rojas, limolitas, conglomerados formados por clastos volcánicos 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 de la parte alta afloran aluviales pleistocenos 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, Ingemmet 2022).

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

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 grado alto a muy alto de susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa.

1.1.4.2 Deslizamiento de Pie de la Cuesta

La margen izquierda del valle del río Vítor – sector Pie de Cuesta, viene siendo afectada por la reactivación del deslizamiento del mismo nombre, cuya causa activación se debe principalmente a las infiltraciones de agua provenientes de la Irrigación La Joya Antigua. El evento es un movimiento en masa de tipo deslizamiento complejo, con una escarpa principal de ~1 km de longitud y ~100 metros de salto, que coincide con el límite de flanco izquierdo del valle de Vítor, mientras que sus escarpas secundarias de ~50 m de longitud están ubicadas a +150 metros por debajo de la escarpa principal. La separación entre ambas escarpas está marcada por una depresión compuesta por materiales finos completamente agrietados. En la actualidad el avance de su masa desplazada es progresivo y afecta parcelas de cultivo sobre el piso del valle del río Vítor (figura 2). La masa deslizada está constituida por bloques de conglomerados, arcillas y arenas tobáceas, dispuestos en una matriz gravo arenosa con grietas tensionales de aperturas centimétricas. En el plano de deslizamiento principal, se aprecian estratos húmedos (estratos arenosos o arena limosos permeables) entre los conglomerados y las areniscas tobáceas de la Formación Moquegua (Araujo et al, 2018).



Figura 2. Vista aérea del deslizamiento de Pie de la Cuesta tomada con dron. La línea gruesa con triángulos invertidos muestra la corona del deslizamiento. La línea amarilla delgada delimita el cuerpo. La línea entrecortada delimita de forma estimada el flanco izquierdo del deslizamiento. Se observa mayor dinámica al lado derecho del deslizamiento, destacando lóbulo frontal bien desarrollado en su parte central.

2 MONITOREO DEL DESLIZAMIENTO DE PIE DE LA CUESTA

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 y fotointerpretación. Los resultados de las técnicas aplicadas permitieron describir e interpretar la dinámica del deslizamiento de Pie de la Cuesta durante el 2022 y 2023.

2.1 Obtención y análisis de datos

2.1.1 GEODESIA

La red de monitoreo geodésico del deslizamiento de Pie de la Cuesta del Ingemmet (figura 3), fue implementada en el 2017, mediante la instalación de 30 puntos de control (hitos para monitoreo GNSS) (Araujo, 2018). Entre febrero del 2022 a junio del 2023, se realizaron seis 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

Para el primer periodo estudiado del 25/02/2022 al 28/04/2022 (~2 meses) (tabla 1; figura 3), se calcularon desplazamientos horizontales máximos de hasta 9.61 m hacia el noroeste en la estación PC42. La estación PC41 mostró desplazamientos horizontales similares. En relación a los desplazamientos verticales, la estación PC42 también mostró desplazamientos mínimos de hasta -2,62 m.

Para el segundo periodo que comprende del 28/04/2022 al 19/08/2022 (~4 meses) (tabla 1; figura 3), se calcularon desplazamientos horizontales máximos de hasta 9.21 m hacia el noroeste en la estación PC42. Las estaciones PC06 y PC41 también mostraron desplazamientos horizontales importantes 6.79 y 8 m respectivamente. En relación a los desplazamientos verticales, la estación PC42 volvió a mostrar desplazamientos resaltantes mínimos de hasta -2,42 m, observándose movimientos similares en la estación PC41.

Para el tercer periodo estudiado que comprende del 19/08/2022 al 19/11/2022 (~3 meses) (tabla 1; figura 3), se calcularon desplazamientos horizontales máximos de hasta 6 m hacia el noroeste nuevamente en la estación PC42. Las estaciones PC06 y PC41 también mostraron desplazamientos horizontales importantes 4.69 y 5.13 m respectivamente. En relación a los desplazamientos verticales, la estación PC42 volvió a mostrar desplazamientos resaltantes mínimos de hasta -1,56 m, observándose movimientos similares en la estación PC41.

Para el cuarto periodo estudiado del 19/11/2022 al 31/03/2023 (~4 meses) (tabla 1; figura 3), se calcularon desplazamientos horizontales máximos de hasta 11.19 m hacia el noroeste nuevamente en la estación PC42. Las estaciones PC06 y PC41 también mostraron desplazamientos horizontales importantes 8.57 y 9.38 m respectivamente. En relación a los desplazamientos verticales, la estación PC42 volvió a mostrar desplazamientos resaltantes mínimos de hasta -2,74 m, observándose movimientos similares en la estación PC41.

Para el quinto, del 31/03/2023 al 13/06/2023 (~2 meses) (tabla 1; figura 3), se calcularon se calcularon desplazamientos horizontales máximos de hasta 3.51 m hacia el noroeste nuevamente en la estación PC42. Las estaciones PC06 y PC41 también mostraron desplazamientos horizontales importantes 2.74 y 3.02 m respectivamente. En relación a los desplazamientos verticales, la estación PC42 volvió a mostrar desplazamientos resaltantes mínimos de hasta -0,86 m, observándose movimientos similares en la estación PC41.

En relación al periodo total, 25/02/2022 al 13/06/2023 (~ 16 meses) (tabla 1; figuras 3), el punto PC42 sirvió para calcular el mayor desplazamiento horizontal de ~ 39 m hacia el noroeste y el mayor desplazamiento vertical de ~ -10 m.

En general se observa un movimiento horizontal relativamente constante y homogéneo de la parte frontal, en la zona de los puntos PC18, PC19, PC23, PC51, PC39, PC48 y PC40. La zona con mayores desplazamientos tanto horizontales como verticales corresponde a los puntos PC41, PC42 y PC06 de la parte central del deslizamiento. Al sur, los puntos con mayores movimientos horizontales resaltantes son PC47 y PC36.

Del total de desplazamientos horizontales registrados en el periodo estudiado, se estima una velocidad máxima de hasta ~ 2.5 m/mes, equivalente a “lenta” según la clasificación de Cruden y Varnes (1996).

Cuadro 2. Desplazamientos del deslizamiento de Pie de la Cuesta entre el 2022 y 2023, calculados en base a datos de la red geodésica temporal del INGEMMET.

Puntos de control GNSS	Primer periodo 25/02/2022 al 28/04/2022 (~2 meses)				Segundo periodo 28/04/2022 al 19/08/2022 (~4 meses)				Tercer periodo 19/08/2022 al 19/11/2022 (~3 meses)				Cuarto periodo 19/11/2022 al 31/03/2023 (~4 meses)				Quinto periodo 31/03/2023 al 13/06/2023 (~2 meses)				Periodo total 25/02/2022 al 13/06/2023 (~16 meses)			
	$\Delta E(x)$	$\Delta N(y)$	ΔZ	$\Delta E-N$	$\Delta E(x)$	$\Delta N(y)$	ΔZ	$\Delta E-N$	$\Delta E(x)$	$\Delta N(y)$	ΔZ	$\Delta E-N$	$\Delta E(x)$	$\Delta N(y)$	ΔZ	$\Delta E-N$	$\Delta E(x)$	$\Delta N(y)$	ΔZ	$\Delta E-N$	$\Delta E(x)$	$\Delta N(y)$	ΔZ	$\Delta E-N$
	xy (m)	xy (m)	xy (m)	xy (m)	xy (m)	xy (m)	xy (m)	xy (m)	xy (m)	xy (m)	xy (m)	xy (m)	xy (m)	xy (m)	xy (m)	xy (m)	xy (m)	xy (m)	xy (m)	xy (m)	xy (m)	xy (m)	xy (m)	xy (m)
PC01	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	-0.05	-0.02	-0.04	0.05	0.05	0.01	-0.02	0.05								
PC05	-0.02	0.00	0.00	0.02	-0.02	-0.01	0.03	0.03	-0.02	0.02	-0.01	0.03	-0.02	-0.01	-0.03	0.02	-0.04	-0.01	0.02	0.04	-0.12	-0.01	0.01	0.12
PC06	-4.87	1.05	-0.52	4.98	-6.65	1.38	-0.70	6.79	-4.58	1.02	-0.55	4.69	-8.32	2.08	-1.21	8.57	-2.64	0.73	-0.47	2.74	-27.06	6.25	-3.45	27.77
PC07	-1.02	0.94	-1.25	1.38	-1.04	0.96	-1.06	1.41	-0.78	0.69	-0.79	1.04	-1.26	1.12	-1.23	1.68	-0.33	0.26	-0.22	0.42	-4.43	3.97	-4.54	5.94
PC08	0.02	0.01	-0.07	0.02	-0.02	0.03	0.06	0.04	-0.03	0.08	-0.09	0.08	-0.02	0.16	-0.29	0.16								
PC09	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.03	0.00	0.03	-0.05	0.03	-0.04	0.07	-0.17	0.08	-0.01	0.07	-0.07	0.07	-0.05	0.20	-0.27	0.20
PC10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.04	0.02	0.00	0.00	-0.07	0.00	-0.02	0.06	-0.09	0.07	0.03	0.02	0.00	0.04	0.02	0.10	-0.12	0.10
PC11	0.00	0.00	0.03	0.00	-0.01	0.00	-0.01	0.01	-0.02	0.00	0.01	0.02	-0.01	-0.01	-0.11	0.02	0.00	-0.01	0.00	0.01	-0.04	-0.03	-0.08	0.05
PC12	0.00	0.01	0.01	0.01	-0.03	0.00	-0.04	0.03	0.01	0.03	0.05	0.04	-0.06	0.01	-0.02	0.06	0.01	0.01	-0.05	0.01	-0.07	0.07	-0.06	0.10
PC14	-0.02	0.00	0.03	0.02	0.00	0.01	-0.02	0.01	-0.01	-0.01	0.04	0.01	-0.04	0.00	-0.03	0.04	0.00	-0.03	-0.08	0.03	-0.06	-0.02	-0.07	0.07
PC15	-0.02	-0.01	0.00	0.02	-0.01	-0.01	-0.04	0.01	0.01	0.02	0.05	0.02	0.02	0.00	-0.03	0.02	-0.05	-0.01	-0.06	0.05	-0.05	0.00	-0.08	0.05
PC17	-0.82	-0.50	-0.10	0.96	-1.12	-0.65	-0.12	1.29	-0.73	-0.46	-0.03	0.86	-1.27	-0.76	-0.12	1.48	-0.46	-0.26	-0.11	0.52	-4.39	-2.63	-0.46	5.12
PC18	-2.77	1.12	-0.28	2.98	-3.59	1.46	-0.40	3.87	-2.17	0.94	-0.19	2.36	-3.87	1.60	-0.48	4.19	-1.22	0.53	-0.25	1.33	-13.62	5.64	-1.59	14.74
PC19	-1.84	2.09	-0.09	2.79	-2.47	2.78	-0.13	3.72	-1.51	1.75	-0.06	2.32	-2.79	3.11	-0.17	4.18	-0.90	1.05	-0.13	1.38	-9.51	10.79	-0.58	14.38
PC23	-2.10	1.74	-0.37	2.73	-2.67	2.29	-0.49	3.52	-1.64	1.38	-0.20	2.14	-2.93	2.47	-0.42	3.83	-0.94	0.77	-0.14	1.21	-10.28	8.65	-1.63	13.44
PC35	0.00	0.04	0.06	0.04	0.01	-0.01	0.00	0.01	-0.01	0.00	0.00	0.01	-0.04	0.00	-0.03	0.04	0.01	0.00	-0.01	0.01	-0.02	0.03	0.02	0.04
PC36	-2.22	-0.05	-0.34	2.22	-3.06	0.04	-0.57	3.06	-0.93	0.05	-0.17	0.93	-0.76	0.05	-0.17	0.76	-0.27	0.00	-0.11	0.27	-7.24	0.09	-1.36	7.24
PC39	-1.83	3.26	-0.50	3.74	-2.30	4.13	-0.76	4.73	-1.45	2.66	-0.50	3.03	-2.66	4.88	-0.89	5.55	-0.86	1.58	-0.30	1.80	-9.10	16.51	-2.95	18.85
PC40	-1.99	2.50	-0.60	3.20	-2.52	3.17	-0.88	4.05	-1.60	2.08	-0.60	2.62	-2.89	3.81	-1.02	4.78	-0.92	1.26	-0.29	1.56	-9.92	12.83	-3.39	16.21
PC41	-5.34	3.29	-0.95	6.27	-6.78	4.25	-1.50	8.00	-4.27	2.85	-1.05	5.13	-7.59	5.51	-1.78	9.38	-2.42	1.82	-0.65	3.02	-26.39	17.72	-5.93	31.79
PC42	-8.75	3.98	-2.62	9.61	-8.92	2.30	-2.42	9.21	-5.84	1.38	-1.56	6.00	-10.80	2.92	-2.74	11.19	-3.35	1.05	-0.86	3.51	-37.67	11.62	-10.21	39.42
PC43	-0.02	0.03	0.04	0.04	-0.08	0.05	0.00	0.09	-0.05	0.02	-0.01	0.05	-0.06	0.05	-0.02	0.08	-0.05	0.01	-0.02	0.05	-0.25	0.16	-0.02	0.30
PC44	-0.06	0.04	0.00	0.07	-0.08	0.05	0.06	0.10	-0.05	0.03	-0.03	0.05	-0.10	0.05	-0.02	0.11	-0.07	0.04	0.03	0.08	-0.36	0.22	0.05	0.42
PC45	-0.04	0.04	0.01	0.06	-0.12	0.07	0.02	0.14	-0.04	0.04	0.00	0.06	-0.12	0.07	-0.04	0.14	-0.08	0.03	0.02	0.08	-0.40	0.26	0.02	0.47
PC46	-0.05	0.04	-0.01	0.06	-0.11	0.08	0.06	0.14	-0.05	0.05	-0.01	0.07	-0.13	0.08	-0.04	0.15	-0.06	0.04	0.01	0.07	-0.39	0.28	0.02	0.48
PC47	-1.65	1.45	-0.47	2.20	-2.10	2.09	-0.59	2.96	-0.63	0.66	-0.18	0.91	-0.44	0.47	-0.16	0.64	-0.17	0.16	-0.08	0.23	-4.99	4.83	-1.49	6.95
PC48	-0.84	2.70	-0.39	2.83	-0.98	3.40	-0.53	3.54	-0.64	2.15	-0.38	2.24												
PC49					-0.03	-0.01	0.00	0.03	-0.01	0.00	0.01	0.01	-0.06	0.03	0.00	0.07	-0.03	0.00	-0.01	0.03				
PC50					-0.10	0.08	0.06	0.13	-0.08	0.02	-0.06	0.08	-0.13	0.07	0.01	0.14	-0.07	0.03	0.05	0.08				
PC51					-3.08	4.54	-0.73	5.49	-1.93	2.89	-0.88	3.48	-3.57	5.11	-1.37	6.24	-1.17	1.59	-0.49	1.98				
dmax	0.02	3.98	0.06	9.61	0.01	4.54	0.06	9.21	0.01	2.89	0.05	6.00	0.05	5.51	0.01	11.19	0.03	1.82	0.05	3.51	0.02	17.72	0.05	39.42
dprom	-1.34	0.88	-0.31	1.71	-1.60	1.08	-0.35	2.08	-0.97	0.68	-0.24	1.28	-1.72	1.14	-0.44	2.20	-0.59	0.40	-0.16	0.77	-6.93	4.06	-1.59	8.51
dmin	-8.75	-0.50	-2.62	0.00	-8.92	-0.65	-2.42	0.00	-5.84	-0.46	-1.56	0.00	-10.80	-0.76	-2.74	0.02	-3.35	-0.26	-0.86	0.01	-37.67	-2.63	-10.21	0.04

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.

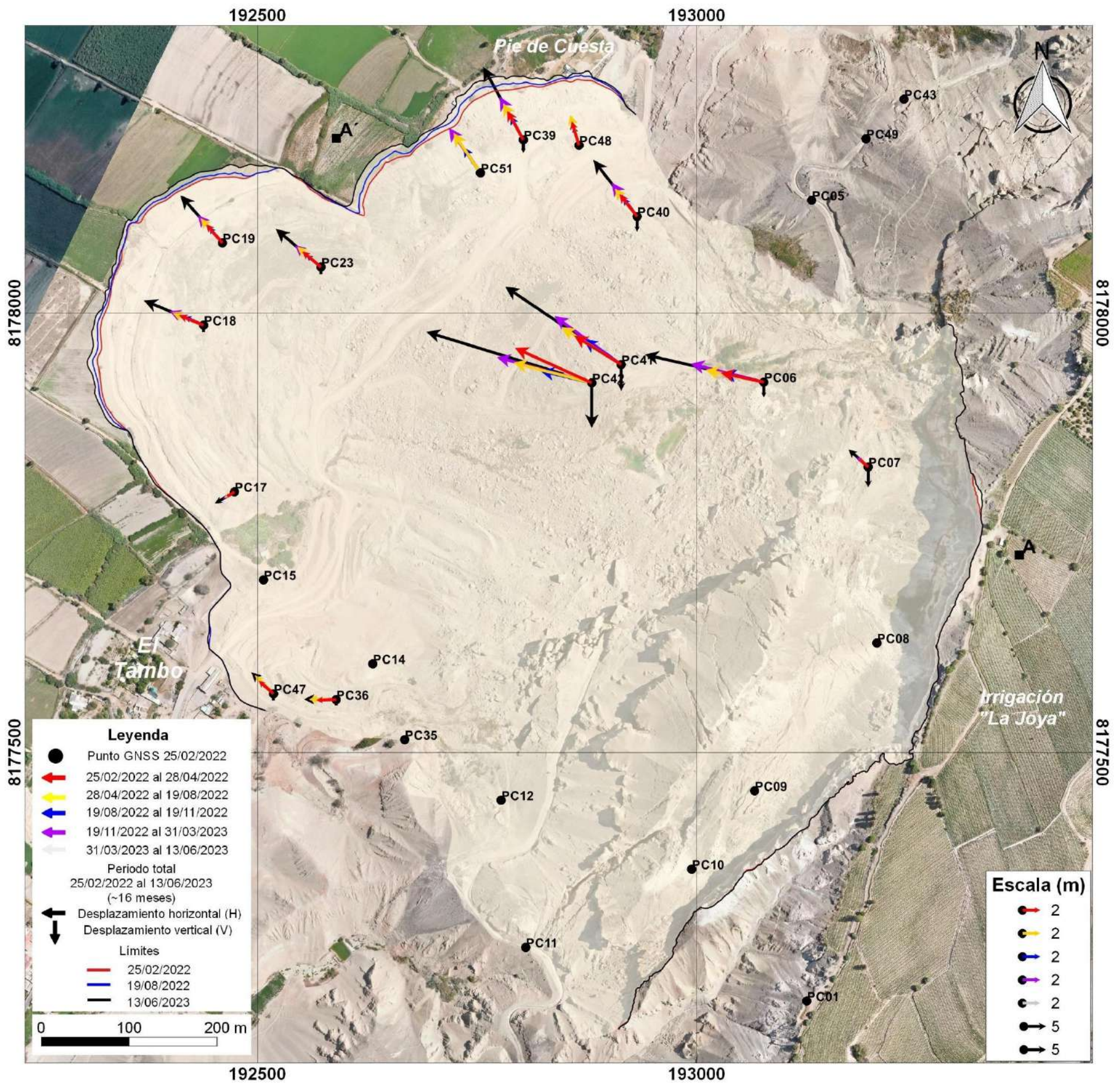


Figura 3. Mapa de vectores de desplazamiento horizontal de los puntos de control GNSS instalados en el deslizamiento de Pie de la Cuesta. La ortofoto base corresponde a febrero del 2022. Se observa el desplazamiento acumulado (vector negro) de dirección preferente noroeste. Los otros vectores corresponden a los momentos de aceleración de los dos eventos registrados. Las líneas (negro, azul y rojo) corresponden a las coronas y frentes del deslizamiento fotointerpretadas.

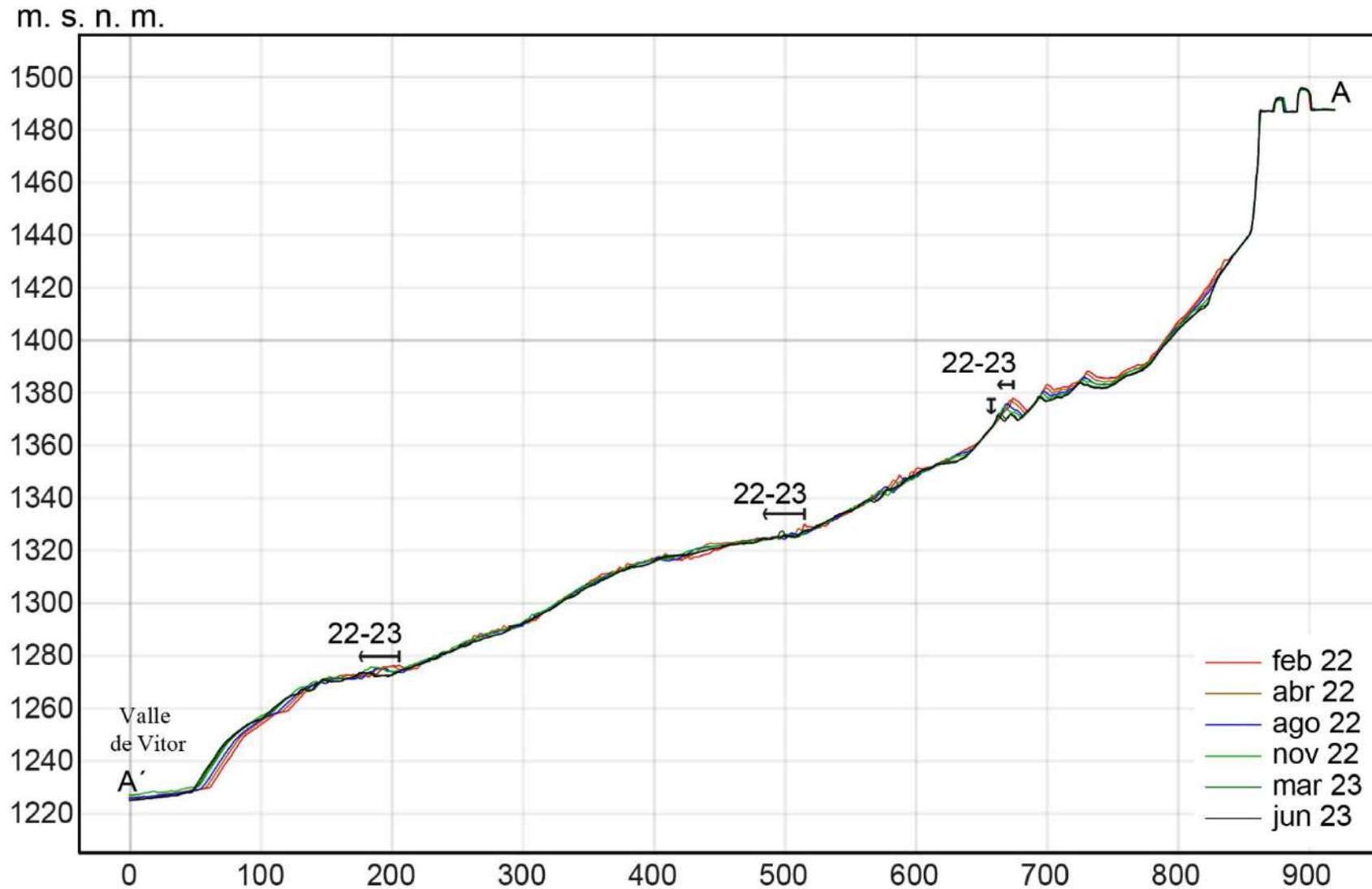


Figura 4. Comparación de secciones topográficas 2022 – 2023 del deslizamiento de Pie de la Cuesta. Las secciones se obtuvieron de modelos digitales de elevación georreferenciados de alta resolución (dron), generados para las fechas indicadas en la figura. Comparando cada periodo, se observan los paquetes desplazados hacia el lado de la corona (A) y el avance de la masa (A') en la zona del pie del deslizamiento. Se observan avances en dirección al valle de Vitor. La escala de la sección se duplicó en la vertical con fines de visualización.

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 3 y 4), se realizaron con drones multirrotor, entre el 2022 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 2022 - 2023.

Se fotointerpretaron los límites multitemporales de la corona (retrogradación) y pie (progresión) del deslizamiento de Pie de la Cuesta. Las fechas de las ortofotos comparadas corresponden al 22 de febrero del 2022, 19 de agosto del 2022 y 13 de junio del 2023 (figura 3). Se consideraron estas fechas al mostrar los mayores cambios morfológicos.

En relación a la retrogradación de la corona, no se aprecian eventos de gran magnitud en el periodo comparado, sin embargo, se fotointerpretó el retroceso de aproximadamente 6 m de un segmento en el norte de la corona (figura 3).

Los cambios mas resaltantes se aprecian en el frente del deslizamiento, donde se observan avances constantes y homogéneos. El avance mayor entre febrero del 2022 y junio del 2023 fue de ~ 15 m. Los movimientos se concentran hacia delante de los lóbulos del frente del deslizamiento (figura 3).

2.1.4 COMPARACION DE PERFILES TOPOGRÁFICOS

Los perfiles topográficos utilizados para esta comparación se extrajeron de seis modelos digitales de elevación de alta resolución (figura 4). La sección A - A' se escogió aleatoriamente, estimando la dirección principal de la zona que presenta mayores desplazamientos, por esta razón que la descripción no incluye cuantificaciones.

Dentro del intervalo de tiempo considerado, la sección muestra movimientos solamente en el cuerpo del deslizamiento. La parte alta muestra movimientos horizontales y verticales casi de la misma proporción, además de desplazamientos de similar magnitud entre periodo. La parte central muestra un componente mas horizontal con movimientos verticales menores. De forma similar, la parte frontal también muestra movimientos principalmente horizontales (figura 4).

2.2 Interpretaciones

2.2.1 DESPLAZAMIENTOS DEL CUERPO Y AVANCE DE LA CORONA

Los datos de monitoreo obtenidos entre el 2022 y 2023, muestran mayor actividad en el sector norte y centro del deslizamiento. Los desplazamientos más resaltantes registrados mediante GNSS, estarían relacionados al permanente movimiento de bloques y masas diferenciadas de este sector. En las secciones topográficas resalta un movimiento constante que inicia verticalmente y continua progresivamente hasta volverse principalmente horizontal hacia el frente. Esta característica, para este periodo, estaría mostrando un desplazamiento continuo no catastrófico de la masa sobre el plano de deslizamiento, lo cual también se refleja en la homogeneidad de los avances de los frentes. Debe resaltarse que la dinámica descrita no condiciona que la masa no pueda acelerarse de forma catastrófica en un futuro. Cabe mencionar, además, que la zona norte

también concentra la mayor presencia de agua, lo cual también estaría condicionando la dinámica local.

De la parte central hacia adelante, se diferencian dos masas de características mas fluidas, que avanzan paralelamente. Estas masas se distinguen en la fotointerpretación de los frentes, dado que avanzan cada una en su propia dirección preferente, en forma de dos lóbulos paralelos con avances delimitados. Los frentes estarían siendo empujados por bloques que se profundizan permanentemente, en la parte la parte alta y central del cuerpo. Para el lado central-sur del deslizamiento no se tienen datos GNSS, sin embargo, no se descarta la misma dinámica para esta zona, pero en menor magnitud dado que se mantiene la morfología central sin mucha deformación.

En el lado izquierdo del deslizamiento se observa una masa activa con morfología de flujo. Esta masa mostro movimientos en la dirección de su canal. Al no observarse movimientos cercanos puede interpretarse que esta dinámica seria local y superficial.

En relación a la corona, no se observan movimientos de retrogradación importantes. El retroceso de ~ 6 m en la parte norte, estaría relacionado con derrumbes locales de la corona. Sin embargo, este retroceso también podría estar mostrando señales de futuros eventos de retrogresión en ese sector.

3. CONCLUSIONES

Considerando las condiciones de peligrosidad a junio del 2023, se reiteran las siguientes conclusiones plasmadas del informe de Ingemmet, 2022:

1. Debido a su actividad, el deslizamiento de Pie de la Cuesta es una amenaza para las personas que aún ocupan las viviendas del valle, en la zona del pie del deslizamiento y para los que hacen uso de la vía principal (la cual se encuentra sobre la zona de acumulación del deslizamiento).
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. Los sectores que colindan con el deslizamiento de Pie de la Cuesta son Zonas Críticas de Muy Alto Peligro.
4. Siendo una zona de alta susceptibilidad a movimientos en masa, si se sigue practicando el riego descontrolado por gravedad y no tecnificado en los cultivos de las pampas de La Joya, los movimientos en masa seguirán produciéndose en las laderas colindantes y continuara el avance retrogresivo hacia los terrenos agrícolas y canal de riego. Estos movimientos pueden agravarse con sismos de mediana a gran magnitud.

En función a los datos de monitoreo obtenidos durante el 2022 y 2023, se concluye lo siguiente:

5. En relación a la actividad registrada instrumentalmente dentro del cuerpo del deslizamiento, los datos GNSS muestran movimiento permanente en el deslizamiento de Pie de la Cuesta, principalmente en el sector central-norte. Con estos datos se calculó un desplazamiento horizontal total de la masa, sector central norte, de hasta ~ 39 m (PC42) hacia el valle Vitor (noroeste), entre febrero del 2022 y junio del 2023. Los datos de las estaciones del frente muestran mayormente desplazamientos horizontales. Los movimientos verticales mayores fueron de hasta ~ -10 m en el sector central norte y también se calcularon para la estación PC42, relacionados al hundimiento y avance en proceso de la masa en este sector. Los datos GNSS también muestran movimiento de la masa activa con morfología de flujo del lado izquierdo del deslizamiento. Para este periodo se calcula una velocidad máxima de hasta ~ 2.5 m/mes, equivalente a "lenta".
6. 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 drone, muestran un retroceso máximo de la corona de ~ 6 m, en un segmento de su sector norte. Se observa progresión constante y homogénea hacia delante de los lóbulos del frente del deslizamiento, calculándose un avance mayor de hasta ~ 15 m.
7. La comparación de perfiles topográficos muestra desplazamientos solo de la masa deslizada, verticales y horizontales en la parte alta y principalmente avance desde la zona central hacia el frente, en dirección del valle de Vitor.
8. Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas analizadas con datos de monitoreo del presente informe y anteriores, se reitera que el deslizamiento de Pie de la Cuesta, 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 riego indiscriminado**. Consecuentemente, persiste la condición de avance progresivo de la masa deslizada hacia el valle de 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 a junio del 2023, se reiteran las siguientes recomendaciones brindadas en los informes del Ingemmet, 2022:

1. Evitar el riego descontrolado por gravedad y no tecnificado en los cultivos de las pampas de La Joya. Considerar una franja marginal de aproximadamente 200 metros, en las cercanías a la corona del deslizamiento. Implementar un sistema de riego tecnificado tipo goteo u otro recomendado por especialistas en la materia para la zona.
2. Evacuar y/o reubicar de manera inmediata a pobladores cuyas viviendas o terrenos de cultivo se encuentran afectados por el avance de la masa del deslizamiento activo, al estar expuestas a movimientos rápidos de la masa deslizada.
3. Evaluar el reasentamiento de la población aledaña, afectada por el deslizamiento de Pie de la Cuesta.
4. Limitar el tránsito de personas y vehículos sobre el deslizamiento (cuerpo) y colocar señalización clara y precisa.
5. Evaluar la reubicación de la carretera (que actualmente atraviesa la zona más activa del deslizamiento) a un lugar estable.
6. Restringir el acceso de personas a las zonas con presencia de grietas, en la parte alta (corona del deslizamiento).
7. Evaluar la infraestructura del canal a fin de prevenir posibles fugas de agua permanentes.
8. Continuar con el permanente monitoreo del deslizamiento de Pie de la Cuesta, ya que permite contar con un registro histórico de datos de desplazamientos, los cuales pueden servir para estimar desplazamientos futuros y sistemas de alerta temprana, entre otros.

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

9. 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 la irrigación de la parte alta, orientado a usar racionalmente el agua para el riego de cultivos.
10. Drenar las aguas de manera controlada. Utilizar las zonas de escorrentía natural del cuerpo del deslizamiento, profundizándolas y generando canales impermeables que permitan evacuar constantemente los permanentes flujos de agua.
11. Reportar inmediatamente a INDECI local y COER, los agrietamientos futuros que aparezcan detrás de la corona y/o dentro de los terrenos de cultivo.
12. 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.
13. No alterar ni retirar los puntos de monitoreo puesto que son una herramienta importante para la prevención, en la gestión de riesgo de desastres.
14. Ampliar la red de monitoreo temporal y evaluar la instalación de un sistema de monitoreo permanente, dentro de las zonas de muy alto y alto peligro y hacia el norte y sur del deslizamiento.
15. 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 Albino Baca
INGENIERO GEOLOGO
CIP 222658


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

5. BIBLIOGRAFÍA

Araujo, G. & Miranda, R. (2016). Evaluación geológica y geodinámica de deslizamientos en el flanco izquierdo del Valle de Vitor, sectores Pie de Cuesta, Telaya, Gonzales y Socabón. Distritos Vitor y La Joya, región Arequipa, provincia Arequipa. Informe Técnico;N° A6722 - INGEMMET.

Araujo, G., Pari W., Ojeda H., Huanca J., (2018). Geodinámica, Monitoreo Geodésico y Prospección Geofísica del deslizamiento de Pie de Cuesta – Vitor, 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.

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.

Huerta, V. (1977). Rehabilitación del Canal de Moco—San Luis en el Tramo del Pie de la Cuesta—Irrigación la Cano—Estudio Geológico—Geotécnico [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de San Agustín.

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, Vitor. Informe Técnico;N° A7041 – INGEMMET

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2022) - Monitoreo del deslizamiento de Pie de la Cuesta periodo 2021. Distritos de Vitor y La Joya, provincia de Arequipa, departamento de Arequipa. Lima: Ingemmet, Informe Técnico N°A7242, 26 p.

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

Ponce, V. (2008). Impacto hidrológico y ambiental de las irrigaciones de La Joya y San Isidro-La Cano en el Valle de Vitor, Arequipa, Perú.

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