

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7242

MONITOREO DEL DESLIZAMIENTO DE PIE DE LA CUESTA PERIODO 2021

Departamento Arequipa
Provincia Arequipa
Distritos Vitor y La Joya



MARZO
2022

MONITOREO DEL DESLIZAMIENTO DE PIE DE LA CUESTA

PERIODO 2021

(Distritos de Vitor y La Joya, provincia de Arequipa, departamento de 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

Dulio Gómez

Luis Albinez

Citación:

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

INDICE

RESUMEN	4
1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. Objetivos	5
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	5
1.3. Ubicación	6
2. ASPECTOS GEOLÓGICOS	7
3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	8
4. ASPECTOS GEODINÁMICOS DEL VALLE DEL RÍO VITOR	9
4.1. Deslizamiento de Pie de la Cuesta	12
5. ADQUISICIÓN DE DATOS	14
5.1. Monitoreo geodésico	14
5.2. Monitoreo fotogramétrico	15
6. ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD DEL DESLIZAMIENTO DE PIE DE LA CUESTA	18
6.1. Cinemática de la masa deslizada	18
6.2. Evolución multitemporal del pie y de la escarpa principal del deslizamiento	21
7. CONCLUSIONES	24
8. RECOMENDACIONES	25

RESUMEN

El presente informe tiene por finalidad dar a conocer la actividad del deslizamiento de Pie de la Cuesta a través del monitoreo geodésico y fotogramétrico, realizado entre abril y noviembre de 2021.

La combinación de ambos métodos permitió conocer la actividad de la masa deslizada, la cual, considerando mediciones más recientes del año 2021, presentó velocidades de 1.3 a 3 m/mes en dirección hacia el valle de Vitor. Los datos obtenidos también permitieron conocer la evolución y caracterización del avance retrogresivo de la escarpa principal y progresivo del pie de la masa deslizada, los cuales presentaron un avance máximo de 9 metros en dirección a la Irrigación de la Joya y 14 metros en dirección al Valle de Vitor respectivamente.

En base al análisis de los datos obtenidos, se concluye que los sectores que colindan con el deslizamiento de Pie de la Cuesta constituyen zonas críticas de Muy Alto Riesgo, por el constante avance progresivo (hacia el Valle de Vitor) y retrogresivo (hacia la Irrigación de la Joya) de este deslizamiento activo. Se recomienda reubicar de manera inmediata a la población que se encuentre al pie del deslizamiento, realizar el desvío de la carretera, entre otras recomendaciones que contribuyen en la reducción de riesgo.

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). Siendo los principales factores desencadenantes y condicionantes de estos eventos la sobresaturación del suelo producto de la infiltración de agua proveniente de estas irrigaciones, las condiciones de los materiales cuaternarios (conglomerados y secuencias areno-arcillosos de pobre a medianamente consolidados) y las fuertes pendientes de las laderas del valle (Araujo et al, 2016).

Uno de los deslizamientos más grandes y destructivos presentes en el Valle de Vitor, es el deslizamiento de Pie de la Cuesta, que actualmente presenta una escarpa principal de 1 Km de longitud y un área de 3.5 km² aproximadamente.

Este deslizamiento se inició el 6 de octubre de 1974 y al año siguiente, el 9 de enero de 1975, ocurrió el colapso mayor sepultando el pueblo de Pie de la Cuesta, un colegio, varias viviendas, y obligando a la reubicación de más de 12 familias; además cubrió aproximadamente seis hectáreas del valle (Ponce, 2008). Después de más de 40 años de iniciado este fenómeno, a mediados del año 2016 ocurrió la reactivación de este deslizamiento (Araujo et al, 2016), enterrando cada vez más terrenos de cultivo y arrasando con la infraestructura a su paso.

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, viene realizando el estudio y monitoreo de este deslizamiento.

Este trabajo tiene por finalidad dar a conocer el estado de la actividad del deslizamiento de Pie de la Cuesta a través de la información que provee el monitoreo geodésico y fotogramétrico durante las 3 campañas de medición realizadas en el año 2021.

1.1. Objetivos

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Cuantificar el desplazamiento horizontal y vertical, así como la velocidad de la masa deslizada.
- b) Caracterizar el avance de la escarpa principal y pie del deslizamiento.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Después de ocurrida la reactivación del deslizamiento de Pie de la Cuesta en el año 2016, el INGEMMET emitió 2 informes técnicos.

- A) En agosto de 2016 se emitió el primer 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”.
- B) En mayo de 2018 se emitió un segundo informe técnico N° A6813: “Geodinámica, monitoreo geodésico y prospección geofísica del deslizamiento de Pie de la Cuesta”.

1.3. Ubicación

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

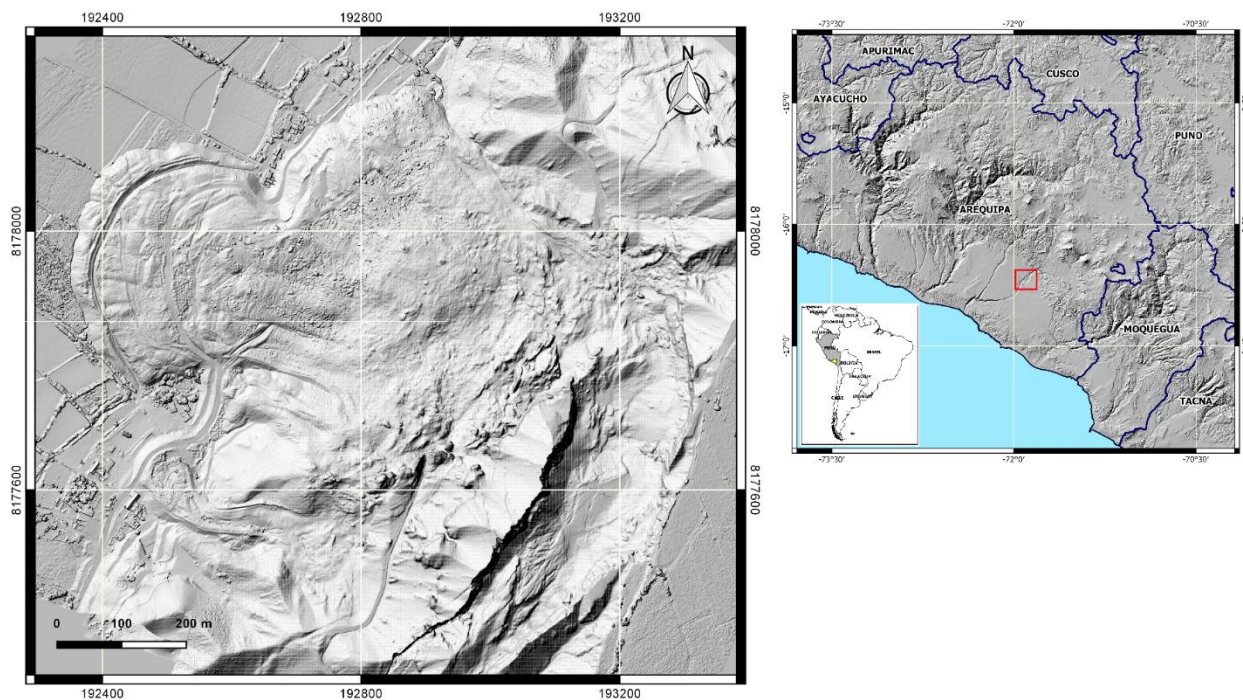


Figura 1. Localización del área de estudio.

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

Para desarrollar este capítulo se tomó el estudio de Araujo et al. (2018).

Afloran en el área de estudio litologías del Paleoceno y Cuaternario, correspondiendo a las formaciones Sotillo, Moquegua, Millo, depósitos aluviales pleistocenos, depósitos aluviales holocenos de terraza y depósitos fluviales recientes. Se tiene además depósitos coluvio-deluviales originados por los deslizamientos (figura 2).

La unidad inferior conocida como Formación Sotillo, la más antigua expuesta en la zona, se caracteriza por estar formada por areniscas y lutitas de color rojizo, areniscas arcósicas y conglomerados formados por clastos volcánicos, areniscas cuarzosas e intrusivas. Aflora en ambas márgenes, en la parte media baja del deslizamiento. Se observan superficies naturales fracturadas con estratificación contra la pendiente, medianamente consolidadas, muy meteorizadas y de fácil erosión.

La formación Moquegua infrayace a la formación Millo y está constituida por depósitos arenarcillosos, areno tobáceos y conglomerádicos ligeramente redondeados. En la parte media del escarpe principal se observan superficies facturadas poco consolidadas, con evidencia de planos de desprendimientos recientes, prueba de ello son los coluvios depositados en la base. Hacia el flanco izquierdo, se observan surgencias de agua que afloran permanentemente alineadas sobre niveles más impermeables.

La formación Millo aflora en gran extensión en la zona de estudio suprayace en discordancia y erosiva a la Formación Moquegua; en algunos casos marca el límite de escarpas secundarias de movimientos en masa antiguos. Litológicamente está constituida por conglomerados moderadamente consolidados con clastos medianamente redondeados de intrusivos, areniscas cuarzosas y volcánicos con matriz areno tobácea de grano grueso, areniscas tobáceas grisáceas de grano medio a fino en bancos de hasta un metro de espesor. En la parte alta del escarpe principal, se observan los clastos con diámetro de hasta 10 cm envueltos matriz arenosa, poco consolidados y meteorizados, lo cual condiciona desprendimientos progresivos.

La parte alta del sector Pie de Cuesta está formada por depósitos aluviales de edad Pleistocena, constituidos principalmente por conglomerados con clastos volcánicos, sedimentarios y metamórficos de formas sub redondeadas a redondeadas; con diámetros entre 10-20 cm unidos por una matriz arenosa. Superficialmente, estos depósitos se observan compactados cubriendo laderas, sin embargo, bajo presión, la matriz se remueve con facilidad aflojando los clastos, lo cual muestra cierto grado de meteorización.

El piso de valle del río Vítor está dispuesto por terrazas con depósitos cuaternarios aluviales, usados como terrenos agrícolas cultivables y para la construcción de viviendas. Los depósitos coluviales dispuestos al pie de las laderas con pendientes abruptas a moderadas, se formaron por la ocurrencia de movimientos de masa antiguos y recientes. Sobre el cuerpo deslizado se distinguen diferentes depósitos de caída muy recientes, principalmente provenientes de las formaciones Millo y Moquegua, producto de la dinámica del deslizamiento.

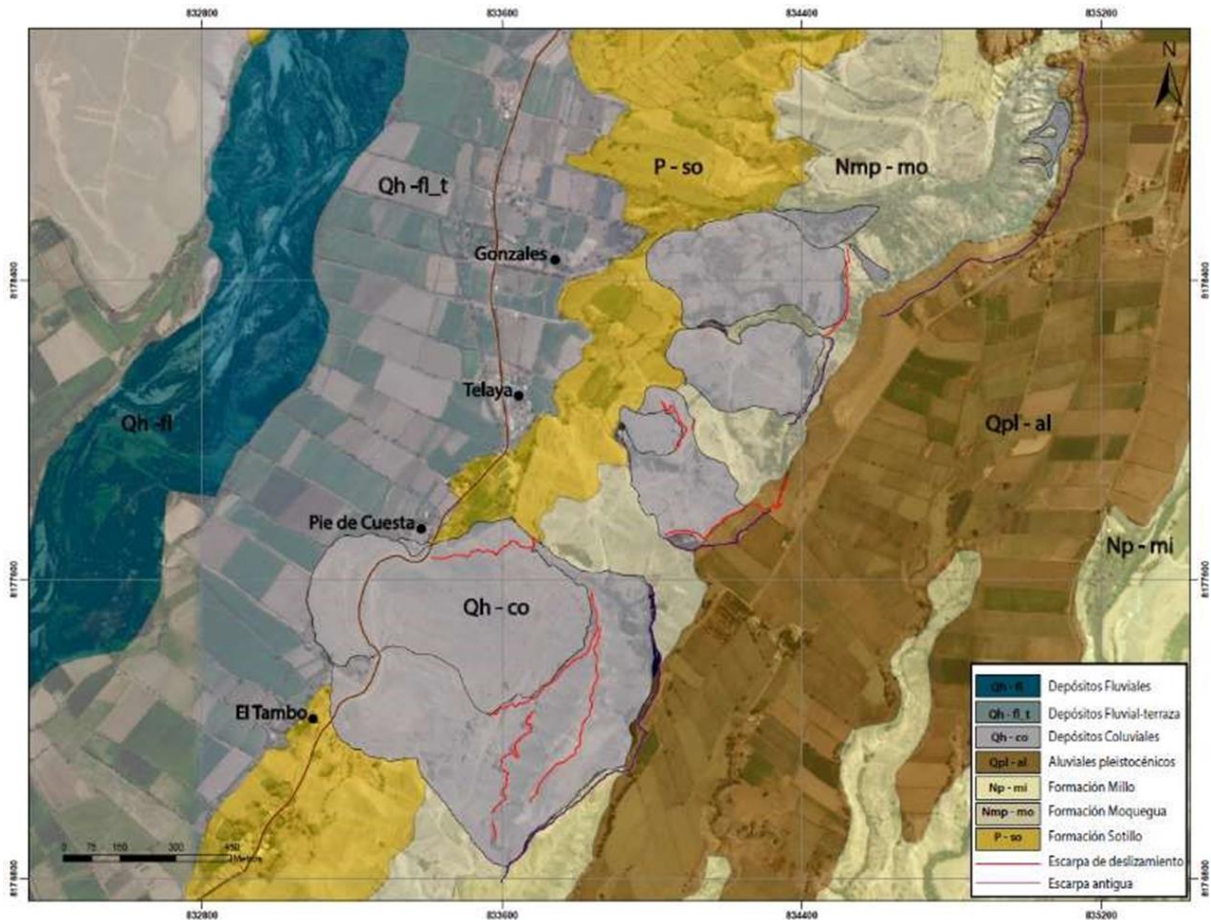


Figura 2. Unidades geológicas expuestas en los alrededores del deslizamiento del Pie de Cuesta (Araujo et al., 2018).

3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Para desarrollar este capítulo se tomó el estudio de Araujo et al. (2018).

Geomorfológicamente del área de estudio está formada por unidades de planicies y valles:

La planicie costanera se encuentra disectada por quebradas secas, anchas de fondo plano, poco profundas, además de los ríos principales que las cortan y que forman valles estrechos en forma de V con desniveles de 600 hasta 1000 m.

El valle del río Vitor con pendiente pronunciada está disectado por quebradas secas. En la parte baja del valle se observan terrazas fluviales que alcanza hasta un metro de altura. Los flancos de estos valles son empinados y escarpados suavemente inclinados a medida que se aproximan al litoral.

El mapa de pendientes mostrado en la figura 3, clasifica el área de estudio en tres unidades, diferenciadas según el grado inclinación del relieve (0° a +30°):

- 0° a 10°: Muestra los valores de pendiente baja de geformas como planicies y piso de valle de Vítor.
- 10° a 30°: Área de pendientes ligeramente empinadas, como laderas y quebradas secas.
- > 30°: Representa la escarpa principal del deslizamiento de Pie de Cuesta, límites de valle y quebradas fuertemente empinadas.

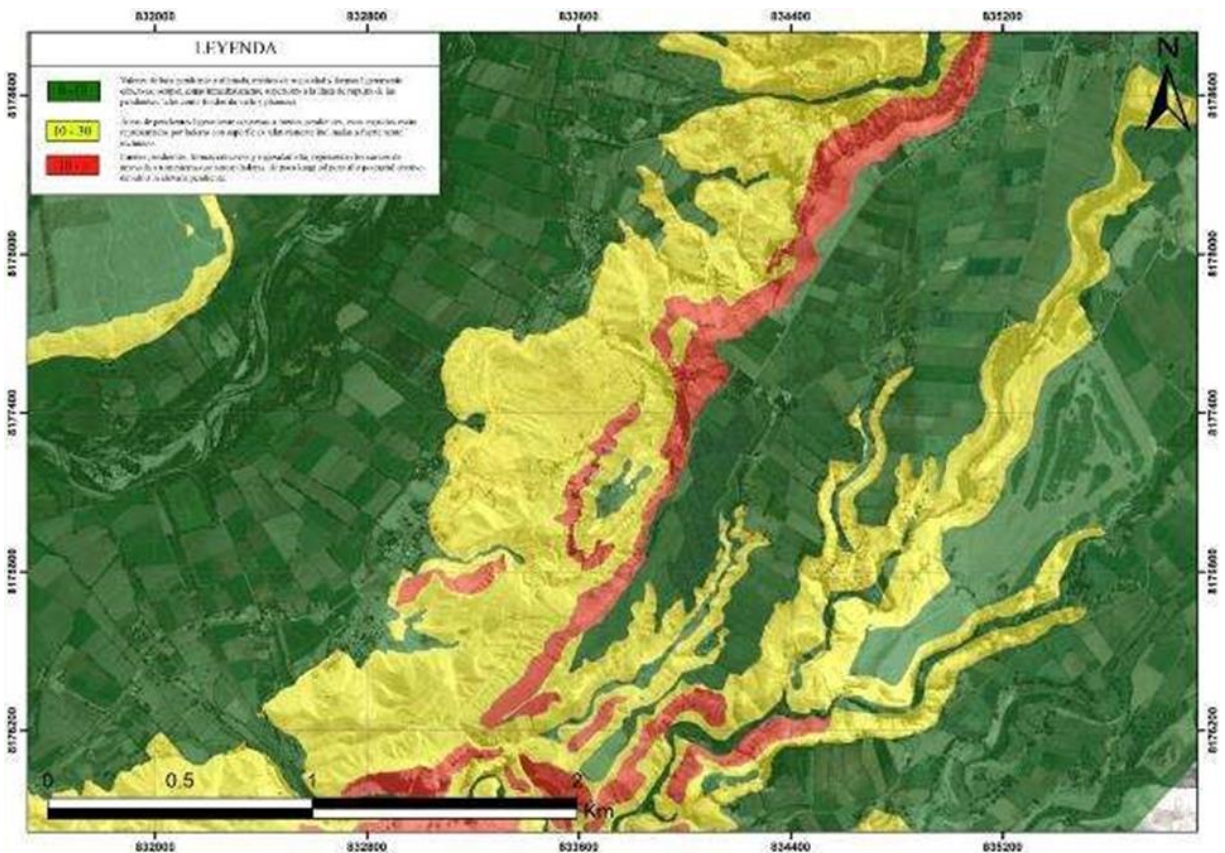


Figura 3. Mapa de pendiente del terreno, corresponde al área de influencia del deslizamiento del Pie de Cuesta (Araujo, 2018).

4. ASPECTOS GEODINÁMICOS DEL VALLE DEL RÍO VITOR

Para desarrollar este capítulo se tomó el estudio de Araujo et al. (2018).

El valle de Vítor es susceptible a la ocurrencia de movimientos en masa (principalmente deslizamientos, caídas de roca y derrumbes), por saturación e infiltración hídrica permanente de secuencias conglomerádicas poco consolidadas del subsuelo, típico de la costa peruana. Es importante mencionar que el factor sismo, como detonante, puede aumentar la peligrosidad del área.

Previo al uso de la técnica de monitoreo geodésico y geofísico para identificación de movimientos en masa, se realizó la elaboración de un mapa de susceptibilidad (figura 4), fotointerpretación y

cartografiado del valle de Vítor con la finalidad de obtener un panorama geomorfológico y geodinámico de las áreas más activas en el valle de Vítor.

- Los factores que condicionan la ocurrencia de los procesos exógenos como los movimientos en masa, pueden ser externos como lluvias intensas y/o prolongadas de carácter extraordinario, sismos, infiltración de las aguas de regadío, modificación del talud natural, entre otros; e intrínsecos como el tipo y estado de los materiales (geología, ingeniería geológica), las formas del terreno (geomorfología), el nivel freático, tipo de vegetación, entre otros. Para la identificación del nivel de susceptibilidad por movimientos en masa en el valle Vítor, es decir la propensión de los terrenos a generar deslizamientos, derrumbes, avalanchas, caídas de rocas, entre otros, se utilizó el método heurístico basado en la categorización y ponderación de factores (figura 4). Las herramientas utilizadas para el análisis de susceptibilidad de movimientos en masa son los mapas de unidades de cobertura vegetal, uso de suelo, unidades hidrogeológicas, unidades geomorfológicas, unidades de pendiente del terreno y unidades litológicas.
- En la fotointerpretación y cartografiado de valle de vitor se muestra de igual manera movimientos en masa antiguos y recientes como deslizamientos, flujos de detritos, derrumbes y desprendimientos (a menor escala); Además de geoformas como conos aluviales, zonas de erosión de laderas, cárcavas y lagunas de infiltración.

La comparación de áreas de susceptibilidad alta a muy alta corrobora la ocurrencia de movimientos en masa en el área. Los sectores dinámicamente más activos en el valle de Vítor son: Pie de la Cuesta y Punillo. Sin embargo, hay otras zonas con susceptibilidad alta a muy alta que pueden activarse como movimientos en masa, cuya ocurrencia está sujeta a los siguientes factores: antrópicos (uso de suelo, sistemas de irrigación) y naturales como sismicidad y precipitaciones excepcionales.

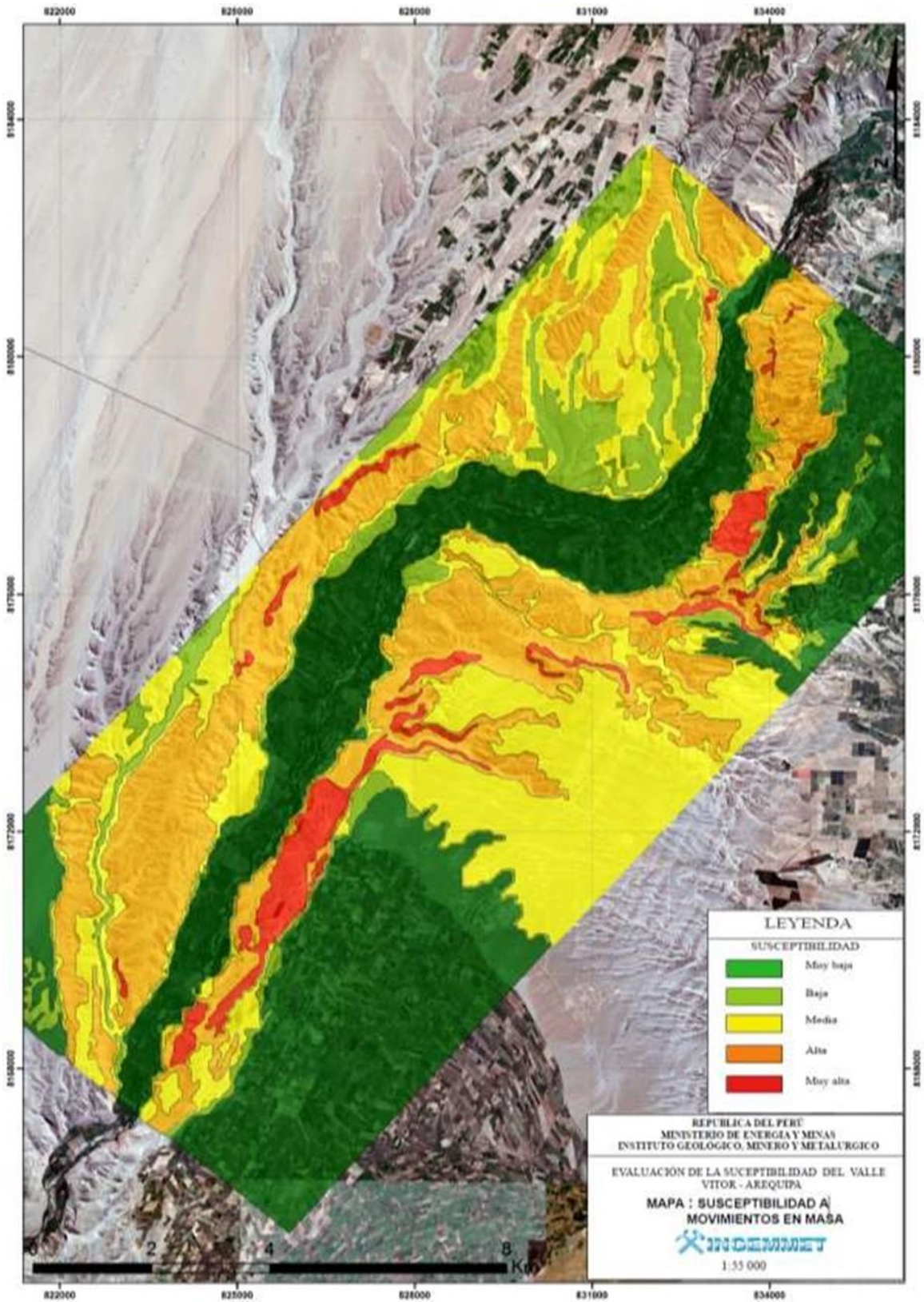


Figura 4. Susceptibilidad a movimientos en masa en el valle de Vitor (Araujo, 2018).

4.1. 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 (Araujo et al, 2018).

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 ~500 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 (Araujo et al, 2018). La activación del deslizamiento está asociada a la ocurrencia de flujo de detritos y caída de bloques que ocurren en la escarpa de este.

En la actualidad el avance de su masa desplazada es progresivo y afecta parcelas de cultivo sobre el piso del valle del río Vítor. Así mismo, se observa en la parte alta hacia la irrigación la Joya, grietas a una distancia de 2.1 m del escape principal con una longitud de 20 m, con orientación norte 205° y una apertura de 4 cm (figura 6), cubiertas por arena.

La masa desplazada está constituida por bloques de conglomerados, arcillas y arenas tobáceas, dispuestos en una matriz gravo arenosa con grietas tensionales de aperturas centimétricas (figura 5).

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 (figura 7).



Figura 5. Agrietamientos sobre la masa desplazada del deslizamiento.



Figura 6. Grietas en la corona del deslizamiento de Pie de la Cuesta. (A) Vista tomada con dirección norte donde se observa grietas selladas por arena. (B) Vista tomada con dirección norte donde se observa grietas abiertas.



Figura 7. Afloramientos de agua entre el límite de los depósitos conglomerádicos y arenosos.

5. ADQUISICIÓN DE DATOS

5.1. Monitoreo geodésico

Para el monitoreo geodésico se utilizó el método GNSS diferencial RTK (cinemático en tiempo real). Este método utiliza dos receptores GNSS operando de manera simultánea (figura 8).



Figura 8. Instalación de Equipos para Levantamiento GNSS RTK. Los valores de corrección se envían directamente por radio desde la estación base al receptor móvil. De esta manera, con este último se puede registrar continuamente su posición relativa al punto de referencia con una precisión por debajo del decímetro. (A) Receptor móvil ubicado en la municipalidad de Vitor. (B) Receptor móvil tomando coordenadas en punto de control de la red de monitoreo.

En cada campaña de medición, el receptor GNSS denominado estación base, ocupó el mismo punto de coordenadas conocidas ubicado en una zona estable en el techo de la Municipalidad distrital de Vitor (figura 4A), mientras que el otro, denominado receptor móvil (figura 4B), se utilizó para medir las coordenadas de los puntos de control (hitos de concreto empotrados en la masa deslizada) que forman parte de la red de monitoreo geodésico temporal del deslizamiento de Pie de la Cuesta (figura 9).

El equipo utilizado para el levantamiento corresponde al sistema GNSS integrado Trimble R12. Esta red se encuentra referenciada con Datum WGS 1984, Zona 19 S, y modelo geoidal EGM 08.

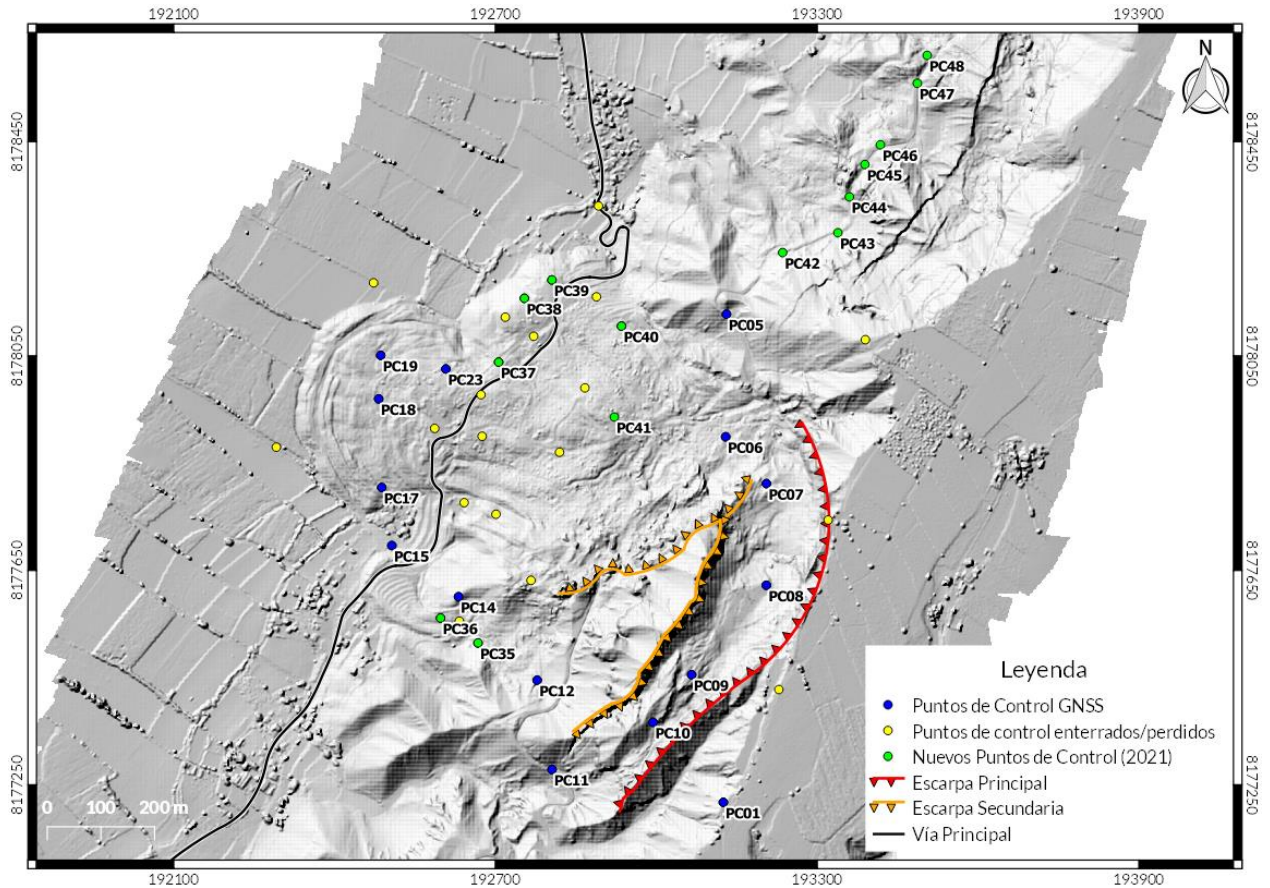


Figura 9. Red geodésica de puntos de control en el deslizamiento de Pie de la Cuesta.

Con la información obtenida, se comparó la posición de los puntos de control en diferentes campañas de medición lo cual permitió determinar desplazamientos horizontales y verticales en la superficie del deslizamiento. Así mismo, la velocidad mensual de desplazamiento se calculó a partir de la relación entre el desplazamiento horizontal y el tiempo transcurridos entre las campañas de medición con la finalidad de obtener una idea global de la cinemática del fenómeno.

5.2. Monitoreo fotogramétrico

Para el monitoreo fotogramétrico del deslizamiento de Pie de la Cuesta se han utilizado drones de ala fija (eBee Plus) y multirrotor (Matrice300 RTK) (figura 10), durante tres campañas de campo llevadas a cabo en abril, octubre y noviembre de 2021.



Figura 10. (A) Dron eBee Plus. (B) Drone Matrice 300 RTK.

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

Para el proceso fotogramétrico se utilizó la técnica SFM (Structure From Motion) (figura 12) 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 13).

Las ortofotos se utilizaron para cartografiar la posición multitemporal de la escarpa principal y pie del deslizamiento de Pie de la Cuesta, así como la infraestructura enterrada y amenazada haciendo uso del software QGIS V.3.20.

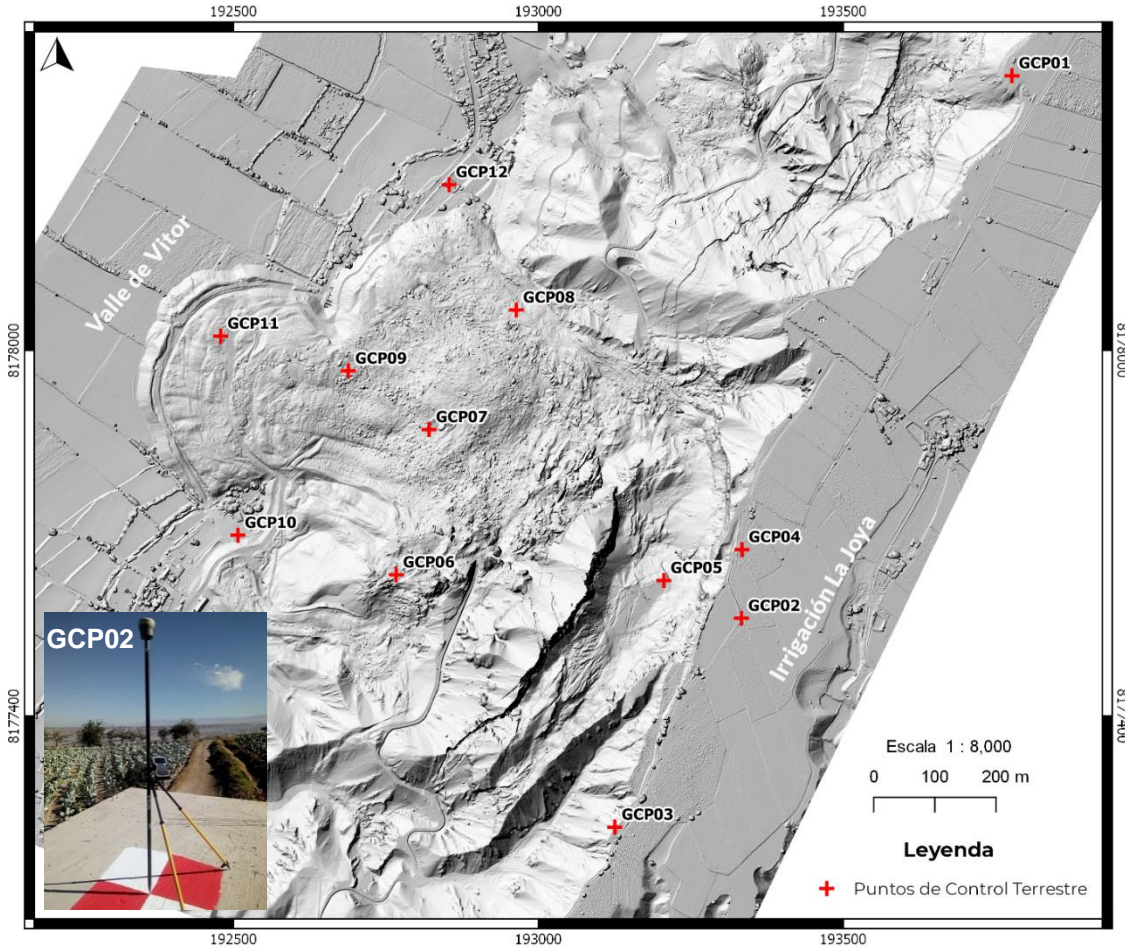


Figura 11. Ubicación de los puntos de control terrestre (GCP, del inglés ground control points) para georreferenciar las imágenes de dron.

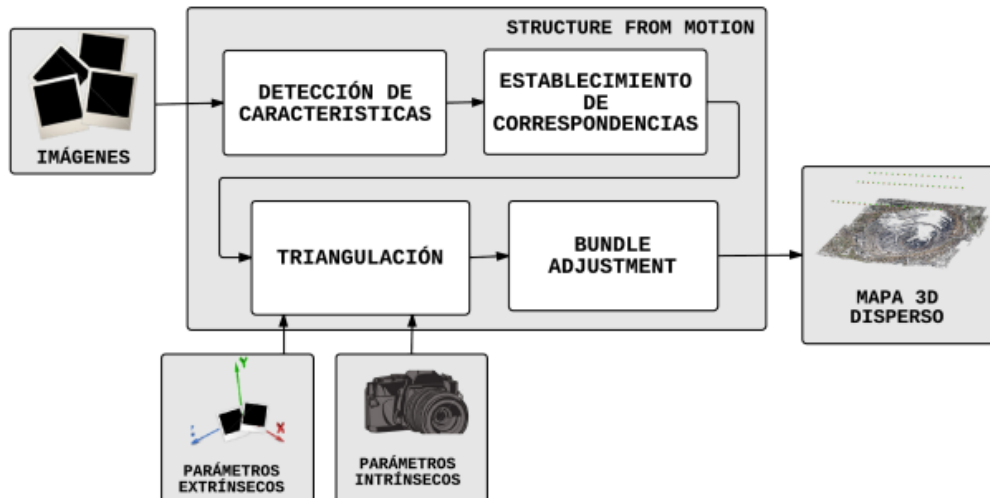


Figura 12. Esquema general de generación de mapas de nube de puntos dispersa (Structure from Motion).

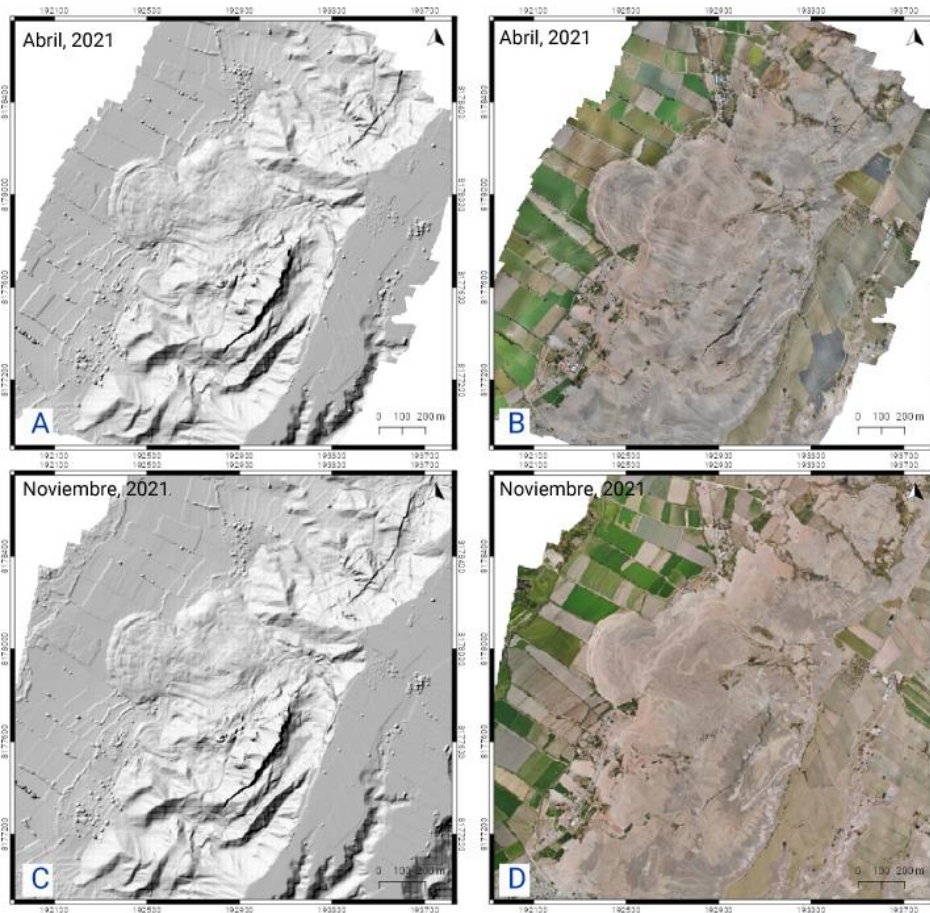


Figura 13. Modelos digitales de elevaciones (A y C) y ortofotos (B y D) del deslizamiento de Pie de la Cuesta en diferentes periodos logrando una resolución de hasta 4 cm/px.

6. ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD DEL DESLIZAMIENTO DE PIE DE LA CUESTA

6.1. Cinemática de la masa deslizada

En el transcurso del 2021, se realizaron tres campañas de medición de la red de puntos de control GNSS instalados en el deslizamiento de Pie de la Cuesta. A partir de estos datos se calculó el desplazamiento y velocidad de la parte baja o pie del deslizamiento, donde se pueden diferenciar 3 zonas (tabla 1).

La primera zona monitoreada por los puntos de control PC37, PC38, PC39 y PC40 (que corresponden a los nuevos puntos de control instalados en el año 2021) está ubicada hacia el flanco derecho del deslizamiento. Durante el periodo comprendido entre el 14 de octubre y 26 de noviembre de 2021 (≈ 1.4 meses), esta zona presentó un desplazamiento horizontal promedio de 3.20 metros y una velocidad promedio de 2.24 m/mes.

La segunda zona monitoreada por los puntos PC17, PC18, PC19 y PC23 está ubicada en la parte baja central del deslizamiento. Durante el periodo comprendido entre el 06 de abril y 14 de octubre de 2021 (≈ 6.4 meses), esta zona presentó un desplazamiento horizontal promedio de 6.28 metros y una velocidad promedio de 1 m/mes. Durante el periodo comprendido entre el 14 de octubre y

26 de noviembre de 2021 (≈ 1.4 meses), esta zona presentó un desplazamiento horizontal promedio de 1.89 metros y una velocidad promedio de 1.32 m/mes. En este último periodo se observa un incremento en la velocidad en comparación con el periodo anterior.

La tercera zona monitoreada por el punto de control PC36 (que es uno de los nuevos puntos de control instalados en el año 2021) está ubicada hacia el flanco izquierdo del deslizamiento. Durante el periodo comprendido entre el 14 de octubre y 26 de noviembre de 2021 (≈ 1.4 meses), el desplazamiento horizontal fue de 4.31 m y la velocidad de 3 m/mes.

Tabla 1. Desplazamiento y velocidad de los puntos de control GNSS del deslizamiento de Pie de la Cuesta entre campañas. *DH = Desplazamiento horizontal, VH = Velocidad de Desplazamiento Horizontal.*

PUNTOS DE CONTROL GNSS	06/04/2021 AL 14/10/2021 (≈ 6.4 meses)		14/10/2021 AL 26/11/2021 (≈ 1.4 meses)	
	D _H	V _H	D _H	V _H
	Δ_{E-N} (m)	m/mes	Δ_{E-N} (m)	m/mes
PC01	0.02	0.00	0.01	0.01
PC05	0.05	0.01	0.01	0.00
PC06	13.76	2.16	4.20	2.93
PC07	5.71	0.90	2.07	1.44
PC08	0.17	0.03	0.01	0.01
PC09	0.04	0.01	0.02	0.02
PC10	0.03	0.01	0.01	0.01
PC11	0.05	0.01	0.01	0.01
PC12	0.01	0.00	0.03	0.02
PC14	0.02	0.00	0.02	0.01
PC15	0.01	0.00	0.00	0.00
PC17	2.85	0.45	0.83	0.58
PC18	8.03	1.26	2.43	1.70
PC19	7.11	1.12	2.18	1.52
PC23	7.12	1.12	2.09	1.46
PC35	-	-	0.02	0.01
PC36	-	-	4.31	3.01
PC37	-	-	3.82	2.66
PC38	-	-	3.38	2.36
PC39	-	-	2.94	2.05
PC40	-	-	2.68	1.87

Así mismo, en la figura 14, se aprecia la representación gráfica de la magnitud y la dirección del desplazamiento horizontal de los puntos de control GNSS, para el periodo entre el 14 de octubre y 26 de noviembre de 2021 (≈ 1.4 meses). En este mapa se observa claramente un empuje de material predominantemente en dirección al noroeste (hacia el Valle de Vitor).

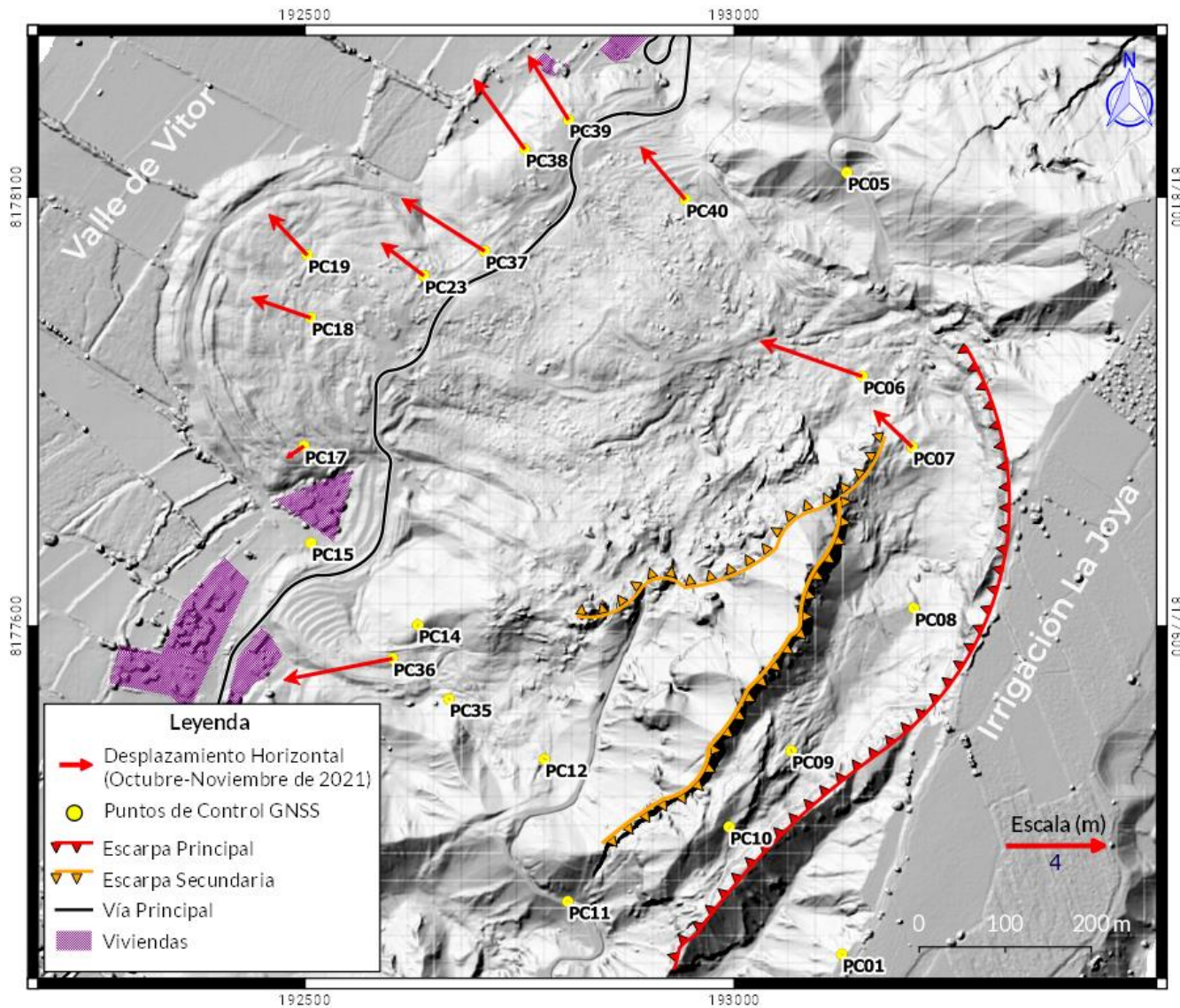


Figura 14. Mapa de Vectores mostrando el desplazamiento horizontal del deslizamiento de Pie de la Cuesta, del 14/10/2021 al 26/11/2021 (≈ 1.4 meses). Los puntos de control PC05, PC08, PC09, PC10, PC11, PC12, PC14, PC15 y PC35 no presentaron desplazamiento para este periodo.

6.2. Evolución multitemporal del pie y de la escarpa principal del deslizamiento

Los ortomosaicos de alta resolución obtenidos a partir de la fotogrametría aérea con drones se utilizaron para cartografiar las posiciones recientes del pie y de la escarpa principal del deslizamiento de Pie de la Cuesta. También se cartografió la infraestructura enterrada y afectada por el avance de la masa deslizada (figura 15).

En la figura 12, las líneas roja y azul representan la posición del pie del deslizamiento en abril y en noviembre de 2021 respectivamente. La separación entre estas dos líneas corresponde al avance de la masa deslizada, donde se midió un avance máximo de 14 metros en ~7 meses (en el punto señalado por la flecha amarilla).

En el Valle de Vitor, sector Pie de la Cuesta, se encuentran afectados por el deslizamiento: un tramo de la carretera principal del distrito, la tubería que se colocó para reemplazar un tramo del canal de irrigación enterrado por el deslizamiento terrenos de cultivo y pobladores que hacen uso de la carretera.

La carretera principal del distrito, atraviesa la zona de acumulación del deslizamiento por lo que se ve afectada muy frecuentemente por la intensa deformación presente en la zona, viéndose interrumpido el tránsito de vehículos y comunicación de algunas localidades del distrito de Vitor con el resto del valle. Además, la continua deformación, dificulta la salida a la Panamericana Sur.

En esta misma zona, muy activa y de deformación constante, sobre el deslizamiento se encuentra una tubería de riego, que reemplaza el tramo de canal sepultado por el deslizamiento, la cual abastece de recurso hídrico a la parte baja del valle de Vitor.

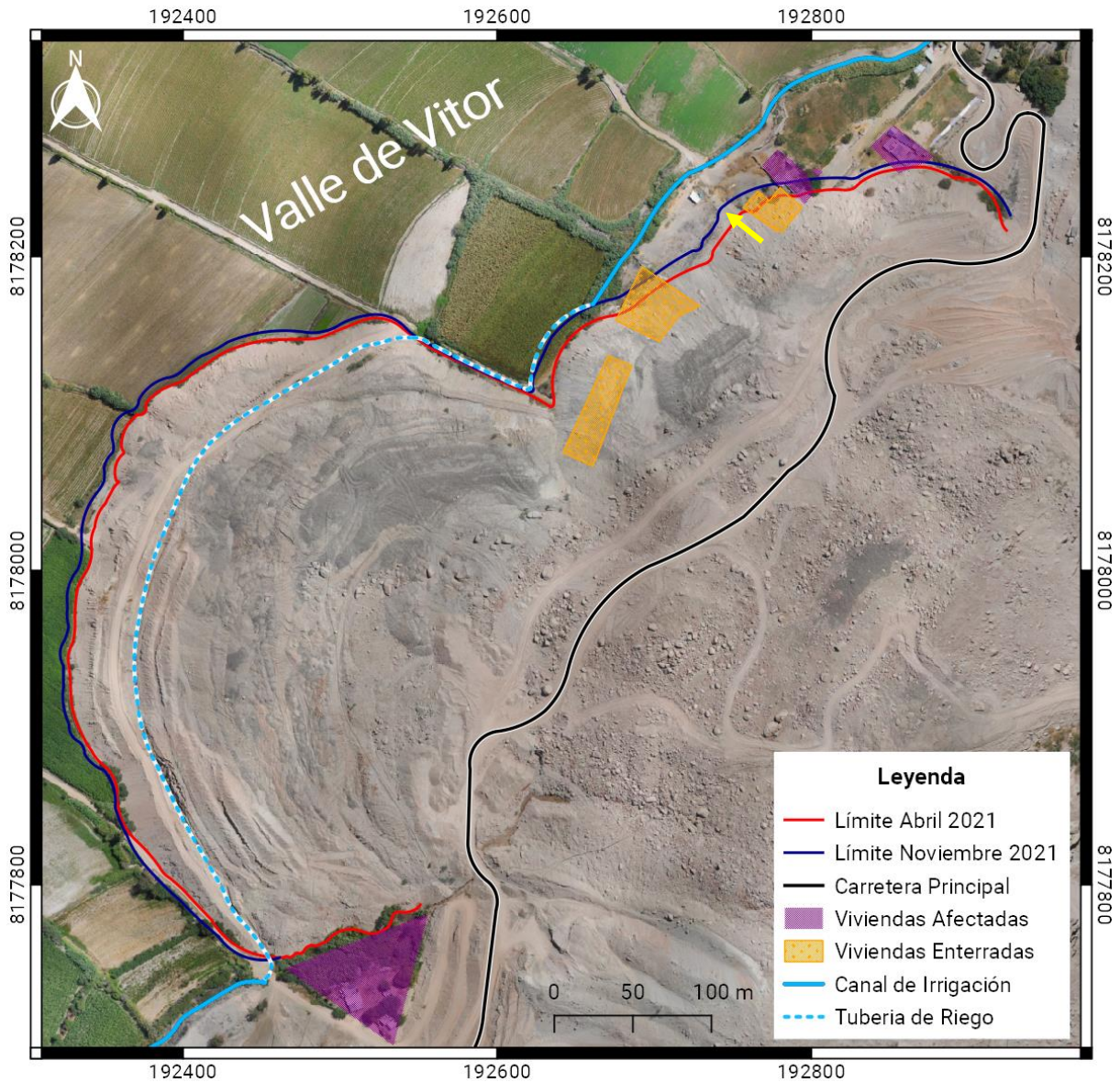


Figura 15. Avance del pie del deslizamiento entre abril y noviembre de 2021.

Así mismo, se ha identificado un sector de la escarpa principal con un avance retrogresivo de hasta 9 metros en el punto señalado por la flecha amarilla (figura 16). A pesar de que este derrumbe se presentó en un solo sector, no se descarta que se presenten nuevos derrumbes en otros sectores a lo largo de la escarpa principal y que su avance pueda provocar el colapso de terrenos de cultivo de la irrigación de la Joya.

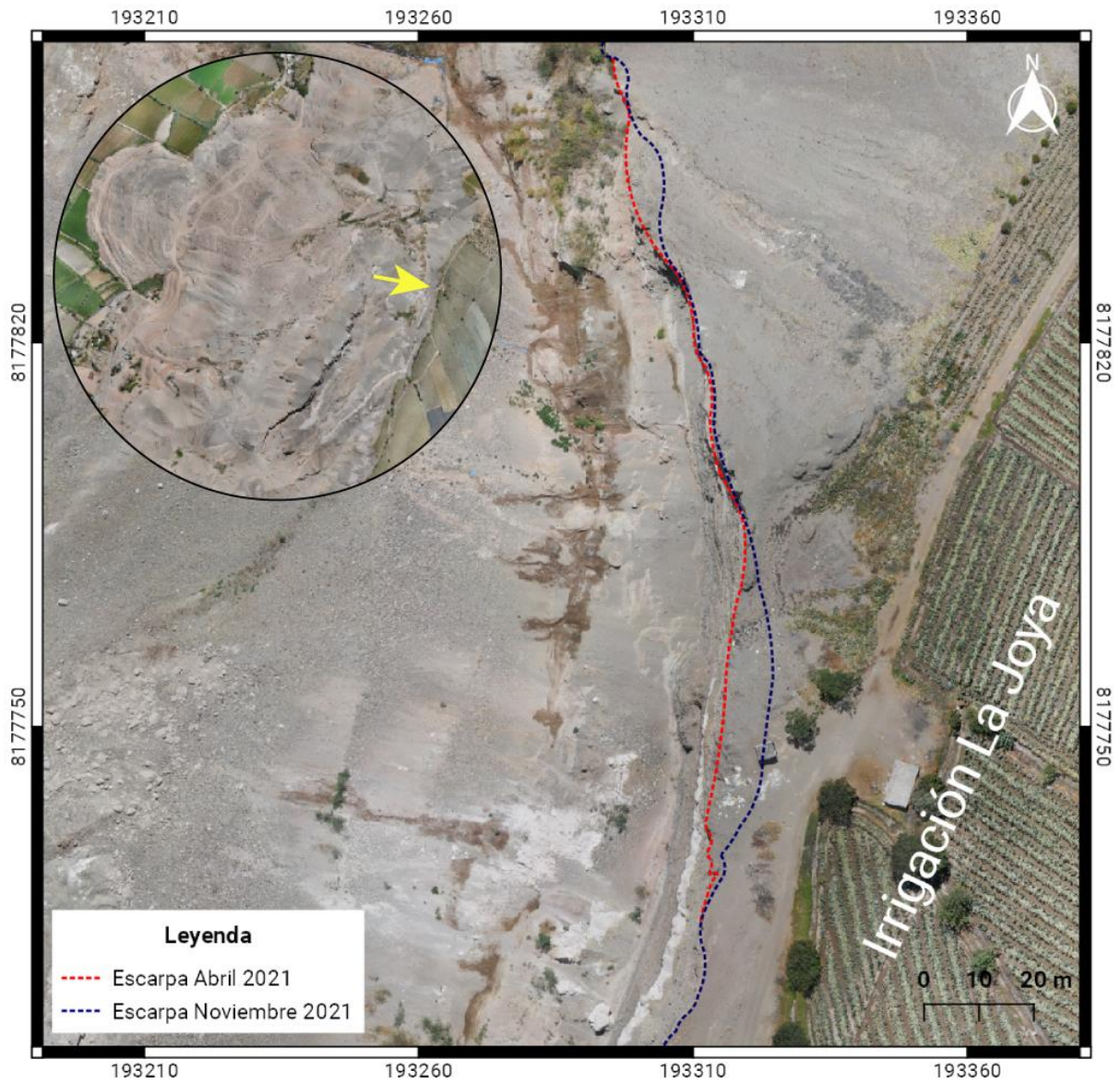


Figura 16. Evolución de la escarpa principal del Deslizamiento de Pie de la Cuesta. La flecha indica el segmento de mayor avance (9 m) en \approx 7 meses.

7. CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos del monitoreo geodésico y fotogramétrico del año 2021, muestran que el deslizamiento de Pie de la Cuesta se encuentra activo. Por lo tanto, persiste la situación de muy alto peligro por el avance de la masa deslizada hacia el Valle de Vitor y por el avance retrogresivo de la escarpa principal hacia la Irrigación de La Joya Antigua.
2. Debido a su actividad, el deslizamiento de Pie de la Cuesta es una amenaza para las personas que aún ocupan las viviendas que ya han sido alcanzadas por el avance 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).
3. De acuerdo con las mediciones GNSS, entre octubre y noviembre de 2021, la parte baja del deslizamiento presentó velocidades de entre 1.3 a 3 m/mes. La dirección predominante de la masa deslizada fue hacia el noroeste (en dirección al valle de Vitor).
4. En base a datos obtenidos de insumos fotogramétricos, un sector de la escarpa principal del deslizamiento de Pie de la Cuesta se derrumbó presentando un avance retrogresivo máximo de 9 metros.
5. Los sectores que colindan con el deslizamiento de Pie de la Cuesta son Zonas Críticas de Muy Alto Peligro.
6. 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, estos eventos 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.

8. RECOMENDACIONES

- 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 fenómeno activo, al estar expuestas a movimientos rápidos de la masa deslizada.
- Evaluar el reasentamiento de la población aledaña, afectada por el deslizamiento de Pie de la Cuesta.
- Limitar el tránsito de personas y vehículos sobre el deslizamiento y colocar señalización clara y precisa. Así mismo, se debe evaluar la reubicación de la carretera (que actualmente atraviesa la zona más activa del deslizamiento) a un lugar estable.
- En la parte alta (corona del deslizamiento), restringir el acceso de personas a las zonas con presencia de grietas.
- Evitar el riego descontrolado por gravedad y no tecnificado en los cultivos de las pampas de La Joya. En las cercanías a la corona del deslizamiento, considerar una franja marginal de aproximadamente 200 metros. Asesorarse y concientizar a los pobladores y población en general, sobre prácticas de riego para cultivos poco demandantes de agua y riego tecnificado, con profesionales especialistas en la materia.
- Sensibilizar y capacitar a través de talleres dirigidos a los agricultores locales sobre el uso eficiente del agua, así como también a la población que se encuentra afectada, sobre el peligro existente y la responsabilidad de asumir las medidas de prevención indicadas y determinadas por la institución correspondiente (INDECI, GRD La Joya y otras competentes).
- Evaluar la infraestructura del canal a fin de prevenir posibles fugas de agua permanentes, que estén infiltrándose y consecuentemente subiendo el nivel freático.
- Continuar con el permanente monitoreo multiparamétrico 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.



Ing. DULIO GOMEZ VELASQUEZ
Especialista en Peligros Geológicos



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

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araujo, G., Miranda, R. (2016). Evaluación geológica y geodinámica de deslizamientos en el flanco izquierdo del valle de Vitor, sectores Pie de la Cuesta, Telaya, Gonzales y Socabón. Distrito Vitor y la Joya, Región Arequipa, Provincia de Arequipa. Informe Técnico A6722 - INGEMMET.

Araujo, G., Pari, W., Ojeda, H., Cárdenas, J. (2018). Geodinámica, monitoreo geodésico y prospección geofísica del deslizamiento de Pie de Cuesta - Vitor, Arequipa. Informe Técnico; N° A6813 – INGEMMET.

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.

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.