

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7041

EVOLUCIÓN Y MONITOREO FOTOGRAMÉTRICO DEL DESLIZAMIENTO DE PUNILLO PERIODO 2020

Región Arequipa
Provincia Arequipa
Distritos La Joya, Vitor



ABRIL
2020

INDICE

RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. GENERALIDADES.....	2
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS.....	4
3.1 GEOLOGÍA.....	4
3.2 GEOMORFOLOGÍA.....	5
3.3 DINÁMICA DEL VALLE DE VÍTOR.....	6
4. MONITOREO DE DESLIZAMIENTO DE PUNILLO.....	8
4.1 EVOLUCIÓN DEL DESLIZAMIENTO DE PUNILLO.....	9
4.1.1. MONITOREO FOTOGRAFAMÉTRICO.....	9
5. RESULTADOS.....	11
5.1 PERIODO 22 DE AGOSTO DE 2018 AL 16 DE NOVIEMBRE DE 2018 (3 Meses).....	11
5.2 PERIODO 22 DE AGOSTO DE 2018 AL 24 DE FEBRERO DE 2020 (~1 AÑO 5 MESES).....	12
CONCLUSIONES.....	16
RECOMENDACIONES.....	17
BIBLIOGRAFÍA.....	18

RESUMEN

El Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), en colaboración con el Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD), mediante la Actividad 10: Movimientos de Movimientos en Masa Activos, de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR), vienen realizando trabajos de monitoreo geodésico y fotogramétrico del deslizamiento de Punillo en el Sur del Perú – Arequipa.

El INGEMMET, a través de la DGAR, designó a la Ing. Gael Araujo Huamán para la atención de la solicitud emitida por la Comisión de Usuarios de La Cano –Sub Sector Hidráulico, La Joya – Arequipa, Oficio N° 003-2020/CULC-SSHLC.

Este informe muestra 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**.

El deslizamiento de Punillo es uno de los movimientos en masa más activos de Arequipa, originado en los años 90s y con reactivaciones trascendentales en el 2016. Geológicamente está constituida por las formaciones de Sotillo, Moquegua, Millo y depósitos aluviales (de edades Paleoceno al cuaternario), conformadas principalmente por conglomerados no consolidados y delgados estratos de ingimbrita en la parte expuesta de la escarpa. Estos afloramientos de sedimentos, asociados a pendientes de inclinaciones entre 20° a 45° en el sector de Punillo y factores antrópicos desencadenantes como: Actividad sísmica, factores antrópicos y aumento del caudal del río Vítor en el pie del valle del mismo nombre; convierten al deslizamiento en un peligro latente.

En el informe se describe las características dinámicas, susceptibilidad del valle de Vítor, valores de desplazamiento del deslizamiento de Punillo en forma cuantitativa. Datos obtenidos mediante el uso de dron desde el inicio de su monitoreo. Concluyendo que el deslizamiento Punillo es activo, su escarpa principal es de avance retrogresivo, este proceso ha destruido y seguirá destruyendo terrenos de cultivo, además de viviendas ubicadas en la parte alta del valle de Vítor.

Se recomienda implementar un sistema de riego tecnificado (Goteo), prohibir el uso de terrenos para agricultura por inundación, o plantaciones que requiera exceso de agua; colocar pozos de bombeo y reubicar viviendas afectadas.

Esta información se pone a disposición de la institución e interesados, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones, para las medidas de mitigación y reducción de riesgo de la zona afectada.

1. INTRODUCCIÓN

El deslizamiento de Punillo está ubicado en el flanco izquierdo del valle de Vítor, provincia y región de Arequipa, Sur de Perú (Mapa 1), sobre una zona desértica, pero con gran aporte hídrico, sobre sus capas potencialmente permeables de conglomerados no consolidados visibles en el corte de valle. Una de las causas principales del deslizamiento de Punillo, es la infiltración hídrica generada por el exceso en el riego de terrenos agrícolas proveniente de la irrigación de La Cano.

La evolución del deslizamiento de Punillo en el último periodo de monitoreo, del 15 de noviembre de 2018 a 24 de febrero de 2020 (~ 1 año y 3 meses), muestra notable desplazamiento de su masa y desplome de más de 100 m de terrenos de cultivo ubicados detrás de la escarpa principal de 2018, parte alta del valle, afectando directamente terrenos de cultivo. A través de las imágenes DRON obtenidas sobre el área de Punillo, se identificó 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).

2. GENERALIDADES

a) UBICACION Y ACCESIBILIDAD

El deslizamiento de Punillo está ubicado en el flanco izquierdo del Valle de Vítor – parte baja del corte de Valle (Figura 1 – Sector A).

Se accede de la siguiente manera (Tabla 1):

Tabla 1: Accesibilidad al área de estudio

Tramo		KM	Tipo de vía	Tiempo
Arequipa	Vítor	63.6	Carretera asfaltada	1 hora – 13 minutos
Vítor	Deslizamiento Punillo	21.5	Carretera afirmada	25 minutos

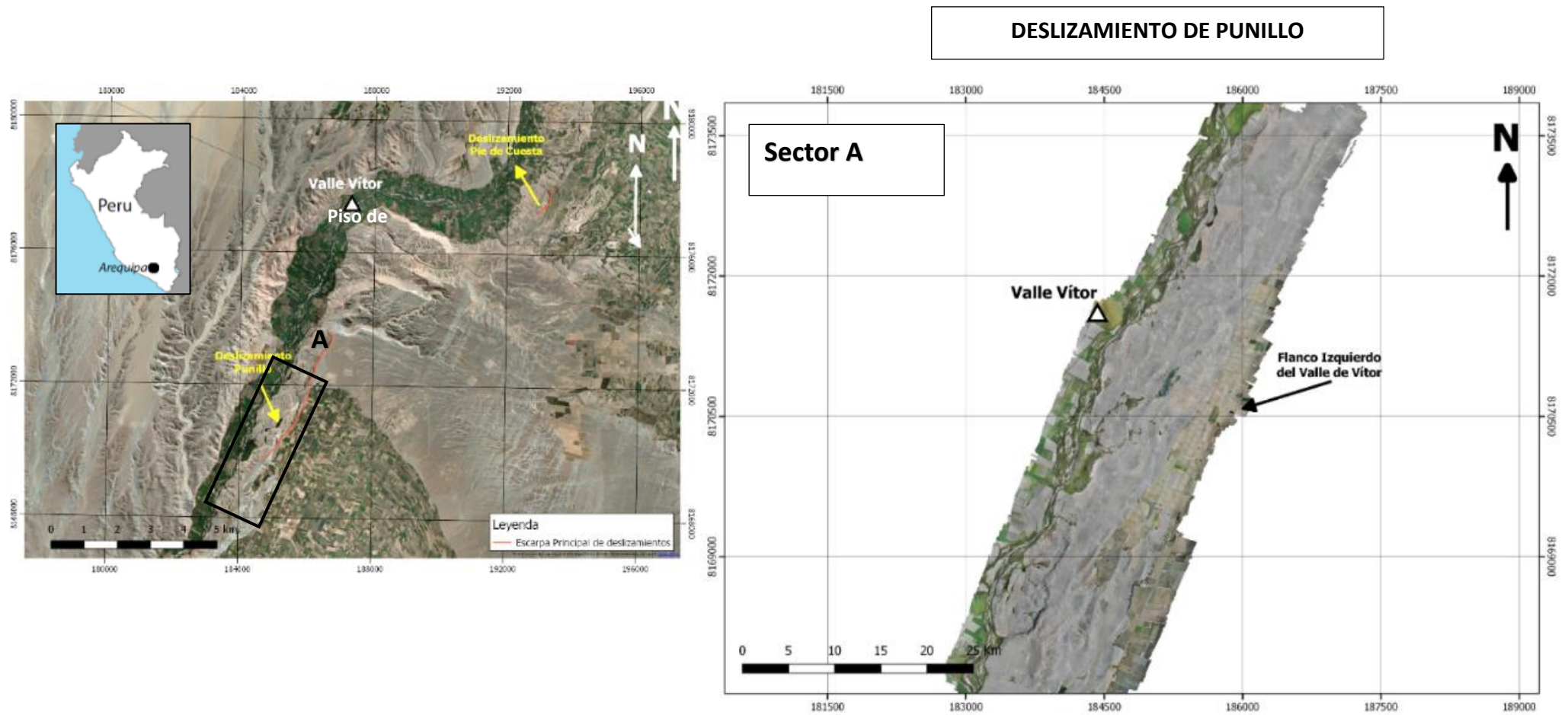


Figura 1: Mapa Ubicación del valle Vitor. Sector A: Vista del deslizamiento de Punillo, ubicado en la parte baja del valle de Vitor.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS

3.1 GEOLOGÍA

Geológicamente el valle de Vítor está representado por las formaciones Sotillo, Moquegua, Millo y depósitos aluviales, que fluctúan entre edades del Paleoceno al Cuaternario.

El piso de valle del río Vítor está compuesto por terrazas de depósitos cuaternarios aluviales, usados como terrenos agrícolas cultivables y construcción de viviendas. Los depósitos coluviales están dispuestos al pie de las laderas de pendientes abruptas a moderadas, representan el aporte de movimientos en masa antiguos y recientes (Araujo et al. 2018). La parte alta del sector de Punillo, está compuesta por depósitos aluviales de edad Pleistocena (Galdos, 1977), constituidos principalmente por conglomerados con clastos volcánicos, sedimentarios y metamórficos de formas sub redondeadas a redondeadas, con diámetros entre 10 a 20 cm, unidos por una matriz arenosa (Fotografía 1).

A lo largo de los flancos del valle del río Vítor se observó que los estratos de las formaciones Millo y Moquegua están constituidos por ignimbrita y depósitos conglomerádicos en forma respectiva.



Fotografía 1: Vista de Ignimbritas de la formación Millo en el Lado izquierdo de la escarpa principal de deslizamiento de Punillo.

3.2 GEOMORFOLOGÍA

Todo el valle de Vítor está disectado por quebradas secas. Ambos flancos del valle son empinados y escarpados suavemente. A medida que se aproximan al litoral se inclinan más.

Se realizó un modelo de elevación digital de 15 cm de resolución, del deslizamiento de Punillo, en base a datos obtenidos por DRON (Figura 2). Se obtuvo el mapa de pendientes del área de estudio. Donde se muestra inclinaciones de 20° a 45° que cubren mayor área del deslizamiento. Mientras que la parte alta muestra inclinaciones hasta de 80°, representando principalmente las escarpas principales y secundarias de los deslizamientos. Al mismo tiempo, algunos sectores del área de estudio tienen inclinaciones de 0° a 20°, estos valores fuera del cuerpo del deslizamiento son terrenos de la parte alta y baja del flanco izquierdo del valle de Vítor y dentro del cuerpo del deslizamiento representa lagunas generadas por infiltración (Figura 2).

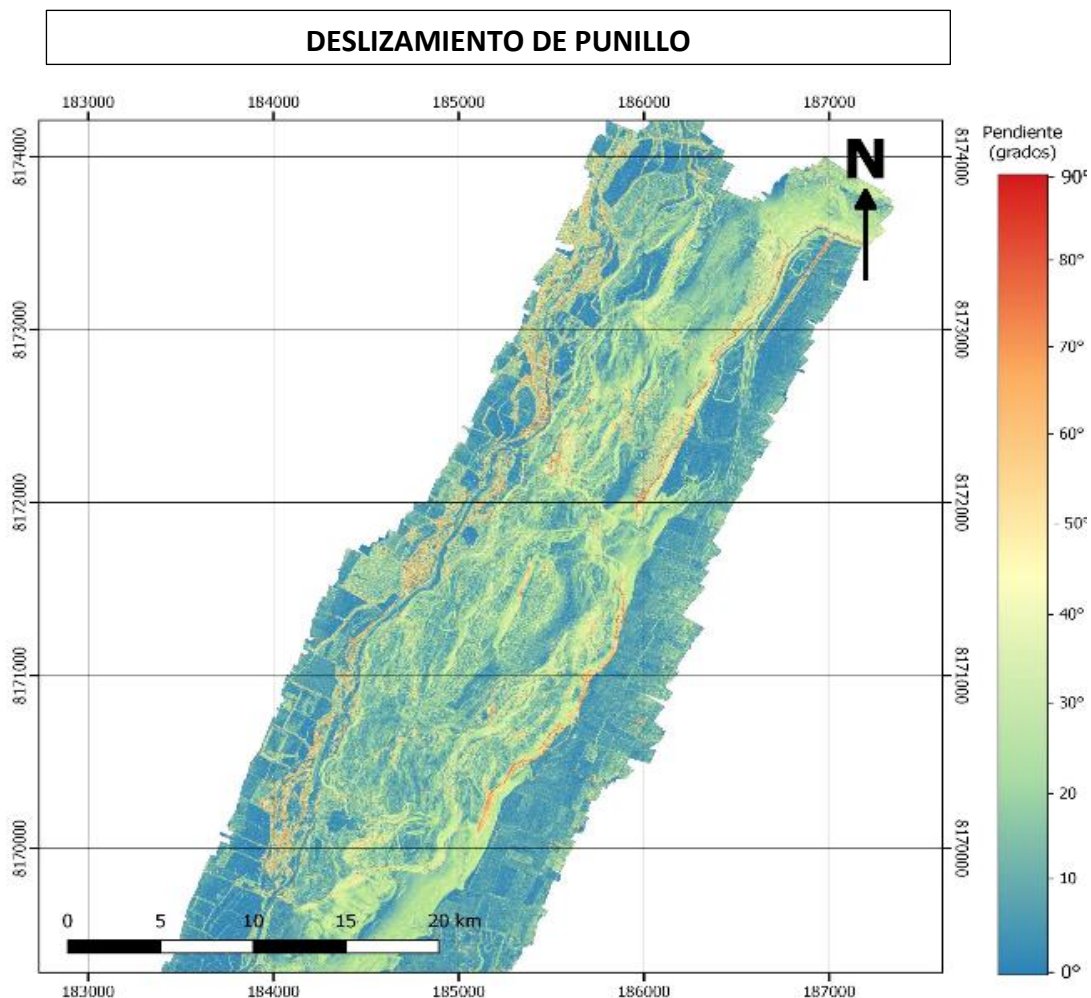


Figura 2: Mapa de Pendientes del Deslizamiento de Punillo.

El mapa geomorfológico del INGEMMET a nivel nacional, clasifica la parte alta del valle de Vítor como altiplanicie sedimentaria, mientras que el flanco del valle representa una colina o lomada disectada en roca sedimentaria.

3.3 DINÁMICA DEL VALLE DE VÍTOR

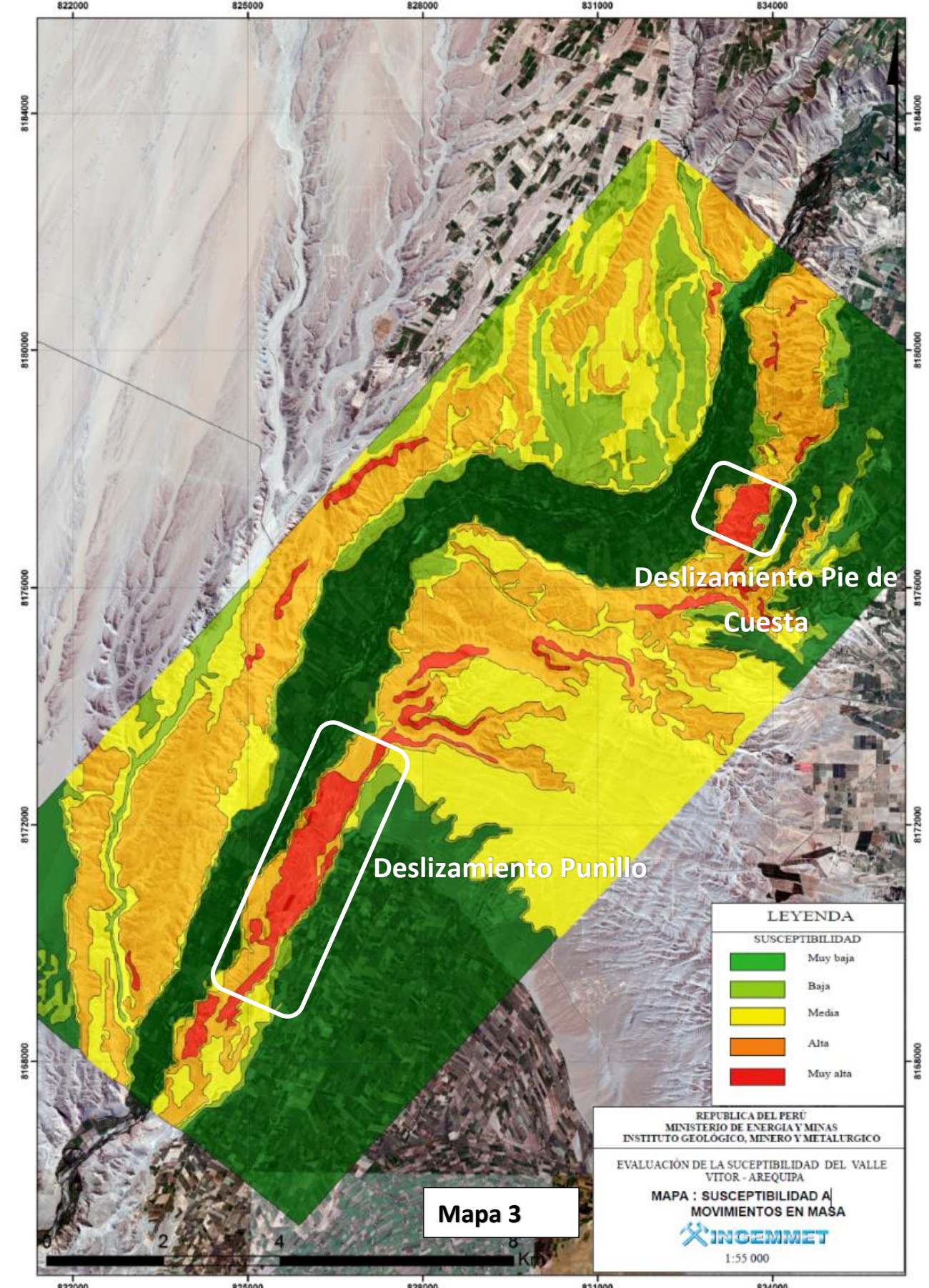
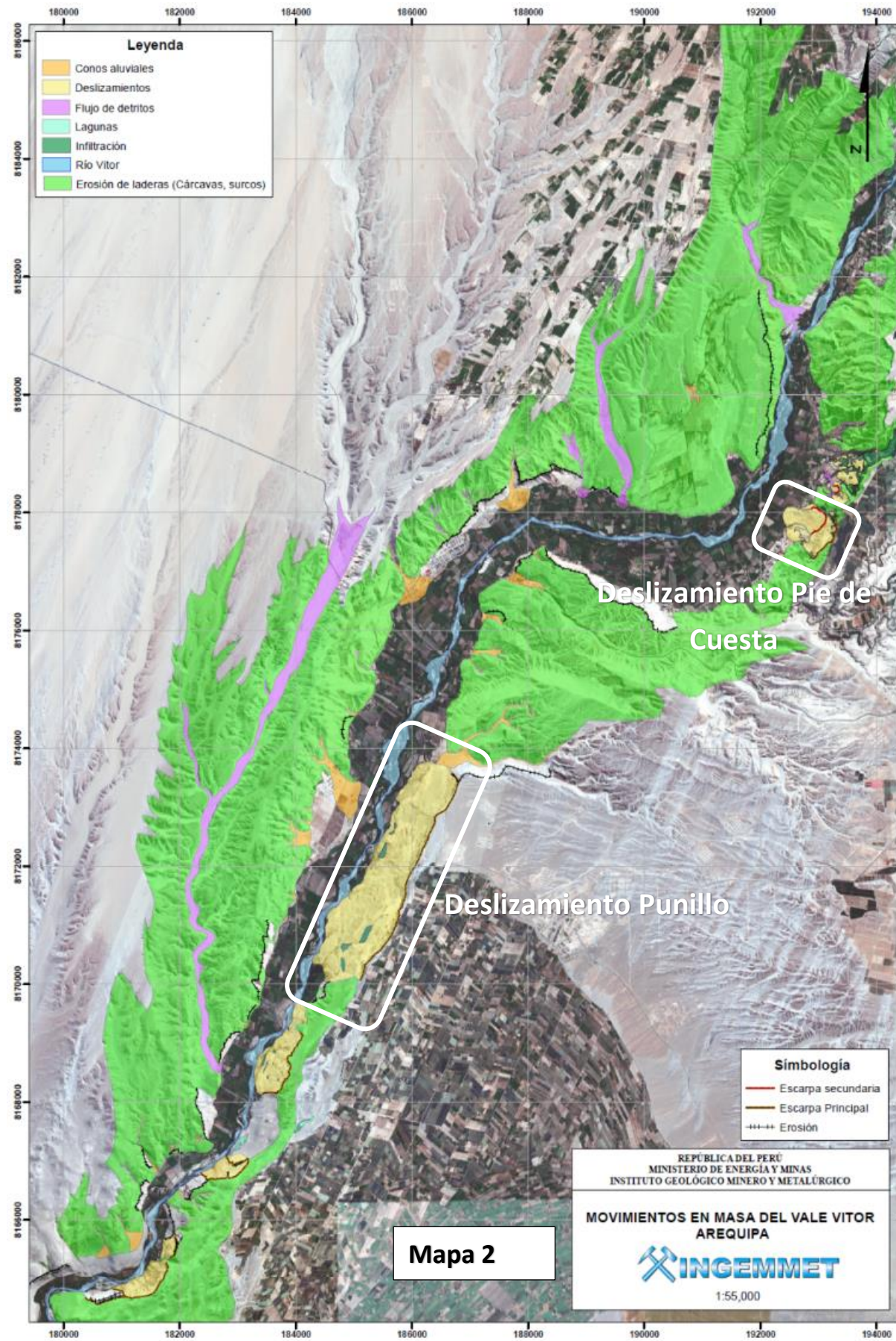
La fotointerpretación y cartografía de movimientos en masa a lo largo del valle de Vítor muestra deslizamientos activos de 1 a 2 km de extensión (Pie de Cuesta y Punillo), ubicados en el flanco izquierdo del valle de Vítor y otros deslizamientos antiguos de menores dimensiones en la parte baja del mismo flanco del valle (Mapa 1).

La presencia de flujos de detritos y conos aluviales principalmente en el flanco derecho es característico del valle de Vítor. Además, ambos flancos del valle presentan erosión de laderas, representada por el área coloreada en verde del Mapa 1.

Con fines interpretativos, la fotointerpretación de movimientos en masa en el valle de Vítor, fue complementada con el desarrollo del mapa de susceptibilidad a movimientos en masa (Mapa 2), basado en el desarrollo del método heurístico para la categorización y ponderación de factores geomorfológicos, geológicos, hidrogeológicos, tipo de suelo, pendiente, etc.

La comparación de áreas de susceptibilidad **alta a muy alta** muestra la disposición de características del terreno, resultados que corroboran la ocurrencia de movimientos en masa en el mapa de Movimientos en Masa (Araujo et al. 2018).

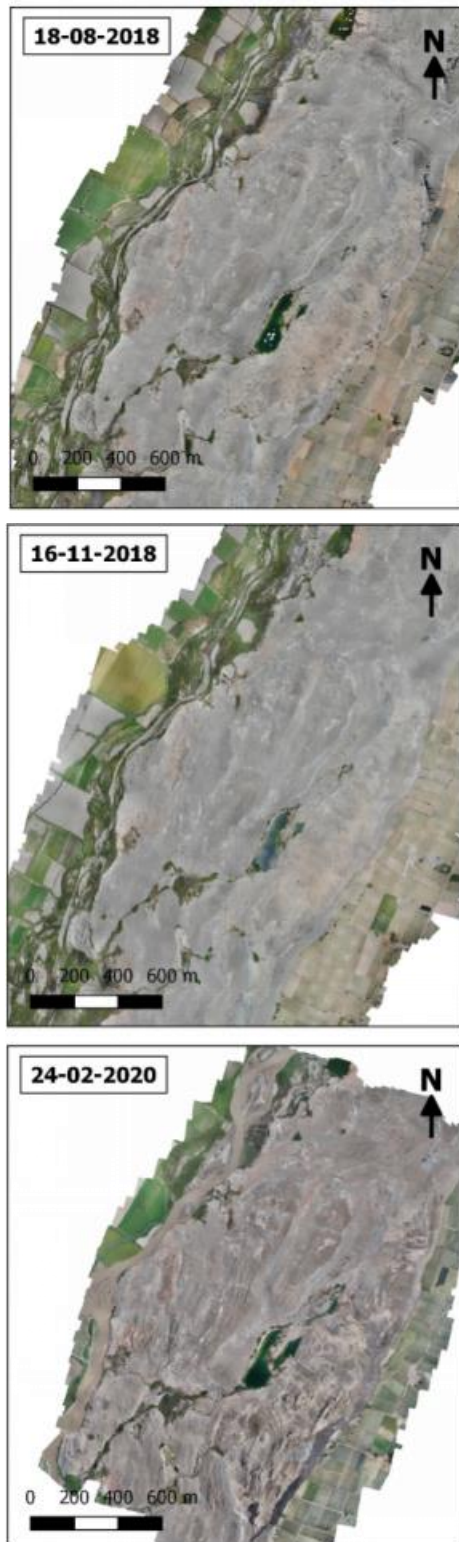
El sector de Pie de Cuesta y Punillo, presentan un **alto a muy alto** grado de susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa. Además de este sector, otras zonas son también altamente susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa (Mapa 2).



Mapa 2 y 3: Dinámica del Valle de Vitor. Fuente: Araujo, et al. 2018

4. MONITOREO DE DESLIZAMIENTO DE PUNILLO

El deslizamiento de Punillo es actualmente uno de los movimientos en masa más activos del valle, su actividad viene siendo monitoreada desde agosto de 2018 a través de monitoreo fotogramétrico de sobrevuelos DRON.



El deslizamiento de Punillo inició su actividad en los años 90s, teniendo como desencadenante principal el exceso de aguas de riego sobre terrenos de cultivo de la parte alta del valle de Vítor, aguas procedentes de la irrigación 'La Cano'.

El sobrevuelo DRON del 18 de agosto de 2018: mostró que el cuerpo del deslizamiento de Punillo en la parte media y baja del cuerpo del movimiento presenta lagunas, provenientes de la infiltración de agua. La masa desplazada de la parte baja afecta directamente el cauce del río Vítor y terrenos de cultivo.

Los datos obtenidos del monitoreo realizado el 16 de noviembre de 2018, muestra que el deslizamiento no tenido variaciones trascendentales.

El 24 de febrero del 2020 se realizó un monitoreo fotogramétrico del deslizamiento de Punillo, a partir de fotografías DRON. La imagen muestra variaciones en las dimensiones y disposición del deslizamiento. La escarpa principal del movimiento tiene un avance retrogresivo de más de 100 m, a su paso destruyó terrenos de cultivos ubicados en la parte alta del valle de Vítor. Además, se muestra desplazamiento de las estructuras de deformación dentro del deslizamiento. Expansión de la masa desplazada en la parte baja del movimiento sobre el piso de valle de Vítor y al mismo tiempo modificación del cauce del río Vítor. Se observó mayor infiltración hídrica dentro del cuerpo del deslizamiento.

Figura 3: Desplazamiento vertical del deslizamiento de Punillo

4.1 EVOLUCIÓN DEL DESLIZAMIENTO DE PUNILLO

4.1.1. MONITOREO FOTOGRAMÉTRICO

a) Periodo 22 de agosto de 2018 a 16 de noviembre de 2018 (~3 meses):

El monitoreo del deslizamiento de Punillo se inició en agosto de 2018 bajo técnicas fotogramétricas. En el presente informe se muestra el comportamiento del deslizamiento en términos de desplazamiento, entre 22/08/2018 y 16/11/2018 (3 meses).

El mapa de desplazamiento está basado en la diferencia de DEMs de 15 cm de resolución. Este mapa muestra 3 sectores con evidencia de desplazamientos positivos y negativos. Dos (2) sectores ubicados en la parte alta y media del cuerpo del deslizamiento de Punillo y 1 sector ubicado en la parte baja – lado derecho - fuera del cuerpo del deslizamiento de Punillo.

Los valores negativos (coloraciones rojizas) representan caída y/o desplazamiento de sedimentos a favor de la pendiente del deslizamiento (E - O). Mientras que los valores positivos (coloración verde - azulada) representan acumulación de y/o aporte de sedimentos por caída de la masa deslizada por encima del sector.

Para mostrar el desplazamiento vertical de los sectores dinámicamente activos del deslizamiento en la parte alta y media, se seleccionó 2 puntos en cada sector que muestran desprendimientos de la escarpa principal en la parte alta y movimientos de caída en la parte media (Figura 4).

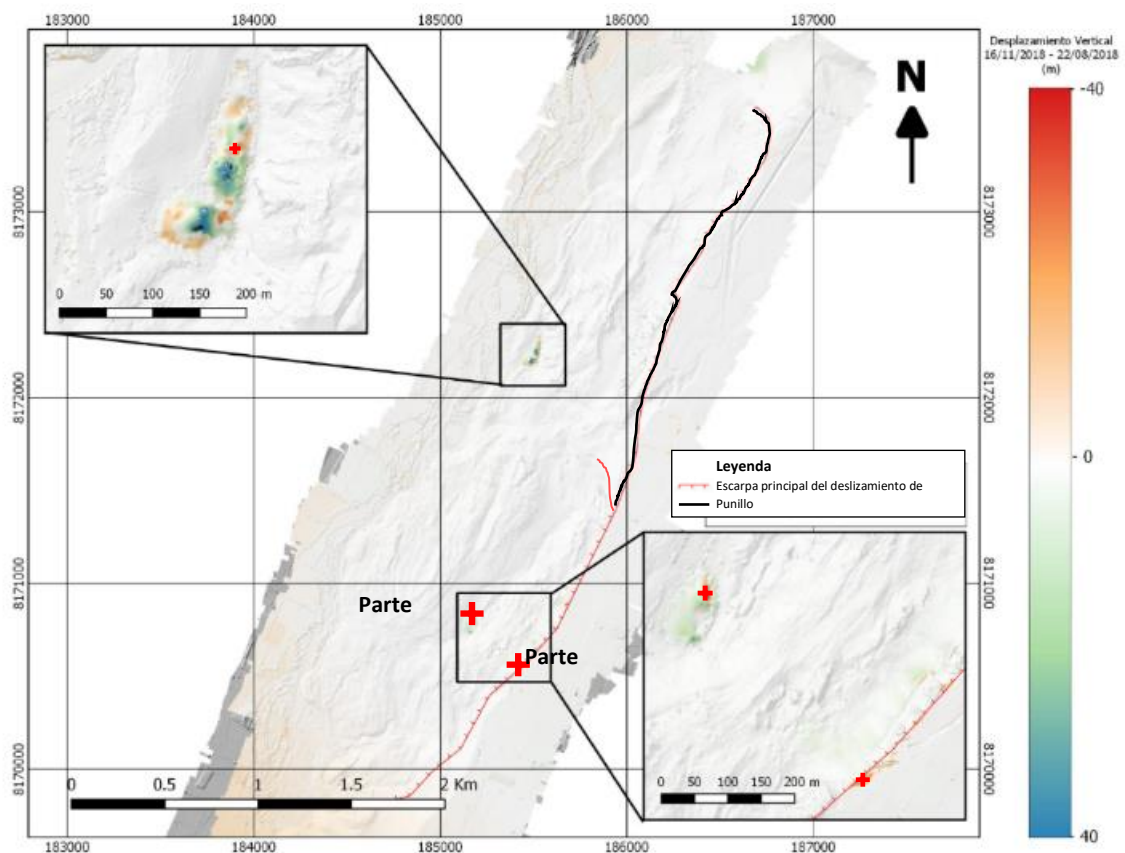


Figura 4. Desplazamiento vertical del deslizamiento de Punillo Periodo 16/11/2018 – 22/08/2018 (~3 meses).

b) Periodo 16 de noviembre de 2018 a 24 de febrero de 2020 (~1 año y 3 meses):

El mapa de desplazamiento del último periodo de monitoreo (~1 año 3 meses) muestra la detección de desplazamientos verticales positivos de hasta 50 m y negativos de hasta ~ 80 m. (Véase Figura 5)

Los valores negativos (coloraciones rojizas) representan caída y/o desplazamiento de sedimentos a favor de la pendiente del deslizamiento (E - O). Mientras que los valores positivos (coloración verde - azulada) representan acumulación de y/o aporte de sedimentos por caída de la masa deslizada por encima del sector.

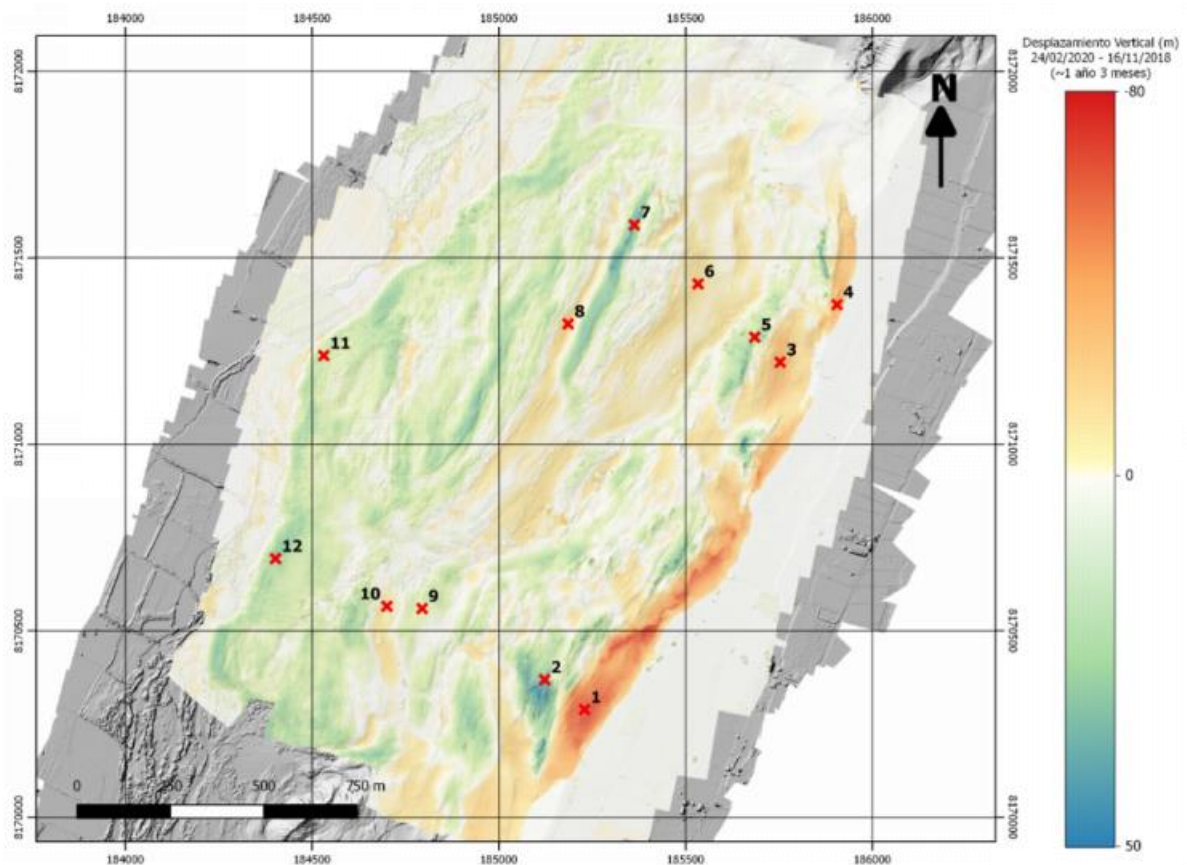


Figura 5: Desplazamiento vertical del deslizamiento de Punillo Periodo 16/11/2018 a 24/02/2020 (~1 año 3 meses).

Para mostrar el desplazamiento vertical de los sectores dinámicamente activos del deslizamiento en la parte alta, media y baja, se seleccionó 12 puntos, 5 puntos en la parte alta, 5 puntos en la parte media y 2 puntos en la parte baja (tabla 2), para observar la deformación vertical versus el tiempo (obsérvese los resultados Figura 6, 7, 8, 9, y 10 y 11).

Tabla 2: Puntos seleccionados en el cuerpo del deslizamiento de Punillo

Punto GPS	Coordenada Este	Coordenada Norte	Ubicación
1	185229	8170289	Parte Alta - Lado
2	185122	8170369	Parte Alta - Lado
3	185753	8171220	Parte Alta - Lado
4	185906	8171374	Parte Alta - Lado
5	185685	8171287	Parte Alta - Lado
6	185533	8171430	Parte Media - Lado
7	185362	8171588	Parte Media - Lado
8	185186	8171323	Parte Media - Lado
9	184794	8170560	Parte Media - Lado
10	184700	8170566	Parte Media - Lado
11	184531	8171238	Parte Baja - Lado
12	184402	8170694	Parte Baja - Lado

5. RESULTADOS

5.1 PERIODO 22 DE AGOSTO DE 2018 AL 16 DE NOVIEMBRE DE 2018 (3 Meses)

Los puntos planteados en la serie temporal de desplazamientos verticales entre el periodo 22/08/2018 y 16/11/2018 (3 meses), están distribuidos sobre sectores negativos (coloraciones rojizas), que representan caída y/o desplazamiento de la masa deslizable a favor de la pendiente (E-O), en la parte alta y media del deslizamiento de Punillo. El gráfico muestra mayores desplazamientos verticales negativos de 23 m en la parte alta (escarpa del deslizamiento), seguido de movimientos verticales negativos de 21.8 m en la parte media.

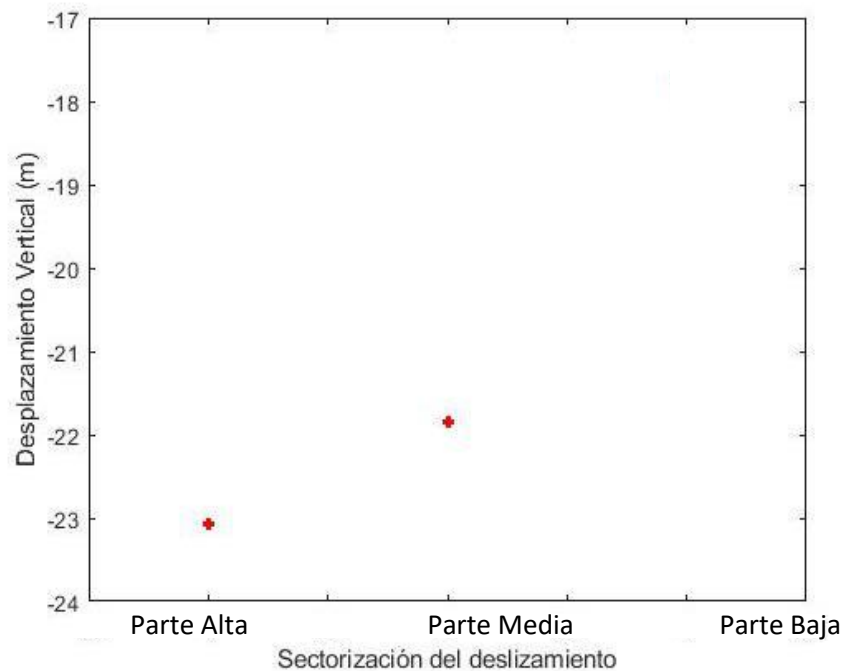


Figura 6: Desplazamiento vertical del deslizamiento, periodo 22/08/2018 y 16/11/2018

5.2 PERIODO 22 DE AGOSTO DE 2018 AL 24 DE FEBRERO DE 2020 (~1 AÑO 5 MESES)

Se seleccionó 12 puntos a lo largo del cuerpo del deslizamiento de Punillo para explicar el desplazamiento vertical de su masa. El mismo que muestra desplazamientos positivos y negativos.

- **Parte Alta:** Cinco (05) de los 12 Puntos seleccionados están ubicados en la parte alta del deslizamiento del Punillo. (P1, P2, P3, P4 y P5).
 - P1 y P2: Están ubicados al lado izquierdo del deslizamiento de Punillo. P1 tiene desplazamientos verticales negativos de ~65 m correspondiente al desprendimiento/caída de la escarpa principal. Y P2 se encuentra 100 m debajo de P1 y muestra desplazamientos verticales positivos de ~30 m dando lugar a un punto de acumulación entre noviembre de 2018 a febrero de 2020 (~1 año y 5 meses) (Figura 7).

El primer periodo de monitoreo (22 de agosto de 2018 a 16 de noviembre de 2018), no presentó movimientos considerables según el mapa de desplazamiento de 3 meses (Véase Figura 5).

Las barras de error están en función de la pendiente del deslizamiento de Punillo en cada punto de análisis (Figura 7).

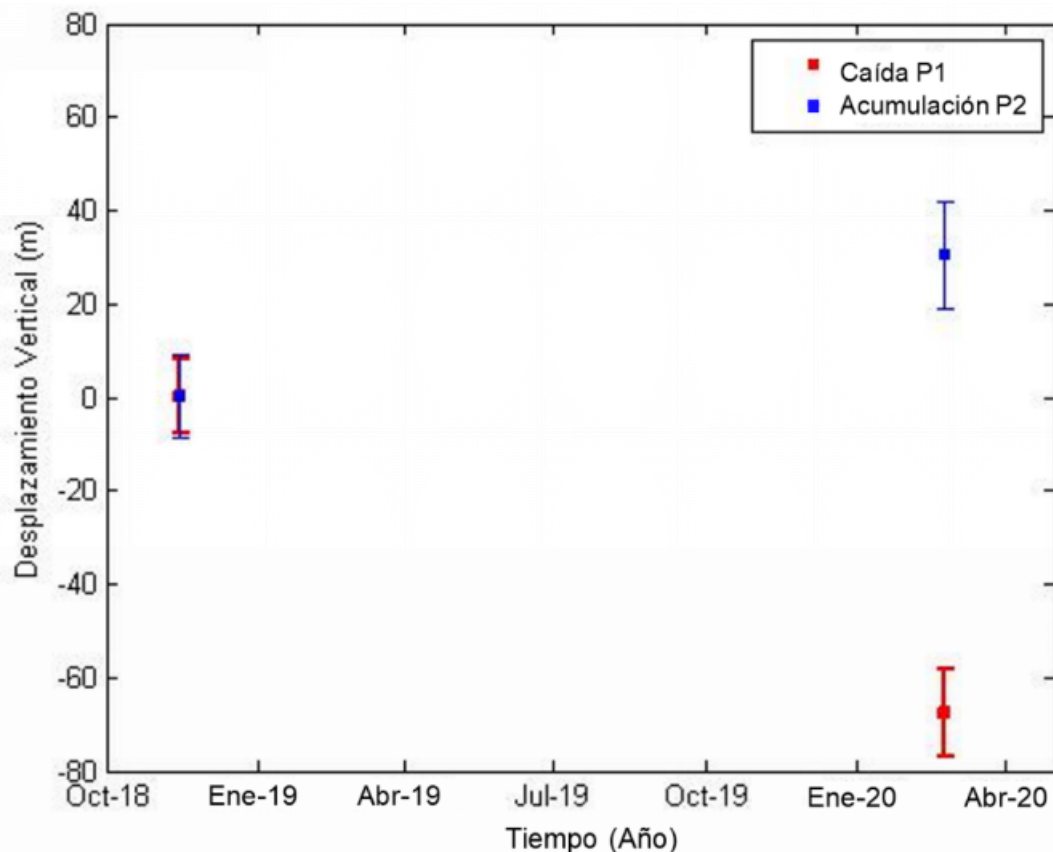


Figura 7: Serie temporal de la parte alta - P1 y P2 del deslizamiento de Punillo.

- P3, P4 y P5: Están ubicados Lado derecho del deslizamiento. P3 y P4 representan el desprendimiento/caída de la escarpa principal del deslizamiento en el último periodo de monitoreo, alcanzando desplazamientos verticales negativos de 45 a 40 m y positivos de ~16 m (Figura 8).

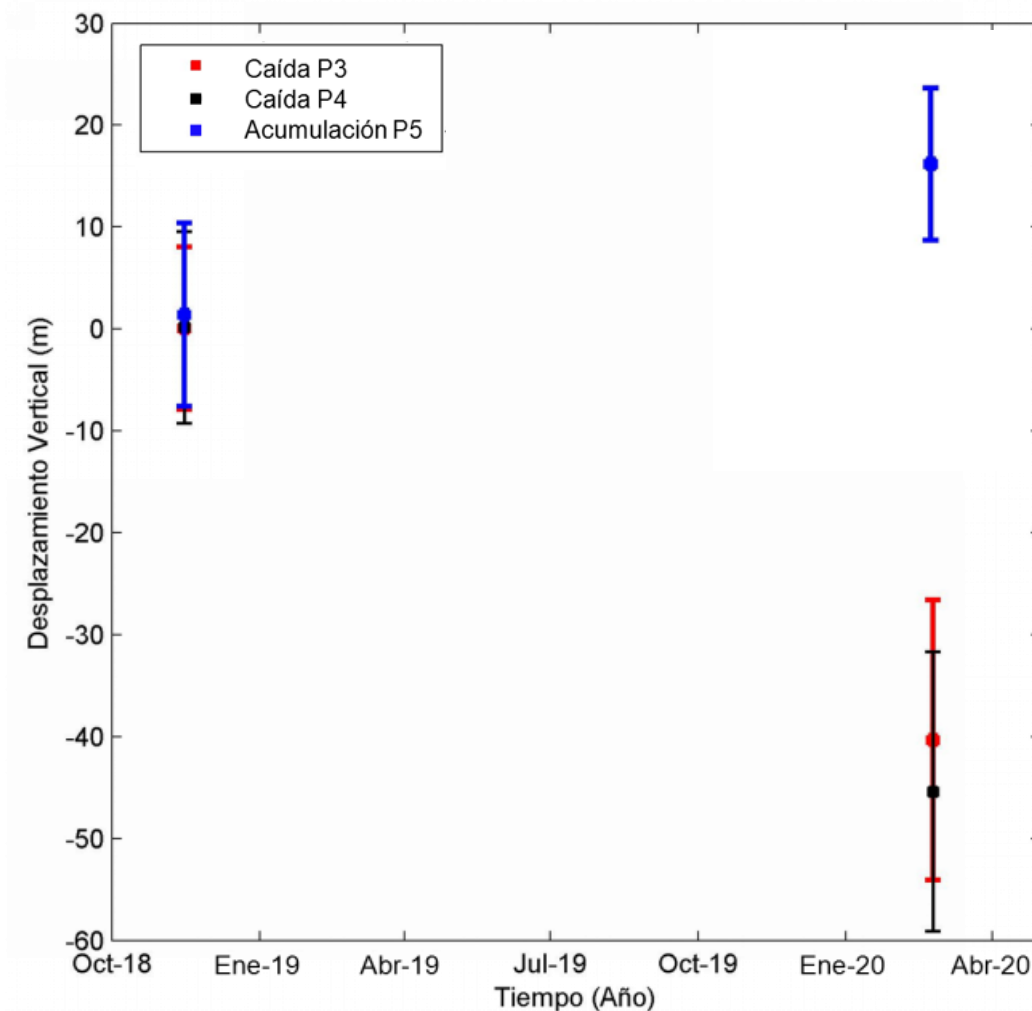


Figura 8: Serie temporal de la parte alta – P3, P4 y P5 del deslizamiento de Punillo

- **Parte Media:** Cinco (05) de los 12 Puntos seleccionados están ubicados en la parte alta del deslizamiento del Punillo. (P6, P7, P8, P9 y P10).
 - P6, P7 y P8: Están ubicados al lado derecho del deslizamiento de Punillo. Entre noviembre de 2018 a febrero de 2020 (~1 año y 5 meses), P6 y P8 tiene desplazamientos verticales negativos de 10 m y 19 m respectivamente, correspondiente al desprendimiento/caída de la escarpa principal. Mientras que P7 ubicada a ~200 m debajo del punto P6 tiene desplazamientos verticales positivos de 32 m dando lugar a un punto de acumulación en este periodo de monitoreo (Figura 9).

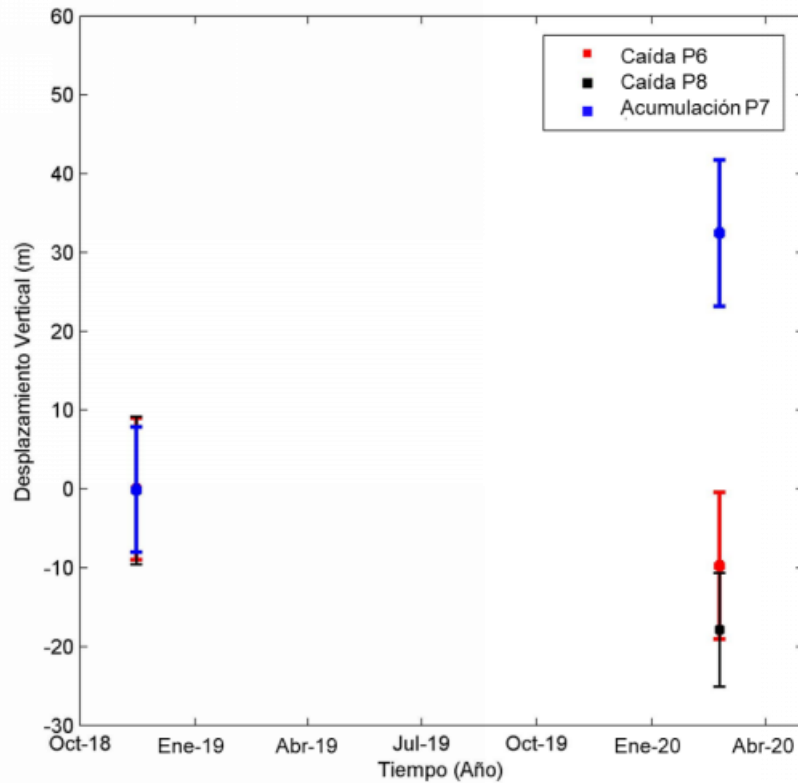


Figura 9: Serie temporal de la parte media – P6, P7 y P8 del deslizamiento de Punillo.

- P9 y P10: Están ubicados al lado izquierdo del deslizamiento de Punillo. Entre noviembre de 2018 a febrero de 2020 (~1 año y 5 meses), P9 está representado por desplazamientos verticales positivos de ~7.5 m. Mientras que P10 tiene desplazamientos verticales negativos de ~-7.5 m, correspondiente al desplazamiento erosivo de la masa deslizada del deslizamiento (Figura 10).

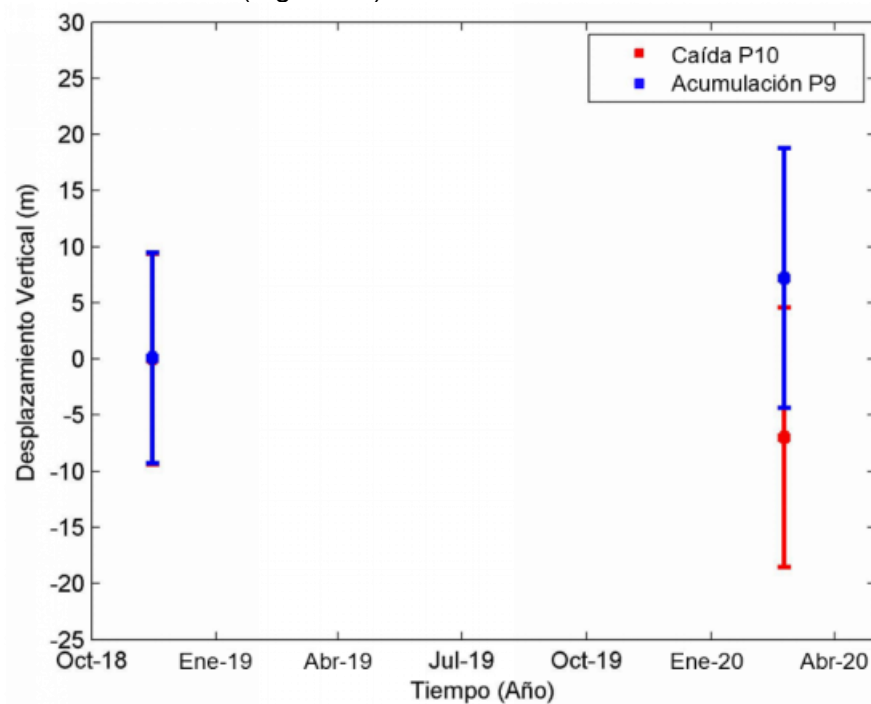


Figura 10: Serie temporal de la parte media – P9 y P10 del deslizamiento de Punillo

- **Parte Baja:** Dos (02) de los 12 Puntos seleccionados están ubicados en la parte alta del deslizamiento del Punillo (P11 y P12). La parte Baja esta principalmente representada por desplazamientos verticales positivos (coloración verdosa), que indican la acumulación o aporte de sedimentos en el área producto de levantamiento por deformación de la masa desplazada.
 - P11 y P12: Están ubicado en la parte baja del deslizamiento tiene desplazamientos positivos de 16 m y 22 m respectivamente (Figura 11).

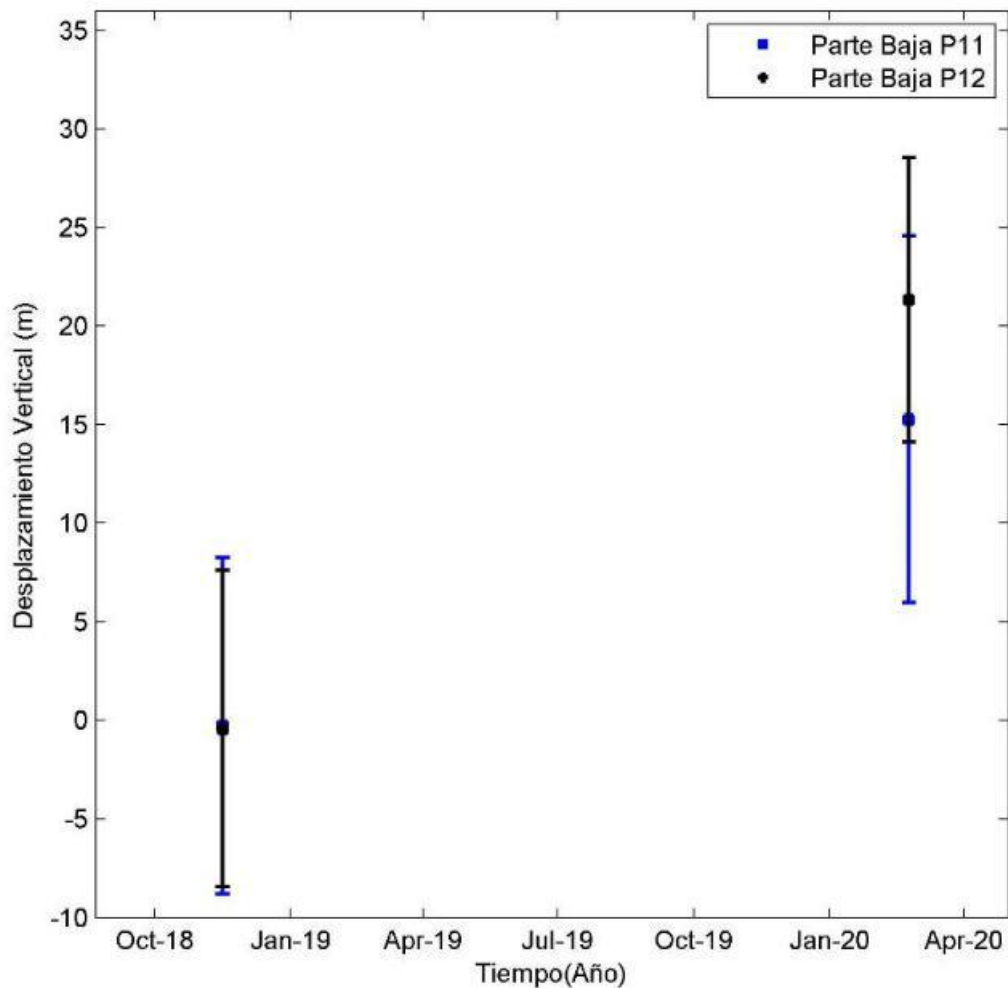


Figura 11: Serie temporal de la Parte Baja del deslizamiento de Punillo

CONCLUSIONES

- a) El deslizamiento de Punillo es uno de los movimientos en masa más activos del Sur del Perú y del valle de Vítor, su movimiento empezó en los años 90s y desde entonces ha ido evolucionando. Ha destruido terrenos de cultivo, carreteras y viviendas ubicadas en su área de afectación.
- b) Geológicamente el área de estudio está constituida por conglomerados e ignimbrita de las formaciones Sotillo y Moquegua, mientras que geomorfológicamente se encuentra sobre una colina disectado en roca sedimentaria, con pendientes con inclinaciones de 20° a 45°, en mayor área sobre el deslizamiento y otras que alcanzar los 80° en la parte alta de principalmente.
- c) Características mencionadas que unidas a la saturación del terreno provenientes de las aguas de la irrigación La Joya Antigua y La Cano, lo convierten en una zona altamente susceptible a la ocurrencia de movimientos en masa.
- d) En el primer periodo de monitoreo de 3 meses (22 de agosto de 2018 a 16 de noviembre de 2018) el deslizamiento no presentó movimientos considerables, Sin embargo, se identificaron 2 sectores activos con desplazamiento verticales negativos de 23 m y 21.8 m en la parte alta (escarpa del deslizamiento) y media respectivamente.
- e) El Monitoreo del deslizamiento realizado entre el **22 de agosto de 2018 al 24 de febrero de 2020** (1 año y 5 meses), muestra que su escarpa principal tiene un avance retrogresivo, con desprendimientos verticales negativos de 40 m a 70 m. Su actividad, destruyó y seguirá destruyendo terrenos de cultivos, además de viviendas ubicadas en la parte alta del valle de Vítor.
- f) El análisis de los 12 puntos seleccionados, muestran que el sector más activo a desprendimiento y caída se encuentra en la PARTE ALTA del deslizamiento de Punillo, con desplazamientos negativos de hasta 70 m y al mismo tiempo desplazamientos positivos hasta de 30 m. Se observó levantamiento y acumulación de sedimentos
- g) El comportamiento de la parte media del cuerpo del deslizamiento presenta sectores de caída y levantamiento. Mientras que la parte baja muestra principalmente movimientos positivos que indica levantamiento (16 m a 22 m).
- h) Cien (100) metros de terrenos de cultivo detrás de la escarpa principal del deslizamiento se desplomaron en el último periodo de monitoreo, y varias hectáreas más amenazan con colapsar por presencia de agrietamientos. Por lo tanto, el sector de Punillo y alrededores se encuentran en peligro inminente a avance y evolución del deslizamiento de Punillo.

RECOMENDACIONES

- a) Implementar un sistema de riego tecnificado, este debe de ser un plan de acción a corto plazo, sensibilizando a los diferentes agricultores a usar racionalmente el agua para el riesgo de cultivos. Esto permitiría disminuir la infiltración de agua sobre el subsuelo (los conglomerados no consolidados) del valle de Vítor.
- b) 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.
- c) Afianzar el sembrío de cactus a lo largo de la escarpa principal, que es un cultivo que demanda de un uso racional de agua.
- d) Cercar una zona desde el escarpe principal hasta una longitud de 100 m, como zona restringida para cualquier actividad.
- e) Colocación de pozos de bombeo para la reducción del nivel freático, estos deben tener hasta una profundidad entre 40 a 50 m.
- f) Reubicar viviendas cercanas al deslizamiento de Punillo, en la parte alta del valle de Vítor.



Segundo A. Núñez Juárez
Jefe de Proyecto-Act-07



César Augusto Chacaltana Budiel
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

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.

Taipe E. & Huanca J., (2018). Monitoreo de los Deslizamientos de la parte baja del Valle de Vítor (Punillo-Huachipa-Boyadero). Reporte técnico de Monitoreo INGEMMET.