

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7603

MONITOREO DEL DESLIZAMIENTO DE CAJABAMBA, PERIODO 2022 - 2024

Departamento: Cajamarca

Provincia: Cajabamba

Distrito: Cajabamba



**MARZO
2025**

MONITOREO DEL DESLIZAMIENTO DE CAJABAMBA, PERIODO 2022 - 2024

Distrito y provincia Cajabamba, departamento Cajamarca

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

Equipo de investigación:

Luis Albinez

Dulio Gómez

Edu Taipe

Fabrizio Delgado

Citación:

Albinez, L.; Gomez, H.; Taipe, E. & Delgado, G. (2025). Monitoreo del deslizamiento de Cajabamba, periodo 2022 - 2024. Distrito y provincia Cajabamba, departamento Cajamarca. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, Informe Técnico A7603, 56 p.

ÍNDICE

RESUMEN	4
1 INTRODUCCIÓN	5
1.1 Aspectos generales	5
1.1.1 TRABAJOS ANTERIORES	5
1.1.2 UBICACIÓN, ACCESIBILIDAD Y MEDIOS DE VIDA	6
1.1.3 PRECIPITACIONES	7
1.1.4 SISMICIDAD	8
1.1.5 ASPECTOS GEOLÓGICOS	10
1.1.6 ASPECTOS GEOMORFOLOGICOS	17
1.1.7 MOVIMIENTOS EN MASA	20
2 MONITOREO GEODÉSICO	30
2.1 Implementación de la Red Geodésica	30
2.2 Instrumentación y Métodos de Medición	31
2.3 Adquisición de datos	31
2.4 Cinemática del Deslizamiento	32
3. CONCLUSIONES	36
4. RECOMENDACIONES	38
5. BIBLIOGRAFÍA	40
ANEXO 1	41
ANEXO 2	44
ANEXO 3	46

RESUMEN

El informe técnico detalla la evolución del deslizamiento que se reactivó tras el sismo de Lagunas (M8.0) el 2019, afectando varias localidades en la provincia de Cajabamba, departamento Cajamarca. Ingemmet implementó una red de monitoreo geodésico en el 2022 instalando 107 puntos de control, obteniendo un registro con desplazamientos de hasta 32.4 cm/año en dirección noroeste y hundimientos de hasta 9.7 cm/año, lo que indica un movimiento lento pero constante. Las condiciones geológicas y geomorfológicas de la zona, como la presencia de rocas meteorizadas y alta saturación de agua, aumentan el peligro de futuros deslizamientos. Dado que la zona es considerada de muy alto peligro geológico, el informe reitera las recomendaciones anteriores además de mantener y ampliar el monitoreo, mejorar los drenajes para reducir la saturación del suelo y evaluar medidas de mitigación que permitan reducir los riesgos para la población y la infraestructura existente.

1 INTRODUCCIÓN

Perú se encuentra en un margen tectónico activo debido al proceso de subducción de la placa de Nasca bajo la placa Sudamericana, lo que da lugar al levantamiento de los Andes y a una intensa actividad sísmica. Como consecuencia de este proceso, el sismo de Lagunas (8 Mw), ocurrido el 26 de mayo del 2019 en la región Loreto, al norte de Perú, generó una serie de efectos postsísmicos que impactaron significativamente en la estabilidad de suelos y laderas. Uno de estos efectos fue la reactivación de un antiguo megadeslizamiento que afectó los caseríos de Higosbamba, Hichabamba, Huayllabamba y Churucana, ubicados en la provincia de Cajabamba, región Cajamarca, causando graves daños a terrenos agrícolas, infraestructura comunitaria, viviendas, postes eléctricos y vías de acceso, entre otros. Este evento puso en evidencia la alta vulnerabilidad de la zona ante deslizamientos, así como la necesidad de implementar medidas de monitoreo y prevención para mitigar futuros peligros.

Las condiciones geológicas y geotécnicas de la zona, descritas en informes de evaluación geodinámica previos, incluyen la presencia de afloramientos de rocas meteorizadas, suelos saturados de agua y pendientes pronunciadas; factores que contribuyen a la inestabilidad del terreno. Estas condiciones se vieron agravadas por los efectos postsísmicos del terremoto de Lagunas, que alteraron el equilibrio de las laderas y aumentaron la susceptibilidad a movimientos en masa. Además, la zona está expuesta a detonantes no predecibles, como nuevos sismos de gran magnitud, lluvias extraordinarias asociadas a fenómenos climáticos como El Niño u otras anomalías climáticas, y actividades humanas no planificadas (factor antrópico), lo que incrementa el riesgo de reactivación del deslizamiento.

Ante esta problemática, y siguiendo las recomendaciones de informes técnicos previos, en el año 2022 el grupo de especialistas en movimientos en masa de Ingemmet, implementó una red de monitoreo geodésico en el “Deslizamiento de Cajabamba”. Esta red fue diseñada con el objetivo de estudiar con mayor detalle las características dinámicas del deslizamiento y monitorear su evolución en el tiempo. La información obtenida a través de esta red no solo tiene un valor científico intrínseco para la investigación de movimientos en masa, sino que también constituye una herramienta fundamental para la gestión del riesgo de desastres, proporcionando insumos técnicos para la toma de decisiones y la implementación de medidas de prevención y mitigación, de parte de las autoridades y tomadores de decisiones locales y regionales.

En este contexto, el presente informe técnico tiene como objetivo principal exponer el estado de actividad del deslizamiento de Cajabamba, basado en los datos obtenidos del monitoreo geodésico hasta el año 2024. Los resultados presentados buscan brindar información clara y precisa a la población en general, a las comunidades afectadas y a los tomadores de decisiones, con el fin de contribuir a la gestión del riesgo en la zona. Este documento se enmarca dentro de los esfuerzos de la gestión de riesgo de desastres, cuyo propósito es reducir la vulnerabilidad de las poblaciones y proteger la infraestructura crítica ante posibles eventos futuros. Adicionalmente, se espera que este informe sirva como base para futuras investigaciones y para la implementación de políticas públicas orientadas a la reducción del riesgo de desastres en zonas con condiciones geológicas y geotécnicas similares. La comprensión detallada de los procesos de movimientos en masa y su monitoreo continuo son herramientas esenciales para garantizar la seguridad de las comunidades y la sostenibilidad del desarrollo territorial en áreas de alta vulnerabilidad.

1.1 Aspectos generales

1.1.1 TRABAJOS ANTERIORES

Entre los estudios realizados por el Ingemmet sobre peligros geológicos y el monitoreo del deslizamiento en Cajabamba, se pueden citar los siguientes:

- a) “Reporte de monitoreo del deslizamiento de Higosbamba, Hichabamba, Huayllabamba y Churucana (Cajabamba), periodo 2021 – 2023; distrito y provincia Cajabamba, departamento Cajamarca. (Ingemmet, 2024)”. Detalla el monitoreo geodésico entre 2022 y 2023, donde se registraron desplazamientos significativos que alcanzaron hasta 46 cm y una velocidad de ~0.5 m/año, lo cual indica un movimiento lento y constante. Las conclusiones subrayan la inestabilidad continua de la zona, y las recomendaciones incluyen mejorar la señalización y expandir la red de monitoreo para una mejor prevención frente a posibles detonantes sísmicos y climáticos.
- b) “Evaluación geológica en los terrenos de acogida para reasentamiento poblacional de los caseríos Higosbamba y Huayllabamba, distrito y provincia Cajabamba, departamento Cajamarca. (Ingemmet, 2023)”. El trabajo analiza las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas de posibles áreas de reasentamiento de los caseríos afectados por el deslizamiento del 2019. Las áreas evaluadas muestran peligro de desplazamiento medio a alto. Se recomiendan acciones y obras de acondicionamiento acorde a las características propias de cada sector.
- c) “Peligro por deslizamiento en los caseríos de Higosbamba, Hichabamba, Huayllabamba y Churucana, distrito y provincia de Cajabamba, departamento de Cajamarca. (Ingemmet, 2019)”. El trabajo describe los efectos del deslizamiento activado por el sismo de mayo del 2019, que afectó los caseríos de Higosbamba, Hichabamba, Huayllabamba y Churucana, generando grietas de hasta 3 metros de ancho con profundidades de más de 10 metros. Las conclusiones destacan la zona como crítica por peligro de deslizamiento, además de factores condicionantes como saturación de agua, pendientes de 10° a 25°, y deforestación. Recomienda drenajes, reubicación de viviendas hacia un área segura, entre otros.
- d) “Primer reporte: Zona propuesta para reubicación de pobladores afectados por el deslizamiento en los caseríos de Higosbamba, Hichabamba, Huayllabamba, Churucana, distrito y provincia de Cajabamba, departamento de Cajamarca. (Ingemmet, 2019)”. El trabajo menciona la actividad del deslizamiento a la fecha del reporte. Como medida de prevención, recomienda la reubicación de los pobladores al sector La Pampa, así como implementar acciones de acondicionamiento y prevención adicionales.
- e) “Primer reporte: Deslizamiento en los caseríos de Higosbamba, Hichabamba, Huayllabamba y Churucana, distrito y provincia de Cajabamba, departamento de Cajamarca. (Ingemmet, 2019)”. El trabajo hace una descripción preliminar de los efectos del deslizamiento activado por el sismo de mayo del 2019, que afectó los caseríos de Higosbamba, Hichabamba, Huayllabamba y Churucana. En función a las condiciones identificadas, concluye que la zona es crítica por peligro de deslizamiento. Recomienda drenajes, reubicación de viviendas, revestimiento de canales y reservorios, entre otros.

1.1.2 UBICACIÓN, ACCESIBILIDAD Y MEDIOS DE VIDA

El deslizamiento de Cajabamba se encuentra al oeste de la ciudad de Cajabamba, este del río Condebamba y en la margen izquierda del río Lanla, en el distrito y provincia de Cajabamba en el departamento de Cajamarca. Este deslizamiento afecta los caseríos de Higosbamba, Hichabamba, Huayllabamba y Churucana. Se accede a la zona de estudio desde Cajabamba hacia el oeste, por medio de la vía Cajabamba-Colcas (figura 1 y cuadro 1). La población local se dedica principalmente a la agricultura.

Cuadro 1. Coordenadas del deslizamiento de Cajabamba, zona 1.

COORDENADA CENTRAL		
N°	UTM - WGS84 - Zona 17S	Geográficas

	Este	Norte	Latitud	Longitud
A	821887	9154940	07°38'07"S	78°04'58"O

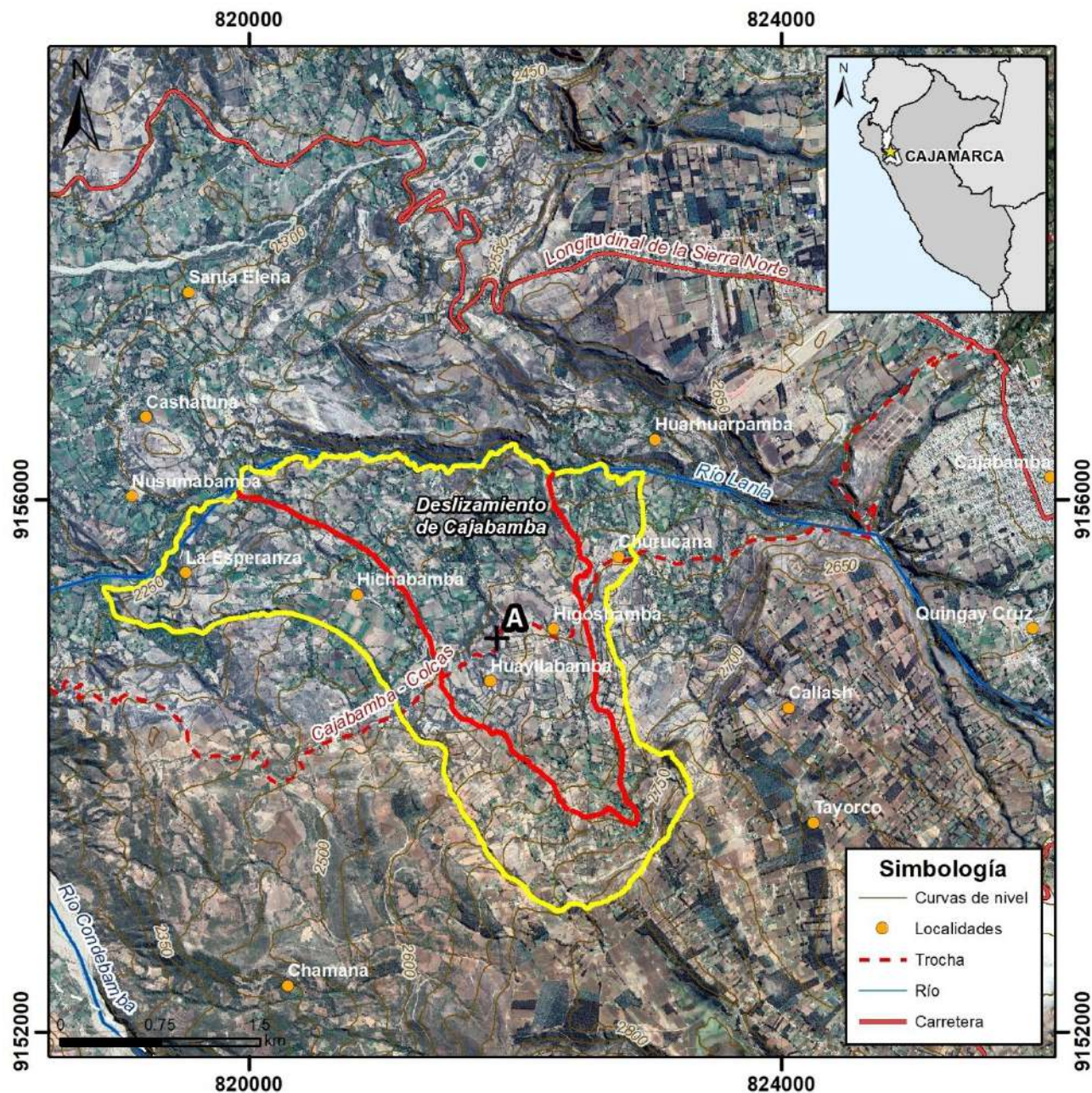


Figura 1. Ubicación del deslizamiento de Cajabamba. El polígono de color rojo corresponde al área reactivada durante el sismo del 2019. El polígono de color amarillo corresponde al límite del deslizamiento estudiado en el presente trabajo.

1.1.3 PRECIPITACIONES

1.1.3.1 Precipitaciones en el contexto del deslizamiento de Cajabamba

Para este informe, se utilizaron los datos de precipitación de la estación meteorológica convencional de SENAMHI más cercana al deslizamiento, la cual se encuentra en la localidad de Cajabamba. Los datos muestran que las precipitaciones pluviales son más intensas entre los meses

de octubre a marzo. La temporada seca se presenta entre los meses de junio a agosto (tabla 1 y figura 2).

En la figura 2 se observa la secuencia multianual de las temporadas lluviosas y secas. Se puede apreciar mayores valores acumulados en la temporada 2018-2019, así como en 2021-2022. La temporada 2019-2020 presenta los menores valores acumulados.

Tabla 1. Precipitaciones mensuales y anuales de la estación meteorológica convencional Cajabamba, 2017 - 2024. Fuente: SENAMHI. Los valores resaltados se usaron para la suma de las temporadas lluviosas de la figura 2.

	Precipitación (mm/mes)							
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Enero	104.9	124.6	75.4	109.6	170.6	85.5	128.4	100.8
Febrero	145.6	141.2	216.1	50.8	65.8	207.1	92.4	127.1
Marzo	169.2	125.9	198.4	146.4	217.4	196.4	210.8	99.7
Abril	90.1	58.7	114.6	0	51.4	71.3	65.5	87.1
Mayo	157	52.8	19.6	0	42.9	25.9	58.5	61.4
Junio	1.5	2.1	1.1	0	16.9	21.6	1.5	27.9
Julio	0	0	5.9	50.1	1.1	7.5	0	3.2
Agosto	18.8	8.4	0	0	35.7	13.8	8	0
Setiembre	26	53.2	45.3	19.5	26	49.6	11.3	4.8
Octubre	127.4	127.6	79.7	27.6	150.9	42.6	96.7	26.1
Noviembre	45.5	149.5	148.1	134	220.4	11.7	105.4	109.7
Diciembre	255.7	52.4	185.8	173.9	132.2	127.5	223.5	146.6
Total (mm/año)	1141.7	896.4	1090	711.9	1131.3	860.5	1002	794.4

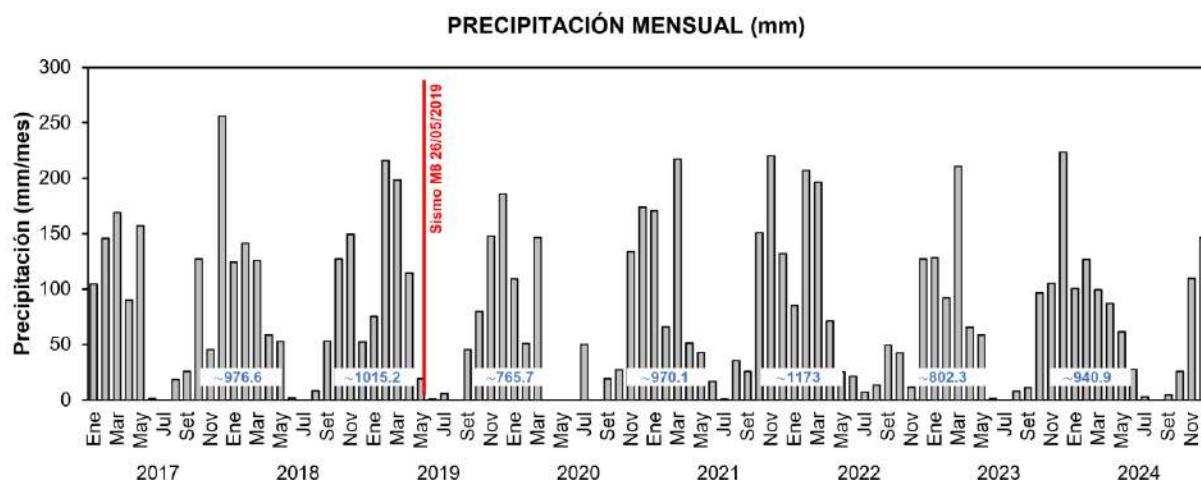


Figura 2. Precipitación mensual registrada por la estación Cajabamba (2017-2024). La línea roja corresponde a la fecha del sismo de Lagunas (26/05/2019).

1.1.4 SISMICIDAD

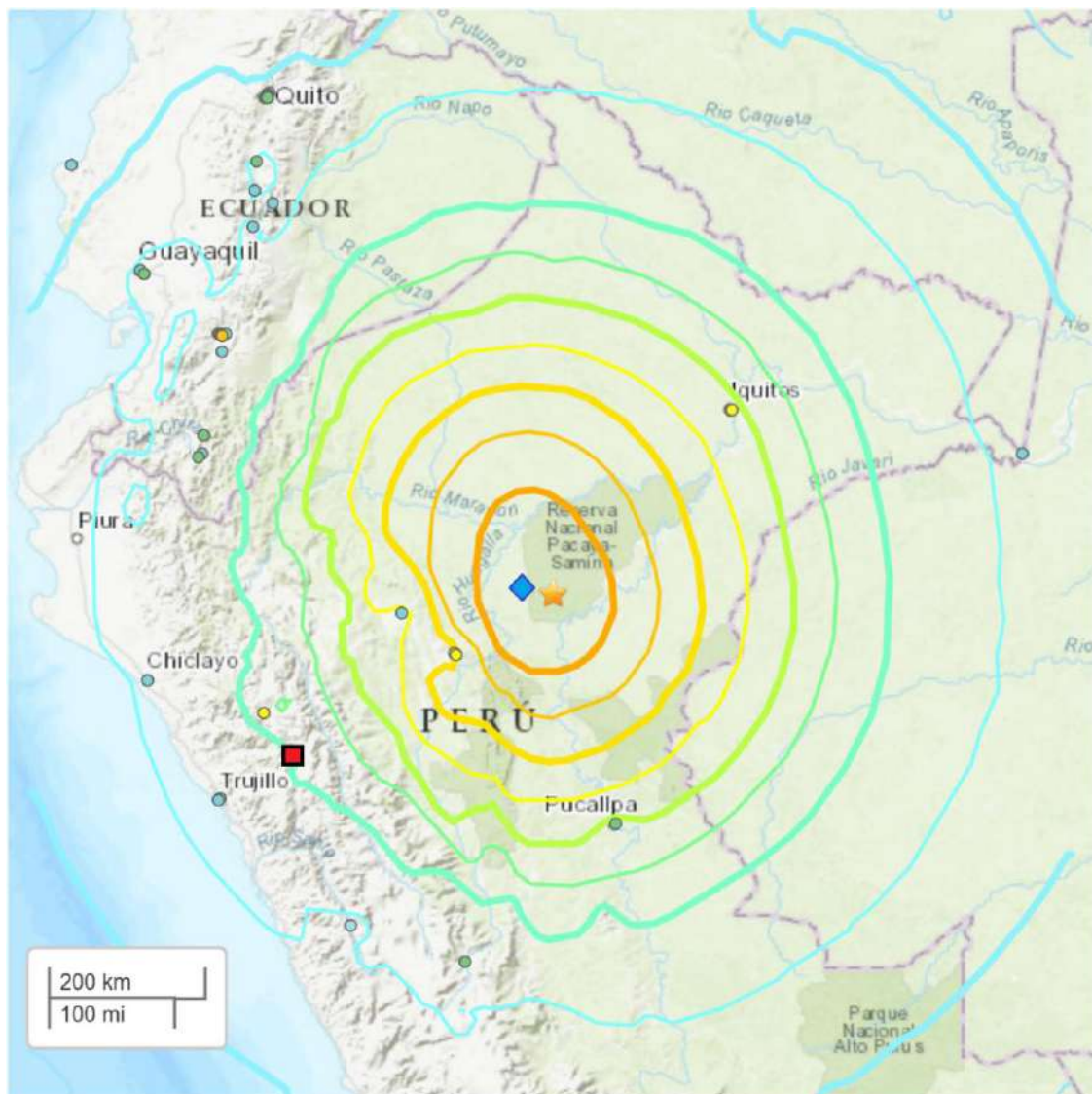
1.1.4.1 Sismo de Lagunas del 26 de mayo 2019

El sismo de Lagunas de magnitud M8.0, ocurrió el 26 de mayo de 2019, a las 02:41 horas, al norte del Perú (Loreto). Según la Red Sísmica Nacional (RSN), tuvo una profundidad aproximada de 135 km o 110 km según el USGS (terremotos de profundidad intermedia), con epicentro a 60 km

al sur de la localidad de Lagunas, y alcanzó una intensidad máxima de VII (MM) en Lagunas y Yurimaguas. El evento siguió el patrón definido para la región, donde la placa oceánica se subduce por debajo de la cordillera. El sacudimiento fue percibido hasta a 1000 km de distancia, llegando hasta Lima (Perú), Guayaquil (Ecuador), Bogotá (Colombia) y Brasil. Localmente, las ondas P y S generaron un sacudimiento intenso del suelo en las localidades de Lagunas y Yurimaguas, causando daños en viviendas, infraestructura y alteraciones en la morfología. A mayores distancias, el sacudimiento se sintió por periodos largos, aunque sin daños significativos. El proceso de ruptura tuvo una duración de 70 segundos, sin embargo, se percibió regionalmente por aproximadamente 2 minutos. Este evento destaca como inusual por su magnitud $\geq M8.0$, ya que los sismos en la placa de Nasca registrados a profundidades de 100-150 km, en el nororiente del Perú, suelen tener magnitudes promedio de M7.0, lo cual eleva el potencial sísmico de la región (Tavera, 2019).

En Cajabamba, según el CENSIS del IGP, el sismo se sintió fuerte y prolongado, con una intensidad evaluada de VI (fuerte) en la escala de Mercalli Modificada (Tavera, 2019). La distancia calculada del epicentro a Cajabamba varia de entre 350 a 370 km. El mapa de intensidad macrosísmica modificado del USGS (figura 3), muestra intensidades moderadas a fuertes en las zonas afectadas.

El deslizamiento de Cajabamba inicio su reactivación el mismo día del sismo (Ingemmet, 2019), como efecto postsísmico.



SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
DAMAGE	None	None	None	Very light	Light	Moderate	Moderate/heavy	Heavy	Very heavy
PGA(%g)	<0.0464	0.297	2.76	6.2	11.5	21.5	40.1	74.7	>139
PGV(cm/s)	<0.0215	0.135	1.41	4.65	9.64	20	41.4	85.8	>178
INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

Scale based on Worden et al. (2012) o Reported Intensity Version 1: Processed 2020-06-03T06:18:21Z

Figura 3. Mapa de Intensidad Macrosísmica, modificado del USGS. El cuadrado rojo representa la ubicación estimada del deslizamiento de Cajabamba. El rombo azul y estrella amarilla representan los epicentros reportados por el IGP y USGS respectivamente.

1.1.5 ASPECTOS GEOLÓGICOS

1.1.5.1 Contexto geológico regional

La zona del deslizamiento presenta rocas del Neógeno y depósitos cuaternarios (GEOCATMIN capas “Mapa Geológico a escala 1:100,000 y 1:50,000”, hoja 16g 1:100,000, Reyes 1980 revisado por Sánchez 2017, “Cuadrángulo de Cajabamba”). Pueden encontrarse principalmente litologías de la Formación Condebamba constituida mayormente por intercalaciones de areniscas gruesas, arcillas rojizas, conglomerado fino y conglomerado grueso con elementos

redondeados y subredondeados, mayormente de cuarcitas en matriz arenosa, llegando a tener a veces diámetros de 35 a 40 cm (Reyes, 1980). Los depósitos cuaternarios identificados en la zona de estudio son de origen coluvial y fluvial, conformados mayormente por conglomerados retransportados (Ingemmet, 2024).

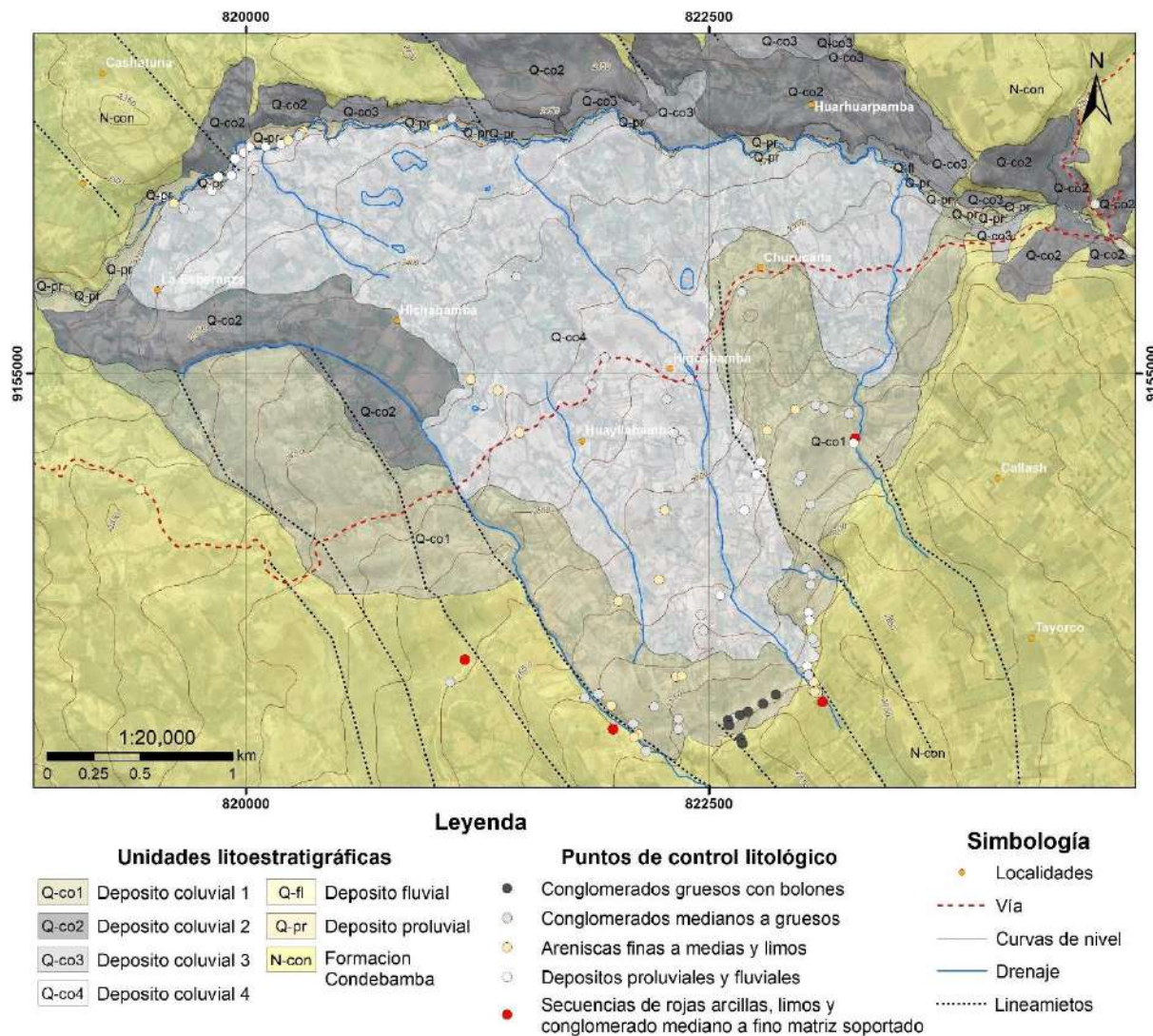


Figura 4. Geología local de la zona de estudio.

1.1.5.2 Geología local

Localmente, las rocas de la Formación Condebamba que afloran ampliamente en la zona de estudio (figura 4), están deformadas por lineamientos/desplazamientos de dirección noroeste y buzamiento suroeste relacionados a eventos geodinámicos antiguos. Esta deformación dio como resultado la disposición escalonada visible tanto al sur como al norte del deslizamiento de Cajabamba; además, habría condicionado la posterior ocurrencia de los siguientes deslizamientos que ampliaron la cuenca del río Lanla.

Al sur de la zona de estudio (figura 4), en la parte alta de Huayllabamba, se puede encontrar el nivel conglomerádico grueso de la Formación Condebamba. Se encuentran niveles conglomerádicos con clastos de cuarcitas, areniscas y calizas clasto-soportados con cemento calcáreo, angulosos y subredondeados, de diámetros que varían entre 0.05 m a 0.4 m y en menor

proporción, bolones de hasta 1.5 m (foto 01). También desplazamientos verticales de azimut N 150 y buzamiento 84°, que cortan los conglomerados gruesos y desplazan paquetes más finos meteorizados, hacia el suroeste (figura 5).



Foto 1. Conglomerados gruesos con bolones, ubicados en la parte alta de Huayllabamba.

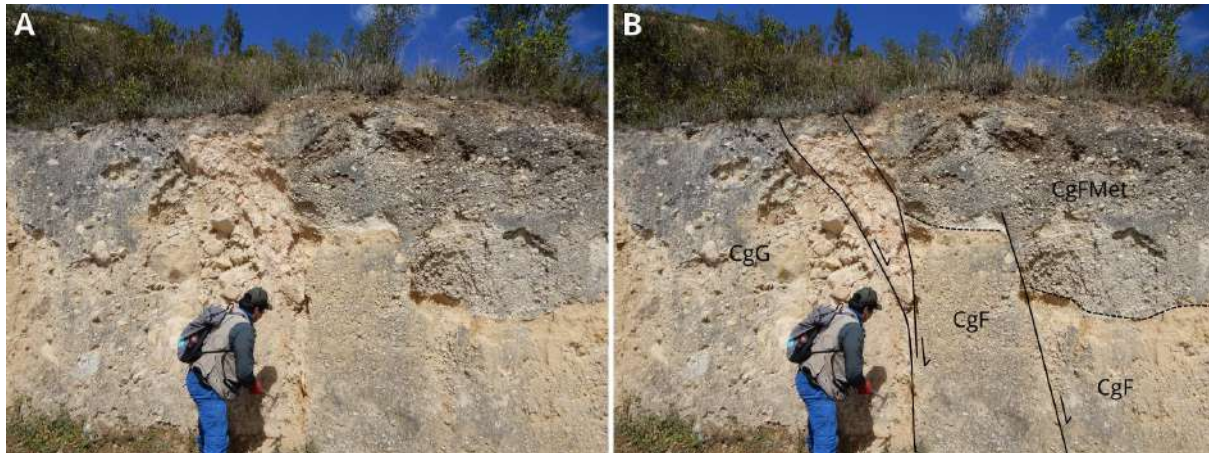


Figura 5. (A) Foto de conglomerados gruesos de la Formación Condebamba, ubicados en la parte alta de Huayllabamba. (B) Interpretación geológica mostrando desplazamiento vertical deformando el paquete de conglomerados finos (CgF) y un paquete superior meteorizado (CgFMet).

Los niveles de conglomerados medianos a gruesos de la Formación Condebamba, se observan en toda la zona, incluyendo la masa deslizada (figura 4). Se identificaron conglomerados clasto-soportados con cemento calcáreo, de forma angulosa a subredondeada, tamaño promedio de 5 cm y un máximo de 20 cm (figura 6). De forma similar al paquete de clastos más gruesos, este es polimíctico y se compone principalmente de clastos de calizas, areniscas y cuarcitas.



Figura 6. (A) Foto de conglomerados medianos a gruesos de la Formación Condebamba, ubicados al este del deslizamiento de Cajabamba. (B) Interpretación geológica mostrando los niveles de conglomerados medianos a gruesos (CgMG), intercalados con una secuencia de los niveles más finos (F) de la Formación Condebamba. En la parte superior se ven niveles meteorizados (CgMGMet).

Los niveles más finos de la Formación Condebamba afloran de forma aleatoria, intercalados con los conglomerados medianos a gruesos, tanto dentro del cuerpo como en sus inmediaciones (figuras 4, 6 B y 7). Se identificaron niveles de limos y areniscas de grano fino a medio con tonalidades que varían entre beige, naranja y marrón en algunas zonas. La secuencia generalmente se presenta de forma granocreciente, bajo conglomerados clastosoportados de tamaño de entre 5 a 10 cm. La potencia varía de entre 1 hasta 2 m (figura 7 B).

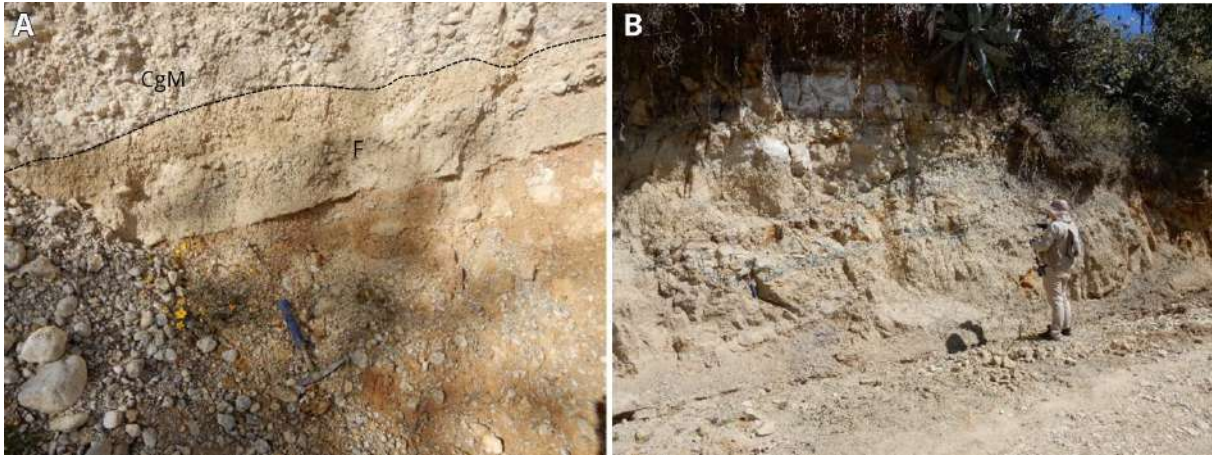


Figura 7. (A) Interpretación mostrando un detalle del límite entre los finos (F) bajo un nivel de conglomerados (CgM). (B) Foto de los niveles de finos donde se aprecia su espesor.

Un rasgo muy característico de toda la zona, son las costras calcáreas emplazadas ampliamente sobre laderas de la Formación Condebamba y depósitos de deslizamientos (fotos 4 y 5), con espesores identificados que varían entre varios centímetros hasta 2 m. Superficialmente se presentan de colores grisáceos, sin embargo; al ser picados, presentan tonalidades cremas. La presencia de estas costras estaría relacionada a la composición litológica de la Formación Condebamba, caracterizada por su abundancia en rocas carbonatadas. Se interpreta su origen asociado a la meteorización, donde la disolución y posterior precipitación de CaCO_3 en el suelo, ocurre debido a procesos de evaporación y ascenso capilar de soluciones ricas en calcio. Así mismo, también se considera que su formación podría estar relacionada a la precipitación de carbonatos generados por la interacción con aguas subterráneas.



Fotos 4 y 5. Costras calcáreas emplazadas ampliamente sobre la superficie de laderas compuestas por la Formación Condebamba y depósitos de deslizamientos.

También se pueden encontrar niveles de arcillas rojizas, que afloran principalmente en los lineamientos de dirección sureste-noroeste (figura 4). Al este del deslizamiento de Cajabamba, se puede encontrar una secuencia arcillas y arenas de color rojizo, de hasta 2 m de espesor, por debajo de conglomerados con clastos que varían entre 2 a 10 centímetros de diámetro, en matriz arenosa, dispuestos de forma granocreciente con niveles intercalados de arenas (foto 6). La posición de estos niveles sugiere su depositación posterior a la generación de los desplazamientos de dirección sureste-noroeste. Por su ubicación y nivel de compactación media, estos niveles corresponderían a zonas de sedimentación seguidas de paleocanales cuaternarios.



Foto 6. Arcillas y limos de coloración rojiza por debajo de conglomerados, al este del deslizamiento de Cajabamba.

En la parte frontal del deslizamiento de Cajabamba, al noroeste del sector reactivado, se puede diferenciar rocas de la Formación Condebamba que presentan meteorización y un alto grado de saturación (foto 7). Se observan paquetes de los conglomerados gruesos, así como los niveles finos de arenas y limos. Esta condición estaría relacionada a los bloques deslizados con mayor actividad en esta zona.



Foto 7. Rocas de la Formación Condebamba que presentan meteorización y un alto grado de saturación de agua, al norte del deslizamiento de Cajabamba, margen izquierdo del río Lanla.

En las márgenes del río Lanla se puede encontrar depósitos correspondientes a flujos antiguos. Los clastos son de origen sedimentario y están constituidos principalmente por cuarcitas, calizas y margas. Son heterométricos, con tamaños que varían entre 10 y 50 cm, dentro de una matriz limo-arenosa. Al frente o pie del deslizamiento se encuentran terrazas de estos depósitos, basculadas por el empuje del cuerpo deslizado (figura 8 A).

Los depósitos fluviales del cauce del río Lanla (figura 8 B) tienen clastos redondeados a subredondeados dispersos entre bancos de arena. Los clastos pueden tener en algunos casos hasta 2 m.



Figura 8. (A) Interpretación del basculamiento de terrazas, en la margen izquierda del río Lanla. La línea roja señala la línea de superficie actual basculada, la línea roja entrecortada muestra la disposición horizontal original de la terraza. (B) Foto de los depósitos fluviales del río Lanla.

Los niveles coluviales corresponden a los cuerpos de los bloques desplazados según su antigüedad (figura 4). El nivel coluvial 1 pertenece al primer evento del deslizamiento de Cajabamba, ubicado al sur de la zona de estudio. Al haber desplazado las masas en bloques, dicho evento generó muy poca deformación interna, es por ello que los paquetes resultantes, conservan casi intactas las secuencias de la Formación Condebamba, y mantienen la misma disposición litológica.

El nivel coluvial 2, se aprecia al norte y oeste de la zona de estudio (figura 4). Corresponde a los niveles de deslizamientos sobrepuestos y posteriores nivel coluvial 1. Presenta paquetes poco deformados de conglomerados de la Formación Condebamba, que en algunos sectores aún conservan la estratigrafía original. Sin embargo, también se observan masas más deformadas compactadas, lo cual demuestra su antigüedad.

Los depósitos coluviales 3, corresponden a paquetes conglomerádicos caídos y de masas de deslizamientos con morfologías más recientes, movilizadas sobre los depósitos del nivel coluvial 2. Se distribuyen principalmente en la margen norte del río Lanla (figura 4). De forma similar al nivel coluvial 2; la mayoría de estos conglomerados se encuentran consolidados.

El nivel coluvial 4 corresponde a las masas actuales del deslizamiento de Cajabamba y del deslizamiento ubicado al este Churucana (figura 4). De forma similar a los anteriores niveles, los paquetes también exponen bloques de la Formación Condebamba bien conservados; sin embargo, gran parte del depósito presenta conglomerados consolidados, pero sin alguna disposición estratigráfica relacionada a la Formación Condebamba.

Al no mostrar evidencias claras de actividad reciente y por su nivel de compactación, muy similar al de la Formación Condebamba, los tres primeros niveles de depósitos coluviales entrarían

en la clasificación de depósitos de deslizamientos abandonados. En relación al depósito del deslizamiento de Cajabamba, la clasificación sería de depósito de deslizamientos y flujos abandonado reactivado, con sectores medianamente consolidados al frente del cuerpo reactivado, y también consolidados y muy consolidados en algunos sectores.

Cabe mencionar que, al estar la Formación Condebamba principalmente compuesta por conglomerados, la deformación interna es poco diferenciable, esto hace necesario que la disposición de paquetes se distinga principalmente por los rasgos morfológicos, obtenidos con topografía de alta resolución.

1.1.6 ASPECTOS GEOMORFOLOGICOS

1.1.6.1 Mapa de pendientes

Para determinar las pendientes de la zona de estudio, se utilizó DEM ALOS de 30 m/px. La clasificación de pendientes se realizó con ayuda del software ARCGIS (figura 9), donde se observa que el rango predominante en toda la zona varía entre 5° a 15° (pendiente moderada), observándose también pendientes de inclinación suave y fuertes distribuidas de forma dispersa. Las pendientes muy fuertes a escarpadas se aprecian principalmente en las márgenes del río Lanla, estas zonas presentan intensa actividad geodinámica o erosión y en zonas de escarpes de los deslizamientos antiguos que se encuentran preservados.

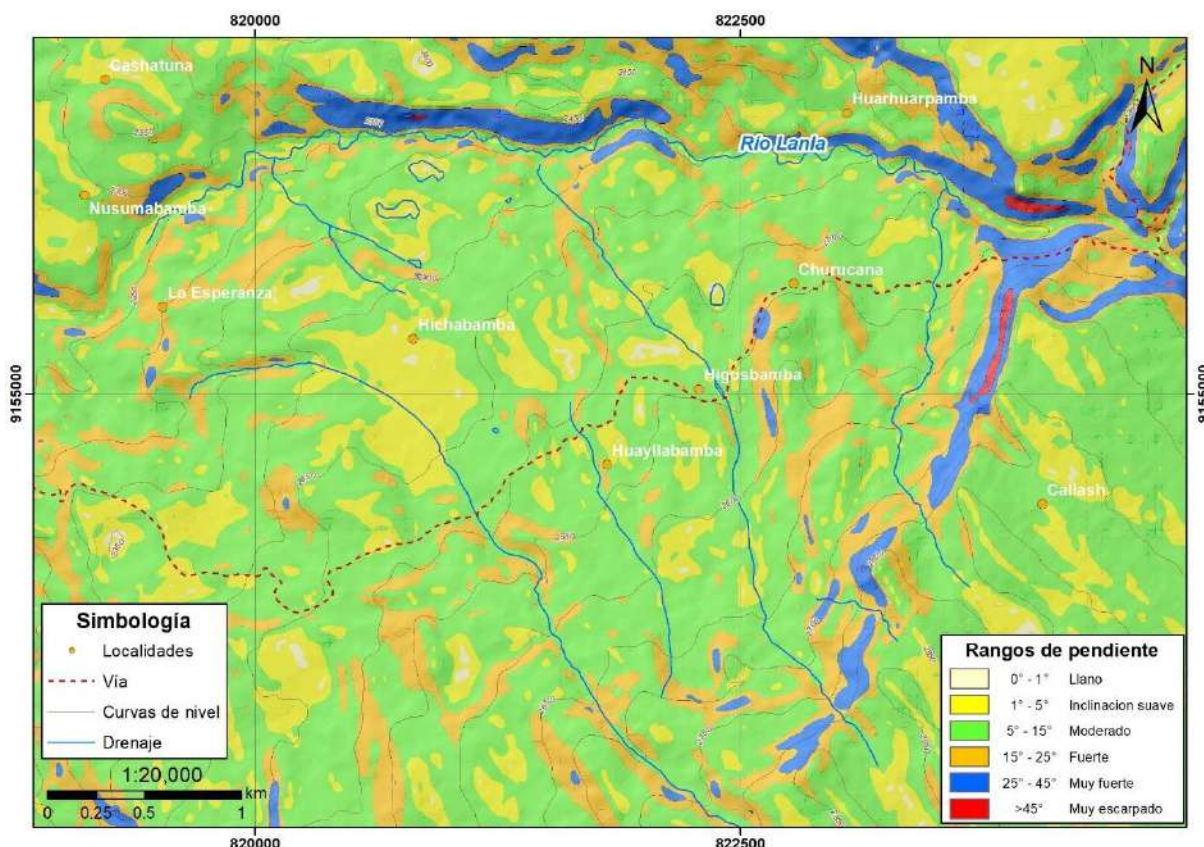


Figura 9. Pendientes del terreno en la zona de estudio.

1.1.6.2 Mapa de acumulación de aguas superficiales

A fin de identificar las zonas donde se acumulan las aguas en superficie y subterráneas, se generó un mapa de acumulación de flujo utilizando la herramienta Flow Accumulation del software SAGA GIS (figura 10), considerando como base un DEM de 0.05 cm/px obtenido mediante fotos de dron. Este análisis permite identificar los lugares potenciales donde se concentra la humedad o las zonas de acumulación de aguas de escorrentía superficial debido a la topografía. Se observó que, en su mayoría, las zonas de acumulación o drenajes naturales dentro del deslizamiento no presentan continuidad desde la parte alta (escarpe) hasta el pie del deslizamiento en el río Lanla; la continuidad se pierde generalmente en sectores cóncavos dentro de la masa deslizada resaltando que en estos lugares se da una mayor acumulación y como no tiene continuidad el agua se infiltra en la masa deslizada y en la parte baja se evidencian surgencias de agua. Este patrón se evidencia al sureste del poblado de Hichabamba y al noroeste del poblado de Higosbamba. Esta característica estaría mostrando la deformación permanente en el cuerpo del deslizamiento por sobresaturación de agua y la gravedad.

Así mismo, en los trabajos de campo se identificaron 11 surgencias de agua en el cuerpo del deslizamiento, ubicadas al norte del poblado de Hichabamba y al sur de Huayllabamba e Higosbamba. También se identificaron cuerpos de agua principalmente al norte de Hichabamba. Estas lagunas y manantiales estarían indicando la permanente presencia de aguas subterráneas en la zona.

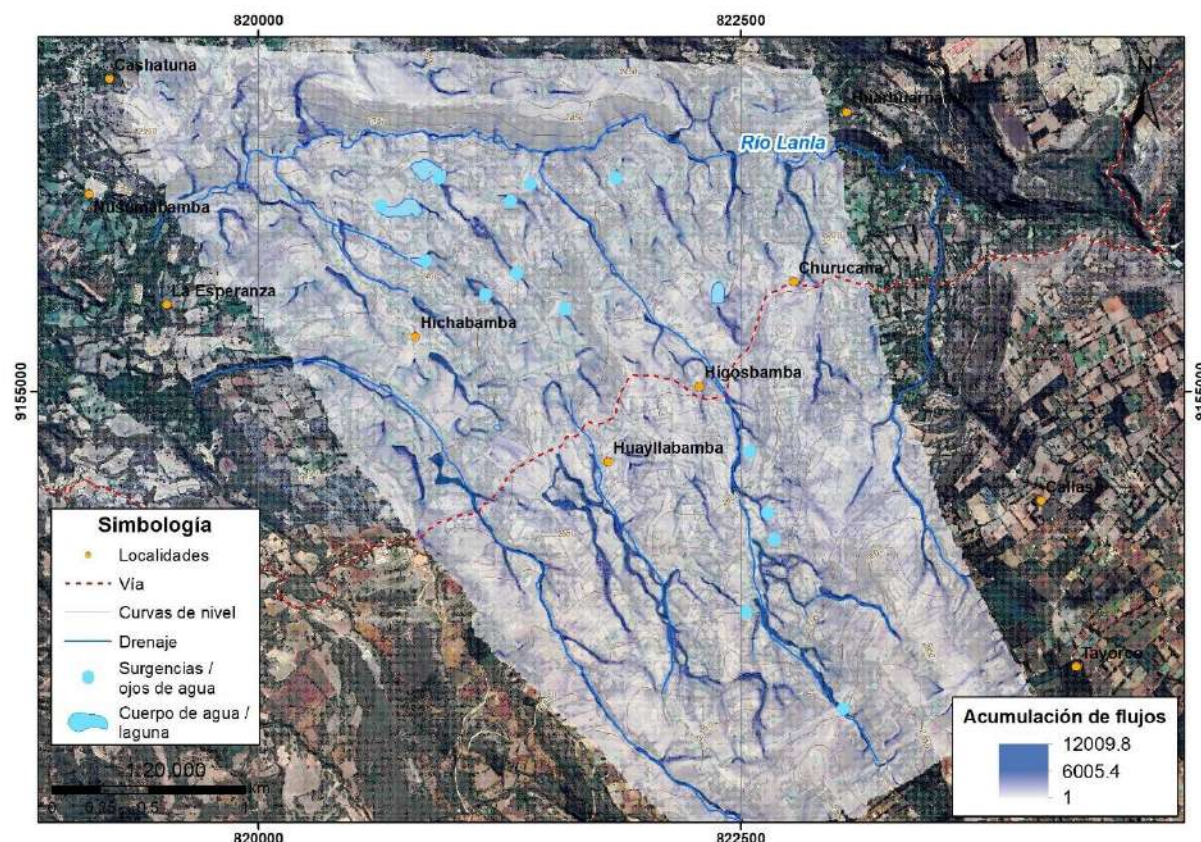


Figura 10. Mapa de índice topográfico de humedad o acumulación de aguas superficiales de la zona de estudio, generado con el software SAGA GIS, herramienta Flow Accumulation.

1.1.6.3 Contexto geomorfológico regional

Geomorfológicamente a escala 1:100,000, la zona corresponde a la unidad de “Colinas y Lomadas en roca sedimentarias” (GEOCATMIN capa “Geomorfología”) (Ingemmet, 2024).

Constituye relieves relativamente elevados, denudados o erosionados, por corrientes de aguas pluviales sobre superficies inicialmente de suave pendiente, hasta configurar en función a su naturaleza litológica y permeabilidad, paisajes de lomadas, colinas y planicies muy disectadas por cárcavas (Zavala & Rosado, 2011).

1.1.6.4 Geomorfología local

Localmente presenta geoformas variadas (figura 11), en relación a las geoformas de carácter Tectónico-Degradacional y Erosional, se define la subunidad de “Superficies Colinadas y Lomadas en Rocas Sedimentarias”, por las características litológicas, lomadas y relieve colinado. Esta unidad rodea toda la zona de deslizamientos y tiene pendientes que varían principalmente entre moderadas a fuertes, y muy fuertes a muy escarpadas, en los cambios de pendiente y escarpes de movimientos en masa antiguos.

También se identificaron planicies de tipo “Terraza Aluvial” (figuras 11 y 12), correspondientes a los flujos antiguos del río Lanla. Cabe mencionar que estas terrazas se ven mucho más angostas o desaparecidas en el lado sur del río, lo cual es un indicador del avance del deslizamiento.

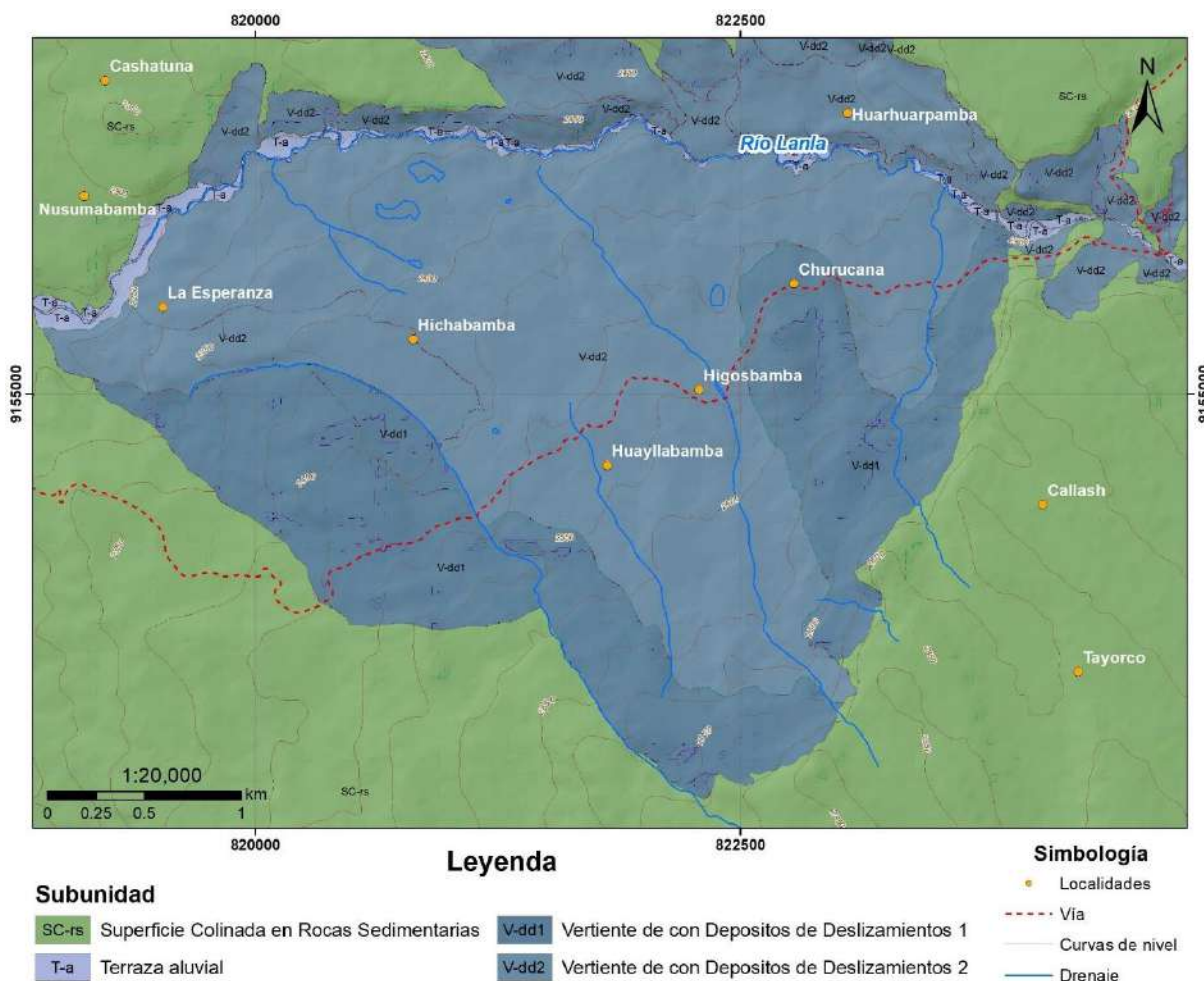


Figura 11. Geomorfología local de la zona de estudio.

Sobre las geoformas de carácter deposicional, se consideraron dos tipos de Vertientes de con Depósitos de Deslizamientos (figura 12), teniendo en cuenta las morfologías de deslizamiento y

litología homogénea. La primera corresponde a los sectores de los bloques antiguos desplazados y sin mayor transporte, que conservan la mayoría de las características estratigráficas locales. La segunda corresponde a los deslizamientos con mayor deformación pero que no perdieron la morfología original del movimiento, además, aun presentan bloques de roca dispersos con las secuencias estratigráficas intactas. Estas unidades tienen pendientes que varían principalmente entre suaves a fuertes y muy fuertes a muy escarpadas, en ambos lados del río Lanla y zonas de cambio de pendiente.



Figura 12. Interpretación de la geomorfología local en base a fotografía aérea tomada con dron. “SC-rs” = Superficie Colinada en Rocas Sedimentarias, “V-dd” = Vertientes de con Depósitos de Deslizamientos, “T-a” = Terraza Aluvial.

1.1.7 MOVIMIENTOS EN MASA

1.1.7.1 Inventario de peligros geológicos

Según el inventario de peligros geológicos nacional (GEOCATMIN), el deslizamiento de Cajabamba es considerado un evento de gran magnitud (Ingemmet, 2019, Ingemmet, 2023), así mismo alrededor de este evento se tienen otros eventos de movimientos en masa de tipo deslizamientos y caídas, al oeste y noroeste del deslizamiento de Cajabamba respectivamente. En referencia a la susceptibilidad a movimientos en masa (GEOCATMIN), la zona de estudio muestra susceptibilidad de media a muy alta. Sobre las condiciones de peligro, los informes del 2019 hacen mención a deforestación, rocas meteorizadas de fácil remoción, terrenos saturados de agua consecuentes a prácticas de riego por gravedad y falta de revestimiento de canales y reservorios (Ingemmet, 2024).

1.1.7.2 Cartografiado de movimientos en masa

Localmente, toda la zona expone morfologías de grandes movimientos en masa pasados (figura 13). Se pueden diferenciar 4 sectores en inmediaciones del deslizamiento de Cajabamba, los cuales se describirán según su ubicación.

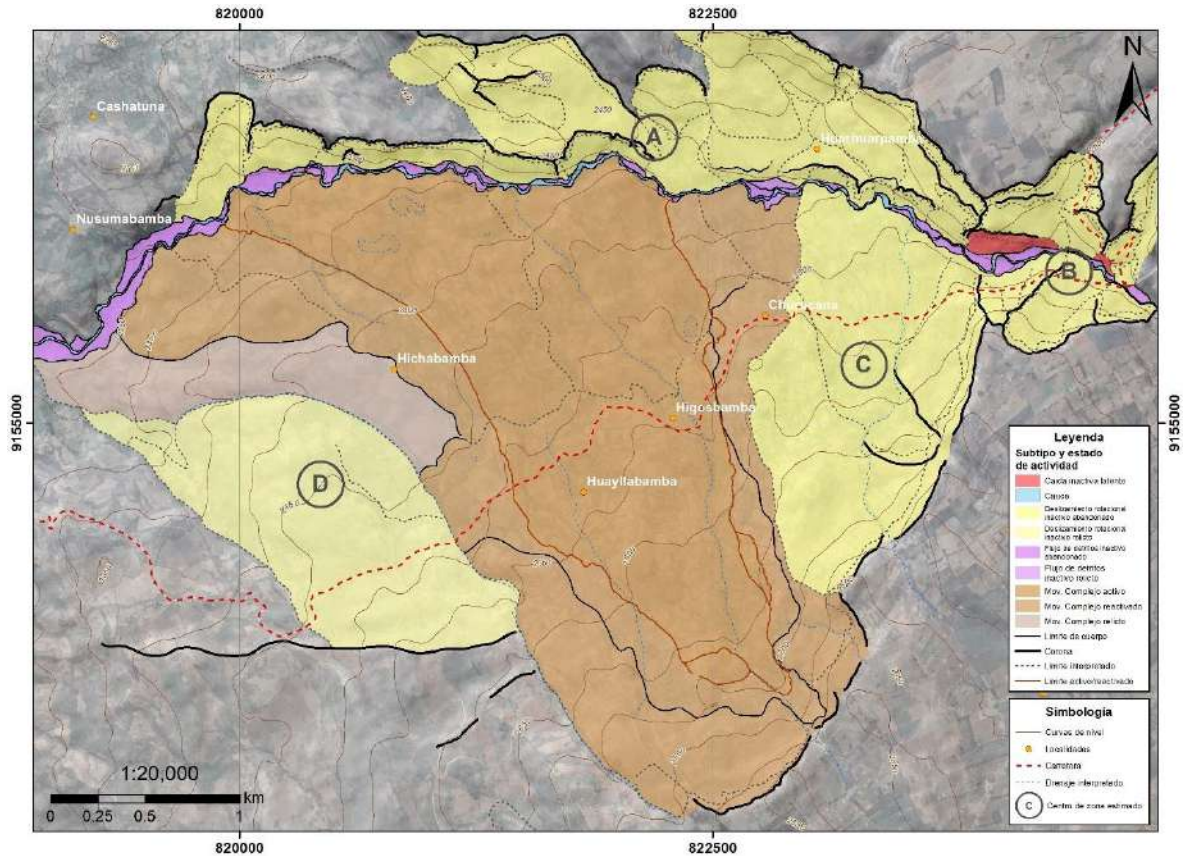


Figura 13. Sectores de movimientos en masa ubicados en las inmediaciones del deslizamiento de Cajabamba.

La primera zona (figura 13, sector A), corresponde a las laderas del flanco derecho del río Lanla, norte de la zona de estudio. Muestra deslizamientos de tipo rotacional abandonados, los cuales, en su gran mayoría, aun preservan sus escarpes y cuerpos (figuras 14 y 15). Este enjambre de eventos conservado, estaría relacionado a la deformación posterior, consecuente de los grandes deslizamientos más antiguos, paralelos a las etapas iniciales del megaevento de Cajabamba. La parte frontal de la zona, próxima al margen norte del río Lanla, muestra eventos de deslizamientos y derrumbes más pequeños, posiblemente relacionados a reactivaciones de los paquetes más grandes y la dinámica del río.

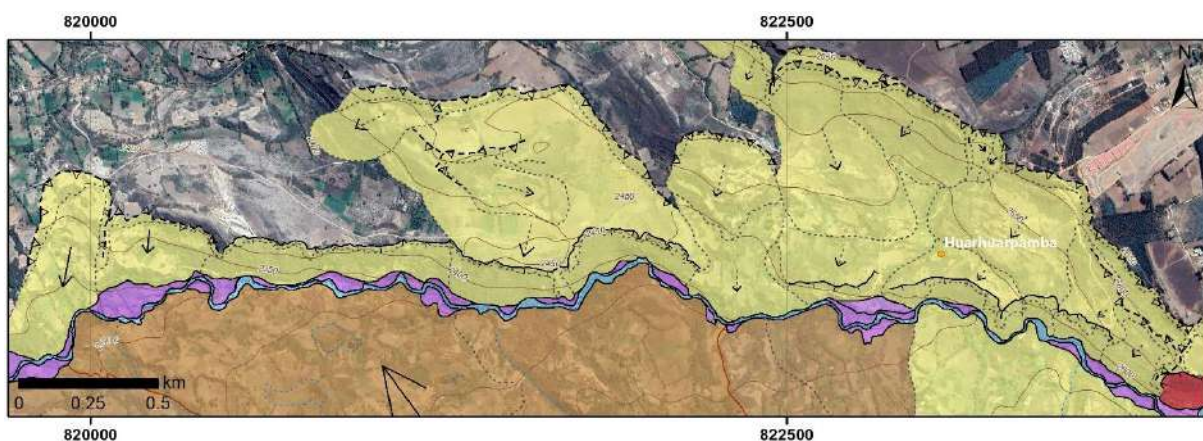


Figura 14. Detalle del sector A. Se aprecian movimientos en masa de tipo deslizamiento abandonado, al norte, en la margen derecha del río Lanla.

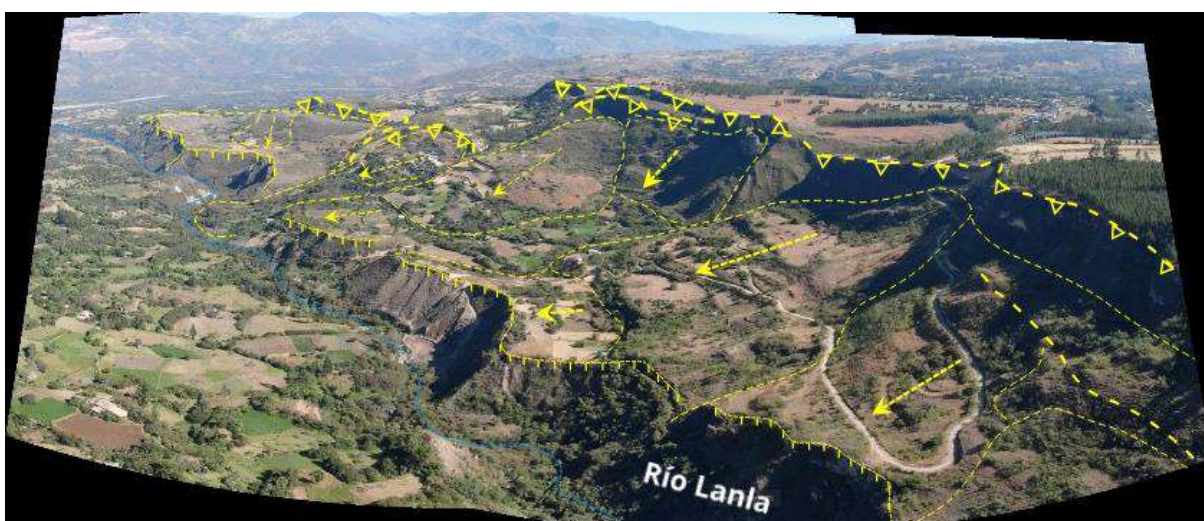


Figura 15. Mosaico panorámico de fotografías aéreas interpretado, el cual muestra el enjambre de deslizamientos abandonados, ubicados al norte del río Lanla.

La segunda zona (figura 13, sector B), corresponde a las laderas del río Lanla, desde la planta de tratamiento hasta la entrada a Churucana (figuras 16 y 17). Al igual que en la zona A, se puede observar deslizamientos abandonados. Estos eventos están restringidos a las márgenes de la ladera y no serían parte de deslizamientos mayores como el de Cajabamba, sino consecuentes de deformación local más superficial. La morfología de esta zona es más encañonada y correspondería al contexto de la configuración inicial del valle, anterior a la ocurrencia de los eventos iniciales de Cajabamba. También se observan caídas donde sus depósitos se encuentran conservados, estos se observan en laderas de fuerte pendiente.

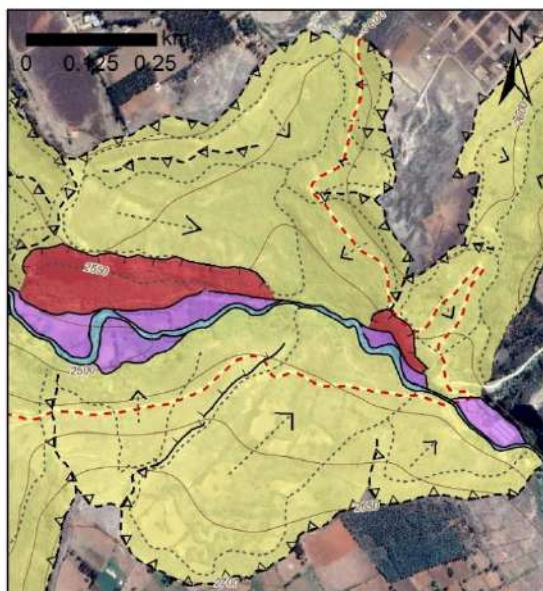


Figura 16. Detalle del sector B. Se aprecian movimientos en masa de tipo deslizamiento abandonado y zonas de caídas.



Figura 17. Mosaico panorámico de fotografías aéreas interpretado que muestra deslizamientos abandonados y zonas de caída.

La tercera zona (figura 13, sector C), abarca el este y sur de Churucana. Corresponde al bloque este del megadeslizamiento inicial, anterior al actual deslizamiento de Cajabamba (figuras 18 y 19). Puede observarse la corona y el escarpe principal conservados que se prolongan hacia el sur, suroeste, con depósitos de piedemonte en su base. En el detalle de la figura 19, se aprecia el plano principal del evento prolongándose hacia el río Lanla. En la parte intermedia del bloque se interpreta un evento de reactivación más reciente con características de deslizamiento flujo, actualmente abandonado.

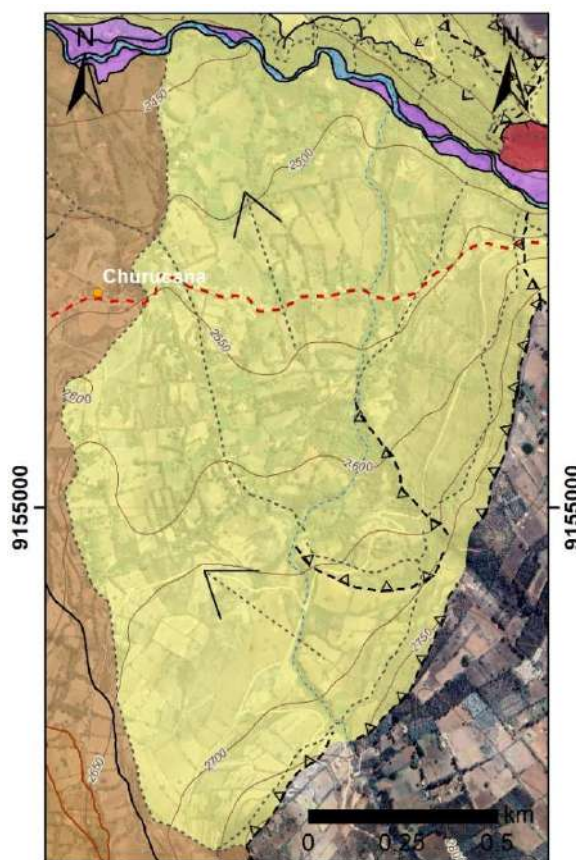
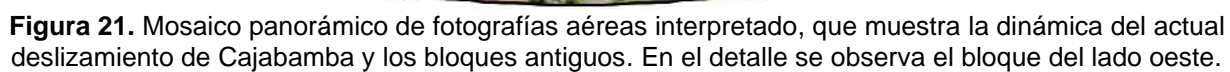
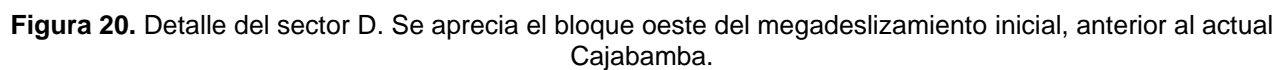


Figura 18. Detalle del sector C. Se aprecia el bloque este conservado del megadeslizamiento inicial, anterior al actual Cajabamba.



Figura 19. Mosaico panorámico de fotografías aéreas interpretado que muestra la dinámica del bloque este del megadeslizamiento inicial.

La cuarta zona (figura 13, sector D), se ubica al oeste de Huayllabamba, noroeste de Hichabamba. Corresponde al bloque oeste aun conservado del megadeslizamiento inicial, anterior al actual Cajabamba (figuras 20 y 21). El deslizamiento en esta zona aun preserva el escarpe principal, que se prolonga hacia el oeste, sin observarse un desplazamiento de la masa, fuera del polígono que delimita el bloque. Este rasgo morfológico indica que el megaevento antiguo, no llegó a romper completamente la ladera en este sector. La masa preservada no sufrió gran deformación, sin embargo, se muestran escarpes secundarios paralelos suavizados por la erosión, desplazados de manera escalonada, orientados hacia el norte.



Cabe destacar que, en su mayoría, los deslizamientos de las zonas descritas, tiene sus cuerpos desplazados en forma de paquetes que preservan las características estratigráficas de la Formación Condebamba. Esto puede indicar movimientos lentos de las masas, que permitan

conservar las secuencias sin mucha deformación, con probables ocurrencias en largos intervalos de tiempo.

1.1.7.3 Caracterización del deslizamiento de Cajabamba

Los informes técnicos N°A6903 y N°A6911 (Ingemmet, 2019), post sismo de Parinas del 26 de mayo 2019, describen las características más resaltantes, paralelas y posteriores a la reactivación del deslizamiento de los caseríos de Higosbamba, Hichabamba, Huayllabamba y Churucana, también conocido como “deslizamiento de Cajabamba”. Los informes refieren: i) agrietamientos con aperturas mayores a los 2 m y profundidades de hasta 10 m, presentes desde los 2300 a 2700 a m s. n. m.; ii) un incremento progresivo de grietas hacia la parte superior, escarpes con longitudes variables de entre 30 y 70 m, con saltos de entre 0.5 a 2 m; iii) caída e inclinación de árboles; iv) aumento del nivel de agua de la laguna Higosbamba y el estrechamiento del cauce del río Lanla en la parte baja del deslizamiento a consecuencia del movimiento de su masa. En lo referente a la morfología y morfometría, se estimó un área de 450 ha, así como pendientes en laderas suaves y onduladas, de entre 10° a 25°, correspondientes al cuerpo del deslizamiento (Ingemmet, 2024). En lo referente a la recurrencia, según testimonios de pobladores locales, este deslizamiento habría tenido reactivaciones similares en los años 50s y 70s, detonado por sismos (EVAR, 2020).

En base al análisis del contexto morfológico actual del deslizamiento de Cajabamba, se ha logrado identificar la secuencia de eventos asociados a la dinámica antigua y suspendida de la zona. La fotointerpretación fue realizada en base a la topografía de alta resolución obtenida mediante imágenes captadas con dron.

En el detalle A de la figura 23, se distinguen los paquetes consecuentes de los eventos pasados. A ambos lados del deslizamiento actual, se interpretan dos paquetes que originalmente formaban parte del primer movimiento (1), el cual, fue deformado y separado por la dinámica posterior en su parte central. Las observaciones de campo muestran que el movimiento inicial presentó características de deslizamiento tipo rotacional, con una dirección de desplazamiento promedio de la masa hacia el norte.

El segundo movimiento (2) estaría asociado a la etapa inicial de formación de la morfología actualmente observable (figura 23 A). Se identifica lo que podría considerarse un relicto de la masa original, que se desplazó por la parte central del primer evento en forma de abanico. Este desplazamiento, posiblemente ocasionado por deslizamientos tipo flujo o avalanchas, se expandió siguiendo la dirección de la topografía hacia la parte baja de la cuenca, con orientación hacia el noroeste.

Seguidamente, se distingue un evento (3) similar al segundo, ubicado en la parte central noroeste, el cual iniciaría desde Huayllabamba y cuya zona de arranque estaría cubierta por el evento 4, como se puede observar con las líneas entrecortadas interpretadas de la figura 23 A. Esta masa viene a ser la que presenta mayor deformación debido al sismo de 2019, como se observa en la figura 23C, apreciándose una alta concentración de grietas causadas por la reactivación del deslizamiento, especialmente en su frente.

El siguiente evento (4), desarrollado en un contexto de mayor topografía, corresponde a un proceso retrogresivo de tipo rotacional sobre la superficie heredada del evento (2). Este movimiento fue seguido por una última retrogradación (5), que, aunque no generó un desplazamiento significativo de la masa, dejó escarpes retrogresivos en la cumbre de la ladera (figura 22). Este último paquete no se deformó completamente y aún preserva la disposición estratigráfica de la Formación Condebamba.



Figura 22. Mosaico panorámico de fotografías aéreas interpretado que muestra el escarpe de la última retrogresión aun conservada, en la parte alta de Huayllabamba.

Dentro de los paquetes descritos, se observan morfologías asociadas a movimientos internos locales (figura 23 B). Se distingue claramente el relicto de la última retrogresión al sur, dentro del límite interno de las masas desplazadas, las que a su vez presentan diversos escarpes orientados hacia el noroeste. La topografía de detalle permite distinguir la deformación consecuente de la dinámica del deslizamiento. Con base en estas observaciones, podría clasificarse al megadeslizamiento de Cajabamba como un evento con estilo de actividad compleja, por la secuencia de ocurrencias rotacional y de flujo lento distribuidas dentro de su masa. Además, en función de su estado actual, se considera como un deslizamiento reactivado.

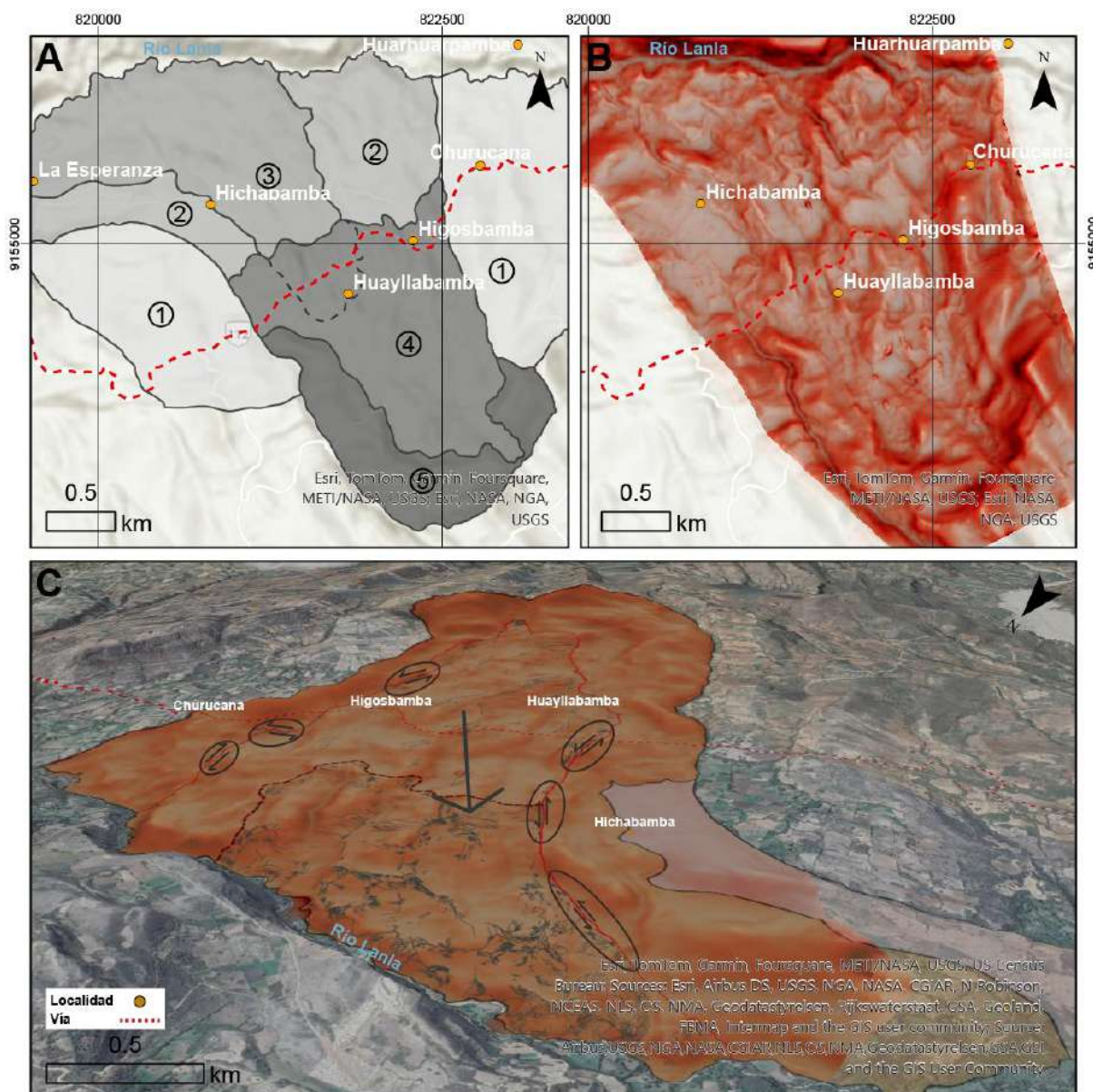


Figura 23. A. Interpretación de bloques antiguos del deslizamiento de Cajabamba. B. Topografía de alta resolución del deslizamiento de Cajabamba, obtenida mediante imágenes de dron. C. Vista 3D de la configuración actual del deslizamiento de Cajabamba. Se aprecia de rojo el límite de la reactivación detonada por el sismo del 2019, además, las grietas generadas durante la reactivación de color gris y un límite (línea entrecortada de color marrón) de la zona de mayor deformación interpretada en base a la concentración de grietas. Las flechas cruzadas indican la ubicación de las grietas y escarpes dispuestos de forma sigmoidal, generadas durante el momento postsísmico.

En el detalle C de la figura 23 se muestra la configuración actual del deslizamiento de Cajabamba en una vista 3D de tonalidades rojizas, resaltada mediante topografía de detalle. Asimismo, en el extremo oeste se identifica un paquete relicto del evento (2), dibujado mediante un polígono de color melón, el cual no experimentó desplazamientos significativos recientes que alteraran su masa. Este paquete, de forma alargada, puede clasificarse como un movimiento complejo abandonado.

La línea interior roja delimita la zona reactivada por el sismo del 2019, observándose que el reciente desplazamiento inició en la parte alta de mayor topografía y deformó todos los paquetes

internos como una masa entera. Esto sugiere que la dinámica de la reactivación postsísmica del deslizamiento, se concentró dentro de este límite y que, además, se preservan los patrones morfológicos de los movimientos antiguos. Otra evidencia de campo que respalda el desplazamiento total de una masa dentro de estos límites, son las grietas y escarpes dispuestos de forma sigmoidal ubicados en los flancos, identificados en el cartografiado del 2019 (figura 23 C). Estos desplazamientos muestran el esfuerzo general del movimiento de la masa en dirección norte, noroeste. Otro aspecto resaltante es la concentración de grietas postsísmicas del frente, las cuales estarían delimitando la zona más deformada y más propensa a movimientos locales.

Durante los trabajos de campo se identificaron nuevos agrietamientos en el terreno ubicados en el frente del deslizamiento (figura 24), resultado del avance de las masas sueltas, aledañas al río Lanla, al norte de Hichabamba, sector con mayor dinámica actual. Estas grietas estarían mostrando la dinámica relacionada al avance de las masas del frente permanentemente saturadas de agua, además del empuje del total de la masa reactivada en el 2019.



Figura 24. (A) Foto de agrietamientos al frente del deslizamiento de Cajabamba. (B) Interpretación y dirección de desplazamiento y/o apertura. Vista hacia el oeste.

2 MONITOREO GEODÉSICO

El monitoreo geodésico es una herramienta fundamental para la evaluación y seguimiento de movimientos en masa, especialmente en deslizamientos activos como el de Cajabamba. Este método permite cuantificar los desplazamientos en tres dimensiones (horizontal y vertical) y analizar la cinemática del deslizamiento, proporcionando datos esenciales para la gestión del riesgo de desastres. En el caso del deslizamiento de Cajabamba, el monitoreo geodésico se ha implementado con el objetivo de entender la dinámica del movimiento, identificar zonas críticas y evaluar la evolución temporal del fenómeno.

2.1 Implementación de la Red Geodésica

En el año 2022, siguiendo las recomendaciones de los informes de evaluación de peligros y riesgos, y con fines de investigación científica, se implementó una red geodésica temporal compuesta por 107 puntos de control (figura 25). El diseño de la red consideró morfologías críticas como grietas, escarpes y zonas de deformación, resultado de la reactivación del deslizamiento posterior al sismo del 26 de mayo de 2019. La distribución de los puntos se realizó de manera estratégica para cubrir tanto el cuerpo del deslizamiento como áreas estables en los extremos, lo que permite comparar los movimientos relativos entre zonas activas y estables.

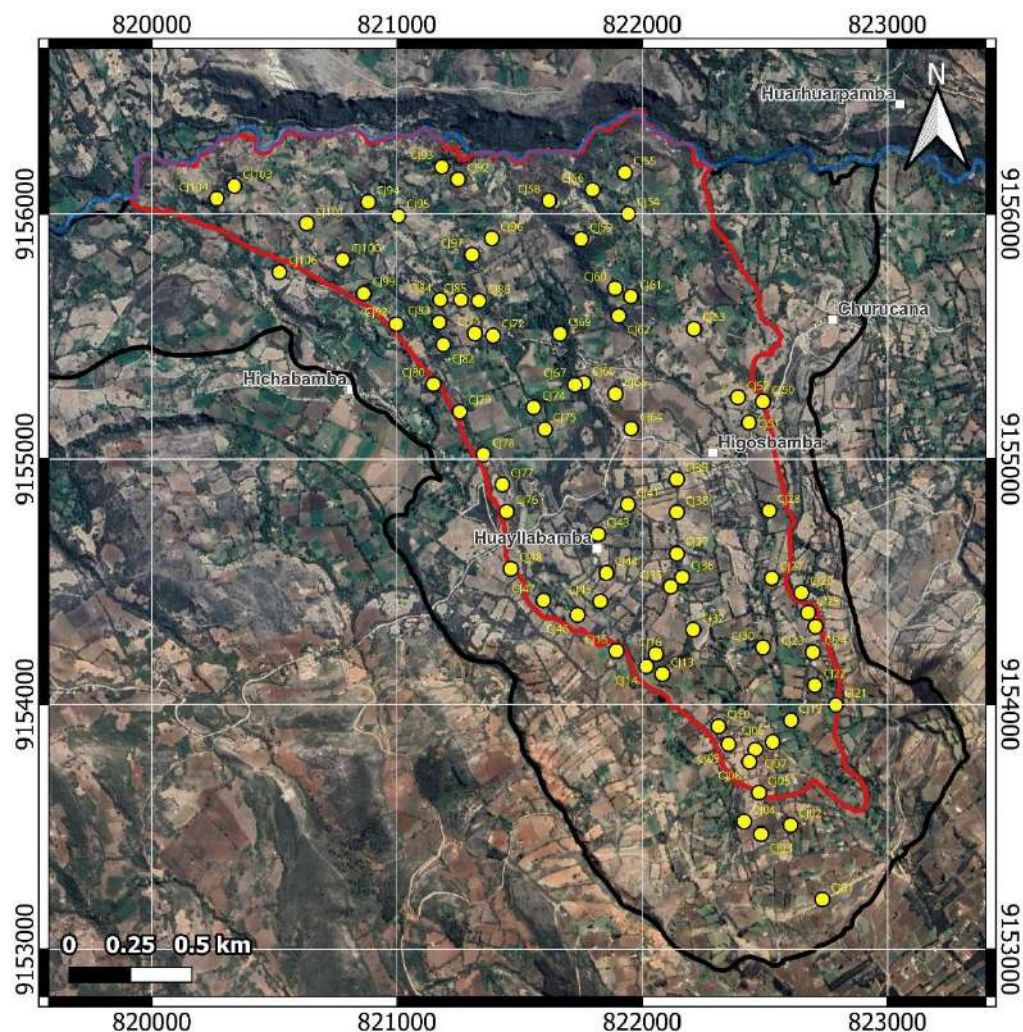


Figura 25. Distribución de puntos de control (círculos amarillos) en el deslizamiento de Cajabamba, en total se implementaron 107 puntos de control.

La selección de los puntos de control se basó en un análisis previo de la geomorfología del área, identificando zonas con mayor susceptibilidad a movimientos. Se priorizaron áreas con grietas activas, escarpes pronunciados y sectores con evidencias de deformación superficial. Además, se consideraron áreas de interés comunitario, como viviendas, terrenos agrícolas y vías de acceso, para evaluar el impacto directo del deslizamiento en la población. Cada punto de control fue monumentado con marcas permanentes, utilizando estacas de acero para garantizar su estabilidad y durabilidad, facilitando su localización y reocupación en futuras campañas de medición.

2.2 Instrumentación y Métodos de Medición

El monitoreo geodésico consiste en la implementación de puntos de control a lo largo del cuerpo deslizante y en extremos estables. Sobre estos puntos se realiza la medición precisa de sus coordenadas para luego ser analizadas en series temporales en tres componentes: este-oeste, norte-sur y altitud. El registro de coordenadas se llevó a cabo mediante levantamiento topográfico utilizando receptores GNSS diferenciales de doble frecuencia de la marca Trimble modelo R12. Este equipo consta de un receptor base, equipado con radio para corrección en tiempo real, y un receptor móvil. La precisión de los equipos GNSS utilizados es de ± 5 mm en horizontal y ± 10 mm en vertical, lo que garantiza mediciones confiables para el análisis de desplazamientos.

Para el registro de datos se realizó levantamiento topográfico mediante dos métodos de posicionamiento combinados:

- **RTK (cinemático con corrección en tiempo real):** Este método permite obtener coordenadas en tiempo real con alta precisión, utilizando una estación base fija y un receptor móvil. La corrección en tiempo real se realiza mediante una conexión de radio, lo que garantiza una precisión milimétrica en las mediciones.
- **PPK (cinemático postproceso):** Este método consiste en realizar mediciones en campo y posteriormente procesar los datos en oficina utilizando el software Trimble Business Center 5.0. El PPK es especialmente útil en áreas con obstáculos que dificultan la recepción de señales en tiempo real, como vegetación densa o topografía accidentada.

2.3 Adquisición de datos

Debido a condiciones climáticas adversas, actividad antrópica, deformaciones propias del terreno en el cuerpo del deslizamiento y otros factores de degradación superficial, se perdieron 22 puntos de control. En la campaña de medición de julio del 2024 se re-ocuparon 85 puntos de los 107 que conformaban la red original. Cabe señalar que a pesar de esta reducción en el número de puntos de control la cobertura de puntos de control sobre el cuerpo deslizante continúa siendo óptima.

En total se realizaron 4 campañas de lectura de datos entre los años 2022 y 2024, los cuales están distribuidos en las siguientes fechas:

- Campaña 1: 07 de junio de 2022
- Campaña 2: 25 de octubre de 2022
- Campaña 3: 27 de agosto de 2023
- Campaña 4: 12 de julio de 2024

Los desplazamientos se calcularon mediante la diferencia de coordenadas entre campañas consecutivas, y se analizaron las series temporales de cada componente. Los registros muestran un comportamiento de desplazamiento lineal, por lo que la velocidad del deslizamiento se determinó

utilizando regresión lineal simple. Los resultados evidencian movimientos horizontales y verticales significativos en el cuerpo del deslizamiento, tanto en términos de periodos específicos como en el acumulado total, proceso que continúa en la actualidad.

2.4 Cinemática del Deslizamiento

El primer análisis de los datos consistió en evaluar las series temporales de cada punto y de cada componente, para obtener las velocidades anuales de deslizamiento (Anexo 2). Se consideraron únicamente los puntos con un mínimo de tres lecturas y aquellos cuyos desplazamientos superaron el error instrumental. Los datos de la última campaña, realizada en julio de 2024, se tomaron como referencia, dado que el año 2024 constituye el periodo de interés del presente informe. Este análisis de series temporales evidenció que, en la mayoría de los puntos, el desplazamiento presenta un comportamiento lineal. En los casos en los que no se observó una tendencia lineal clara, los desplazamientos fueron mínimos o inferiores al error instrumental, lo que sugiere que el deslizamiento mantiene un movimiento constante, tal como se puede observar en las gráficas del Anexo 3.

Los resultados del cálculo de la velocidad para cada punto de control nos proveen del insumo para elaborar los mapas de campo de velocidad de deslizamiento, los que se muestran en las figuras 26 y 27, en estos mapas se presentan los resultados correspondientes al deslizamiento horizontal y vertical, respectivamente.

En conjunto las series temporales, los valores de velocidad y los mapas de campo de velocidad nos permiten evaluar la cinemática del deslizamiento para el periodo 2024. En tal sentido, se observa lo siguiente:

- La dirección predominante del desplazamiento horizontal es al noroeste, en dirección del río Lanla. La máxima velocidad registrada es de 32.4 cm/año (punto CJ095), de acuerdo a la clasificación de Cruden y Varnes (1996) se encontraría dentro del rango de deslizamiento “muy lento”.
- La zona de mayor desplazamiento horizontal se produce al norte del caserío de Hichabamba (puntos CJ82, CJ83, CJ84, CJ85, CJ95, CJ103 y CJ104), se calculó un desplazamiento horizontal hacia el noroeste entre 15 y 32.4 cm/año.
- El desplazamiento en la componente vertical es de hundimiento, el máximo valor es de 9.7 cm/año (punto CJ071), un tercio respecto del desplazamiento horizontal. Las zonas de mayor hundimiento se encuentran en la parte central del cuerpo del deslizamiento, esto es entre el caserío de Huayllabamba y al noreste de Hichabamba, en donde se han registrado valores de hundimiento entre 2.5 y 9.7 cm/año.
- La variabilidad de las velocidades del deslizamiento en diferentes sectores nos indica que el desplazamiento espacial no es homogéneo. Esto sugiere la presencia de cuerpos con diferentes factores condicionante y/o detonantes del deslizamiento.

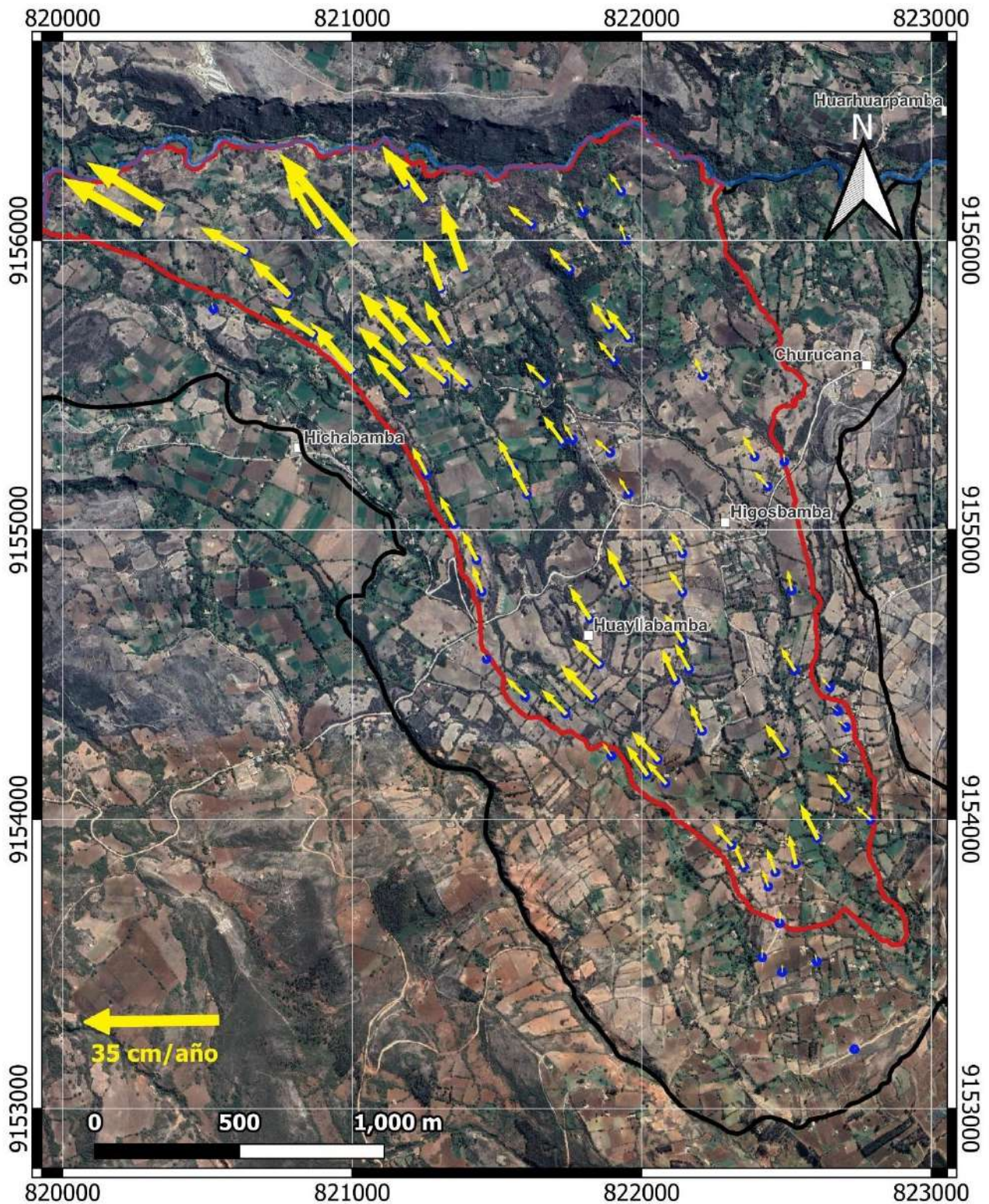


Figura 26. Campo de velocidad horizontal del deslizamiento de Cajabamba. El mapa muestra las magnitudes y direcciones de los desplazamientos de la red de puntos de control temporal. Se observa que la dirección de los movimientos predominante fue hacia el noroeste (a favor de la pendiente, en dirección al río Lanla). La escala de los vectores ha sido exagerada en diferente proporción con fines de visualización.

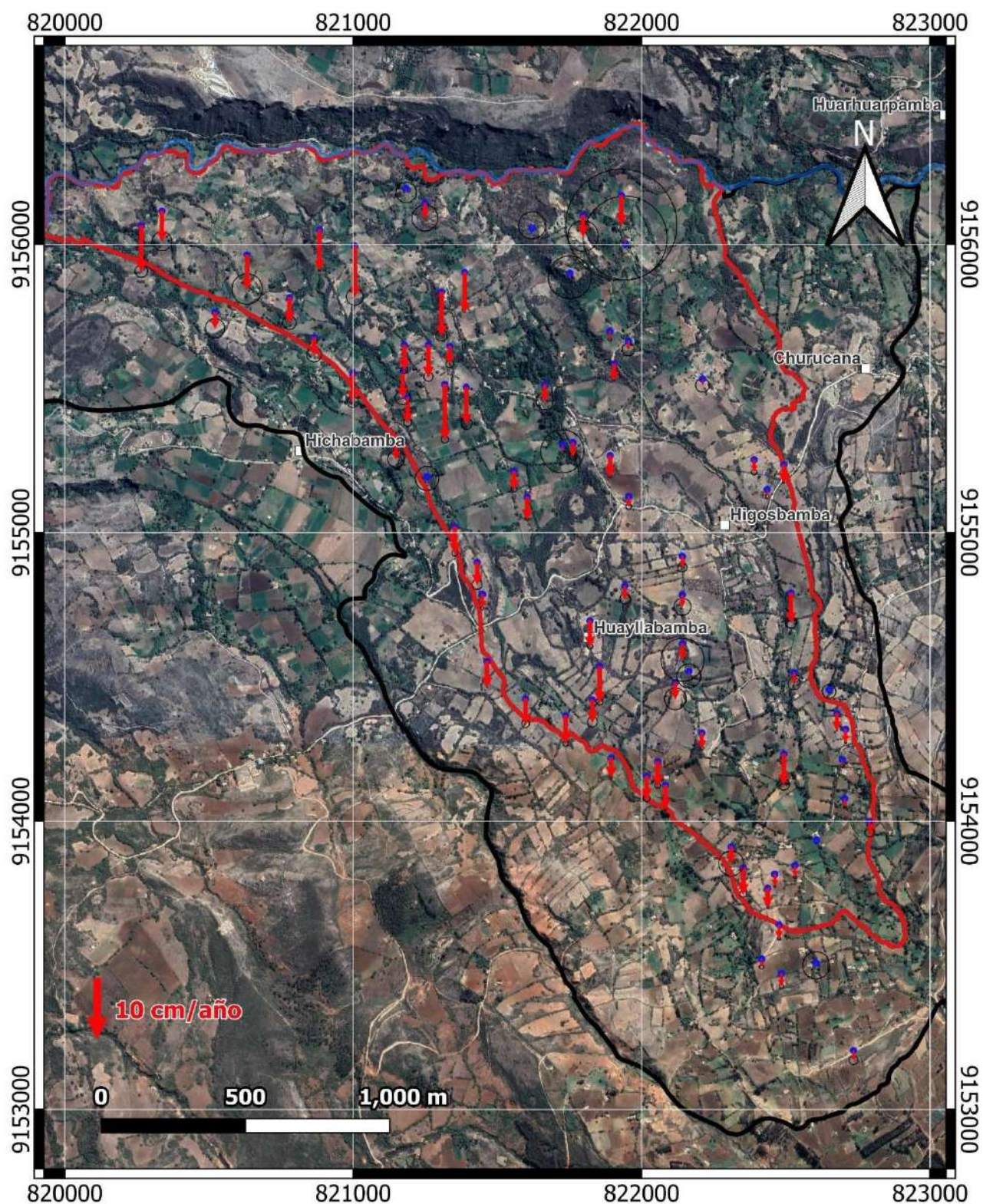


Figura 27. Campo de velocidad vertical del deslizamiento de Cajabamba. El mapa muestra las magnitudes y direcciones de los desplazamientos de la red de puntos de control temporal. Se observa que la dirección es predominantemente de hundimiento. La escala de los vectores ha sido exagerada en diferente proporción con fines de visualización.

Al realizar la interpolación de las velocidades en tres dimensiones (3D) para el periodo total de monitoreo (2022-2024), es posible visualizar de manera detallada la deformación del deslizamiento de Cajabamba, como se muestra en la (Figura 28). Este análisis permite identificar patrones espaciales de movimiento y zonas críticas dentro del área afectada, lo que resulta fundamental para comprender la dinámica del deslizamiento y su evolución temporal. La interpolación de las velocidades 3D revela una concentración significativa de deformación hacia el sector oeste del deslizamiento. Los sectores más afectados se localizan al noroeste, siguiendo una línea que separa las zonas con mayor presencia de grietas post-sísmicas y que se extiende en dirección hacia el río Lanla. Esta área presenta las mayores tasas de desplazamiento, tanto en la componente horizontal como vertical, lo que sugiere una actividad intensa y continua en esta porción del deslizamiento. Además, se observa que, si bien no todos los sectores presentan la misma magnitud de deformación, todo el cuerpo del deslizamiento ha experimentado movimiento dentro de los límites cartografiados en el año 2019. Esto indica que el fenómeno no está restringido a zonas aisladas, sino que afecta de manera generalizada a toda el área identificada como inestable.

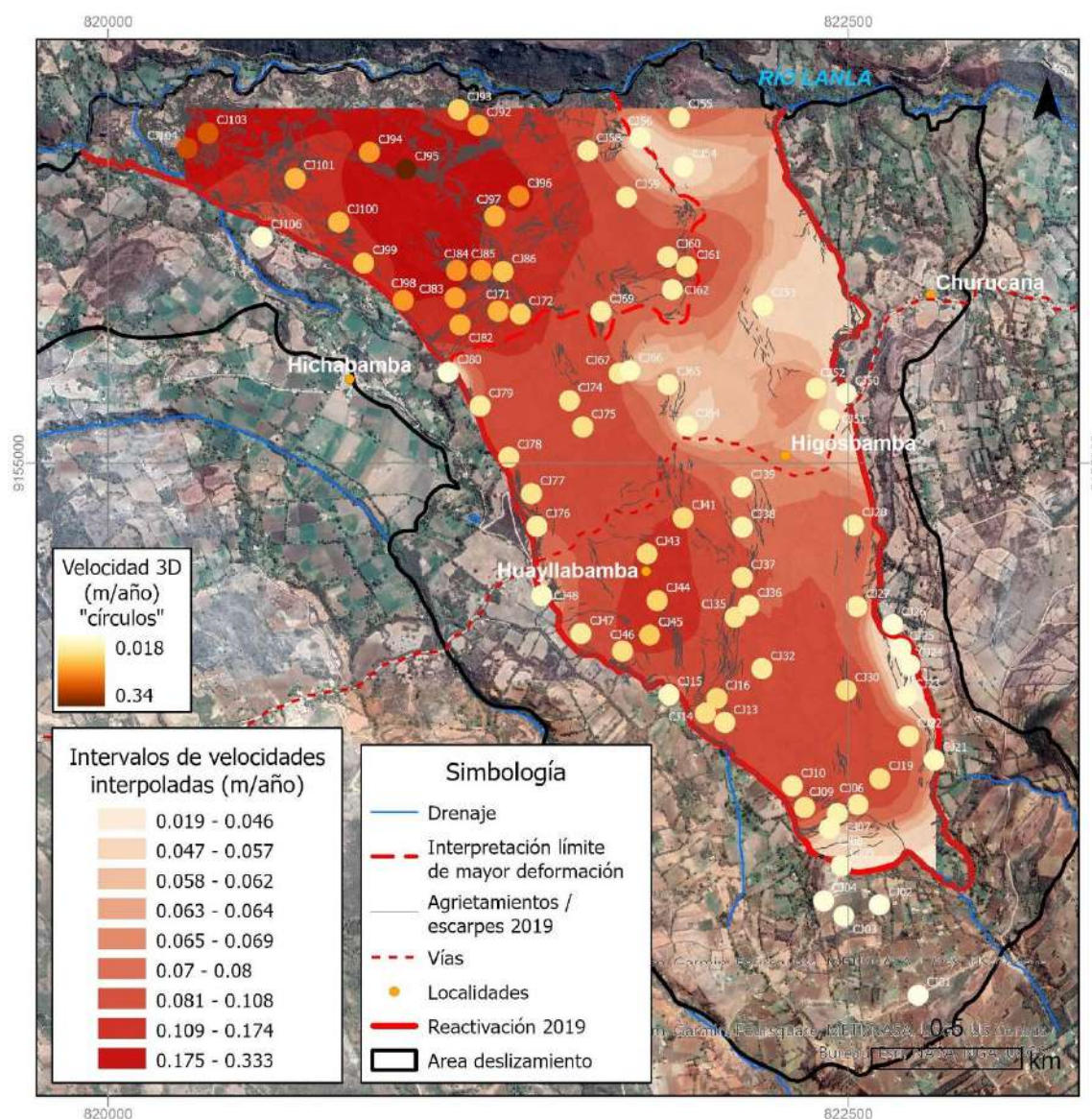


Figura 28. Interpolación de puntos de velocidades 3D del deslizamiento de Cajabamba, elaborado en base a los puntos de velocidades totales periodo 2022 – 2024.

3. CONCLUSIONES

1. El deslizamiento de Cajabamba se reactivó por la ocurrencia del sismo de Lagunas de mayo del 2019, posterior al periodo lluvioso con precipitación acumulada sobre los 1000 mm/año. Esto sugiere la presencia de los niveles acuíferos recargados y un nivel alto de saturación de aguas en la zona del deslizamiento.
2. La profundidad mínima de entre 110 km a 135 km, de un sismo anómalo de M8.0 a más ocurrido con epicentro en el norte del Perú o a una distancia similar, generarían un evento de deslizamiento de la misma magnitud al ocurrido el 2019, considerando condiciones de precipitación y humedad similares. Las condiciones y detonantes para la aceleración en la actualidad, serían menores tanto en magnitud de sismo, como en similitud de precipitaciones previas al evento del 2019, considerando que el deslizamiento se encuentra activo.
3. En relación a los aspectos geológicos, el deslizamiento de Cajabamba está ubicado en un contexto de desplazamientos de mayor escala, que deforman a la Formación Condebamba de forma escalonada con dirección noroeste. La litología predominante son conglomerados compuestos por clastos de cuarcitas, areniscas y calizas, intercalados con niveles finos de arenas y limos. Se observan costras calcáreas de espesores variados en toda la zona, con origen asociado a procesos de meteorización o por aguas subterráneas. Los niveles de arcillas y arenas rojizas estarían relacionadas a etapas posteriores a los desplazamientos de dirección noroeste. Los depósitos coluviales en general, están compuestos por conglomerados de la formación Condebamba, retrabajados o movilizados en paquetes por deslizamientos.
4. En relación a los aspectos geomorfológicos, la zona de estudio presenta pendientes principalmente moderadas con rango entre 5° a 15°. Las pendientes fuertes dibujan los escarpes de movimientos en masa más antiguos de mayor magnitud, que condicionan la geodinámica actual. La superficie deformada del deslizamiento tiene drenajes con dirección noroeste que no tiene continuidad. No se identificó ningún drenaje principal que transporte las aguas superficiales de la cabecera hasta el río Lanla, sin embargo, se encontraron ojos de agua y pequeñas lagunas que demuestran la permanente presencia de agua subterránea. El relieve predominante es colinado y con lomadas, con vertientes de depósitos de deslizamientos.
5. Los movimientos en masa de inmediaciones del evento de Cajabamba son los deslizamientos abandonados, principalmente rotacionales y deslizamiento flujo. También se observan caídas en zonas de escarpes pronunciados en la margen derecha del río Lanla.
6. El deslizamiento de Cajabamba corresponde a un proceso complejo con diferentes etapas diferenciables mediante la topografía de detalle. En sus lados se observan paquetes conservados de la geodinámica antigua. Dentro de su cuerpo todavía se observan paquetes resultantes de la dinámica anterior a la reactivación del 2019, la cual, generó un bloque nuevo dentro de las masas anteriormente deslizadas. Por sus características, morfológicas, se clasifica como deslizamiento complejo, reactivado, mostrando movimientos rotacionales en sectores, desplazamientos tipo flujos lentos y movimientos con componente principalmente horizontal. El frente noroeste muestra mayor deformación, evidenciada por la concentración de grietas postsísmicas del 2019. Los trabajos del 2024 evidenciaron nuevas grietas al frente, en terrenos con saturación de agua. La permanente actividad de la parte frontal del deslizamiento estaría mostrando el empuje de la masa reactivada, condicionado por la permanente saturación de agua. La ubicación de la deformación en esta zona también estaría relacionada al factor topográfico gravitacional de la cuenca, en relación a la dirección del río Lanla hacia el oeste, esta característica de movimiento inclinado hacia el oeste, es un patrón de la forma, tanto de deslizamiento actual (reactivación) como de la geodinámica pasada.
7. Los datos de monitoreo geodésico obtenidos durante cuatro campañas de medición, entre el 2022 y 2024, muestran que el deslizamiento de Cajabamba continua con desplazamientos verticales y horizontales. La zona con mayores movimientos calculados se ubica al norte, margen izquierda del río Lanla, norte y este del caserío de Hichabamba, oeste del caserío de Higosbamba. La segunda zona con densidad de movimientos importantes comprende el sureste de la vía Cajabamba - Colcas, a la altura de Huayllabamba, oeste de Higosbamba; la mayoría

de los demás puntos de la red también registraron velocidades de deslizamiento por debajo de 35 cm/año. Esta velocidad puede variar de presentarse cambio de condiciones y detonantes futuros.

8. En base a los desplazamientos calculados, se observa que el mayor deslizamiento va desde el sureste de Huayllabamba, oeste de Higosbamba, incrementándose hacia el noreste y norte de Hichabamba, margen izquierda del río Lanla. El análisis de las series temporales muestra que estas velocidades son constantes, durante el periodo de monitoreo consignado en el presente informe y no se evidencia una desaceleración del deslizamiento. El análisis de interpolación de velocidades muestra sectores con mayores velocidades, sin embargo, toda la masa tiene un movimiento permanente.
9. Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas expuestas en este y anteriores informes, además de los recientes datos de monitoreo, se reitera que el deslizamiento de Cajabamba es una zona inestable (área del informe del Ingemmet 2019 y del EVAR realizado por el gobierno regional de Cajamarca 2020), considerada como crítica y de peligro Muy Alto a la ocurrencia de movimientos en masa y otros peligros geológicos, que pueden ser desencadenados por sismos, condiciones climáticas excepcionales y/o detonantes antrópicos. La ampliación de la zona de muy alto peligro, según los nuevos límites establecidos en este informe, deberá actualizarse si se confirman movimientos en las inmediaciones del área activada en 2019, mediante nuevos estudios de monitoreo.



COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU
CONSEJO DEPARTAMENTAL CUSCO
Ing. Luis Angel Albinoz Baca
INGENIERO GEOLOGO
CIP 222559



Ing. GILBERTO ZAVALA CARRIÓN
Director (e)
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

4. RECOMENDACIONES

Considerando que los datos de monitoreo muestran actividad continua más de 5 años después del sismo de Lagunas y que no es predecible un sismo similar o de mayor magnitud y/o una temporada climática con lluvias extraordinarias que acelere el deslizamiento, se reiteran las recomendaciones de los informes de evaluación de peligros elaborados por el Ingemmet en el 2019 y riesgo encargado por el GR-Cajamarca en el 2020 (ANEXO 1), según corresponda.

En función al monitoreo se recomienda:

1. 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.
2. No alterar ni retirar los puntos de monitoreo puesto que son una herramienta importante para la prevención, en la gestión de riesgo de desastres.
3. Ampliar la red de monitoreo al norte de Churucana y suroeste del límite del deslizamiento definido en el 2019.
4. Para conocer de forma más precisa la variación de velocidades mediante geodesia, se requieren reiteraciones en intervalos de tiempo más cortos o un sistema de monitoreo con estaciones permanentes. Tener más datos de aceleración y desaceleración sería útil para determinar detonantes antrópicos, climáticos u otros, que estén influyendo en las zonas de mayor deformación del deslizamiento.
5. Implementar hitos de monitoreo geodésico en los paquetes de deslizamientos antiguos, de los lados del deslizamiento de Cajabamba y zonas del deslizamiento que no se reactivaron con el sismo del 2019.
6. Hacer mantenimiento constante y sistemas de desfogue adecuados, impermeabilizados, a los nuevos reservorios que se vienen implementando en los caseríos de Higosbamba, Hichabamba, Huayllabamba y Churucana. Las fugas de agua y excesos de riego pueden incrementar la velocidad del deslizamiento.
7. Implementar medidas de mitigación según la figura 27. Cabe mencionar que estas medidas no garantizan la estabilidad del deslizamiento ante eventos geodinámicos extraordinarios como el sismo de lagunas, sin embargo, podrían disminuir la deformación consecuente del avance del deslizamiento. Deben ser ejecutadas por profesionales con conocimiento en el tema. Es necesario un estudio hidrogeológico local, que considere aforos y otras características de las aguas.

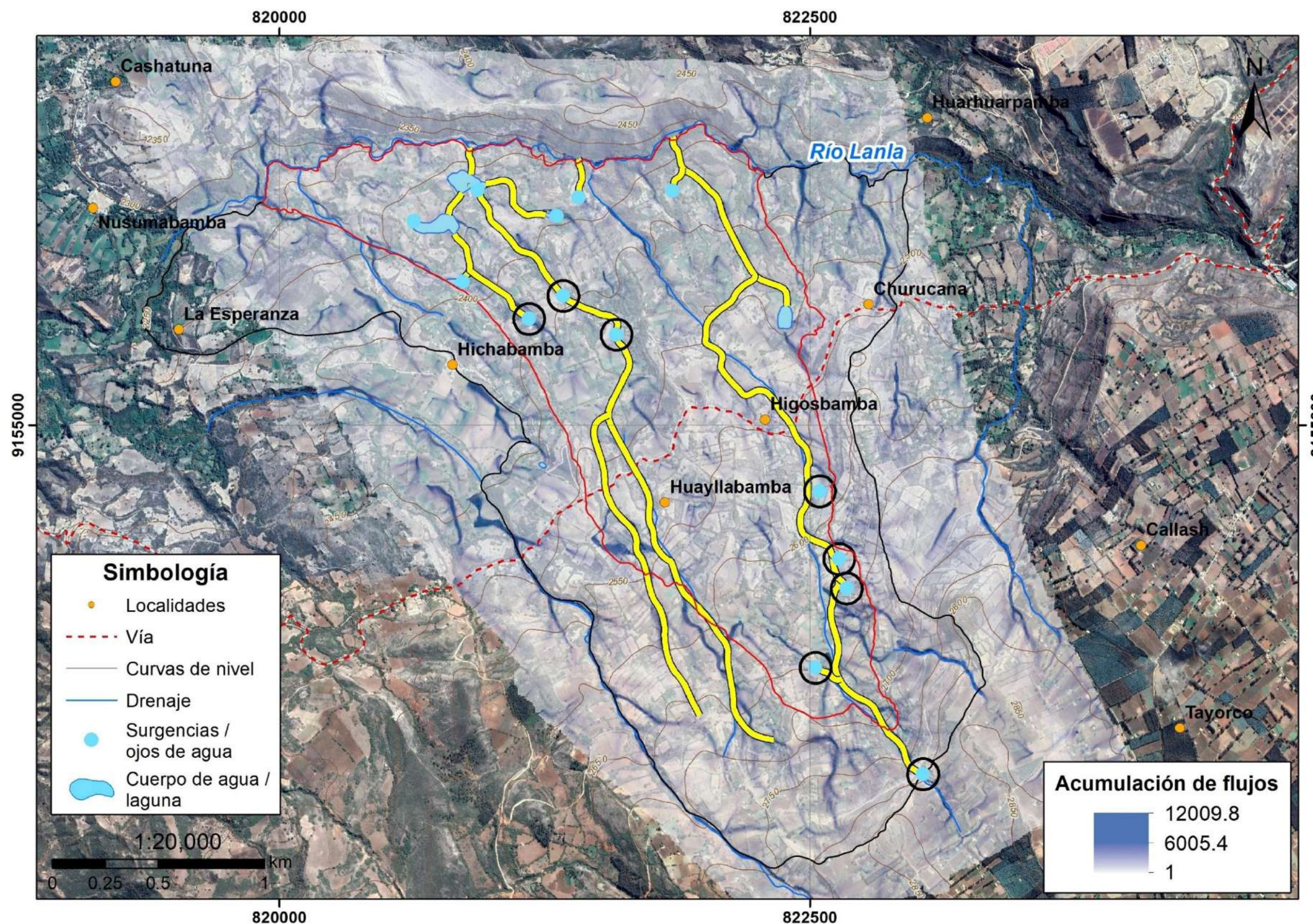


Figura 27. Red de drenajes de desfogue propuesta en base al mapa de acumulación de flujos superficiales del deslizamiento de Cajabamba. Las líneas amarillas corresponden a la ubicación de los sectores óptimos según la configuración morfológica del deslizamiento donde se podrían cavar drenes o canales de evacuación, según propuestas detalladas de ingeniería, para la mitigación temporal del deslizamiento. Los canales deben estar impermeabilizados y profundizados, según corresponda, a fin de poder drenar todas las lagunitas naturales del deslizamiento, tanto de la parte intermedia como de la parte baja (norte). Deben tener el ancho y profundidad, según consideren los especialistas que lo ejecuten a fin cumplan su objetivo. Los manantiales u ojos de agua (puntos celestes con círculos negros), debe ser captados y drenados a través de la red de canales. El desfogue debe ser hacia el río Lanla. Los canales deben ser mantenidos hasta poder lograr el desfogue de todas las lagunitas y captación de todos los manantiales. Cabe mencionar que esta red de drenaje está planteada en base al inventario de ojos de agua realizado junto a pobladores locales de los caseríos, es recomendable hacer una actualización con un estudio hidrogeológico local. La ubicación de los drenajes puede variar acorde al criterio de los especialistas que los ejecuten, variando con alguna otra opción de desfogue, sin embargo, fueron planteados en base a la morfología del terreno, por ello, no deberían variar mucho en su trazo.

5. BIBLIOGRAFÍA

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.

Gobierno Regional de Cajamarca y Municipalidad Provincial de Cajabamba EVAR (2020). Informe de evaluación de riesgo por deslizamiento en los caseríos de Huayllabamba, Hichabamba, Higosbamba y Churucana, distrito y provincia de Cajabamba, departamento de Cajamarca. Informe Técnico - EVAR, 111 p.

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2024). Reporte de monitoreo del deslizamiento de Higosbamba, Hichabamba, Huayllabamba y Churucana (Cajabamba), periodo 2021 - 2023. Distrito y provincia Cajabamba, departamento Cajamarca. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7495, 16 p.

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2019). Primer reporte: Deslizamiento en los caseríos de Higosbamba, Hichabamba, Huayllabamba y Churucana, distrito y provincia de Cajabamba, departamento de Cajamarca. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A6903, 13 p.

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2019). Primer reporte: Zona propuesta para reubicación de pobladores afectados por el deslizamiento en los caseríos de Higosbamba, Hichabamba, Huayllabamba, Churucana, distrito y provincia de Cajabamba, departamento de Cajamarca. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A6902, 5 p.

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2019). Peligro por deslizamiento en los caseríos de Higosbamba, Hichabamba, Huayllabamba y Churucana, distrito y provincia de Cajabamba, departamento de Cajamarca. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A6911, 21 p.

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2023). Evaluación geológica en los terrenos de acogida para reasentamiento poblacional de los caseríos Higosbamba y Huayllabamba. Distrito Cajabamba, provincia Cajabamba, departamento Cajamarca. Lima: Ingemmet, Opinión Técnica N° 004-2023, 32 p.

Reyes, L. (1980). Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba. Boletín N°31 Serie A: Carta Geológica Nacional. (Hojas 15f, 15g y 16g). Ingemmet. Lima.

Zavala, B. & Rosado, M. (2011) - Riesgo geológico en la región Cajamarca. Ingemmet. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 44, 394 p., 19 mapas.

ANEXO 1

Recomendaciones “Peligro por deslizamiento en los caseríos de Higosbamba, Hichabamba, Huayllabamba y Churucana, distrito y provincia de Cajabamba, departamento de Cajamarca, Informe Técnico A6911, 2019”

CONCLUSIONES

- a) Por efecto del movimiento sísmico el 26 de mayo 2019, en los caseríos de Higosbamba, Hichabamba, Huayllabamba y Churucana, se activó un deslizamiento, que afectó viviendas, terrenos de cultivo, instituciones educativas, vías de acceso y postes de tendido eléctrico.
- b) Una de las causas principales del deslizamiento es que los terrenos están saturados con agua.
- c) La zona se considera como **zona crítica por peligro de deslizamiento; de peligro inminente ante intensas lluvias o movimientos sísmicos.**
- d) Las causas son:
 - Litología, conglomerados meteorizados de fácil remoción.
 - Pendiente del terreno de 10° a 25°, por ello se formó un deslizamiento con movimiento lento.
 - Mala técnica de irrigación de terrenos de cultivo (riego por inundación).
 - Reservorios y canales de riego sin revestir, permite la infiltración constante de agua, saturando los terrenos.
 - Deforestación
- e) Agrietamientos longitudinales y transversales, con longitudes de hasta 300 m, con aperturas de 3 m y profundidades mayores a 10 m.
- f) Para la reubicación de los pobladores de los caseríos de Higosbamba, Hichabamba, Huayllabamba y Churucana, afectados por deslizamiento, se propone la zona de La Pampa donde en la actualidad no se han identificado movimientos en masa.

RECOMENDACIONES

- a) Realizar un sistema de drenaje para evacuar las aguas del cuerpo del deslizamiento, mediante tuberías de PVC. Con ello se colectará el agua del cuerpo del deslizamiento, el canal lo deberá realizar un especialista.
- b) Revestir los canales de riego, con tubería de PVC.
- c) Drenar el agua de la laguna de Higosbamba hacia el río, la misma que han incrementado su nivel de agua como consecuencia del deslizamiento.
- d) Se recomienda la reubicación de los postes de tendido eléctrico ubicados dentro del cuerpo del deslizamiento.
- e) Impermeabilizar o sellar los reservorios sin revestimiento.
- f) Evitar prácticas de riego por inundación.
- g) Iniciar la reforestación con especies de flora autóctonas de la zona.
- h) Una vez estabilizado el deslizamiento, se podrá usar nuevamente como terrenos de cultivo, la irrigación del terreno será mediante un sistema de goteo.
- i) Reubicar las viviendas, labor que debe ser realizada por la municipalidad provincial de Cajabamba.
- j) En la zona sur oeste considerada para reubicación debe estar acompañado de un estudio de estabilidad de taludes por un especialista.
- k) En la zona de reubicación se debe realizar también un estudio de suelos para determinar su capacidad portante con fines de cimentación a futuro.
- l) En el lugar propuesto para reubicación, se debe implementar un sistema de drenaje pluvial evitando la infiltración de agua al subsuelo.
- m) Implementar un sistema de monitoreo continuo en la zona inestable que permita conocer el avance del deslizamiento, permitiendo alertar a las autoridades locales si se presenta algún cambio brusco en la zona afectada.

Recomendaciones “Informe de evaluación de riesgo por deslizamiento en los caseríos de Huayllabamba, Hichabamba, Higosbamba y Churucana, distrito y provincia de Cajabamba, departamento de Cajamarca, 2020”

INFORME DE EVALUACIÓN DE RIESGO POR DESLIZAMIENTO EN LOS CASERIOS DE HUAYLLABAMBA, HICHABAMBA, HIGOSBAMBA Y CHURUCANA DEL DISTRITO Y PROVINCIA DE CAJABAMBA, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA

7.2 Recomendaciones

7.2.1 Medidas estructurales

Las Instituciones y autoridades comprometidas en el Convenio Marco de Cooperación Interinstitucional para el desarrollo de los caseríos de Huayllabamba, Hichabamba, Higosbamba y Churucana, en el ámbito de sus respectivas competencias legales deberán implementar las siguientes medidas estructurales con la finalidad de evitar y/o reducir el riesgo por Deslizamiento.

- a. Reforzar las estructuras de las aulas de las instituciones educativas de nivel inicial y primaria que aún se encuentran funcionando dentro del área de influencia de evaluación; mientras se realice el proceso del reasentamiento definitivo.
- b. Realizar un constante mantenimiento del cauce del río Lanla, para evitar su represamiento debido al acumulamiento de material del deslizamiento; y realizar un estudio hidrográfico e hidrogeológico con el fin de determinar medidas adecuadas para evitar dicho represamiento.
- c. Mejorar el sistema de drenaje perimetral y de coronación, para evitar la mayor sobresaturación de los materiales geológicos, desde la corona del deslizamiento hasta la parte baja del mismo, previa determinación de nivel freático.
- d. Mejorar el sistema de vías rurales de la zona, para que las poblaciones puedan trasladar su producción agrícola y ganadera (únicas actividades permitidas) de manera más rápida y eficaz a la ciudad; con el fin de preservar los medios de vida de la población.
- e. Implementar un Sistema de Alerta Temprana, que sirva como apoyo para las poblaciones vulnerables y a las poblaciones ubicadas aguas abajo del río Lanla, en caso se produjera un evento de reactivación mayor del deslizamiento.
- f. Realizar una campaña de reforestación de toda la zona de influencia, con las plantas adecuadas que recomienden especialistas de las ramas de la ingeniería agrónoma y forestal; con el fin de mejorar la resistencia de los suelos y evitar la erosión de los mismos.
- g. Las obras planteadas deben ser supervisadas por especialistas de la materia, con el fin de que su implementación sea la más óptima.

7.2.2 Medidas no estructurales

7.2.1.1. Reiterar a la Municipalidad Provincial de Cajabamba:

- En función a los resultados, considerar declarar la zona como de muy alto riesgo no mitigable.
- Notificar a los pobladores afectados de los caseríos de Huayllabamba, Hichabamba, Higosbamba y Churucana, para que abandonen de forma definitiva la zona a fin de evitar cualquier situación de emergencia en época de lluvias, con la participación del fiscal de la provincia.
- Agilizar la adquisición del terreno para el reasentamiento poblacional de los caseríos Huayllabamba, Hichabamba, Higosbamba y Churucana.
- Organizar y Capacitar de forma permanente a la población, para que participe en los trabajos comunales programados para la mitigación de los riesgos identificados, con la finalidad de empoderar a la población.
- Organizar y Capacitar a la población con los peligros que conviven, para su sensibilización y concientización.
- Organizar a la población para que conformen obligatoriamente una Plataforma Comunal de Defensa Civil.

INFORME DE EVALUACIÓN DE RIESGO POR DESLIZAMIENTO EN LOS CASERIOS DE HUAYLLABAMBA, HICHABAMBA, HIGOSBAMBA Y CHURUCANA DEL DISTRITO Y PROVINCIA DE CAJABAMBA, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA

- Elaborar una ordenanza municipal provincial que prohíba la construcción de nuevas viviendas dentro del área de influencia del deslizamiento; así como la construcción de estructuras ingenieriles que puedan ser afectadas por el deslizamiento.
 - Elaborar una ordenanza municipal provincial, que limite las actividades económicas dentro del área afectada, solo para agricultura y ganadería.
- 7.2.1.2. El Gobierno Regional de Cajamarca, debe supervisar a través de sus organismos descentralizados o quien corresponda, el cumplimiento e implementación de las recomendaciones que se dan en la presente evaluación de riesgo, según sus competencias.
- 7.2.1.3. Los sectores comprometidos deben coordinar con los actores involucrados en la responsabilidad social en los caseríos de Huayllabamba, Hichabamba, Higosbamba y Churucana; gestionando la elaboración de Planes, Programas y Proyectos de Gestión, Desarrollo Socioeconómico y Educativo, para la elevación del nivel de vida de la población.
- 7.2.1.4. El Gobierno Regional de Cajamarca y la Municipalidad Provincial de Cajabamba, deben difundir y distribuir el presente documento a las instituciones comprometidas con la Gestión de Riesgo de Desastres, como son: Autoridad Nacional del Agua, CENEPRED, INDECI, y los sectores comprometidos: Educación, Salud, Agricultura y Transportes.

ANEXO 2

Tabla de valores de velocidad del deslizamiento de Cajabamba, se presentan las velocidades calculadas para cada punto de monitoreo y corresponde al periodo 2022 – 2024, la velocidad se presenta como promedio anual y en metros (m/año), se consignan las velocidades para cada componente (X, Y y Z), la precisión del cálculo para cada componente y las velocidades horizontales (XY) y total (XYZ).

ID	Velocidad promedio (m/año)			Error velocidad (m)			Velocidad compuesta (m/año)	
	Vel X	Vel Y	Vel Z	εX	εY	εZ	Horizontal	Total
CJ01	0.003	0.006	-0.017	0.004	0.004	0.008	0.007	0.018
CJ02	-0.005	0.022	-0.004	0.012	0.009	0.024	0.023	0.023
CJ03	0.001	0.021	-0.022	0.008	0.005	0.004	0.021	0.030
CJ04	0.000	0.025	-0.014	0.003	0.005	0.004	0.025	0.029
CJ05	0.001	0.033	-0.024	0.000	0.004	0.003	0.033	0.041
CJ06	-0.018	0.079	-0.020	0.008	0.000	0.003	0.081	0.083
CJ07	-0.023	0.064	-0.021	0.006	0.001	0.002	0.068	0.071
CJ08	-0.016	0.045	-0.033	0.005	0.003	0.002	0.048	0.058
CJ09	-0.035	0.076	-0.046	0.000	0.003	0.006	0.084	0.095
CJ10	-0.051	0.057	-0.029	0.006	0.005	0.022	0.076	0.082
CJ13	-0.053	0.060	-0.042	0.005	0.007	0.002	0.080	0.090
CJ14	-0.055	0.078	-0.039	0.009	0.007	0.006	0.095	0.103
CJ15	-0.023	0.035	-0.034	0.002	0.006	0.002	0.042	0.054
CJ16	-0.071	0.076	-0.042	0.007	0.006	0.005	0.104	0.112
CJ19	-0.046	0.093	-0.003	0.007	0.009	0.004	0.104	0.104
CJ21	-0.040	0.037	-0.019	0.012	0.005	0.008	0.054	0.058
CJ22	-0.051	0.062	-0.014	0.004	0.007	0.002	0.080	0.081
CJ23	-0.034	0.026	-0.010	0.005	0.003	0.003	0.043	0.044
CJ24	-0.023	0.019	-0.023	0.003	0.004	0.002	0.030	0.038
CJ25	-0.017	0.013	-0.030	0.002	0.002	0.001	0.021	0.037
CJ26	-0.024	0.027	-0.003	0.005	0.007	0.012	0.036	0.036
CJ27	-0.038	0.061	-0.020	0.003	0.002	0.011	0.072	0.075
CJ28	-0.011	0.055	-0.052	0.003	0.001	0.010	0.056	0.076
CJ30	-0.053	0.076	-0.054	0.005	0.005	0.010	0.093	0.107
CJ32	-0.032	0.072	-0.027	0.007	0.001	0.003	0.079	0.083
CJ35	-0.037	0.084	-0.029	0.004	0.006	0.019	0.092	0.096
CJ36	-0.038	0.070	-0.008	0.006	0.011	0.021	0.080	0.080
CJ37	-0.049	0.074	-0.028	0.006	0.012	0.038	0.089	0.093
CJ38	-0.036	0.058	-0.021	0.004	0.000	0.015	0.068	0.071
CJ39	-0.032	0.058	-0.020	0.002	0.005	0.008	0.066	0.069
CJ41	-0.048	0.096	-0.023	0.004	0.007	0.009	0.107	0.110
CJ43	-0.055	0.085	-0.045	0.004	0.003	0.005	0.101	0.111
CJ44	-0.074	0.070	-0.062	0.000	0.005	0.006	0.102	0.119
CJ45	-0.086	0.089	-0.039	0.005	0.008	0.009	0.124	0.130
CJ46	-0.064	0.065	-0.049	0.011	0.004	0.005	0.091	0.104
CJ47	-0.052	0.049	-0.044	0.003	0.007	0.007	0.071	0.084

CJ48	-0.012	0.018	-0.045	0.002	0.003	0.001	0.022	0.050
CJ50	-0.002	0.024	-0.031	0.004	0.002	0.002	0.024	0.039
CJ51	-0.036	0.041	-0.012	0.008	0.005	0.003	0.055	0.056
CJ52	-0.032	0.057	-0.022	0.006	0.006	0.005	0.065	0.069
CJ53	-0.022	0.049	-0.011	0.008	0.004	0.012	0.054	0.055
CJ54	-0.015	0.044	0.010	0.001	0.011	0.074	0.046	0.048
CJ55	-0.032	0.049	-0.052	0.003	0.000	0.098	0.059	0.078
CJ56	-0.013	0.030	-0.036	0.016	0.018	0.027	0.033	0.049
CJ58	-0.065	0.051	0.005	0.004	0.005	0.024	0.083	0.083
CJ59	-0.055	0.060	-0.007	0.011	0.010	0.038	0.081	0.082
CJ60	-0.050	0.070	-0.014	0.001	0.008	0.003	0.086	0.087
CJ61	-0.060	0.078	-0.015	0.007	0.003	0.011	0.098	0.100
CJ62	-0.044	0.053	-0.029	0.004	0.002	0.002	0.069	0.075
CJ64	-0.027	0.043	-0.018	0.007	0.004	0.005	0.051	0.054
CJ65	-0.041	0.036	-0.037	0.003	0.013	0.002	0.055	0.066
CJ66	-0.024	0.043	-0.024	0.005	0.003	0.007	0.049	0.055
CJ67	-0.052	0.071	-0.011	0.012	0.008	0.038	0.088	0.089
CJ69	-0.053	0.052	-0.029	0.004	0.001	0.015	0.074	0.080
CJ71	-0.091	0.077	-0.097	0.002	0.004	0.006	0.119	0.154
CJ72	-0.079	0.074	-0.064	0.007	0.005	0.010	0.108	0.126
CJ74	-0.042	0.081	-0.031	0.005	0.003	0.005	0.091	0.096
CJ75	-0.044	0.082	-0.039	0.001	0.004	0.003	0.093	0.101
CJ76	-0.025	0.071	-0.024	0.007	0.004	0.003	0.075	0.079
CJ77	-0.039	0.078	-0.039	0.010	0.006	0.009	0.087	0.096
CJ78	-0.039	0.076	-0.046	0.001	0.000	0.005	0.085	0.097
CJ79	-0.038	0.073	-0.003	0.022	0.006	0.021	0.082	0.082
CJ80	-0.012	0.012	-0.026	0.008	0.008	0.015	0.017	0.031
CJ82	-0.105	0.109	-0.044	0.003	0.000	0.007	0.151	0.158
CJ83	-0.120	0.112	-0.046	0.004	0.005	0.013	0.164	0.170
CJ84	-0.120	0.135	-0.044	0.007	0.007	0.006	0.181	0.186
CJ85	-0.117	0.124	-0.056	0.009	0.004	0.008	0.170	0.179
CJ86	-0.067	0.115	-0.031	0.007	0.004	0.007	0.133	0.137
CJ92	-0.097	0.133	-0.026	0.008	0.002	0.023	0.165	0.167
CJ93	-0.062	0.106	-0.007	0.006	0.005	0.018	0.123	0.123
CJ94	-0.087	0.139	-0.071	0.001	0.013	0.002	0.164	0.179
CJ95	-0.208	0.249	-0.089	0.007	0.010	0.015	0.324	0.336
CJ96	-0.061	0.173	-0.070	0.003	0.007	0.001	0.183	0.196
CJ97	-0.047	0.130	-0.077	0.001	0.005	0.010	0.138	0.158
CJ98	-0.112	0.130	-0.050	0.003	0.001	0.010	0.172	0.179
CJ99	-0.112	0.075	-0.030	0.008	0.008	0.013	0.135	0.138
CJ100	-0.103	0.097	-0.044	0.002	0.004	0.012	0.141	0.148
CJ101	-0.123	0.065	-0.060	0.003	0.005	0.027	0.139	0.152
CJ103	-0.201	0.123	-0.053	0.008	0.010	0.017	0.236	0.242
CJ104	-0.212	0.121	-0.080	0.002	0.005	0.011	0.244	0.257
CJ106	-0.006	0.019	-0.028	0.009	0.006	0.017	0.020	0.034

ANEXO 3

Se presentan las series temporales de las coordenadas de los puntos más representativos de la red de monitoreo geodésico, los gráficos también muestran el cálculo de velocidad mediante regresión lineal y la precisión de posicionamiento de cada punto, las unidades se expresan en metros.

