



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



IGP

Instituto
Geofísico
del Perú

HUANCABAMBA

Evaluación geofísica y geodinámica de
los deslizamientos de tierra que afectan
la seguridad física de la ciudad



Proyecto financiado por



CRÉDITOS

Huancabamba: evaluación geofísica y geodinámica de los deslizamientos de tierra que afectan la seguridad física de la ciudad

Ministro del Ambiente
Wilbert Rozas

Presidente ejecutivo del IGP
Hernando Tavera

Director científico del IGP
Edmundo Norabuena

Coordinador del proyecto
Dr. Juan Carlos Villegas Lanza

Equipo científico del proyecto
Dr. Juan Carlos Villegas Lanza
Mag. Juan Carlos Gómez Avalos
Dra. Isabel Bernal Esquía
Mag. Wendy Quiroz Sifuentes
Ing. Mariana Vivanco Manrique
Lic. Nimia Córdova García
Lic. Joel Alayo Ontón

Diseño y diagramación
Unidad Funcional de Comunicaciones

Fotografía
IGP | Carátula: ciudad de Huancabamba, región Piura

Autor:
Instituto Geofísico del Perú

Edición:
Instituto Geofísico del Perú
Calle Badajoz 169, Mayorazgo IV Etapa, Ate, Lima

Primera edición: noviembre de 2022
Tiraje: 1000 ejemplares

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú n.º 2022-11316

Impreso por Impressing S.A.C.
Jr. Cruz del Sur n.º 140, interior 1115, urb. Los Granados, Santiago de Surco, Lima, Perú

Este producto ha sido impreso en el marco del proyecto "Evaluación geodinámica, geofísica y geológica de los deslizamientos de tierra que afectan la seguridad física de la ciudad Huancabamba (Piura)", ejecutado mediante convenio 166-2017-FONDECYT.

Puede acceder a la versión digital de este producto disponible en el Repositorio Geofísico Nacional (REGEN) mediante el siguiente código QR.



CONTENIDO

- 4** Introducción
- 8** Levantamiento fotogramétrico
- 14** Cartografiado geológico y geotecnia
- 16** Tipo de suelo
- 18** Capacidad de carga portante
- 20** Análisis de la estabilidad de taludes
- 22** Escenario de riesgo por inundación
- 26** Caracterización geofísica del subsuelo
- 30** Sectorización del subsuelo
- 34** Desplazamientos a partir de monitoreo geodésico
- 38** Agradecimientos

Introducción



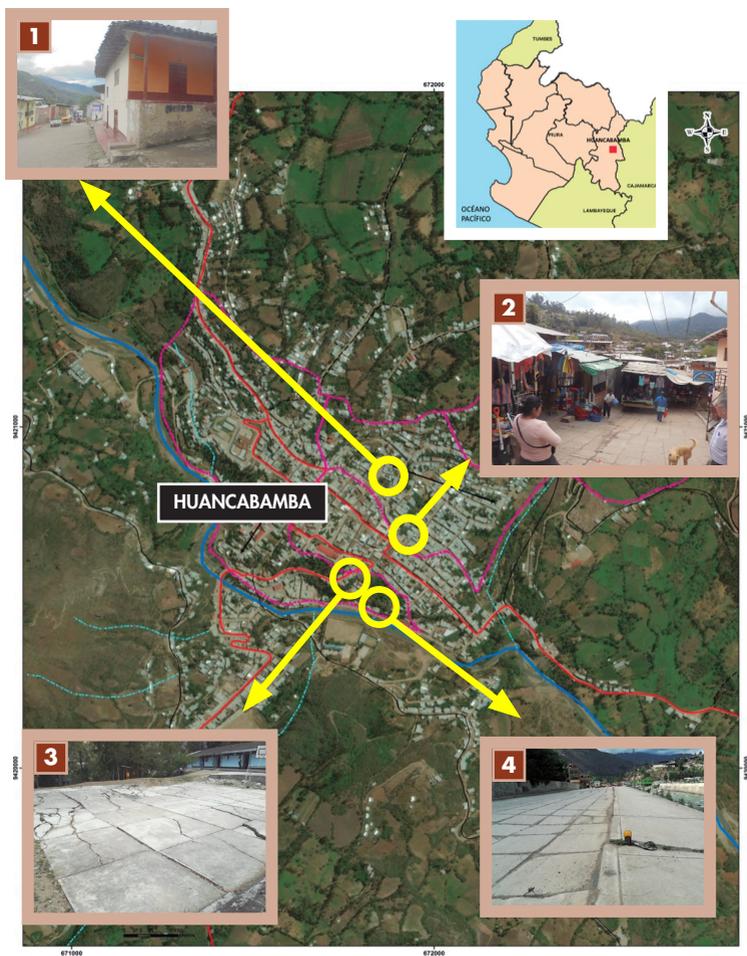
La ciudad de Huancabamba se ubica en un valle interandino en el norte de Perú, en la provincia de Huancabamba, departamento de Piura.



Huancabamba está situada en una zona de alto peligro, debido a que se encuentra asentada sobre una ladera inestable de pendiente moderada, cuyos suelos se deslizan cuesta abajo. Este hecho ocasiona que más del 50 % de la infraestructura de la ciudad haya sido afectada en los últimos años, motivo por el cual, se le conoce como “la ciudad que camina”.



El Instituto Geofísico del Perú (IGP), en el marco del Proyecto de Investigación 166-2017 financiado por FONDECYT, ha realizado durante el periodo 2018-2022 diversos estudios de investigación para evaluar y caracterizar el comportamiento geodinámico, geotécnico y geofísico de los deslizamientos que afectan la ciudad de Huancabamba. El área de estudio abarca 3200 ha, incluyendo el casco urbano y alrededores.



1. Calle Paita intersección con Morropón, desplazamiento del lado izquierdo hacia el este (valle abajo) en aprox. 25 m
2. Mercado de abastos, pasaje Santa Rita, se observan fisuras y desplazamiento de aprox. 5 m hacia el este.
3. IESPP José Eulogio Garrido Espinoza, ubicado en el barrio Chalaco. Se observan fisuras y grietas en la losa deportiva.
4. Barrio Chalaco, Malecón Héroes del Cenepa. Se observan fisuras y desnivel en la acera de 5 cm. Se estima que la dirección del desplazamiento en esta zona es hacia el sur, en dirección del río Huancabamba.

5 HUANCABAMBA: EVALUACIÓN GEOFÍSICA Y GEODINÁMICA DE LOS DESLIZAMIENTOS DE TIERRA QUE AFECTAN LA SEGURIDAD FÍSICA DE LA CIUDAD

Este proyecto ha permitido realizar trabajos de investigación con información recolectada in-situ. Los productos obtenidos consisten en:

-  Levantamiento topográfico de alta resolución con dron y GPS.
-  Cartografiado geomorfológico, geológico y geodinámico.
-  Ensayos geotécnicos mediante la elaboración de calicatas para caracterizar el tipo de suelo y las condiciones físicas del terreno.
-  Aplicación de métodos geofísicos como razones espectrales, tomografía eléctrica y refracción sísmica para obtener información sobre las características y propiedades físicas del subsuelo.
-  Monitoreo geodésico GPS para cuantificar la dirección y desplazamiento de los deslizamientos.
-  Desarrollo de 2 tesis de grado (UNP, UNMSM) que abordan la problemática de Huancabamba.

A continuación se presentan los principales resultados de los estudios realizados.



1. Calicata-toma de muestras.
2. Análisis de la densidad del suelo.
3. Refracción sísmica.
4. Instalación de antena GPS.
5. Monitoreo geodésico.
6. Levantamiento aerofotogramétrico con dron.
7. Adquisición de información de ruido sísmico.
8. Mapeo y reconocimiento de estructuras.

Levantamiento fotogramétrico

Se ha realizado el levantamiento fotogramétrico con dron y GPS, con la finalidad de obtener información sobre la cartografía de la superficie del terreno. Los productos generados son: modelo digital de superficie, mapas de pendientes, dirección de pendientes, curvatura del terreno, rugosidad del terreno, curvas de nivel, un ortomosaico, entre otros.

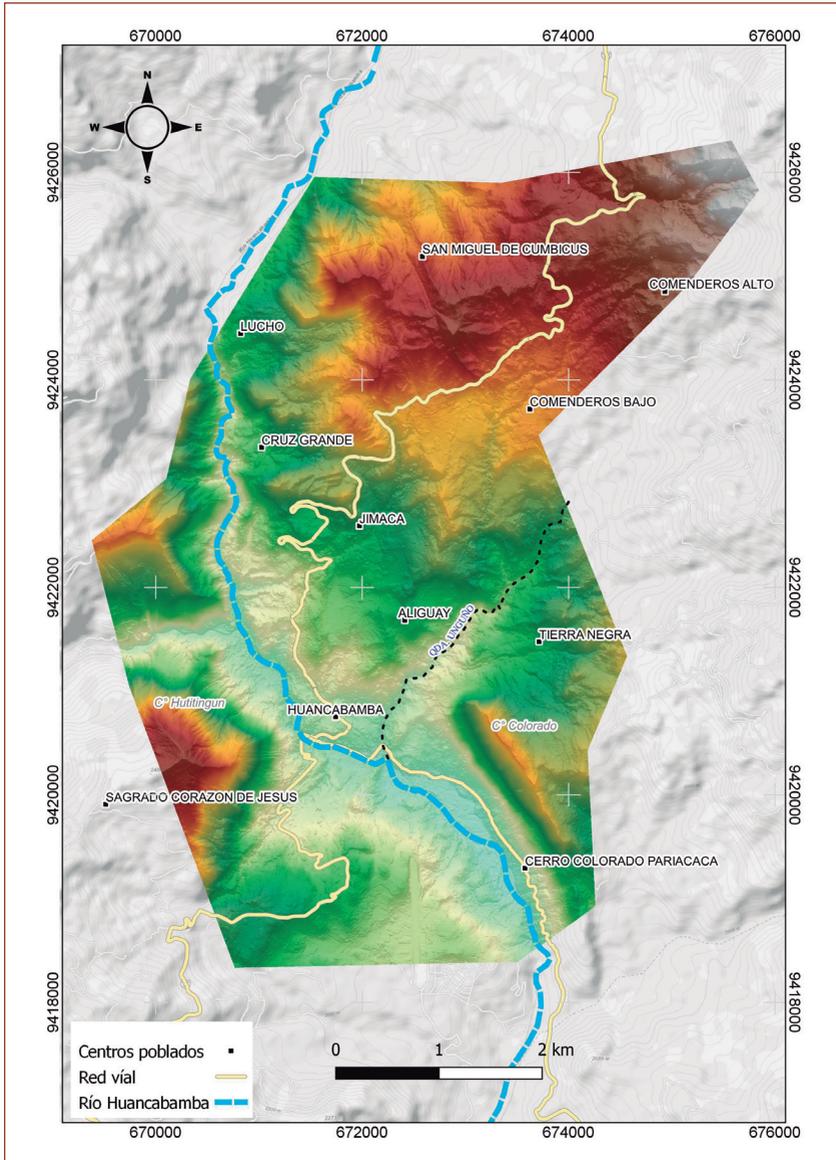
- **Modelo digital de superficie (MDS)**

Un MDS representa todos los elementos presentes en la superficie del terreno, tales como: vegetación, edificaciones, infraestructura y el propio terreno.

Se ha obtenido un MDS a escala 1:5000, con una resolución espacial de 25 cm/pixel. Las elevaciones en el área de estudio varían en el rango de 1865 a 2811 m s.n.m.

Esta información es útil para conocer las características físicas y geográficas del relieve del terreno.

Mapa de modelo digital de superficie



- **Ortomosaico**

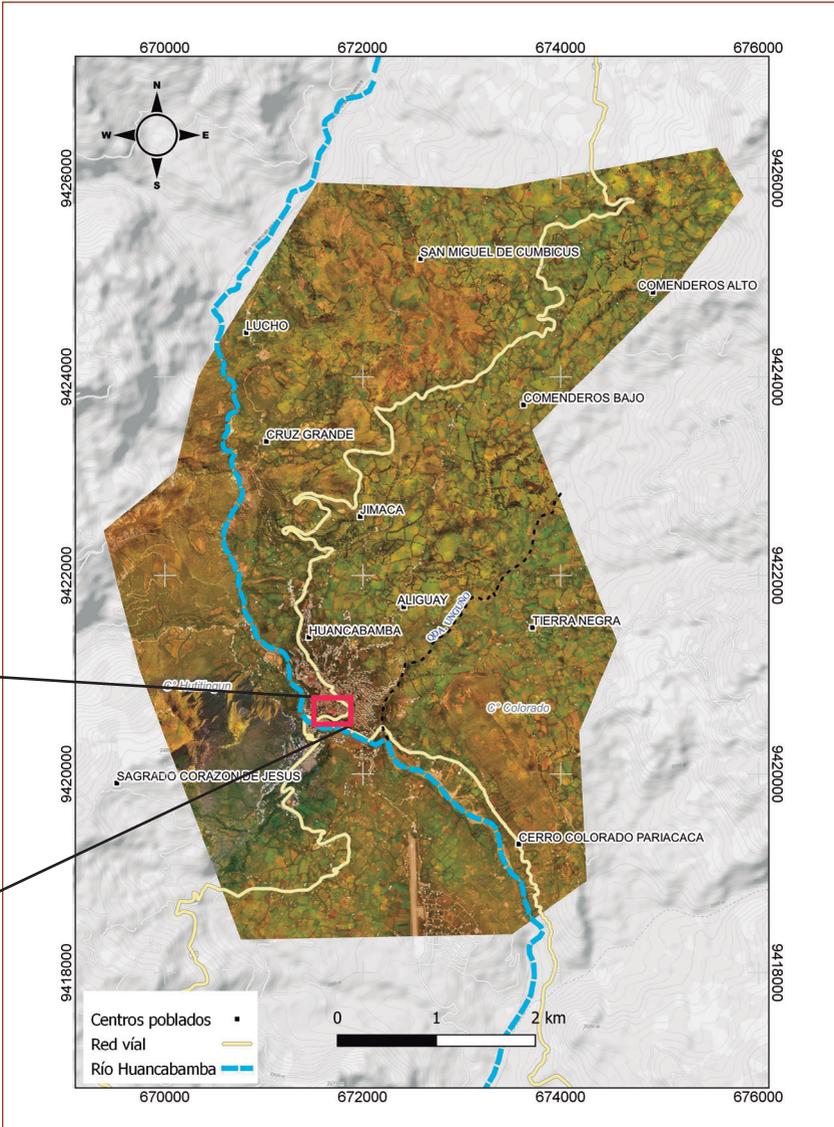
Un ortomosaico captura el estado real de la superficie del terreno en un determinado momento.

Se ha obtenido un ortomosaico de una resolución espacial de 7.4 cm/píxel, el cual puede ser representado a una escala de 1:1000. Este producto permite identificar con buena resolución viviendas, vegetación, cuerpos de agua, red vial, senderos de tierra, entre otros objetos de hasta 2 m de longitud.

Esta información representa una valiosa herramienta para la planificación territorial, las actividades de catastro del gobierno local y regional, y constituye una línea de base para futuras evaluaciones demográficas y para estudios de gestión de riesgo de desastres.



Mapa de ortomosaico





1. Establecimiento de marca del punto de control PC02 en el centro poblado San Miguel.



3. Vista panorámica del sobrevuelo con



2. Sobrevuelo con dron desde la IEST "Nestor Samuel Martos Garrido, 0674622", Cerro Colorado.



...n dron de la ciudad de Huancabamba.

Cartografiado geológico y geotecnia

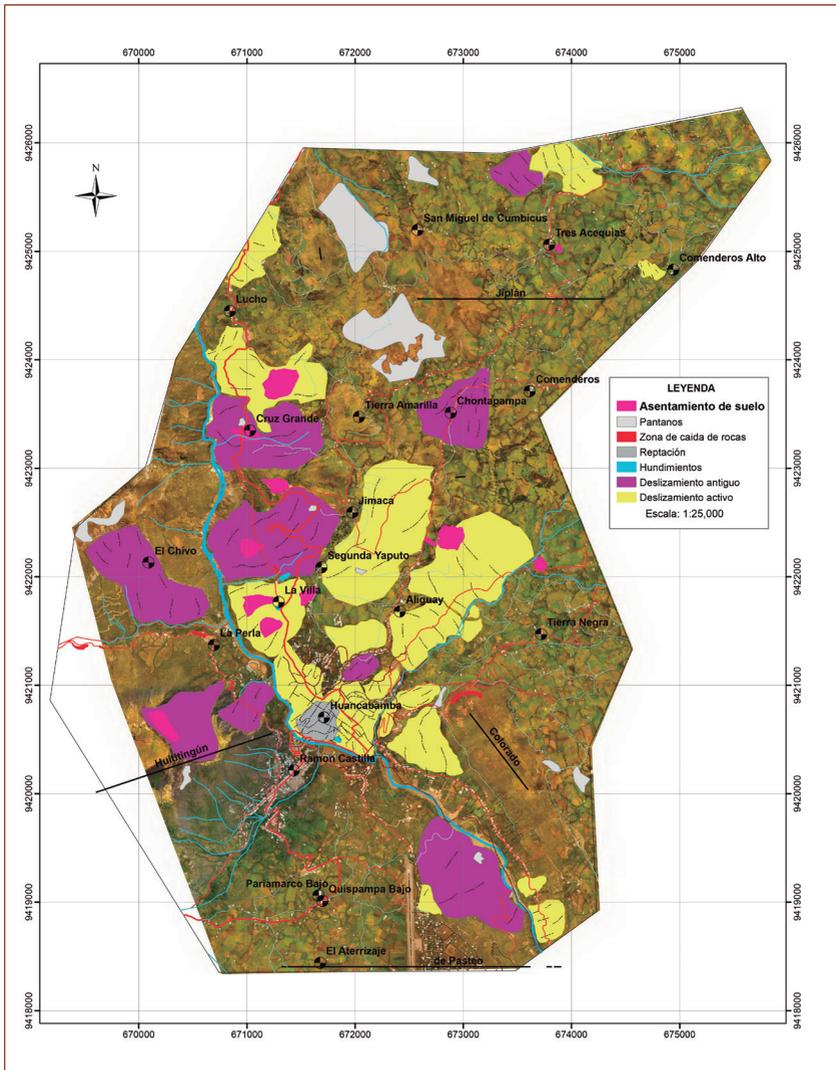
- Inventario de eventos de geodinámica superficial

Se identificaron y caracterizaron los siguientes tipos de eventos:

-  Deslizamientos rotacionales: 15 activos y 9 antiguos
-  Asentamientos diferenciales: 11
-  Caídas de rocas: 4
-  Áreas de reptación de suelos: 8

El sector urbano de Huancabamba es afectado por deslizamientos activos y reptación, mientras que la zona de expansión donde se encuentra el aeropuerto es afectada principalmente por deslizamientos antiguos.

Mapa de geodinámica superficial



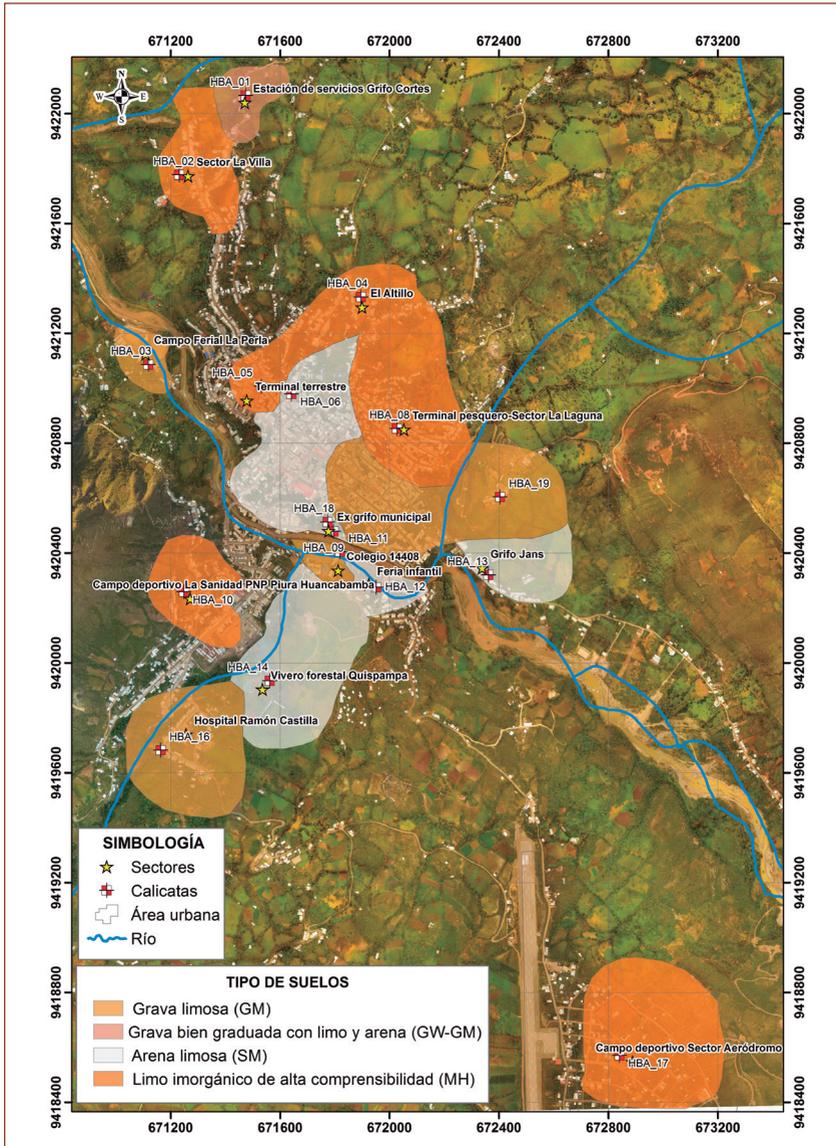
Tipo de suelo (clasificación SUCS)

El mapa Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) proporciona información esencial sobre los tipos de suelos existentes en una zona, su distribución espacial y sus características.

La evaluación geotécnica permitió identificar, en la ciudad de Huancabamba, el predominio de cuatro tipos de suelos:

-  Grava limosa en el sector del hospital Ramón Castilla y el campo ferial La Perla.
-  Grava bien graduada con limo y arena en la estación de servicio grifo Cortez.
-  Arena limosa a inmediaciones del terminal terrestre, vivero forestal Quispampa, grifo Jans.
-  Limo inorgánico en los sectores del aeródromo, El Altillo, La Laguna y La Villa.

Mapa de tipo de suelos



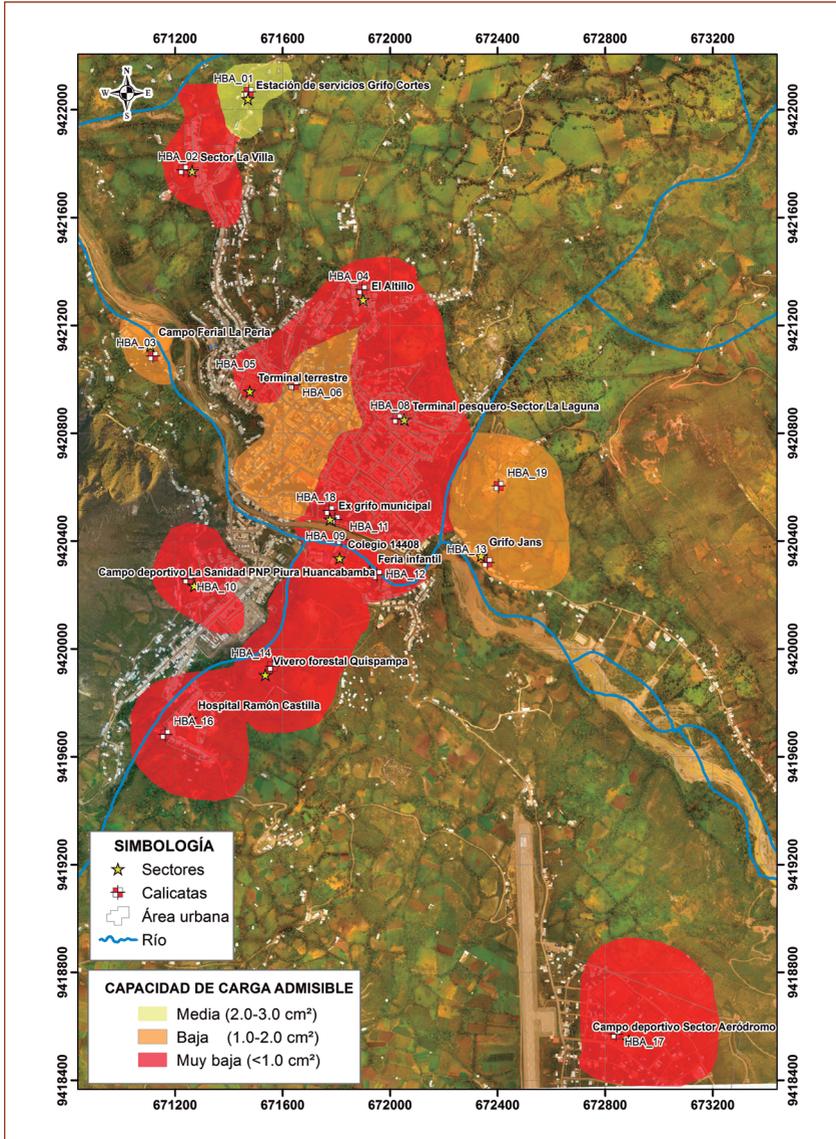
Capacidad de carga portante

El mapa muestra la capacidad del terreno para soportar cargas aplicadas sobre él.

En Huancabamba se ha identificado que los suelos presentan capacidades portantes que van desde muy baja, baja a media identificados en los siguientes sectores:

-  Carga Portante Media: Estación de servicio grifo Cortez.
-  Carga Portante Baja: Terminal terrestre, grifo Jans y C. F. La Perla.
-  Carga Portante Muy Baja: Aeródromo, La Villa, hospital Ramón Castilla, terminal, El Altillo y campo deportivo La Sanidad PNP.

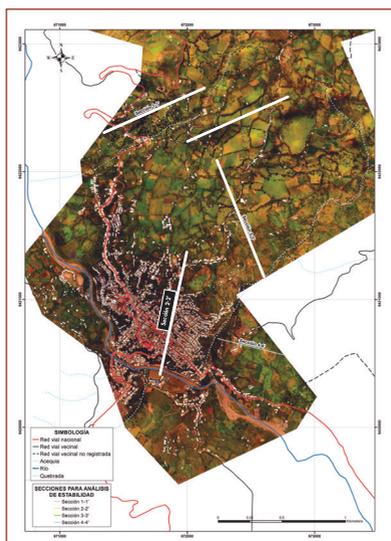
Mapa de capacidad portante del suelo



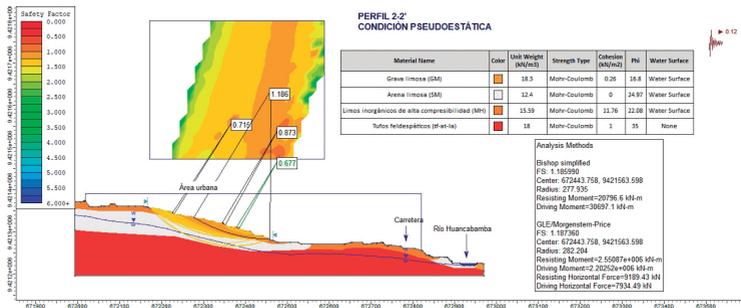
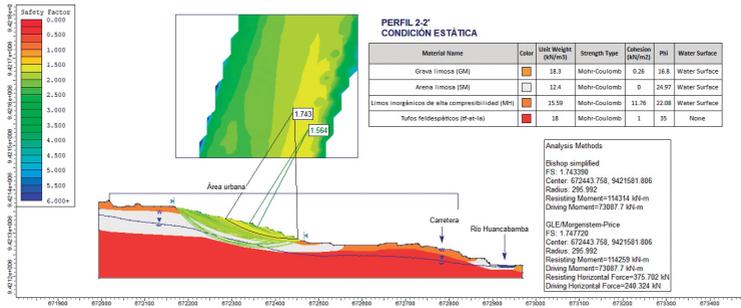
Análisis de la estabilidad de taludes

El análisis de estabilidad de taludes permite determinar la posibilidad de falla en los suelos de las laderas donde se asienta la localidad de Huancabamba. Para ello, se calcula el Factor de Seguridad con base en las características geotécnicas del suelo en la zona, la profundidad del nivel freático y la aceleración del suelo ante la demanda sísmica.

Los resultados muestran que las laderas de Huancabamba presentan condiciones inestables y precarias, dado que el Factor de seguridad pseudoestático es menor a 1. Estos valores se observan en 3 de los 4 perfiles analizados.



Análisis de estabilidad de taludes, método de Bishop



Perfil	Factura de seguridad condiciones estáticas	Factor de seguridad condiciones pseudoestáticas
1-1'	0.58-1.01	0.15-0.63
2-2'	1.56-1.74	0.68-1.19
3-3'	1.36	0.69-1.11
4-4'	1.39	1.15

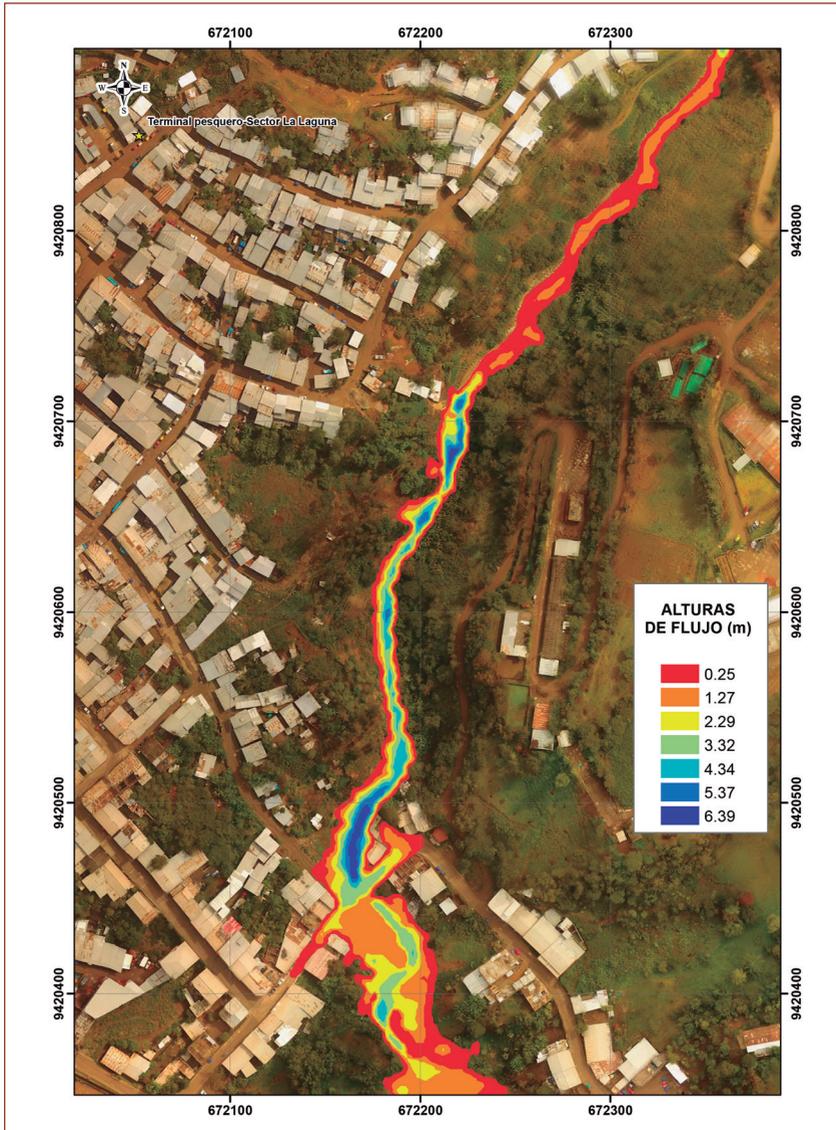
Escenario de riesgo por inundación

Para la quebrada Ungulo se elaboró, con base en una simulación numérica, el escenario de riesgo por flujo de lodos para un periodo de retorno de 20 años y caudal estimado de $11.70 \text{ m}^3/\text{s}$:

- Los resultados muestran que se generarían flujos de lodo que alcanzarían alturas máximas de hasta 6.3 m medidos desde el fondo del cauce. Los flujos afectarían varios tramos de la av. 2 de Mayo y la calle Morropón con alturas de hasta 0.25 m y 0.73 m, respectivamente. El área afectada sería de 0.40 hectáreas y considera a la ciudad de Huancabamba.

El escenario de riesgo muestra condiciones similares al flujo ocurrido en diciembre de 2019 que afectó viviendas, servicios básicos, entre otros de esta ciudad.

Mapa de inundación de flujos en la quebrada Ungulo





Reconocimiento de las características físicas del terreno, tales como tipo de roca, relieve y eventos geodinámicos-movimientos en masa.



Ensayos geotécnicos (calicatas): Se realizaron un total de 17 calicatas distribuidas equitativamente en la ciudad de Huancabamba con la finalidad de determinar las características físico-mecánicas de los suelos. Foto: Calicata realizada en las inmediaciones del IESP Jose Eulogio Garrido Espinoza.

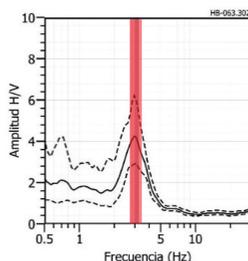
Caracterización geofísica del subsuelo

- Métodos geofísicos

Se aplicaron los métodos de refracción sísmica y MASW a fin de identificar espesores de capas y velocidades de ondas de corte, a diferentes niveles de profundidad.

El método de tomografía eléctrica permite conocer el contenido de humedad de los suelos; las razones espectrales, determinar el periodo de respuesta del suelo y, de esta manera, estimar su factor de amplificación ante la demanda sísmica.

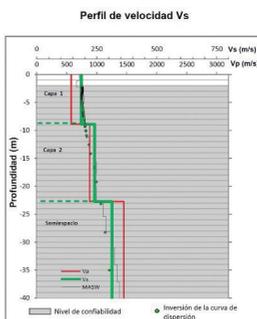
Los resultados evidencian que, en el sector de la plaza de Armas de la ciudad de Huancabamba, los suelos presentan mayor rigidez por asentarse sobre material compuesto por roca fracturada depositada sobre el basamento.



Los suelos en el barrio Lagunilla presentan amplificaciones máximas relativas de hasta 5 veces.



Al este de la plaza de Armas existen suelos moderadamente rígidos.

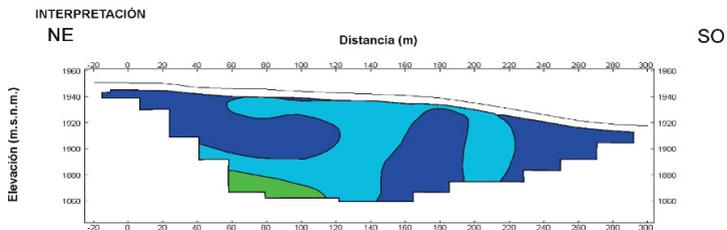


Resultados				
Capa sísmica	Espesor (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Densidad (g/cm ³)
1	9	186	574	1.5
2	14	241	882	1.6
Semiespacio	-	313	1452	1.8

Vs: velocidad de ondas de corte Vp: velocidad de ondas de compresión



En el barrio Jibaja Ch. existe alto contenido de humedad (predominan valores bajos de resistividad).

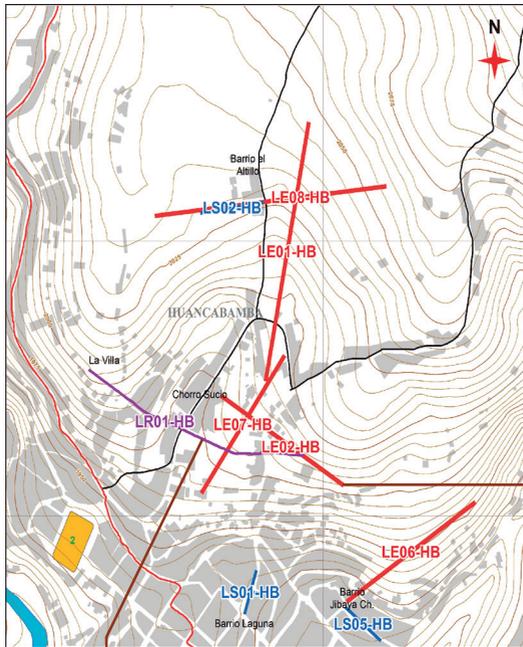


- **Nivel freático**

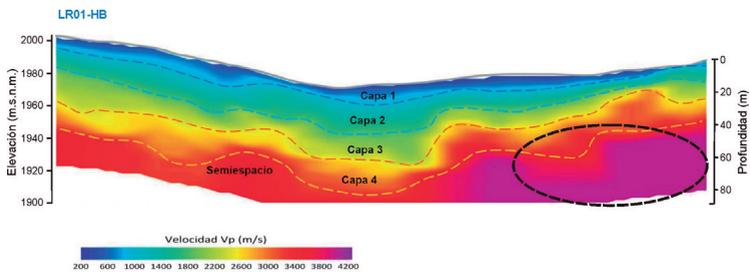
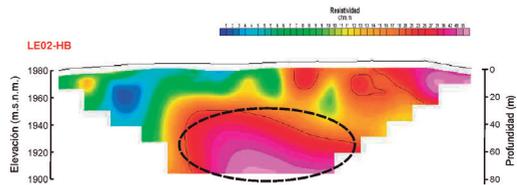
Los sectores del barrio Laguna, parte de la zona El Altillo, Segunda Yaputo y el sector La Villa presentan suelos blandos a moderadamente rígidos con un alto contenido de humedad. Estas condiciones favorecen la inestabilidad del terreno y, por lo tanto, incrementan la probabilidad de que se produzcan deslizamientos.

En las zonas de Quispampa Bajo y El Aeropuerto existen suelos poco consolidados que se encuentran depositados sobre material rígido, con alto nivel de saturación cerca de la superficie.

Los ensayos geofísicos han permitido identificar que las zonas más críticas, debido al alto nivel freático, son los AA. HH. de barrio Laguna, barrio Jibaja Ch., barrio El Altillo y La Villa.



Secciones verticales que muestran los niveles de saturación y las capas estratigráficas del subsuelo en La Villa y al sur de El Altillo.



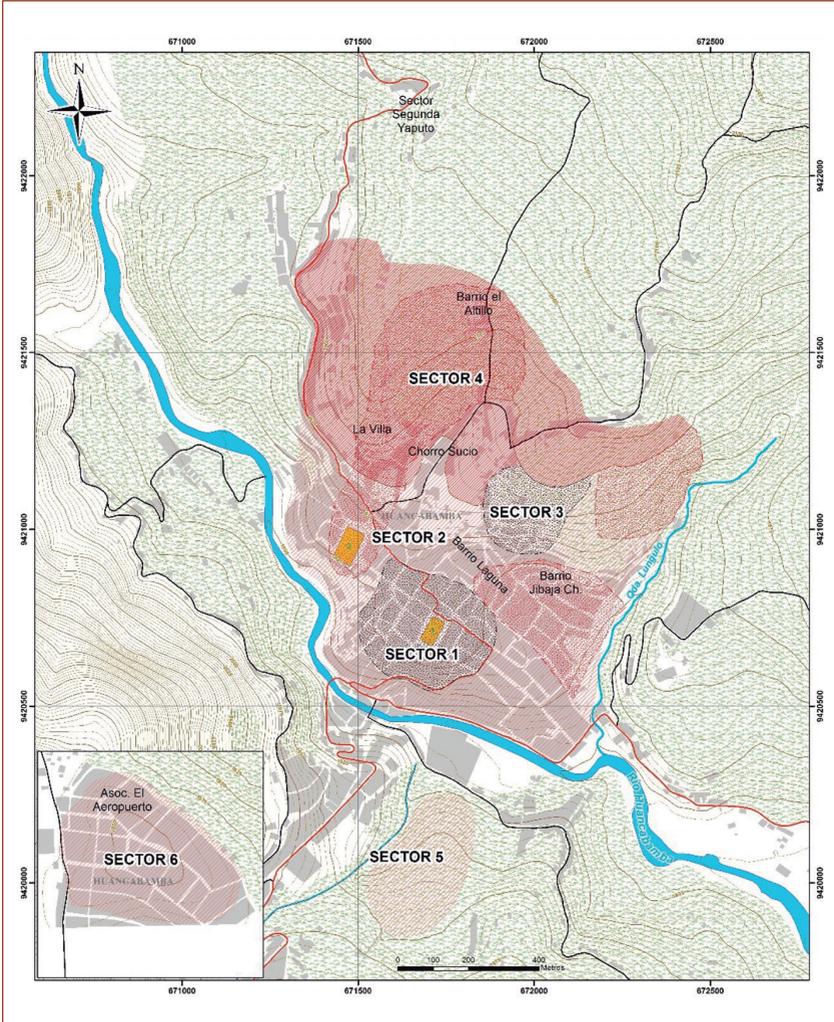
Sectorización del subsuelo

De acuerdo con los resultados obtenidos con cada método geofísico, se ha dividido el área de estudio en 6 sectores:

-  **Sector 1:** Extremo sureste del cercado de Huancabamba, suelo consistente.
-  **Sector 2:** Área que rodea el sector 1 (barrio Laguna y Jibaja Ch.) donde predominan suelos consistentes, moderadamente rígidos y con alto contenido de humedad.
-  **Sector 3:** Extremo noreste del área de estudio (parte del barrio Altillo) donde predominan suelos moderadamente rígidos con bajo contenido de humedad.
-  **Sector 4:** Ubicado al norte y noreste (extremo noroeste de El Altillo, Segunda Yaputo y sector La Villa). A nivel superficial se presenta suelo blando a moderadamente rígido con alto contenido de humedad.
-  **Sectores 5 y 6:** La margen derecha del río Huancabamba (Quispampa Bajo y El Aeropuerto), presentan suelos no consolidados y niveles de saturación superficial.

De ocurrir eventos detonantes (lluvias y sismos), las zonas susceptibles a deslizarse se encuentran principalmente en los sectores 2 y 4.

Mapa de sectorización del suelo





1. *Barrios Jibaja Ch. y El Altillo: Registro de datos con el método eléctrico para conocer el contenido de humedad de los suelos.*



2. Barrio Jibaja Ch.: Registro de datos con el método sísmico que permiten identificar espesores de capas y velocidades de ondas a diferentes niveles de profundidad.



3. Barrio Jibaja Ch: Registro de vibración ambiental (H/V) para determinar el periodo de respuesta del suelo y estimar su factor de amplificación ante la ocurrencia sísmica.

Desplazamientos a partir de monitoreo geodésico

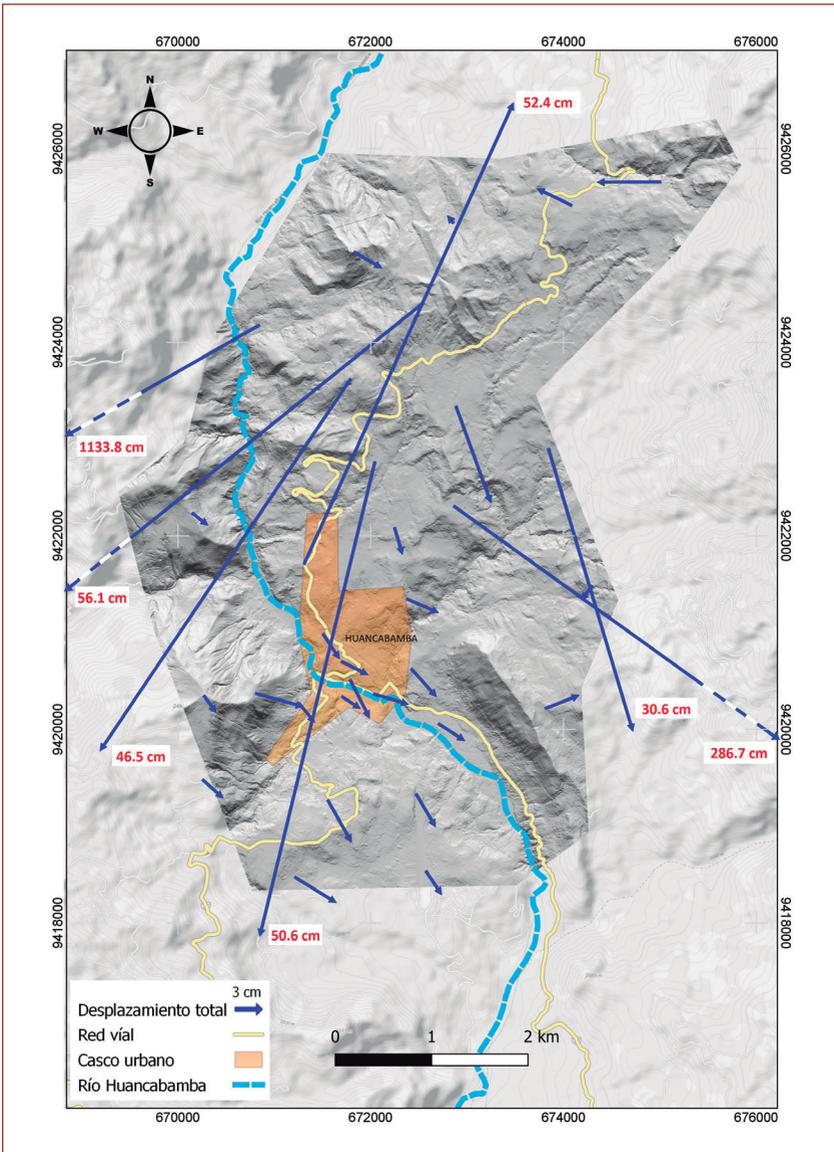
Con la instalación de 30 puntos de control se obtuvieron datos de mediciones geodésicas GNSS (periodo 2018-2022) para monitorear los desplazamientos del suelo y deslizamientos que afectan a la ciudad de Huancabamba.

Los resultados obtenidos muestran que el sector central de la ciudad, donde se encuentran la plaza de Armas, la iglesia principal y el palacio municipal, presentan desplazamientos de hasta 4.5 cm valle abajo en un periodo de 4 años. El mayor desplazamiento observado alcanza los 1133.8 cm en dirección suroeste valle abajo, principalmente en el sector de Lucho, en el extremo norte de Huancabamba.

Durante el periodo de monitoreo geodésico, el 26 de mayo de 2019 ocurrió un sismo de magnitud M8.0 en Lagunas, Loreto (a 400 km de distancia al este), el cual, a pesar de la distancia, habría actuado como un agente detonante de los deslizamientos activos.

Estos resultados han permitido identificar las zonas de mayor dinámica superficial en Huancabamba.

Mapa de desplazamientos durante el periodo 2018-2022





1. *Instalación de equipo GPS en el margen izquierdo del río Huancabamba próximo al puente Verde.*



2. *Medición de punto geodésico en el patio de la IESP "José Eulogio Garrido Espinoza".*



3. Configuración de receptor GNSS para el monitoreo geodésico en el centro poblado Jimaca.



4. Descarga de datos del monitoreo geodésico en el centro poblado Comenderos Bajo.

Agradecimientos

A FONDECYT-CONCYTEC por financiar el presente proyecto de investigación (convenio 166-2017), el cual ha permitido contribuir con la generación de conocimiento técnico y científico sobre el peligro de deslizamientos de tierra para la toma de decisiones en el ámbito de la Gestión del Riesgo de Desastres.

A la Municipalidad Provincial de Huancabamba y, muy especialmente, a la población de Huancabamba por todo el apoyo brindado durante la realización de los trabajos de campo.

Al Gobierno Regional de Piura por su colaboración en la difusión de los resultados del proyecto.

*Proyecto desarrollado y concluido como parte de los
100 años de generación de Ciencia y Desarrollo Tecnológico
del Instituto Geofísico del Perú.*

«Ciencia para protegernos, Ciencia para avanzar»





Calle Badajoz 169
Urb. Mayorazgo IV Etapa
Ate, Lima, Perú
Central Telefónica: (511) 317 2300



<http://www.gob.pe/igp>



@igp.peru



@igp_peru



@igp.peru



https://www.youtube.com/c/IGP_videos



@institutogeofisicodelperu



@igp.peru