

Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

**Opinión Técnica N° 10-2022**

# EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA ZONA DE REGLAMENTACIÓN ESPECIAL ZRESS16 CORRESPONDIENTE AL EX BOTADERO DE SAN ANTONIO

Departamento Cusco  
Provincia Cusco  
Distrito San Sebastián



Setiembre  
2022

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. UBICACIÓN .....</b>	<b>2</b>
<b>3. ANTECEDENTES Y TRABAJOS ANTERIORES .....</b>	<b>4</b>
<b>4. ANÁLISIS.....</b>	<b>6</b>
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>8</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>9</b>
<b>ANEXO 1: FOTOGRAFÍAS Y FIGURAS .....</b>	<b>11</b>
<b>ANEXO 2: MAPAS.....</b>	<b>23</b>

## **OPINIÓN TÉCNICA**

### **EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA ZONA DE REGLAMENTACIÓN ESPECIAL ZRESS16 CORRESPONDIENTE AL EX BOTADERO DE SAN ANTONIO**

**(Distrito San Sebastián, provincia y departamento Cusco)**

#### **1. INTRODUCCIÓN**

El Ingemmet, ente técnico-científico que desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) la “Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT. 11)”, contribuye de esta forma con entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico (movimientos en masa) en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo las solicitudes de la Municipalidad Provincial de Cusco según Oficios N° 87-2022-SGOT/GDUR-MPC y N°384-2021-SGOT/GDUR-MPC es en el marco de nuestras competencias que se realizó una evaluación de peligros geológicos en la zona de reglamentación especial con código ZRESS16 correspondiente al ex botadero de San Antonio del distrito de San Sebastián.

La ZRESS16, es una de las 41 zonas de reglamentación especial identificadas en el Plan de Desarrollo Urbano de la provincia del Cusco 2013-2023; y son definidas como zonas con ocupación urbana, que presentan conflictos de uso de suelo y vulnerabilidad social. Estas zonas se caracterizan por presentar riesgo de desastres muy alto por peligros naturales y deterioro ambiental, por lo cual demandan un tratamiento urbanístico mediante un plan específico.

En este sentido, la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los Ingenieros Mauricio Núñez Peredo y David Prudencio Mendoza realizar dicha evaluación de peligros geológicos, llevada a cabo el día 09 de junio del 2022, en coordinación con representantes de la Sub Gerencia de Ordenamiento Territorial de la Municipalidad Provincial de Cusco.

La evaluación técnica se basa en la recopilación y análisis de información existente de trabajos anteriores realizados por Ingemmet, la Municipalidad Provincial de Cusco y los datos obtenidos durante los trabajos de campo (puntos de control GPS, fotografías terrestres, levantamiento fotogramétrico con dron con el fin de observar mejor el alcance de los eventos), cartografiado geológico y geodinámico, con lo que finalmente se realizó la redacción del informe técnico.

Este informe se pone en consideración del la Municipalidad Provincial de Cusco y entidades encargadas en la gestión del riesgo de desastres donde se proporcionan resultados de la inspección y recomendaciones para la mitigación y reducción del riesgo de desastres, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

## 2. UBICACIÓN

La zona de reglamentación ZRESS16 correspondiente al ex botadero de San Antonio se ubica en el distrito de San Sebastián, al sur este de la ciudad del Cusco, en la provincia y departamento de Cusco, (Figura 1), sobre los 3200 m.

El ámbito de intervención de la ZRESS16 posee una superficie de suelo total de 33.13 Ha, de las cuales 25.22 Ha pertenecen a la zona de reglamentación especial, encontrándose en propiedad y administración de las asociaciones pro viviendas: Arrigues, Canto Grande, Caramascara, Casa Grande, Don Gabrielito, El Eden, El Roble, El Rosal de Santa Isabel, Fernandez II, Hatun Hamawta, Heroes de San Antonio, Jardines de Huanakauri, La Fiori, Los Frutales, Los Jardines de San Antonio, Los Kantus de San Antonio, Luz de Vida, Magisterial, Mirador Moreano, Mosoq Ayllu, Posada de Magisterio, Posada del Inca, Residencial Los Kantus, Residentes de Yanatile y la Convención, San Bernardo, Santa Eulalia, Santa Rita de Casia, Satélite, Sr. De Exaltación, Vallecito de Sur, Virgen de Belén, Nación San Antonio, Panaka Real, Unión Santa Cruz y 52 lotes sin agrupación urbana.

Las coordenadas UTM (WGS84 – Zona 19S) del área evaluada se muestra en el cuadro 1:

**Cuadro 1.** Coordenadas del área de evaluación.

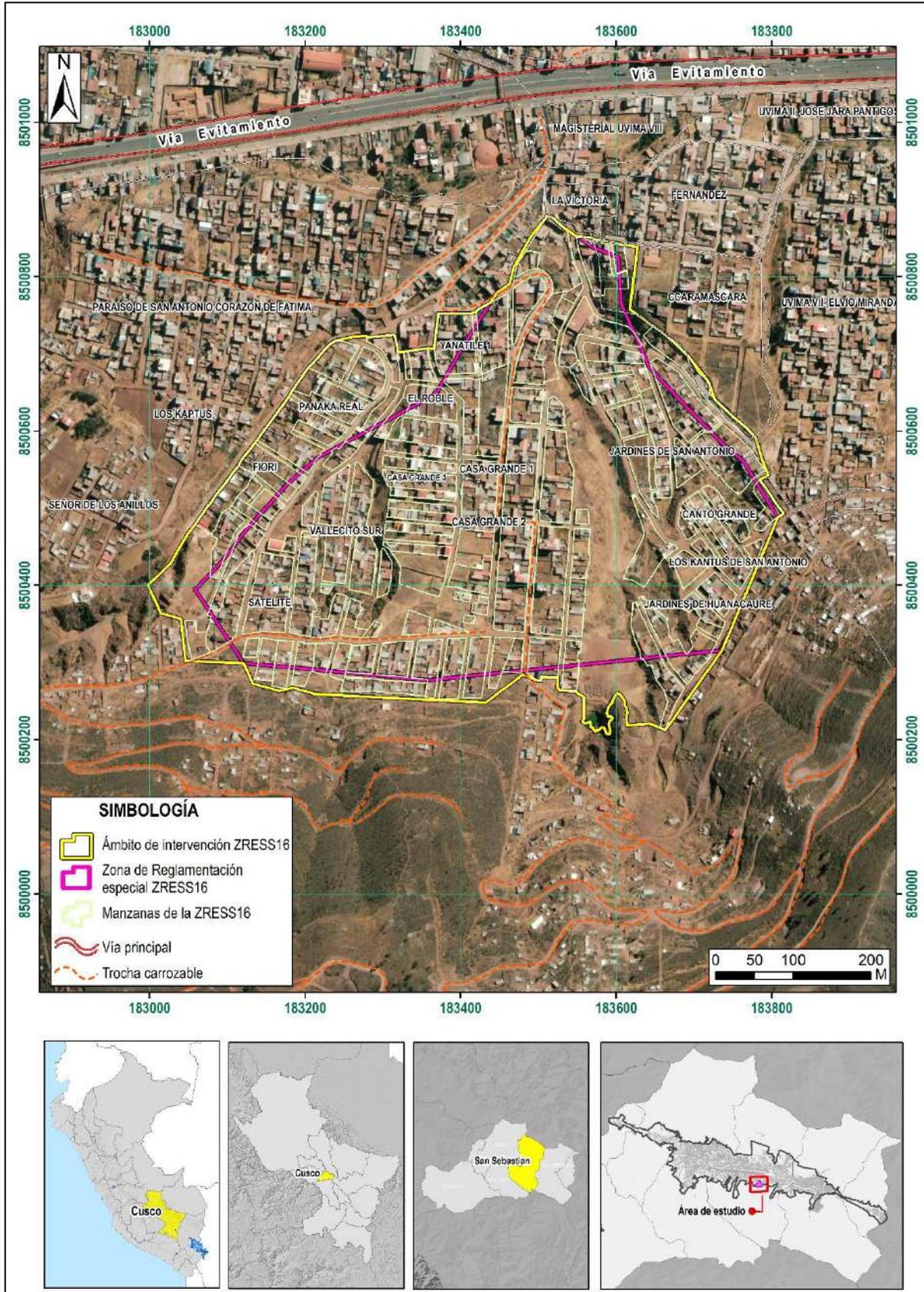
N°	UTM - WGS84 - Zona 19S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
A	183982.99	8501092.35	-13.54151635°	-71.91950299°
B	183982.99	8499874.43	-13.55250024°	-71.91963711°
C	182881.52	8499874.43	-13.55239594°	-71.9297893°
D	182881.52	8501092.35	-13.54133894°	-71.92966874°
<b>COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL</b>				
	183489.677	8500548.894	-13.54637078°	-71.92411627°

### 2.1. Población:

De acuerdo con los datos de la Municipalidad Provincial de Cusco, la población total del ámbito de intervención de la ZRESS16 es de 2843 habitantes en condición de residentes permanentes, distribuidos en un total de 1334 viviendas particulares y construidas primordialmente de material de adobe (41%).

### 2.2. Accesibilidad:

Se accede por la siguiente ruta: Lima - Nazca - Abancay - Cusco; siguiendo por la vía de evitamiento hasta el distrito de San Sebastián, sector San Antonio.



**Figura 1.** Ubicación de la zona evaluada correspondiente a la zona de reglamentación ZRESS16, ex botadero de San Antonio, distrito San Sebastián, provincia y departamento de Cusco.

### 3. ANTECEDENTES Y TRABAJOS ANTERIORES

Existen trabajos previos y publicaciones que incluyen sectores aledaños a la zona de evaluación (boletines geológicos) y otros estudios regionales relacionados a temas de geología y geodinámica externa, de los cuales destacan los siguientes:

- A) Boletín N°88, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica: “Expresión geomorfológica de tectónica activa y paleosismología en el Cusco: Caso falla Tambomachay” (Rosell, et al., 2022). Este estudio demuestra a partir de datos morfotectónicos y paleosísmicos, que la zona presenta una alta sismicidad cortical e histórica generada por fallas activas cercanas (de orientación principal NO-SE), con importante capacidad sísmogénica presentes en el ámbito de la ciudad del Cusco.

Además, el estudio muestra la evaluación del peligro sísmico, generado para un escenario en el cual la Falla Tambomachay se reactiva y genera un terremoto de  $M_w = 7,01$ , en el cual el distrito de San Sebastián sería afectado con una aceleración pico del suelo mayor a los 0.45 g.

- B) Boletín N°80, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica: “Peligro geológico por movimientos en masa e inundación fluvial en la ciudad de Cusco” (Medina et al., 2021). Este estudio identificó el área evaluada como una zona crítica sujeta a flujos de lodo y erosión en cárcavas; así mismo hacia la cara libre de las cárcavas (donde se asienta viviendas) también se originan derrumbes.

De igual modo, en el presente boletín, se muestra un mapa de susceptibilidad por movimientos en masa, a escala 1:25 000, en el cual, el área de estudio y en especial las zonas de cárcavas se localiza en zonas de susceptibilidad medio, alta y muy alta. Entendiéndose, la susceptibilidad a movimientos en masa, como la propensión que tiene una determinada zona a ser afectada por un determinado proceso geológico (movimiento en masa), expresado en grados cualitativos y relativos.

- C) Boletín N° 74, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica: “Peligro Geológico en la Región Cusco”, (Vilchez et al., 2020). Este estudio identificó 1682 ocurrencias de peligros geológicos a nivel regional, de los cuales el 12.25% corresponden a procesos de erosión de laderas (cárcavas), como los procesos identificados en el área de estudio. Así mismo también realizó un análisis de susceptibilidad a movimientos en masa presentado en un mapa a escala 1: 100 000, donde el área evaluada presenta terrenos con alta a muy alta susceptibilidad, condicionada por las características litológicas, geomorfológicas, pendiente, cobertura vegetal y uso de suelo.

- D) Servicio de estudio de evaluación de lixiviados por métodos geoelectrónicos (sondeos eléctricos verticales para la zona de reglamentación especial del área urbana en el distrito de San Sebastián), (Geotest Perú, 2019). En este estudio se realizó 8 ensayos de tomografía eléctrica, con la finalidad de determinar las variaciones de resistividad del suelo para detectar zonas asociadas con material lixiviado, la profundidad del nivel freático y la estratigrafía del subsuelo definidas en dos estratos u horizontes: El relleno de residuos sólidos pre consolidado en estado húmedo y suelos finos consolidados hasta el basamento rocoso.

- E) Estudio de mecánica de suelos en las zonas de reglamentación especial área urbana de los distritos de Santiago y San Sebastián, ZRESS16, (Geotest Perú, 2019). En este estudio se realizó 18 calicatas con profundidades de investigación de hasta 6.0 m; de las cuales 7 calicatas muestran zonas de relleno hasta 5.5 m de profundidad conformadas por depósitos de residuos sólidos, desmontes mezclados con materiales de corte en una matriz arcillosa. **De acuerdo con el estudio estas zonas de relleno no son aptas para la construcción según la norma E-050.**
- F) Boletín N° 55, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica: “Neotectónica y peligro sísmico en la región Cusco”, (Benavente et al., 2013). Este estudio muestra escenarios de peligrosidad por licuefacción de suelos a partir de sismos generados por las fallas Tambomachay, Qoricocha, Pachatusan y Paruro. **Los mapas de escenario muestran que el fondo de valle del Cusco, constituido principalmente por depósitos de la formación San Sebastián,** se encuentra en zona de alto y muy alto grado de peligrosidad ante procesos de licuefacción de suelos y/o asentamientos producidos por sismos.
- G) En el mapa de diagnóstico de “Peligros por Remoción en Masa” del “Plan de desarrollo urbano de la provincia Cusco 2013-2023”, (SGOT - Municipalidad provincial del Cusco, 2013), se observa que el área evaluada, presenta una geodinámica activa presentando niveles de peligro alto y muy alto.
- H) Boletín N°138, Serie A, Carta Geológica Nacional: “Geología del Cuadrángulo de Cusco, hoja 28-s, escala 1:50 000”, (Carlotto et al., 2011). En este estudio se describe la geología de la zona de estudio que corresponde a las secuencias cuaternarias de la Formación San Sebastián. Los autores señalan que los sedimentos lacustres de esta formación tienen un pésimo comportamiento geotécnico en cimentaciones como en laderas. Se menciona, además, eventos geodinámicos activos y reactivaciones presentes en esta formación.
- I) De acuerdo a los niveles de zonificación sísmica en el Perú, el cual es actualmente utilizado en el nuevo reglamento peruano de la construcción con la norma técnica de edificación E-30 (Diseño “sismorresistente” del Reglamento Nacional de Edificaciones, actualizado al 2016), el área de estudio se ubica en la Zona 2 (sismicidad media), determinándose aceleraciones de 0.25 g. Este factor se interpreta como la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años. Este factor se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad (DS No. 003-2016-VIVIENDA).
- J) Estudio del mapa de peligros de la ciudad del Cusco, (PNUD-INDECI 2004), describe numerosas cárcavas distribuidas en laderas y faldas de los cerros del sur de San Sebastián. **Además, este estudio señala que esta área, ha sido utilizada para depositar residuos sólidos de la ciudad del Cusco en las últimas décadas y que en la actualidad viene siendo ocupada informalmente para la construcción de viviendas. Debido a la gruesa capa de basura que existe en la zona se tiene peligros de asentamientos y deslizamientos.**

## 4. ANÁLISIS

En el área evaluada, hacia el sur de la ciudad del Cusco, se observa areniscas intercaladas con niveles de arcillitas rojas de la Formación Kayra del Grupo San Jerónimo (fotografía 1). Estas rocas, según los datos geomecánicos tomados en campo, se presentan muy fracturadas con espaciamentos muy próximos a próximos entre sí (0.05 - 0.10 m), aberturas algo abiertas (0.5 – 0.1 mm), resistencia baja (25-50 Mpa) y moderadamente meteorizadas.

En la parte media y baja de las laderas se distingue depósitos de la Formación San Sebastián, cuyas características litológicas corresponden a la primera secuencia de esta formación (Carlotto et al., 2011), constituidas por arenas, limolitas, limoarcillitas y algunos niveles de diatomitas. Estas secuencias lacustres presentan un pésimo comportamiento geotécnico, por estar muy fracturadas, con resistencia baja y estructura desintegrada, a fácilmente disgregables (fotografía 2). En superficie se presentan altamente meteorizadas.

Superficialmente, el terreno se encuentra coberturada por depósitos coluvio-deluviales, poco consolidados, producto de la meteorización de las rocas sedimentarias y removidos constantemente por acción de la gravedad y las aguas de escorrentía.

Sin embargo, lo más resaltante del área, son los depósitos antropógenos que se encuentran rellenando principalmente las zonas de cárcavas. Estos depósitos corresponden a materiales antrópicos compuestos por materiales de acarreo, desmonte reciente someros (fotografía 3) y botaderos de desechos orgánicos (fotografía 4) en una matriz arcillosa (Geotest Perú, 2019). Sobre este tipo de material se asienta actualmente gran parte de las viviendas.

Geomorfológicamente, las zonas altas del área evaluada se encuentra sobre unidades de montañas modeladas en rocas sedimentarias cuyas laderas presentan pendientes fuertes (15°-25°) a muy fuertes (25°-45°). Actualmente, las laderas de esta unidad se muestran modificadas por la constante expansión urbana que presenta la ciudad del Cusco (fotografía 5).

La parte media del área se localiza sobre vertientes o piedemonte aluvio lacustres desarrolladas sobre pendientes que varía entre moderado (5°-15°) a fuertes (15°-25°). Sin embargo, esta unidad es disectada por procesos erosivos tipo cárcavas que se proyectan de norte a sur, desde las partes bajas hasta la ladera de las montañas, mostrando paredes sub-verticales con pendientes muy escarpadas (>45°) a casi verticales, producto de la intensa erosión hídrica y cuya profundización se ve reducida por la variación litológica (fotografía 6).

Adicionalmente se identificó unidades antrópicas como son las subunidades de cárcavas antropizadas y botaderos de basura antropizado, con pendientes entre moderada a muy fuerte (15°-45°) y sobre la cual se asienta principalmente los predios de la A.P.V. Virgen de Belén.

Los trabajos de campo permitieron identificar extensas zonas de erosión de laderas en cárcava antiguas, que se prolongan desde las inmediaciones de la vía evitamiento hasta los cerros al sur del distrito de San Sebastián; actualmente antropizadas y rellenas para la construcción de viviendas.

Mediante el uso y la fotointerpretación de fotografías aéreas del año de 1962, se estimó un área de influencia en aproximadamente 38.5 Ha; de las cuales el 44.5% de las cárcavas se encuentran rellenas por depósitos de desmonte y el 16%, por depósitos de residuos sólidos (ex botadero de San Antonio) (figura 2).

Así mismo; la erosión retrogresiva de sus márgenes ha generado un ancho aproximado de 98 m en la zona más amplia, una profundidad máxima de 22 m, observada en algunas laderas principalmente de la parte central y una longitud de hasta 1.3 km. Para la zona de reglamentación especial ZRESS16, las cárcavas se desarrollan en tres ramales principales orientados hacia la ladera del cerro de mayor pendiente.

Las intensas precipitaciones, la escorrentía superficial y el vertimiento de aguas residuales aumenta significativamente la capacidad de erosión en las paredes de la cárcava; estas condiciones deja inestables diferentes áreas de terreno y pone en riesgo principalmente a las viviendas ubicadas al borde de los márgenes de la cárcava (fotografías 7 y 8).

Por otro lado, la deformación del terreno visible en el área de evaluación se encuentra relacionada a la acción de cargas correspondientes a las viviendas construidas sobre terrenos conformados por materiales de relleno de baja capacidad portante; que, de acuerdo con los estudios de mecánica de suelos (Geotest Perú, 2019), presentan espesores de 4.0 a 6.0 m.

Es así, que parte de las viviendas de la zona de reglamentación ZRESS16 se encuentra emplazada sobre un antiguo relleno sanitario, verificándose inclusive espesores de relleno mayores a 8.0 m, que posteriormente fue ocupada para vivienda a partir de los años 2000.

Mediante la comparación de fotografías aéreas de 1962 y 1982, se identificó el límite del botadero de San Antonio, el cual se reconoce por el cambio de coloración de la fotografía, que se relaciona claramente con áreas remoción formado por la acumulación de materiales diversos en la zona (figura 3) y que coincide con los ensayos de mecánica de suelos y tomografía eléctrica (Geotest Perú, 2019); así como la toma de datos en campo (figuras 4 y 5).

Para el año 2002, se muestra el avance y conformación de botadero de residuos sólidos y otros, relleno de las zonas de cárcava adyacentes; así como algunas lotizaciones y emplazamientos de viviendas. Al 2022, con sobrevuelo de dron se observa el emplazamiento total de esta área con viviendas del A.P.V Virgen de Belén y dos viviendas sin agrupación urbana (las cuales se exponen a procesos erosivos).

La deformación causada por los hundimientos es visible en toda el área correspondiente al ex botadero de San Antonio y zonas de relleno de cárcavas, así por ejemplo se muestran inclinaciones de muros y paredes de viviendas con desplazamientos de hasta 4.0 cm y agrietamientos con aberturas comprendidas entre 1.0 a 5.0 cm (figuras 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12).

La heterogeneidad de estos materiales de relleno, sus pésimas características geotécnicas, su espesor, las filtraciones generadas por tuberías de desagüe y la profundidad del nivel freático cerca de la superficie (entre 2.0 a 5.0 m, según estudios de tomografía eléctrica, Geotest Perú, 2019); predispone la ocurrencia de fenómenos de licuefacción de suelos y hundimientos en el área de evaluación ante la ocurrencia de sismos de gran magnitud.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1) Las rocas y secuencia de areniscas, limolitas y limoarcillitas de la Formación San Sebastián, presentan un pésimo comportamiento geotécnico, muy fracturada, resistencia baja y presentando una estructura desintegrada, fácilmente disgregable.
- 2) La zona de reglamentación especial ZRESS16 se encuentra en una vertiente o piedemonte aluvio lacustre disectada por múltiples procesos erosivos tipo cárcavas producto de la intensa erosión hídrica. Actualmente se encuentran rellenas por depósitos antropógenos compuestos por materiales de acarreo, desmonte reciente y botaderos de desechos orgánicos.
- 3) La ciudad del Cusco se encuentra dentro una zona de alta sismicidad relacionada a fallas activas. En este contexto, la zona de reglamentación especial ZRESS16 se encuentra emplazado sobre materiales de relleno y desmonte los cuales son propensos a deformarse violentamente por fenómenos de licuefacción de suelos producidos por sismos de gran magnitud.
- 4) Mediante la comparación de fotografías aéreas de 1962 y 1982, se identificó el límite del ex botadero de San Antonio, actualmente ocupada por viviendas del A.P.V. Virgen de Belén y dos viviendas sin agrupación urbana.
- 5) Los trabajos de campo permitieron identificar hundimientos y deformación del terreno, condicionados por materiales de relleno presentes en el área de evaluación. La deformación visible está relacionada a la acción de cargas correspondientes a viviendas construidas sobre terrenos conformados por materiales de relleno de baja capacidad portante. Pueden observarse viviendas con inclinaciones de hasta 10° y agrietamientos en paredes con aberturas entre 1.0 a 5.0 cm. Los datos de deformación muestran componentes de tipo extensional aleatoriamente distribuidos en todo el ex botadero de San Antonio.
- 6) Por las condiciones actuales, presencia de procesos de erosión activos y las condiciones de antropización del sector, se considera la zona de reglamentación especial ZRESS16, como **Zona Crítica de Peligro Muy Alto a movimientos en masa, procesos de licuefacción de suelos y asentamientos**, ante la ocurrencia de lluvias intensas y/o prolongadas y/o sismos.
- 7) Para el área definida como ex botadero de San Antonio, se recomienda reubicar las viviendas asentadas sobre esta, cercar el área y prohibir su uso para la ubicación de asentamientos humanos. Elaborar un proyecto de cierre definitivo y uso apropiado a futuro.
- 8) Reubicar las viviendas que se encuentran al borde de la cárcava y sobre rellenos, por considerarse como zona de muy alto peligro.
- 9) Se recomienda obras de control de cárcavas y de drenaje para prevenir el riesgo al que estarían expuestos futuros asentamientos en el lugar.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Alva, J.; Meneses, J. & Guzmán, V. (1984) - Distribución de máximas intensidades sísmicas observadas en el Perú (en línea). Congreso Nacional de Ingeniería Civil, 5, Tacna, 11 p. (consulta: 5 noviembre 2017). Disponible en: [http://www.jorgealvahurtado.com/files/redacis17\\_a.pdf](http://www.jorgealvahurtado.com/files/redacis17_a.pdf)

Benavente, C.; Delgado, F.; Taipe, E.; Audin, L. & Pari, W. (2013) - Neotectónica y peligro sísmico en la región del Cusco. INGEMMET. Boletín, Serie C: Geología Ambiental y Riesgo Geológico, 55, 245 p., 1 mapa. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12544/296>.

Carlotto, V., Cardénas, J. & Carlier, G. (2011) - Geología del cuadrángulo de Cusco, hoja 28-s, escala 1:50,000. INGEMMET. Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 138, 255 p., 6 mapas. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12544/99>.

Fotografía aérea del año 1964. Información proporcionada por la Dirección de Geología Regional del Ingemmet.

Fotografía aérea del año 1984. Información proporcionada del PER- IMA, Gobierno Regional Cusco y facilitada por la Municipalidad Provincial del Cusco.

Geotest Perú (2019) – Servicio de estudio de evaluación de lixiviados por métodos geoelectrónicos (sondeos eléctricos verticales para la zona de reglamentación especial del área urbana en el distrito de San Sebastián). Informe técnico: Evaluación del Grado de Compactación. Cusco, octubre, 2019, 117p.

Geotest Perú (2019) – Estudio de mecánica de suelos en las zonas de reglamentación especial área urbana de los distritos de Santiago y San Sebastián, ZRESS16. Informe técnico: Estudio de mecánica de suelos. Cusco, octubre, 2019, 295p.

Imágenes satelitales disponibles en el Google Earth, Arc-Gis, Q-Gis, SAS PLANET de diferentes años.

Medina, L.; Nuñez, M.; Vílchez, M.; Peña, F.; Gómez, H. & Sosa, N. (2021) – Peligro geológico por movimientos en masa e inundación fluvial en la ciudad de Cusco. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámico e Ingeniería Geológica, 80, 208 p., 10 mapas. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12544/3136>.

Perú. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2016) - Decreto supremo N° 003-2016-VIVIENDA: Decreto supremo que modifica la norma técnica E.030 “diseño sismoresistente” del reglamento nacional de edificaciones, aprobada por decreto supremo N° 011-2006-VIVIENDA, modificada con decreto supremo N° 002-2014-VIVIENDA. El Peruano, Separata especial, 24 enero 2016, 32 p.

PNUD-INDECI. (2004). Estudio del mapa de peligros de la ciudad del Cusco. Proyecto: Ciudades sostenibles. 135p. Disponible en: [http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/estudios\\_CS/Region\\_Cusco/cusco/cusco\\_mp.pdf](http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/estudios_CS/Region_Cusco/cusco/cusco_mp.pdf).

Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007)  
Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No. 4, 432 p., 1 CD-ROM.

Rosel, L.; Benavente, C.; Aguirre, E.; García, B. & Palomino, A. (2022) – Expresión geomorfológica de tectónica activa y paleosismología en el Cusco: caso falla Tambomachay. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 88, 99 p. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12544/3598>.

SGOT - Municipalidad provincial del Cusco (2013). “Plan de Desarrollo Urbano del Cusco 2013 – 2023”. Disponible en: <https://www.cusco.gob.pe/plan-de-desarrollo-urbano-del-cusco-2013-2023/>

Vilchez, M.; Sosa, N.; Pari, W. & Peña, F. (2020) - Peligro geológico en la región Cusco. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 74, 202 p, 9 mapas. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2564>.

Villota, H. (2005) - Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. 2. ed. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 210 p.



Segundo A. Núñez Juárez  
Jefe de Proyecto-Act. 11



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

## **ANEXO 1: FOTOGRAFÍAS Y FIGURAS**



**Fotografía 1:** Afloramiento de la Formación Kayra, compuesta por areniscas intercaladas con niveles de arcillitas rojas. Estas rocas se encuentran muy fracturadas y moderadamente meteorizadas.



**Fotografía 2:** Afloramiento de la Formación San Sebastián, compuestos por una secuencia de arenas, limolitas y limoarcillitas. Estas secuencias lacustres presentan un pésimo comportamiento geotécnico, muy fracturada y fácilmente disgregables.



**Fotografía 3:** Depósitos antropógenos formados por materiales de desmonte que se encuentran rellenando zonas de cárcavas. Ubicado en las coordenadas UTM WGS84 zona 19S 8500229 N, 183638 E.



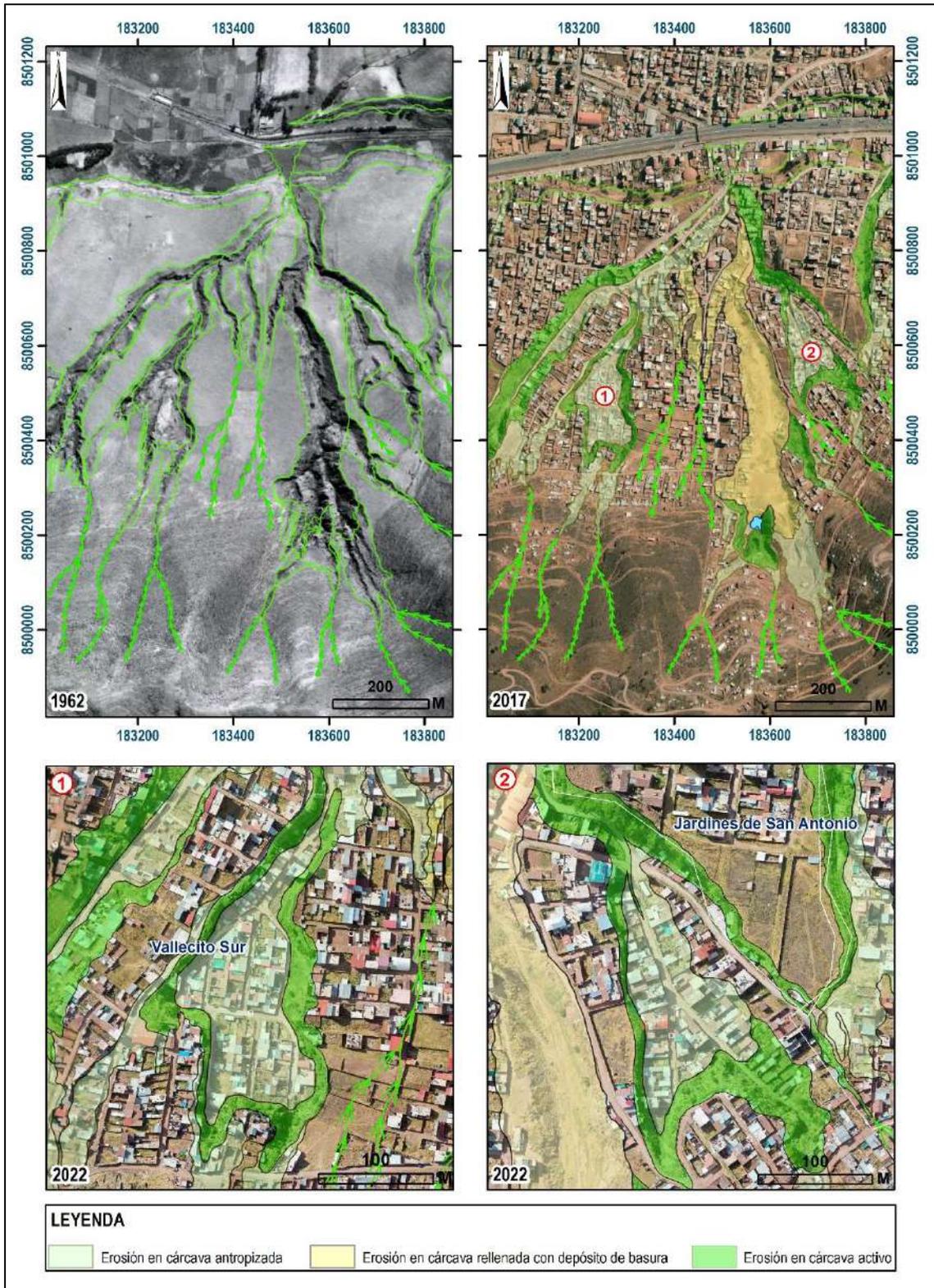
**Fotografía 4:** Depósitos antropógenos formados por materiales de desechos orgánicos y sobre la cual se asientan viviendas. Ubicado en las coordenadas UTM WGS84 zona 19S 8500329 N, 183511 E.



**Fotografía 5:** Montañas modelas en rocas sedimentarias cuyas laderas se muestran modificadas por la constante expansión urbana que presenta la ciudad del Cusco.



**Fotografía 6:** Procesos erosivos tipo cárcava que forman paredes sub verticales producto de la intensa erosión hídrica y cuya profundización se ve reducida por la variación litológica.



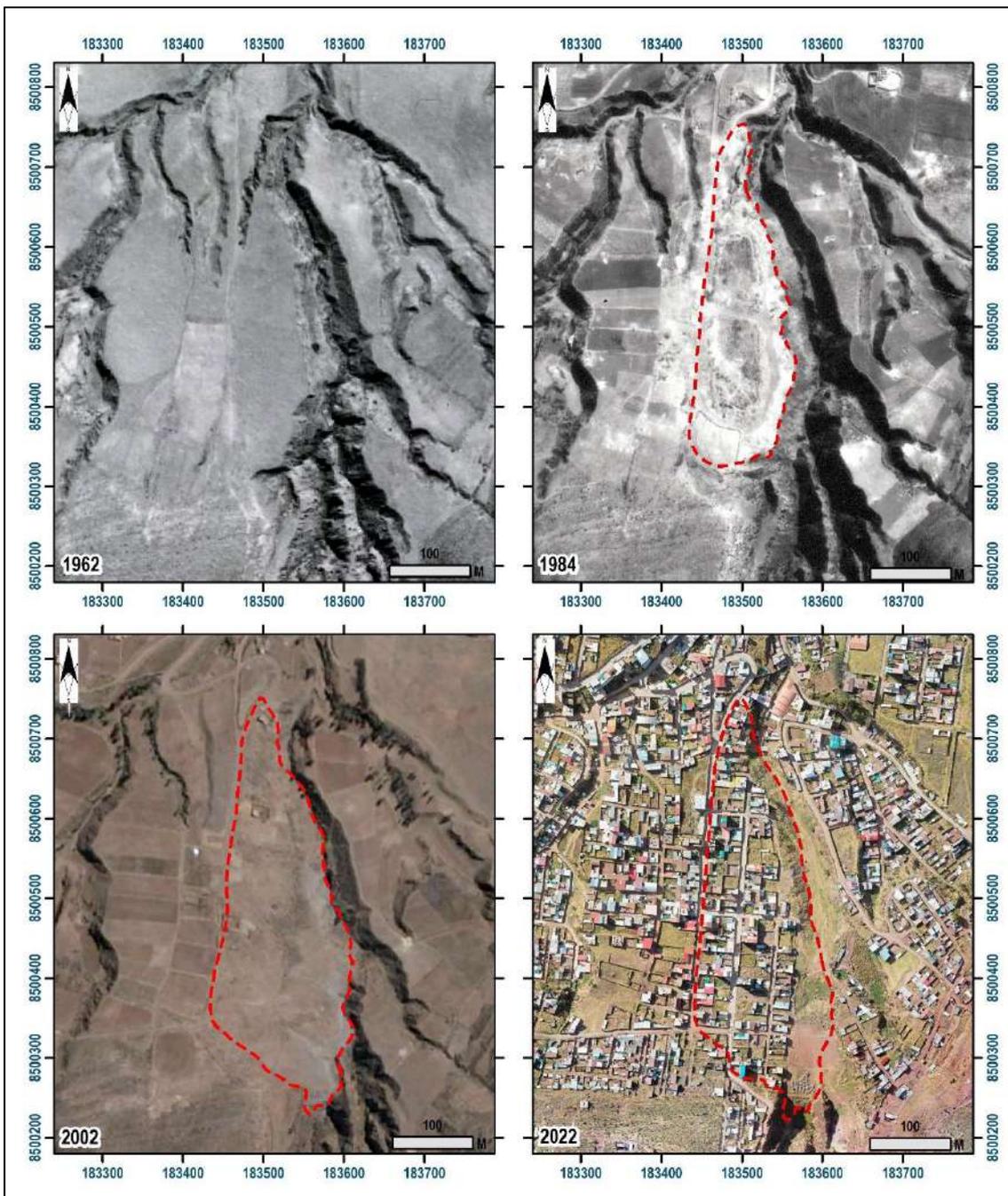
**Figura 2:** Fotointerpretación de procesos de erosión en cárcava utilizando una fotografía aérea de 1962, una imagen satelital del año 2017 y un ortomosaico obtenido de sobrevuelos dron, donde se puede apreciar que actualmente las cárcavas se encuentran rellenas por depósitos antrópicos de desmonte y botaderos de basura, tal y como se muestran en los sectores de los A.P.V. Vallecito Sur y Jardines de San Antonio.



**Fotografía 7:** Vivienda de 3 pisos del A.P.V. Posada del Inca, ubicada a escasos 3 m del borde de una cárcava activa. Se ubica en las coordenadas UTM WGS84 Zona 19S 8500647 N, 183556 E.



**Fotografía 8:** Vivienda de 2 pisos sin agrupación urbana ubicada a menos de 3 m del borde de una cárcava activa. Se ubica en las coordenadas UTM WGS84 Zona 19S 8500692 N, 183522 E.



**Figura 3:** En la parte superior se muestra dos fotografías aéreas de 1962 y 1984 georreferenciadas, las cuales muestran en líneas punteadas el antiguo botadero de basura de San Antonio. Así mismo, en la parte inferior se muestra una imagen satelital del 2002 y un ortomosaico del año 2022, que muestran el avance del botadero relleno de las zonas de cárcava adyacente y en la actualidad ocupadas por viviendas de las A.P.V. Virgen de Belén y dos viviendas sin agrupación urbana.



**Figura 4:** Evidencias de material de residuos sólidos con espesores de hasta 9.0 m, así mismo se puede observar el nivel freático en superficie. Se ubica en las coordenadas UTM WGS84 Zona 19S 8500230 N, 183557 E.



**Figura 5:** Zona de contacto entre el depósito de residuos sólidos (ex botadero de San Antonio) y la Formación San Sebastián. Obsérvese el emplazamiento de viviendas sobre estos materiales de relleno y la fácil erosión que esta presenta; condición que pone en riesgo la seguridad física de vivienda (señalada en flechas amarillas) y la de sus habitantes. Se ubica en las coordenadas UTM WGS84 Zona 19S 8500692 N, 183522 E.



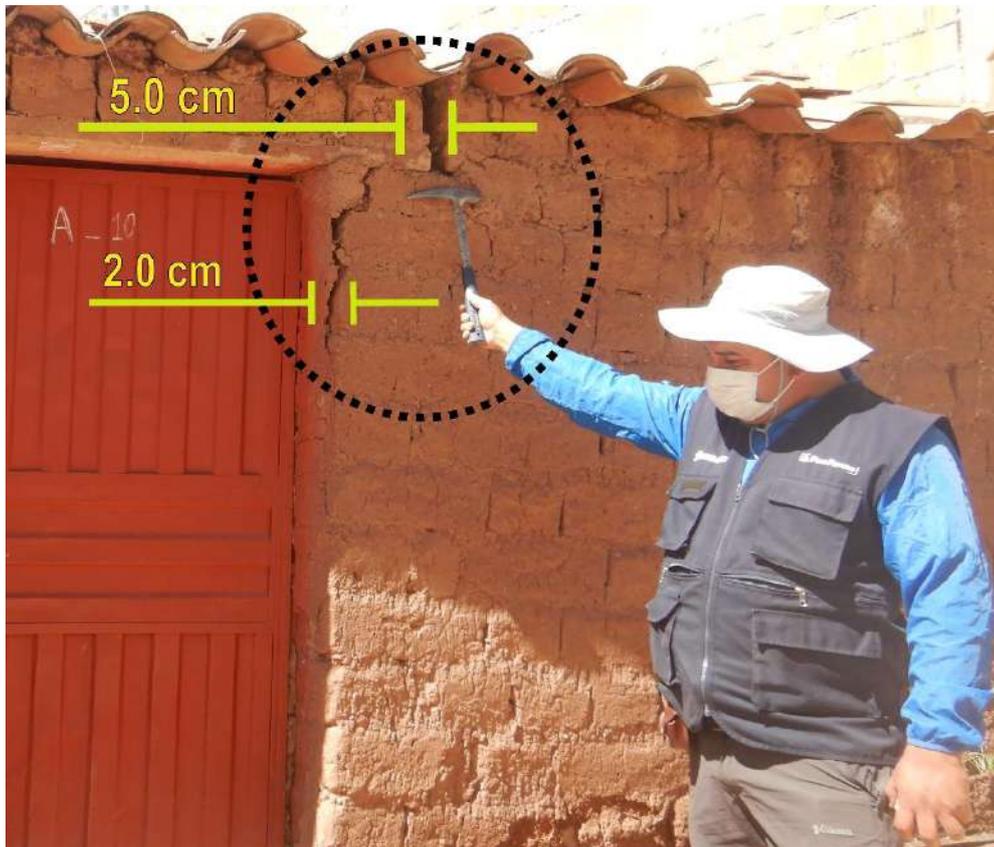
**Figura 6:** Inclincación de pared por asentamiento en la A.P.V Virgen de Belén. Se ubica en las coordenadas UTM WGS84 Zona 19S 8500312 N, 183527 E.



**Figura 7:** Inclincación de muro de vivienda por asentamiento con un desplazamiento de hasta 4 cm en la A.P.V Casa Grande 1. Se ubica en las coordenadas UTM WGS84 Zona 19S 8500564 N, 183424 E.



**Figura 8:** Agrietamientos con aberturas de hasta 2 cm e inclinación en paredes por hundimiento en una misma vivienda en la A.P.V Casa grande 1. Se ubica en las coordenadas UTM WGS84 Zona 19S 8500560 N, 183438 E.



**Figura 9:** Agrietamientos con aberturas entre 2.0 a 5.0 cm. en paredes de material noble de vivienda del A.P.V El Rosal de Santa Isabel. Se ubica en las coordenadas UTM WGS84 Zona 19S 8500679 N, 183425 E.



**Figura 10:** Inclínación de vivienda (líneas entrecortadas rojas) por hundimiento en la A.P.V. Virgen de Belén, el cual se asienta sobre depósitos de residuos sólidos (líneas entrecortadas amarillas). Se ubica en las coordenadas UTM WGS84 Zona 19S 8500365 N, 183440 E.

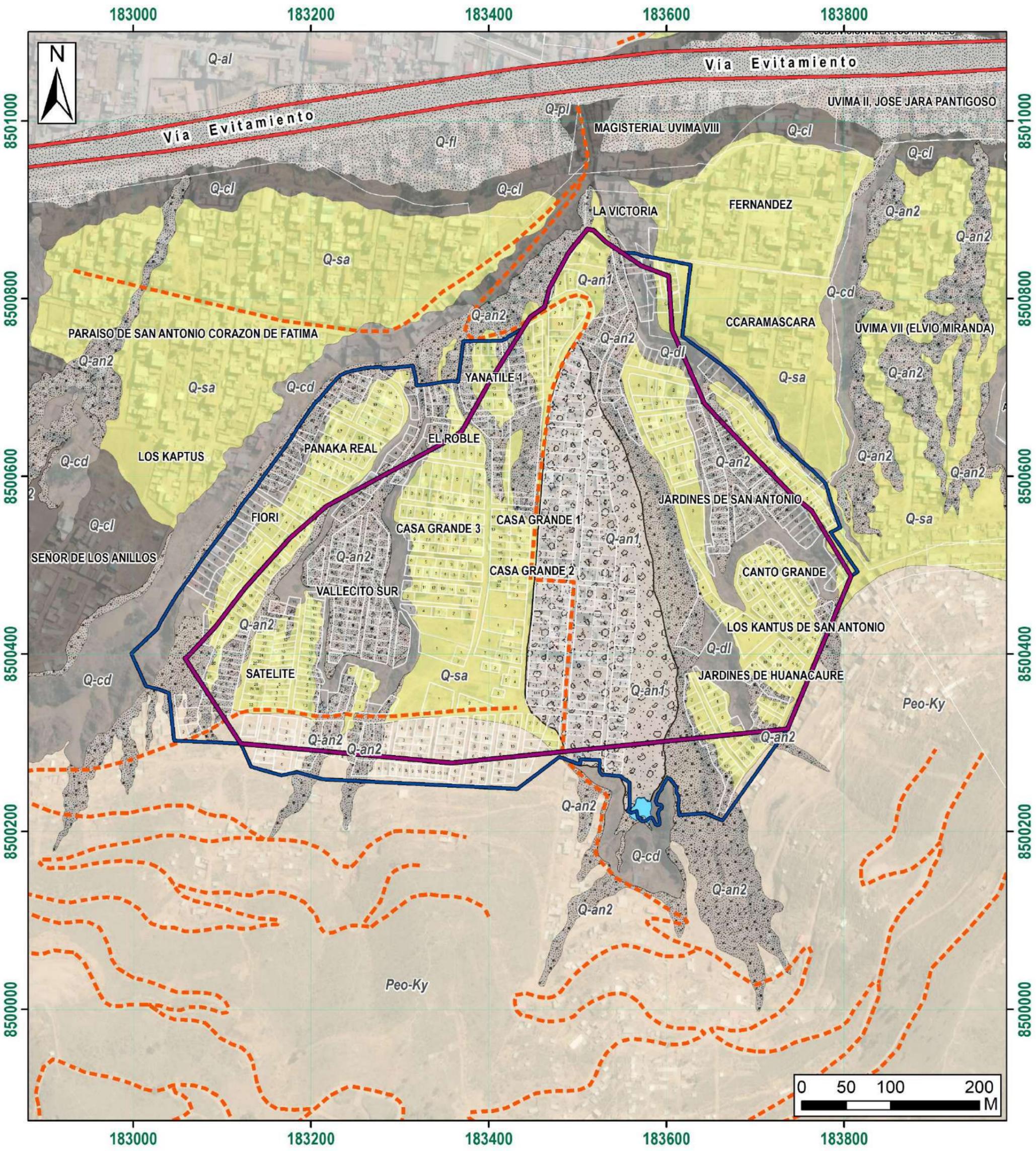


**Figura 11:** Agrietamientos de pared de vivienda con aberturas de hasta 4 cm (actualmente resanadas); obsérvese la proyección que presenta esta grieta hacia la otra vivienda colindante. Se ubica en las coordenadas UTM WGS84 Zona 19S 8500337 N, 183446 E.



**Figura 12:** Agrietamientos con aberturas entre 1.0 y 2.0 cm en pared e inclinación de vivienda por hundimiento en la A.P.V El Rosal de Santa Isabel. Se ubica en las coordenadas UTM WGS84 Zona 19S 8500716 N, 183421 E.

## **ANEXO 2: MAPAS**



**LEYENDA**

Q-an1	Depósito antropógeno 1
Q-an2	Depósito antropógeno 2
Q-fl	Depósito fluvial
Q-al	Depósito aluvial
Q-cd	Depósito coluvio-deluvial
Q-cl	Depósito coluvial
Q-pl	Depósito proluvial
Q-sa	Formación San Sebastián
Peo-Ky	Formación Kayra

**SIMBOLOGÍA**

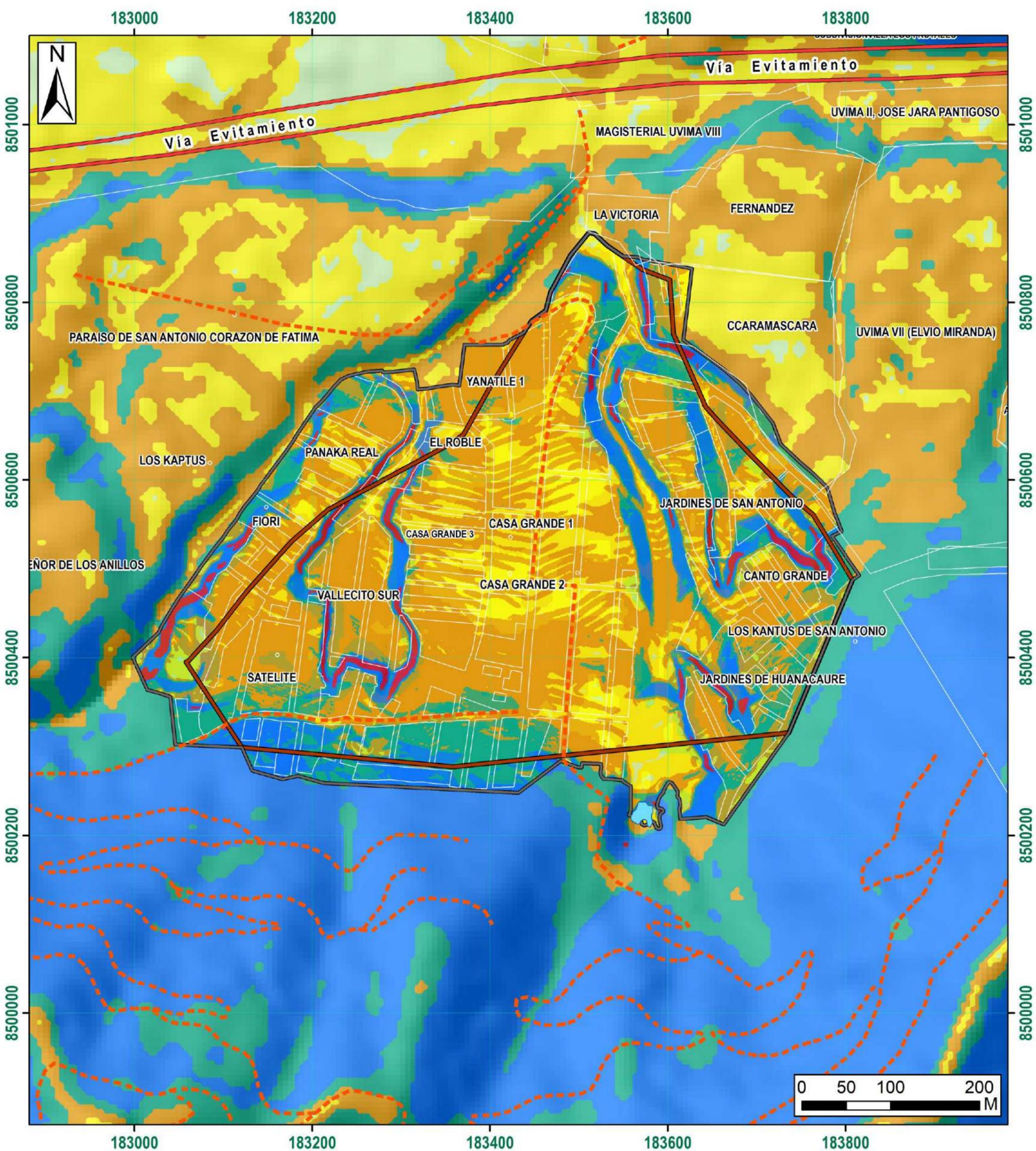
	Ámbito de intervención ZRESS16
	Zona de Reglamentación especial ZRESS16
	Cuerpo de agua
	Manzanas de la ZRESS16
	Vía principal
	Trocha carrozable

SECTOR ENERGÍA Y MINAS  
**INGEMMET**  
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO  
**DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO**

DEPARTAMENTO: CUSCO  
 PROVINCIA: CUSCO  
 DISTRITO: SAN SEBASTIÁN

**GEOLÓGICO**

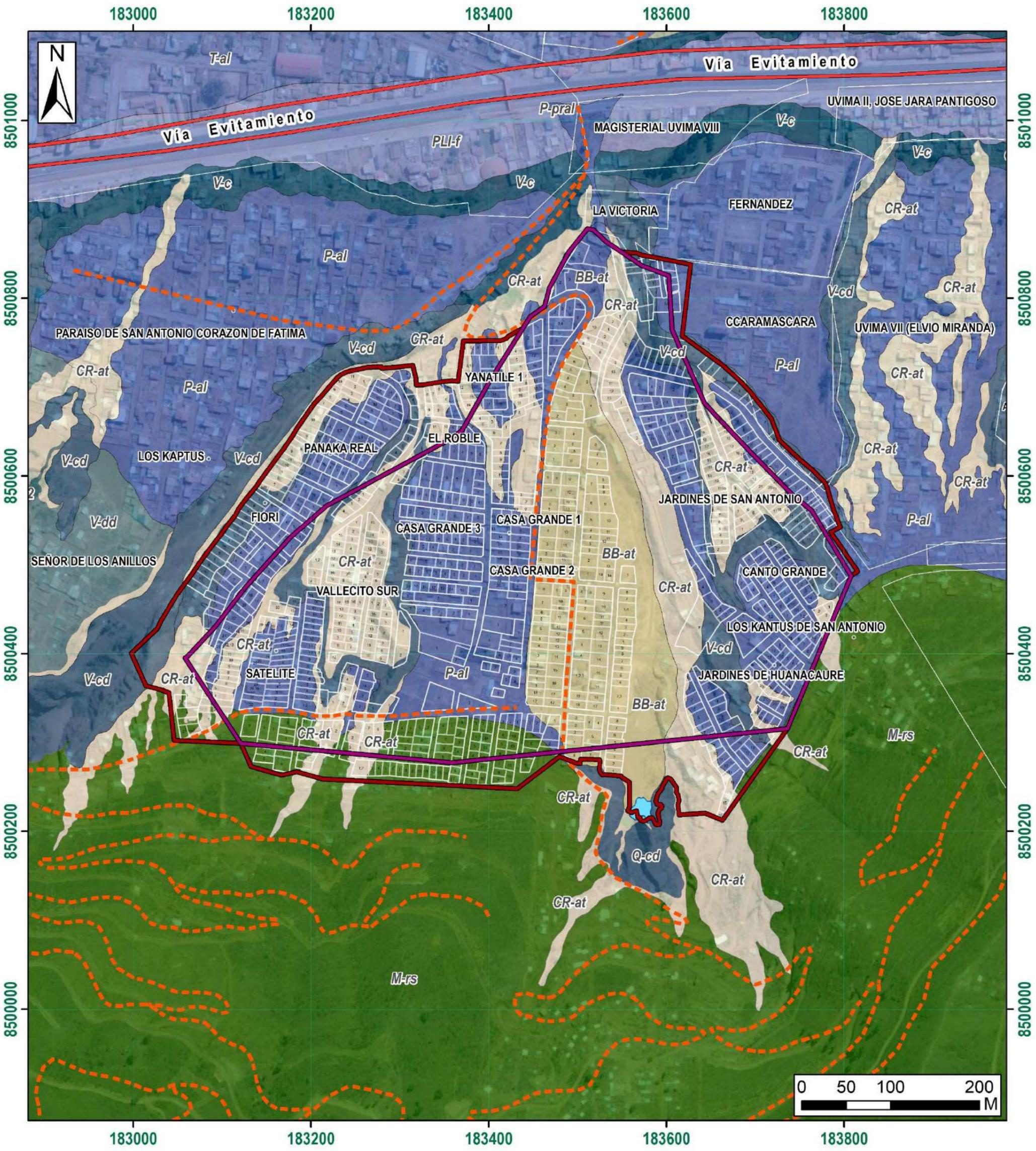
Escala: 1/4,000	Elaborado por: Nuñez, M.	<b>MAPA 01</b>
Proyección: UTM Zona 19 Sur	Datum: WGS 84	
Versión digital 2022	Impreso: Junio, 2022	



RANGO DE PENDIENTES	
0°-1°	Terreno llano
1°-5°	Terreno inclinado con pendiente suave
5°-15°	Pendiente moderada
15°-25°	Pendiente fuerte
25°-45°	Pendiente muy fuerte a escarpada
>45°	Terreno muy escarpado

SIMBOLOGÍA	
	Ámbito de intervención ZRESS16
	Zona de Reglamentación especial ZRESS16
	Manzanas de la ZRESS16
	Cuerpo de agua
	Vía principal
	Trocha carrozable

 <b>INGEMMET</b> INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO		
<b>DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO</b>		
DEPARTAMENTO: CUSCO PROVINCIA: CUSCO DISTRITO: SAN SEBASTIÁN		
<b>PENDIENTES DE LOS TERRENOS</b>		
Escala: 1/4,000	Elaborado por: Nuñez, M.	<b>MAPA 02</b>
Proyección: UTM Zona 19 Sur	Datum: WGS 84	
Versión digital 2022	Impreso: Junio, 2022	



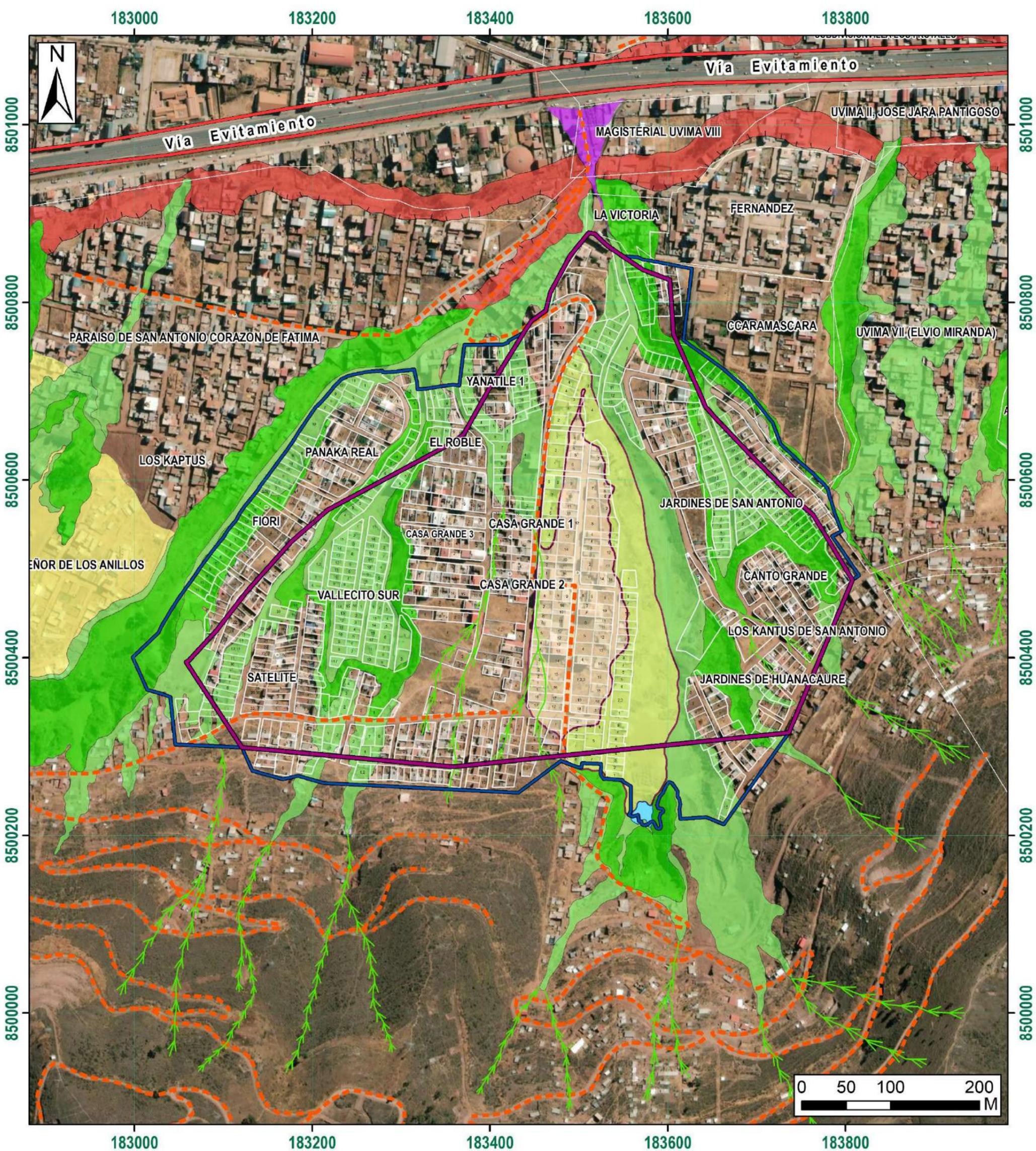
**LEYENDA**

- M-rs Montaña en roca sedimentaria
- P-al Vertiente o piedemonte aluvio-lacustre
- P-pral Piedemonte proluvial o aluviotorrencial
- V-c Vertiente coluvial
- V-cd Vertiente coluvio-deluvial
- V-dd Vertiente con depósito de deslizamiento
- T-al Terraza aluvial
- CR-at Cárcava antropizada
- BB-at Botadero de basura antropizado

**SIMBOLOGÍA**

- Ámbito de intervención ZRESS16
- Zona de Reglamentación especial ZRESS16
- Cuerpo de agua
- Manzanas de la ZRESS16
- Vía principal
- Trocha carrozable

<p style="font-size: small; margin: 0;">SECTOR ENERGÍA Y MINAS <b>INGEMMET</b> INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO</p>		
<p><b>DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO</b></p> <p>DEPARTAMENTO: CUSCO PROVINCIA: CUSCO DISTRITO: SAN SEBASTIÁN</p>		
<p><b>GEOMORFOLÓGICO</b></p>		
Escala: 1/4,000	Elaborado por: Nuñez, M.	<p><b>MAPA</b> <b>03</b></p>
Proyección: UTM Zona 19 Sur	Datum: WGS 84	
Versión digital 2022	Impreso: Junio, 2022	



**LEYENDA**

- Derrumbe, Inactivo Latente
- Deslizamiento rotacional, Inactivo
- Erosión en cárcava antropizada rellenada con desechos orgánicos
- Erosión en cárcava antropizada rellenada, Inactivo
- Erosión en cárcava, Activo
- Flujo de lodo, Inactivo latente

**Trama**

- Escarpa de derrumbe
- Erosión en cárcava

**SIMBOLOGÍA**

- Ámbito de intervención ZRESS16
- Zona de Reglamentación especial ZRESS16
- Depósito antrópico rellenada con desechos orgánicos
- Cuerpo de agua
- Manzanas de la ZRESS16
- Vía principal
- Trocha carrozable

**SECTOR ENERGÍA Y MINAS**  
**INGEMMET**  
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

**DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO**

DEPARTAMENTO: CUSCO  
 PROVINCIA: CUSCO  
 DISTRITO: SAN SEBASTIÁN

**PROCESOS DE MOVIMIENTOS EN MASA**

Escala: 1/4,000	Elaborado por: Nuñez, M.	<b>MAPA 04</b>
Proyección: UTM Zona 19 Sur	Datum: WGS 84	
Versión digital 2022	Impreso: Junio, 2022	