SECTOR ENERGÍA Y MINAS

INGEMMET

INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico Nº A6964

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LOS CENTROS POBLADOS DEL CERRO EL AGUSTINO

Región Lima

Provincia Lima

Distrito Santa Anita

OCTUBRE

2019

VERSIÓN N° 001 CARÁTULA DE INFORME TÉCNICO - INGEMMET / 16.10.19

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LOS CENTROS POBLADOS DEL CERRO EL AGUSTINO

(Distrito de Santa Anita, provincia y departamento de Lima)

RESUMEN

1. INTRODUCCIÓN 1
   1.1 Objetivos 1
   1.2 Antecedentes 2

2. ASPECTOS GENERALES 2
   2.1 Ubicación y acceso 2
   2.2 Clima y fisiografía 3

3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS 4
   3.1 Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional 4
   3.2 Geoformas de carácter depositacional o agradacional 5

4. ASPECTOS GEOLÓGICOS 8
   4.1. Unidades litoestratigráficas 8

5. PELIGROS GEOLÓGICOS 13

6. CARTOGRAFÍA DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LOS CENTROS POBLADOS DEL CERRO EL AGUSTINO 16
   6.1 Caídas o desprendimiento de rocas en laderas del cerro El Agustino 16
   6.2 Derrumbes en laderas del cerro El Agustino 28
   6.3 Arenamiento 31

7. PROPUESTA DE PREVENCIÓN Y/O MITIGACIÓN EN LA ZONA EVALUADA 33
   7.1 Para bloques que sobresalen en el talud y no están sueltos 33
   7.2 Para los bloques sueltos 35
   7.3 Gestión de riesgo de desastres y comunicación con comunidades 36

8. CONCLUSIONES 39

9. RECOMENDACIONES 40

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA 41

ANEXOS

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en los centros poblados del cerro El Agustino. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica de calidad e información actualizada, confiable, oportuna y accesible en geología.

Los centros poblados como las Cooperativas de vivienda Virgen de las Nieves y Manuel correa; los AA.HH. Las Terrazas, Los Hijos de Perales, Los Eucaliptos, Vista Alegre, Las Malvinas; sectores Las Terrazas y Cristo Rey y Urb. La Arichana se encuentran al pie de los depósitos coluviales suspendidos en las laderas del cerro El Agustino, en el distrito de Santa Anita. Estos sectores son afectados por peligros geológicos de tipo caída de rocas y derrumbes, que se producen ocasionalmente debido a la presencia de material superficial suspendido en media ladera; afectan viviendas y vías de acceso a los centros poblados.

Entre los factores condicionantes que originaron los peligros geológicos identificados, se tienen: la morfología de las colinas, la pendiente del terreno, la composición litológica y calidad del substrato rocoso. Los sismos y cortes de talud para la construcción de viviendas sin asesoramiento técnico fueron los factores desencadenantes que originaron dichos eventos. También es importante considerar la exposición por la ocupación urbana no planificada en zonas inadecuadas como laderas de pendientes moderadas a fuertes.

Por las condiciones geológicas-geodinámicas y los antecedentes históricos, las localidades mencionadas son consideradas como zonas críticas, de peligro muy alto por caídas, ante la presencia de un sismo o provocados por el inadecuado manejo de taludes. Finalmente, se brindan medidas de prevención y mitigación, viables técnica y económicamente por la población y sus autoridades, para reducir la vulnerabilidad y por tanto el riesgo a los peligros geológicos. Estas propuestas de solución se plantean con la finalidad de minimizar las ocurrencias de los procesos identificados; así como también evitar la generación de nuevas ocurrencias o eventos futuros que causen daños.

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LOS CENTROS POBLADOS DEL CERRO EL AGUSTINO

(Distrito de Santa Anita, provincia y departamento de Lima)

1. INTRODUCCIÓN

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), como ente técnico-científico, incorpora dentro de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) a través de la ACT.7: Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional.

Su alcance contribuye con entidades gubernamentales en los diferentes niveles de gobierno (nacional, regional y local), a partir del reconocimiento, caracterización y diagnóstico de peligros geológicos en territorios susceptibles a movimientos en masa, inundaciones u otros peligros geológicos asociados a eventos hidroclimáticos, sísmicos o de reactivación de fallas geológicas, o asociados a actividad volcánica. Mediante esta asistencia técnica el INGEMMET proporciona un informe técnico que incluye resultados de la evaluación geológica-geodinámica realizada, así como recomendaciones pertinentes para la mitigación y prevención de fenómenos activos o la generación de desastres futuros en el marco del Sistema de Gestión de Riesgo de Desastres.

La Municipalidad Distrital de Santa Anita, a través de la Sub Gerencia de Gestión del Riesgo de Desastres e ITSE, mediante Carta N°0004-2019-MDSA-GODU-SGRDIT, de fecha 10 de junio solicitó un informe técnico sobre peligros geológicos del cerro El Agustino en el sector Santa Anita. La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET, comisionó a los ingenieros Griselda Luque, David Prudencio y Dulio Gómez para realizar la respectiva evaluación geológica-geodinámica durante los días 12, 13 y 14 de agosto del presente año, previa coordinación con personal de la municipalidad, los profesionales Hever Mauricio y Kevin Rojas.

La evaluación técnica, se basó en la recopilación y análisis de información existente de trabajos anteriores realizado por el INGEMMET, la interpretación de imágenes satelitales, visita de campo, toma de datos, (fotografías y puntos de control), cartografía, sobrevuelo en drone para generar DEM de alta resolución, procesamiento de información y redacción del informe.

El informe resultado de esta evaluación, se pone en consideración de la Municipalidad Distrital de Santa Anita, CENEPRED, autoridades y funcionarios competentes, para la ejecución de medidas de mitigación y reducción del riesgo, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

1.1 Objetivos

- Identificar y evaluar desde el punto de vista geológico-geodinámico, las zonas con peligro geológico que afecten o afectaron a zonas urbanas del cerro El Agustino en el distrito de Santa Anita.

- Establecer medidas de prevención, reducción y mitigación de desastres ante los peligros geológicos evaluados en el sector evaluado.

2.2 Antecedentes

Los estudios ejecutados con anterioridad en el área sujeta a evaluación que tratan aspectos señalados en el presente informe son:

- **Peligros geológicos en el área de Lima Metropolitana y la región Callao** (Villacorta *et al*., 2015). De acuerdo a la clasificación de Arellano (2010) agrupa los distritos de Lima Metropolitana en cuatro sectores en donde el distrito de Santa Anita se encuentra en el sector Cono Este. De acuerdo al mapa de susceptibilidad a movimientos en masa, las laderas del cerro El Agustino se encuentran en zonas de media a muy alta susceptibilidad a movimientos en masa.

- **Estudio de microzonificación sísmica y análisis de riesgo en la zona de estudio ubicada en la Municipalidad Distrital de Santa Anita** (UNI-CISMID, 2016), mediante convenio con el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, se realizó la ejecución del estudio con responsabilidad del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería (CISMID), donde se realizaron: la microzonificación geotécnica, zonificación de peligros naturales, microzonificación sísmica, a través de un análisis de la sismicidad de la zona, condiciones geotécnicas, caracterización geológica, determinación de las características físicas y demandas en las edificaciones. Donde identifican para el distrito de Santa Anita, dos zonas de peligro: bajo (terrenos planos del distrito) y medio (laderas del cerro El Agustino).

2. ASPECTOS GENERALES

2.1 Ubicación y acceso

Los centros poblados evaluados se encuentran en el flanco sureste del cerro El Agustino, se ubican al suroeste del distrito de Santa Anita, provincia y departamento de Lima, Limita por el norte, sur y oeste con el distrito de El Agustino, por el este con el distrito de Ate.

La zona evaluada se encuentra entre las coordenadas UTM (WGS 84): 284126E, 8666512N y 283672E, 8667377N, a una altitud de 311 m s.n.m. (figura 1).

El acceso a los centros poblados del cerro El Agustino se realiza por la Avenida Evitamiento, luego sigue por las calles de acceso al cerro El Agustino como se detalla en el siguiente cuadro:

Cuadro 1

Detalle de la ruta de acceso a la zona evaluada

Ruta	Vía	Kilómetros	Tiempo estimado
Lima-Vía Evitamiento-cerro El Agustino (Santa Anita)	asfaltada	7.7	24 min

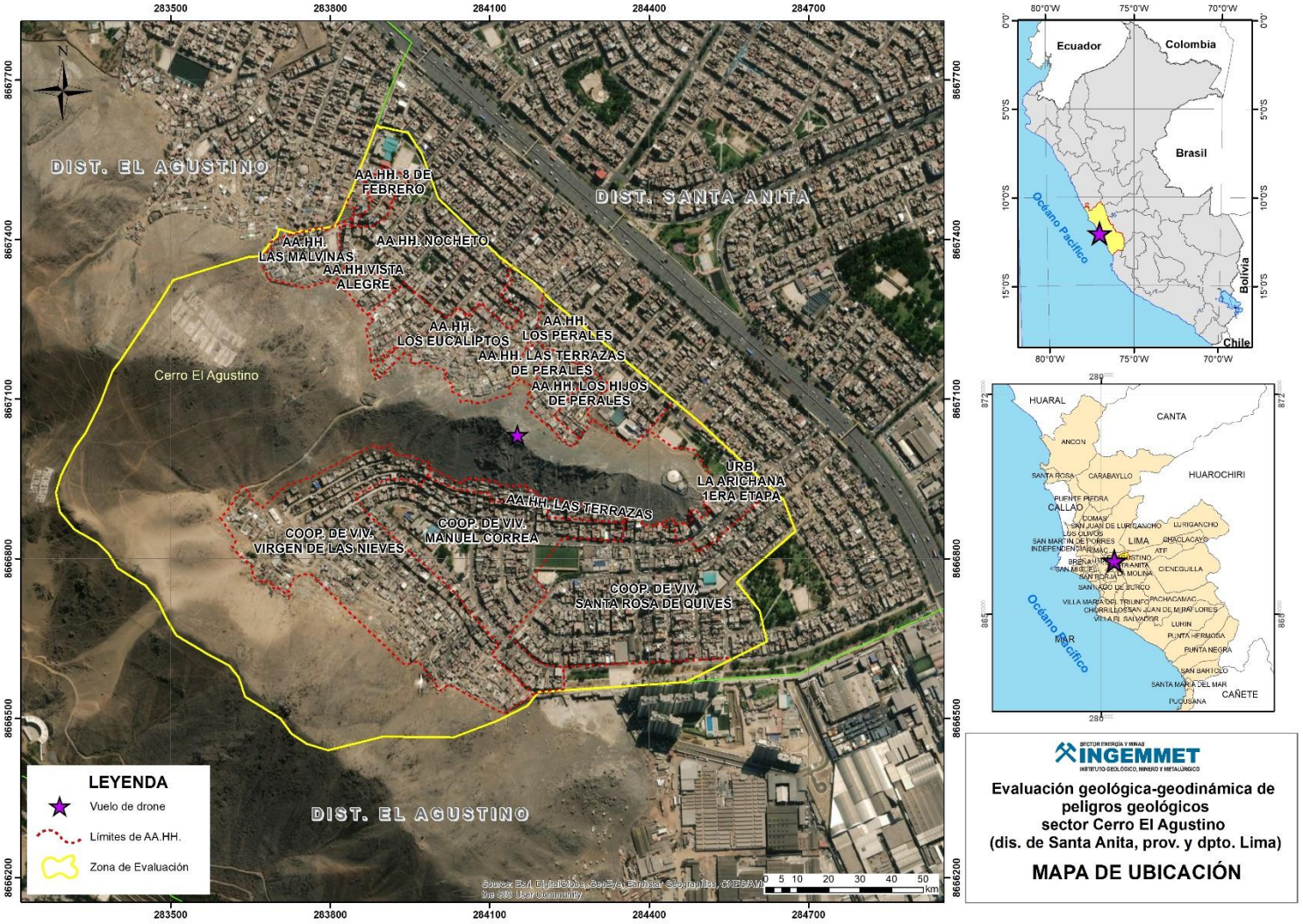


Figura 1. Ubicación de los centros poblados del distrito Santa Anita. Elaboración propia.

2.2 Clima y fisiografía

De acuerdo al mapa climático nacional del SENAMHI (2018), el distrito de Santa Anita presenta temperaturas extremas máximas y mínimas, la media anual es de 18° a 19°C, tiene un clima semi cálido (desértico-árido-sub tropical) con precipitación escasa a nula en la mayor parte del año excepto en años donde hay el Fenómeno El Niño ocasionando precipitación de moderada a fuerte intensidad, con eficiencia térmica semicálida, con un ambiente muy húmedo, en otoño e invierno amanece nublado, esta información está sustentada en la clasificación climática por el método de Thornthwaite con información meteorológica recolectada de aproximadamente 20 años.

3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas en el distrito de Santa Anita, se consideran criterios de control como: la homogeneidad litológica y la caracterización conceptual en base a aspectos del relieve en función a su altura relativa y en relación a la erosión, denudación y sedimentación o acumulación. Se agrupan en cuatro tipos generales: 1) colinas y lomadas, 2) piedemonte, 3) planicie y 4) geoformas eólicas (cuadro 2 y figura 2). Se tomó en cuenta para la clasificación de las unidades geomorfológicas, la publicación de Villota (2005).

Cuadro 2

Unidades geomorfológicas identificadas en la zona evaluada

Unidades geomorfológicas de carácter tectónico degradacional y erosional	
Unidad	**Sub unidad**
Colinas y lomadas	Colina y lomada en roca intrusiva (RCL-ri)
	Colina y lomada en roca sedimentaria (RCL-rs)
Unidades geomorfológicas de carácter depositacional o agradacional	
Unidad	**Sub unidad**
Piedemonte	Vertiente coluvial de detritos (V-d)
Planicie	Llanura o planicie aluvial (Pl-al)
Geoformas eólicas	Mantos de arena (M-a)

3.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional

Resultan del efecto progresivo de los procesos morfodinámicos degradacionales sobre los relieves iniciales originados por la tectónica o sobre algunos paisajes construidos por procesos exógenos agradacionales, estos procesos conducen a la modificación parcial o total de estos a través del tiempo geológico y bajo condiciones climáticas cambiantes (Villota, 2005).

Los paisajes morfológicos, resultantes de los procesos denudativos forman parte de las cadenas montañosas, colinas, lomadas y vertientes, llanuras y terrazas. Dentro de este grupo se tienen las siguientes unidades:

Unidad de colinas y lomadas

Están representadas por colinas y lomadas de relieve complejo y en diferentes grados de disección, de menor altura que una montaña (inferior a 300 m desde el nivel de base local), cuyas laderas se inclinan en promedio con valores superiores a 16% de pendiente.

Subunidad de Relieve de colinas y lomadas en roca intrusiva (RCL-ri)

Corresponde a afloramientos de rocas intrusivas reducidos por procesos denudativos, conforman elevaciones irregulares y alargadas, con laderas de pendiente moderada entre 25 a 45°.

Se identificaron estas geoformas en el flanco este del cerro El Agustino que circundan con los AA.HH. Las Terrazas, Los Hijos de Perales, Lomas de Nocheto, Cristo Rey, Vista Alegre y Las Malvinas y la Cooperativa de Vivienda Virgen de Las Nieves (fotografía 1).

Fotografía 1. Colinas modeladas en roca intrusiva, flanco sureste del cerro El Agustino, al pie se ubica el AA.HH. Las Terrazas.

Subunidad de Colina y lomada en roca sedimentaria (RCL-rs)

Corresponde a afloramientos de roca sedimentaria, reducidos por procesos denudativos, se encuentran conformando elevaciones alargadas, con laderas de baja a moderada pendiente. En el flanco oeste del cerro El Agustino.

3.2 Geoformas de carácter depositacional o agradacional

Estas geoformas son resultado del conjunto de procesos geomorfológicos a los que se puede denominar constructivos, determinados por fuerzas de desplazamiento, como por agentes móviles, tales como: el agua de escorrentía y los vientos; los cuales tienden a nivelar hacia arriba la superficie de la tierra, mediante el depósito de materiales sólidos resultantes de la denudación de terrenos más elevados.

Unidad de piedemonte

Corresponde a planicies inclinadas con topografía de glacís, que se extienden al pie de sistemas montañosos y escarpes de altiplanicies, y que han sido formada por la sedimentación de las corrientes de agua que emergen de los terrenos más elevados hacia las zonas más bajas y abiertas.

Subunidad de Vertiente coluvial de detritos (V-d)

Son las acumulaciones discontinuas de materiales generados al pie de algunos escarpes como consecuencia de procesos de caída libre por simple gravedad, y los taludes de detritos son las formas generadas por la coalescencia de conos en el mismo lugar. Por encontrarse cerca de su fuente de origen, presentan una naturaleza litológica homogénea, sin embargo, su granulometría es variable, con fragmentos angulosos y su grado de compacidad es bajo, no consolidado.

Unidad de planicie

Superficies planas con ligeras ondulaciones. Están asociadas a depósitos aluviales y fluvioglaciares, limitados en muchos casos por depósitos de piedemonte y laderas de montañas o colinas.

Subunidad de Llanura o planicie aluvial (Pl-al)

Se caracterizan por ser terrenos planos (pendiente suave entre 1 y 5°) y de ancho variable. Generalmente se encuentran dispuestas a los costados de la llanura de inundación o del lecho principal de un río, a mayor altura, representan niveles antiguos de sedimentación fluvial. Sobre esta forma de relieve se encuentra asentada la zona urbana del distrito de Santa Anita.

Geoformas eólicas

La capacidad del viento para incorporar partículas al flujo y transportarlas hacia otro lugar afecta exclusivamente a las arenas finas y requiere condiciones de absoluta aridez. La deposición suele suceder a sotavento de relieves u obstáculos como consecuencia de la disminución de la turbulencia del fluido, pero las formas de origen eólico pueden adoptar una variada tipología dependiendo de las variaciones en el sentido del flujo**.**

Subunidad de Mantos de arena (M-a)

Son características de ambientes desérticos. Se trata generalmente de extensas deposiciones de arena eólica en llanuras con pendiente que oscilan entre 0 y 15 %. Se observa en la ladera SE del cerro El Agustino, parte alta de la Cooperativa de vivienda Virgen de Las Nieves, cubierta de vegetación estacional debido a la humedad en la zona (fotografía 2).

Fotografía 2. Vista de los mantos de arena cubriendo colinas en roca intrusiva, en la superficie se aprecia vegetación estacional en la manzana H5 de la Cooperativa de Vivienda Virgen de las Nieves.

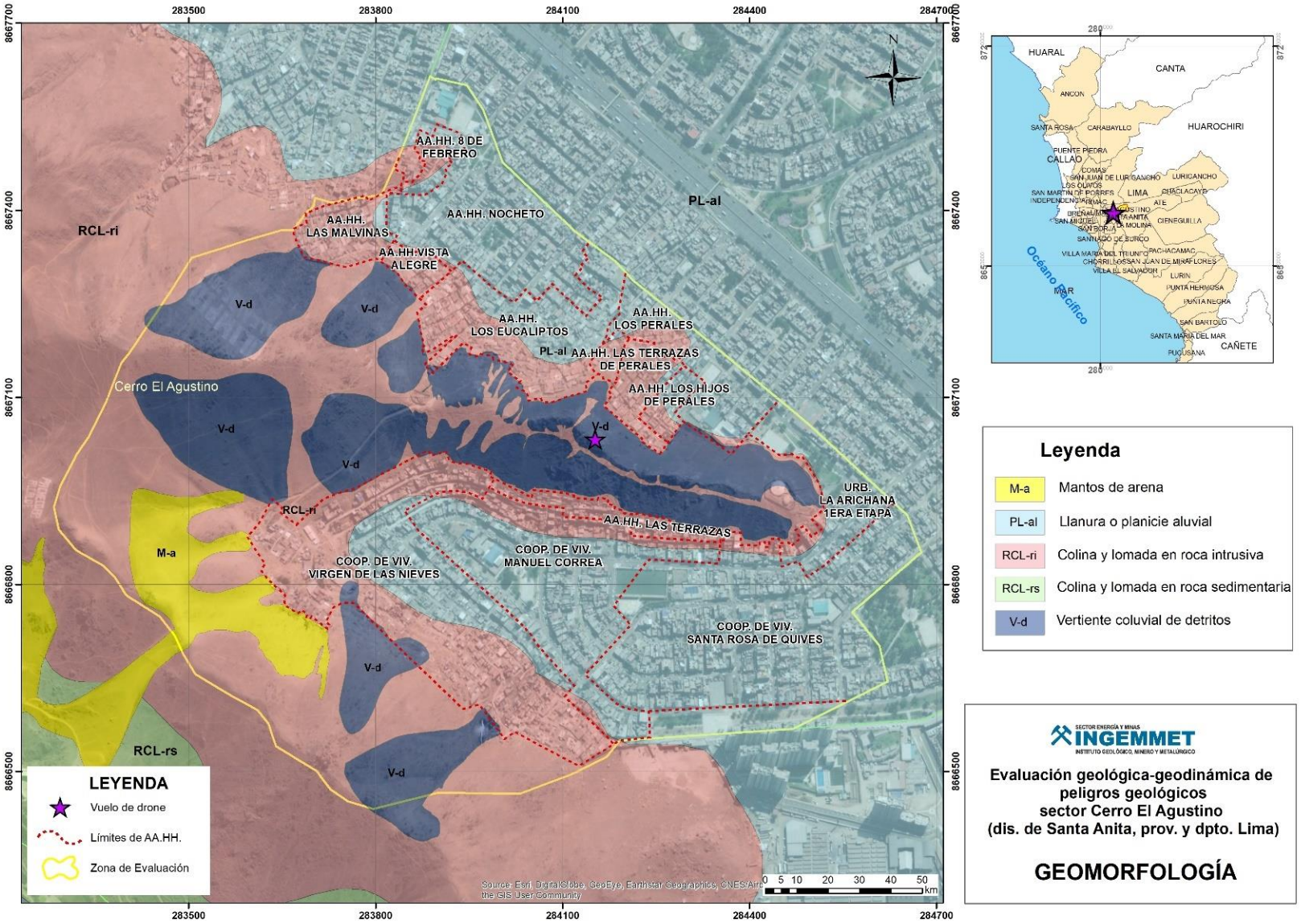


Figura 2. Unidades geomorfológicas de la zona evaluada. Elaboración propia.

4. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico del área de estudio, se desarrolló teniendo como base el Boletín N°43-Geología de los cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica-Hojas: 25-i, 25-j, 24-i, 24-j a escala 1:100 000 (Palacios et al, 1992) y la Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Mala (26-j), Lurín (25-j) y Lima (25-l) escala 1:50 000 (León & De la Cruz, 2003). En la zona de estudio afloran rocas intrusivas tipo gabrodiorita (Super Unidad Patap), así como depósitos Cuaternarios (aluviales, coluviales y eólicos). También se trabajó en base a la interpretación de imágenes de satélite y las observaciones realizadas en campo.

4.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas que afloran en el área de estudio, corresponden a rocas intrusivas y depósitos Cuaternarios (figura 4), diferenciándose las siguientes formaciones:

Formación Atocongo

Estratos gruesos de calizas de color gris clara a beige, altamente silicificadas por metamorfismo termal y areniscas en secuencias gruesas, dispuestas en capas y estratos. Con algunos niveles recristalizados y/o marmolizados con venas de calcita como relleno. Corresponde al distrito El Agustino.

Formación Pamplona

Constituido en la base por calizas alternando con arcillitas limolíticas y niveles tobáceos, margas de disyunción pizarrosa y películas de yeso. En la parte media, se observa calizas en estratificación delgada, intercaladas con arcillitas y margas con contenido de material carbonoso. En la parte superior continua la secuencia con similares características apareciendo niveles de chert, igual que en la base de la Formación Atocongo. Corresponde al distrito El Agustino.

Super Unidad Patap

Dioritas

Las dioritas presentan texturas holocristalinas, resaltando las plagioclasas en una proporción que llega de 80 a 85%, así como hornblendas entre 5 a 10 %.

En el cerro El Agustino, en la urbanización La Achirana, la diorita presenta un color gris oscuro con grano medio y con venas rosadas de pegmatita y pequeños cuerpos de granito como inclusiones de 5 a 6 cm de diámetro (fotografía 3).

Se presenta en forma de stocks con gradación a diorita según Vela, se debe a reemplazos de piroxeno y hornblenda por olivino, con una textura que varía de grano medio a grueso conteniendo plagioclasas en un 30 % y ferromagnesianos en un 60%, al centro este cuerpo presenta un típico color oscuro de gabro y un brillo vítreo (Palacios et al., 1992).

Gabros, gabrodioritas

Constituido por gabros y gabrodioritas. Hacia la parte media y alta del cerro El Agustino, presentando en sus partes marginales gradación a una diorita básica de color oscuro con grano fino a medio con relleno de arcillas en sus fracturas (fotografía 4 y figura 3).

Fotografía 3. Afloramiento de dioritas de la Super Unidad Patap, muy resistentes en la urb. Villa La Achirana.

Fotografía 4. Gabrodioritas con presencia de fracturas abiertas con relleno de arcillas, muy cerca al pozo de agua potable que se encuentra en la parte alta de la Cooperativa de Vivienda Virgen de la Nieves.

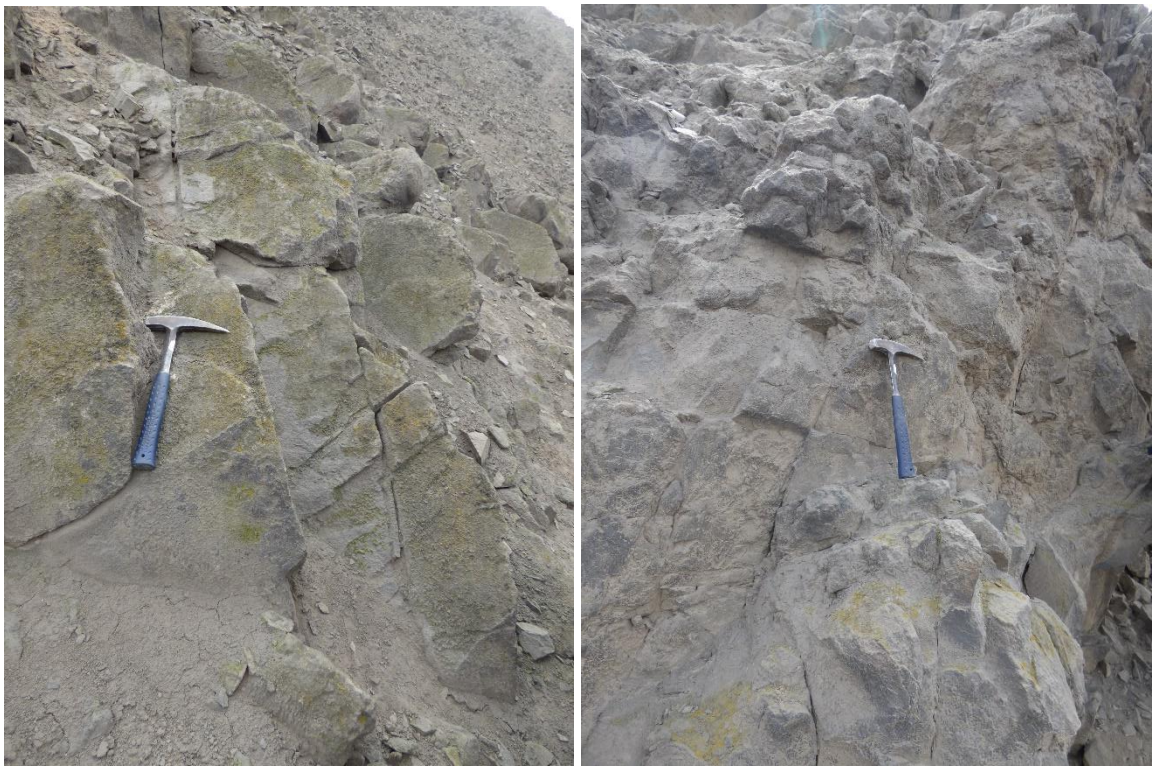


Figura 3. Afloramiento de gabrodioritas en ladera del cerro El Agustino, arriba del AA.HH. Las Terrazas.

Depósitos Cuaternarios:

Depósitos aluviales Pleistocénicos

Constituido por arenas, gravas, conglomerados. Se encuentran formando los abanicos aluviales del río Rímac ostentando espesores de decenas de metros, sobre los que se asientan los centros urbanos; conteniendo acuíferos notables y donde se asientan numerosas poblaciones.

Depósitos coluviales

Presenta depósitos generados por efectos de la erosión y la meteorización de la roca intrusiva presente, producto de la acumulación de materiales por acción de la gravedad y depositado en las laderas del cerro El Agustino, con profundidad no mayor a 50 cm, conformado por arenas, grabas y bloques de hasta 6 m de diámetro, por lo que estos bloques se encuentran sueltos, se aprecia en las en las laderas del cerro (fotografía 5).

Fotografía 5. Depósitos coluviales en la parte alta del AA.HH. Las Malvinas

Depósitos eólicos

Presenta depósitos de arenas medias a finas, acumuladas en las zonas cóncavas de las laderas del Cerro El Agustino, no presenta compactación alguna, se encuentra en proceso de depositación y removilización constante por la pendiente mayor a 35°, están dispuestas en bancos de poca profundidad (fotografía 6).

Fotografía 6. Depósitos eólicos en la parte alta de la Cooperativa de Vivienda Virgen de las Nieves

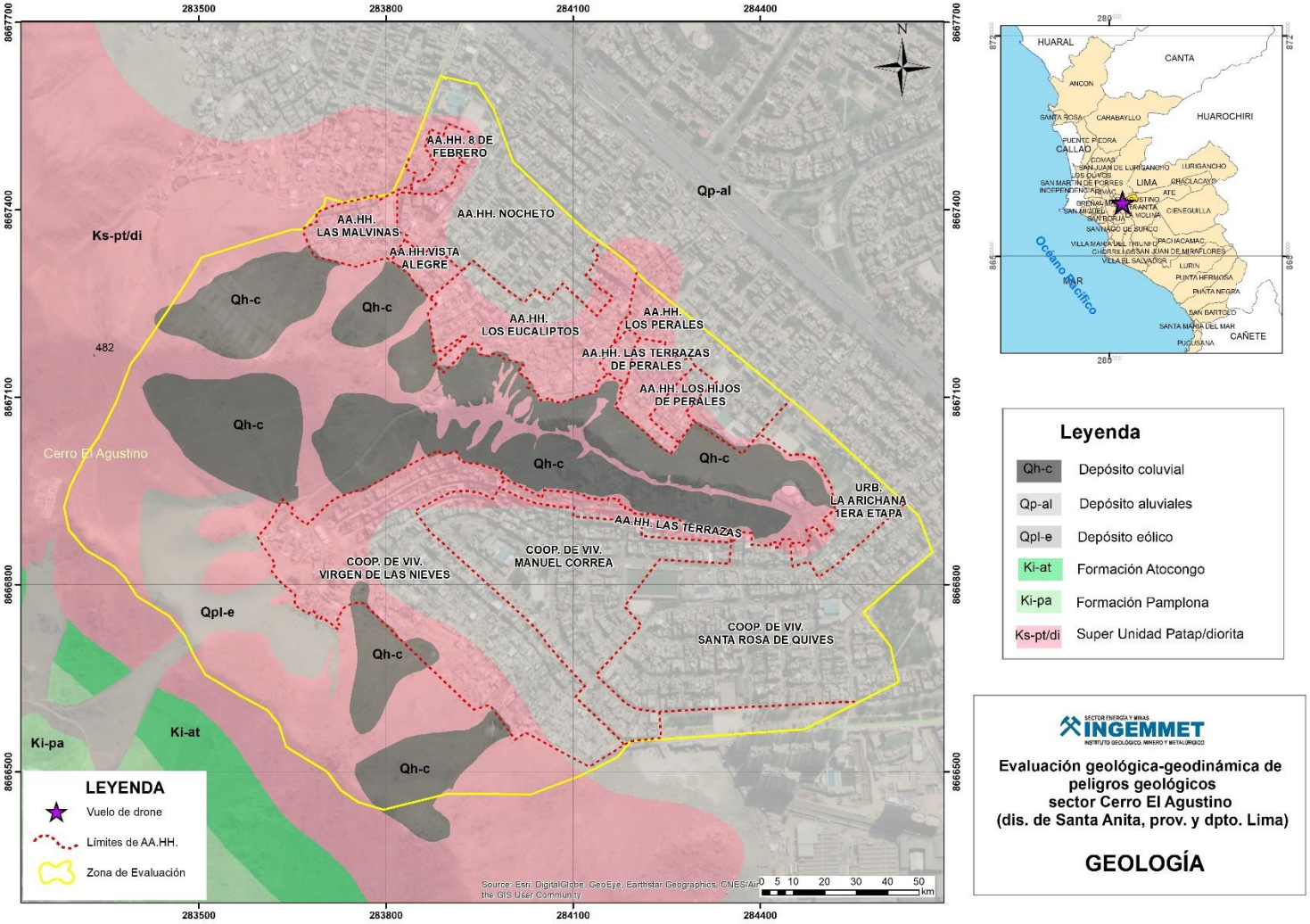


Figura 4. Geología de la zona evaluada. Modificado de Palacios et al., 1992.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

Conceptos básicos

Los peligros geológicos que ponen en riesgo a personas e infraestructura, pueden producirse por la dinámica del medio geológico del entorno (Fidel *et al*., 2006).

En la zona costera y en el caso del cerro El Agustino, la escasa precipitación es uno de los principales factores del avance de las arenas, debido a que los vientos erosionan, transportan y depositan las partículas del suelo, formando mantos de arena o dunas (Villacorta *et al*., 2008).

Caídas o desprendimientos de rocas

Son un tipo de movimiento en masa, en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de la ladera (figura 5). Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978). El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido (Cruden y Varnes, 1996), es decir velocidades mayores a 50 mm/s. Una descripción de estos procesos en el área de estudio se presenta en el acápite 6.1.

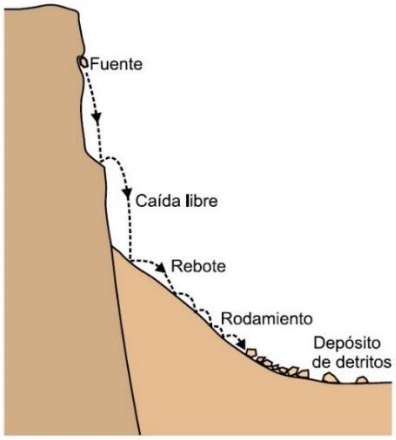


Figura 5. Esquema de una caída de detritos por pendientes pronunciadas (PMA, 2007).

Derrumbes

Movimiento en masa asociado a la inestabilidad de laderas de los cerros, consiste en el desprendimiento y caída repentina de una masa de rocas y suelo, normalmente ocasionada por sismos, actividad humana y fuerte precipitaciones (figura 6).

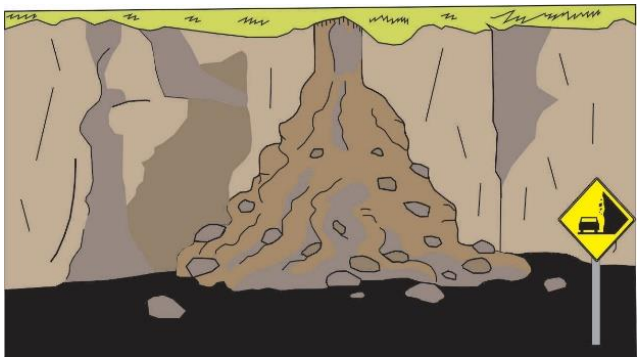


Figura 6. Esquema de derrumbe. Elaboración propia.

Arenamiento

La ausencia y/o escasa precipitación es uno de los principales factores del avance de la arena, debido a que los vientos erosionan, transportan y depositan las partículas de suelo, en áreas secas donde el suelo no es retenido por la vegetación, favorecen la migración y acumulación de arena en forma de mantos de arena, médanos o dunas (Villacorta *et al*., 2008).

Sismos

La ciudad de Lima se encuentra en una zona de alta actividad sísmica, por lo que sus laderas están expuestas a los efectos de sismo de gran magnitud. Se debe tener en cuenta que los sismo ocurridos en Lima en el pasado, afectaron áreas que en ese entonces no estaban habitadas.

El terremoto del 15 de agosto del 2007 en Pisco, tuvo repercusiones en Lima Metropolitana, habiéndose registrado niveles moderados de daño en algunos distritos como La Molina, Barranco, Chorrillos y La Punta-Callao, donde las características del subsuelo son diferentes a las encontradas en el Centro de Lima.

De acuerdo a los estudios de microzonificación sísmica en el distrito de Santa Anita del Centro Peruano-Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID, 2016) elaborados para la Municipalidad distrital de Santa Anita, se pueden identificar dos zonas sísmicas en el distrito de Santa Anita:

<u>Zona I</u>

Está conformada por áreas de afloramiento de roca con diferentes grados de fracturación y los depósitos de gravas de compacidad media a densa. El tipo de suelo de cimentación descrito en esta zona presenta las mejores características geotécnicas para la cimentación de edificaciones convencionales.

La capacidad de carga admisible de una cimentación corrida de 0.60 m de ancho a la profundidad de 1.00 a 1.50 m en esta zona es mayor a 5.0 kg/cm^2 si se desplanta sobre la roca ligeramente alterada o sana y de 2.0 kg/cm^2 a 4.0 kg/cm^2 si se desplanta sobre la grava. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos y si fuera el caso este deberá ser removido en su totalidad.

El comportamiento dinámico del material en esta zona es adecuado, se espera que no se incremente el nivel de peligro sísmico estimado. Los valores de períodos de oscilación lateral del suelo en esta zona son menores a 0.2 s. Esta zona comprende la mayor parte del área de estudio (figura 6).

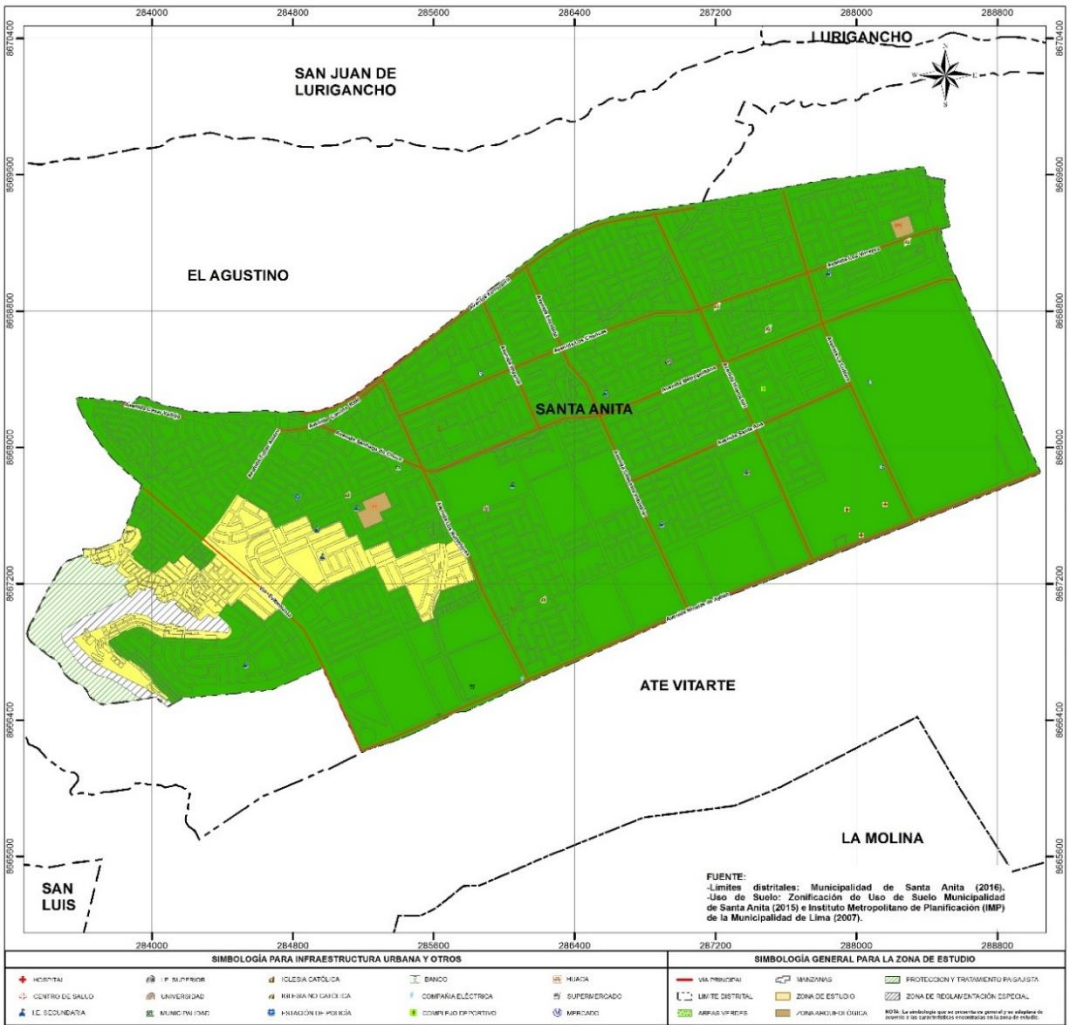
<u>Zona II</u>

Esta zona comprende depósitos de arenas de compacidad media a densa, y depósitos de arcillas de consistencia media a dura. Estos materiales presentan espesores de 3 a 6 metros aproximadamente y yacen sobre la grava aluvial. Los tipos de suelos descritos en esta zona presentan características geotécnicas favorables para la cimentación de edificaciones.

La capacidad de carga admisible de una cimentación corrida de 0.60 m de ancho a la profundidad de 1.00 a 1.50 m en esta zona, varía entre 1.0 kg/cm^2 y 2.0 kg/cm^2. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos.

En esta zona se espera un ligero incremento del nivel de peligro sísmico estimado por efecto del comportamiento dinámico del suelo. Los valores de períodos de oscilación lateral del suelo en esta zona

son menores a 0.3 s. Pertenece también a esta zona, las laderas del cerro El Agustino que son de pendiente moderada, conformada por rocas ígneas y sedimentarias, que por meteorización han formado depósitos coluviales; algunas laderas están cubiertas por arenas eólicas. La Zona II se ubica al oeste del área de estudio.



ZONA	DESCRIPCIÓN	AREA (Ha)	AREA (%)
ZONA I:	Zonas de afloramiento de roca con diferentes grados de fracturación y depósitos de gravas de compacidad media a densa. Períodos menores a 0.20 s.	955.45	88.81
ZONA II:	Depósitos de arenas de compacidad media a densa y depòsitos de arcillas de consistencia media a dura. Afloramiento de roca con diferentes grados de fracturación, con peligro geológico medio. Períodos mayores a 0.2 s. y menores a 0.3 s.	80.85	7.52
OTROS	Zona protección y tratamiento paisajista; zonas de reglamentación especial, y zonas arqueológicas dentro del área de estudio.	39.51	3.67
	Total:	1075.81	100.00

Figura 7. Mapa de microzonificación sísmica del distrito de Santa Anita (CISMID, 2016).

6. CARTOGRAFÍA DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LOS CENTROS POBLADOS DEL CERRO EL AGUSTINO

Para evaluar las condiciones de inestabilidad de laderas en la zona de estudio ha sido necesario efectuar la cartografía y caracterización de movimientos en masa mediante el cual fueron reconocidos los siguientes procesos:

- Caída o desprendimientos de rocas
- Derrumbes

La caracterización de movimientos en masa de efectuó empleando la Guía de Movimientos en Masa en la Región Andina (PMA, 2007) y la clasificación de Vanes (1978).

6.1 Procesos de movimientos en masa más frecuentes en el área evaluada

Los procesos más frecuentes detectados en el área evaluada son las caídas de rocas, derrumbes y otros peligros como arenamiento. Por otro lado, sabiendo que el Perú se encuentra en una zona de alta sismicidad (Cinturón de Fuego del Pacífico), también es importante tener en cuenta la actividad sísmica que produciría a su vez la remoción de los bloques de rocas y canchales inconsolidados dispuestos en las laderas del cerro El Agustino de manera inestable.

Caídas o desprendimiento de rocas en laderas del cerro El Agustino

Las caídas o desprendimientos reconocidas en el área de estudio son numerosas. En algunos se aprecian una gran cantidad de bloques sueltos que podrían caer sobre las viviendas, en caso de sismos y/o lluvias intensas (excepcionales).

Se han localizado ocho sectores con probabilidad de producirse caídas de rocas (figuras 8 a 13 y fotografías 7 a 16), estos son: las partes altas de la Cooperativa de vivienda Virgen de las Nieves y los AA.HH. Las Terrazas, La Arichana, Los Hijos de Perales-Los Eucaliptos, Vista Alegre y Las Malvinas.

En las laderas que rodean estos asentamientos humanos se aprecian depósitos de caídas antiguos y recientes. Estas se caracterizan por ser acumulaciones inconsolidadas de fragmentos de roca con tamaños entre 0.1 a 2.0 m de formas angulosas, subangulosas y algunas subredondeadas (esta última por meteorización esferoidal); con escasa matriz.

En la zona de estudio se identificó la susceptibilidad a caídas de rocas, formado por laderas que presentan pendientes muy fuertes, en la superficie de la ladera de la montaña se tienen rocas sueltas que indican que se movieron en algún momento y quedaron en medio de la ladera generando a simple vistas sectores con rocas predispuestas a volver a caer, la disposición de los bloques es relativamente ordenada en relación al tamaño, agrupados en zonas convexas de las laderas, el tamaño depende del grado de fracturamiento que presenta en el sector. Este fenómeno se da por presentar proceso erosivo en todos los sectores mayormente en zonas de debilidad que presenta la roca, podemos apreciar venas de calcita y zonas muy fracturadas debido a esfuerzos físicos intrusivos en el macizo rocoso, que son posteriores intrusiones de elementos en relación a la primigenia por lo que apreciamos estas fracturas, los bloques de rocas presentan tamaños de hasta 2 m de diámetro aproximadamente en el sector noreste del cerro.

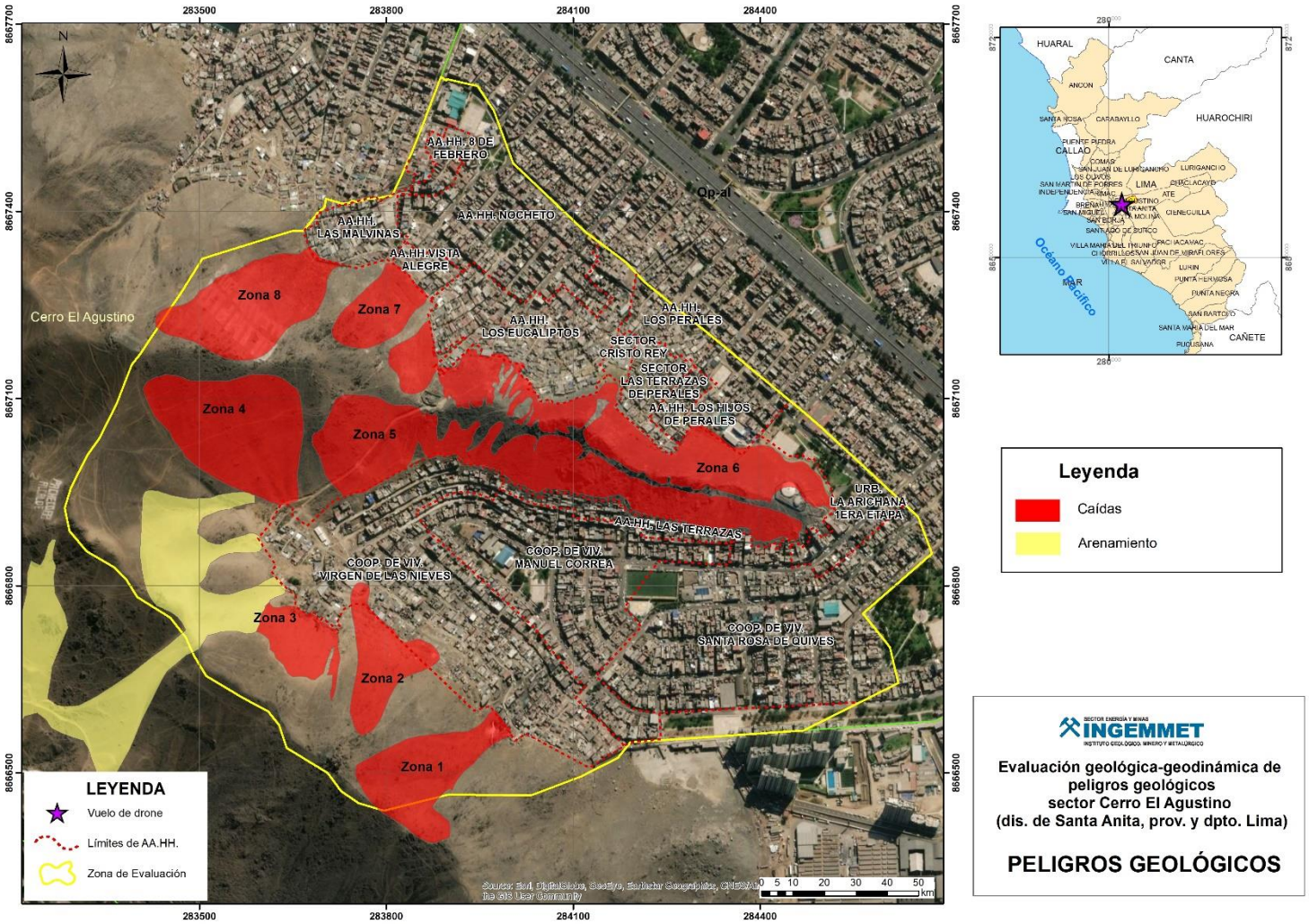
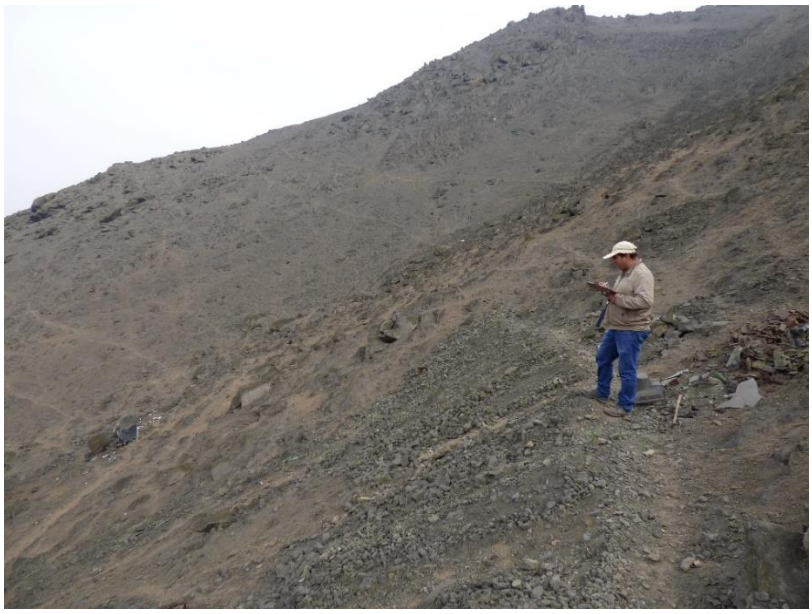


Figura 8. Peligros geológicos identificados en el cerro El Agustino, Santa Anita.

Las pendientes de la zona están en promedio de 25° de ángulo las mayores pendientes que puede presentar también son de hasta 43° los tamaños de las rocas sueltas en las laderas también son varíales como en el sector noreste del cerro con diámetros de hasta 2 m y en la zona sur oeste bloques de hasta 20 cm.

Fotografía 7. Zona 1, Vista de drone, se observa depósitos coluviales, con bloques subangulosos de hasta 1 m de diámetro suspendidos en las laderas del cerro El Agustino, las zonas más afectadas son las viviendas de las manzanas Ñ1 y M2 de la Cooperativa de Vivienda Virgen de Las Nieves.



Fotografía 8. Depósitos coluviales suspendidos en el flanco sureste del cerro El Agustino, en la parte alta de la manzana Ñ1 de la Cooperativa de Vivienda Virgen de Las Nieves, ladera con pendiente de 25°en la zona 1.

Figura 9. Zona 2, los pobladores del sector han colocado andenes de pirca y llantas en la manzana H de la Cooperativa de Vivienda Virgen, para proteger de las caídas de rocas y arena proveniente de la parte alta.

Figura 10. Zona 2, Bloques suspendidos en las laderas del cerro El Agustino, parte alta de las manzanas G1 y G2 de la Cooperativa de vivienda Virgen de Las Nieves, en caso de sismos se puede generar caídas de rocas, que afectaría las viviendas precarias.

Figura 11. Zona 3, derrumbes en la parte alta en depósitos de arena y coluviales, con presencia de grietas en plataforma de la manzana H5 de la Cooperativa de Vivienda Virgen de Las Nieves.

Figura 12. Depósitos de arena con espesores entre 60 a 80 cm, de grano medio, en el flanco sureste del cerro El Agustino, en la parte alta de la manzana H5 de la Cooperativa de Vivienda Virgen de Las Nieves. Al extraer material en la base se generan derrumbes en la zona 3.

Fotografía 9. Zona 4, derrumbes y desprendimiento de rocas en las manzanas A2, B, B1, B2 de la Cooperativa Virgen de Las Nieves.

Fotografía 10. Zona 5, derrumbes y desprendimiento de rocas en las manzanas C1 de la Cooperativa Virgen de Las Nieves y manzanas A, C y D del AA.HH. Las Terrazas.

Fotografía 11. Zona 5, derrumbes y desprendimiento de rocas en la parte alta de la manzana B2 de la Cooperativa Virgen de Las Nieves, en laderas con pendiente de 36°.

Figura 13. Bloque de hasta 2 m de diámetro, suspendido en ladera de pendiente muy fuerte 43°, ubicado encima de un reservorio abandonado, en la parte alta de la manzana C del AA.HH. Las Terrazas, en ladera con pendiente de 43°.

Fotografía 12. Zona 6, derrumbes y desprendimiento de detritos en la parte alta del AA.HH. Hijos de Perales y Las Terrazas de Perales, la presencia de los silos humedece el terreno, aumentando la inestabilidad de estas laderas.

Fotografía 13. Zona 7, derrumbes y desprendimientos de rocas de hasta 1 m de diámetro en la parte alta de las manzanas A, B y C del AA.HH. Vista Alegre al SE del cerro El Agustino.

Fotografía 14. Zona 7, derrumbes y desprendimientos de rocas de hasta 1 m de diámetro en la parte alta del AA.HH. Vista Alegre al SE del cerro El Agustino.

Fotografía 15. Zona 8, derrumbe y desprendimientos de rocas en la parte alta de las manzanas H, I del AA.HH. Las Malvinas al SE del cerro El Agustino. Vista del drone.

Fotografía 16. Zona 8, derrumbe y desprendimiento de rocas de hasta 2 m de diámetro en la parte alta de las manzanas H, I del AA.HH. Las Malvinas al SE del cerro El Agustino, ladera con pendiente de 36°

Análisis de caídas de rocas del cerro El Agustino

Para conocer con más detalle las características de las caídas de rocas fue necesario generar escenarios que permitan conocer el movimiento del bloque de rocas y su longitud con mayor precisión. Para ello se utilizó el software Rockfall, para conocer los alcances máximos de desplazamiento y acumulación de rocas de acuerdo a determinadas condiciones (topografía, materiales, entre otros),

en dos dimensiones. Para desarrollar estos escenarios se utilizaron secciones transversales de la ladera (Anexo), obtenidas de un DEM a detalle generado de las fotografías aéreas tomadas por Remote Piloted Aircraft (RPA) y un modelo de flujo para obtener la dirección de desplazamientos de los bloques desprendidos.

Con estos perfiles se pudo exportar al software Rockfall para realizar modelos de cada una de estas caídas que se podrían generar, de acuerdo a las zonas susceptibles por caída identificadas en las laderas del cerro El Agustino, para nuestros modelos identificamos dos tipos de suelos, los de laderas con materiales sueltos arenas y limos como también los de la zona con construcciones con veredas vías y lotes con materiales de madera y concreto, los bloques caídos de roca también fueron catalogados por sus tamaños promedio de cada grupo y su peso que tiene según su volumen y densidad, teniendo rocas sueltas desde 0.5 kg hasta rocas con 45 000 kg de peso.

El sistema genera modelos de caída de un punto referencial realizado en las zonas de estudio y sus alcances más lejanos, realizando 50 tipos de caídas de un modelo definido de roca por cada perfil planteado.

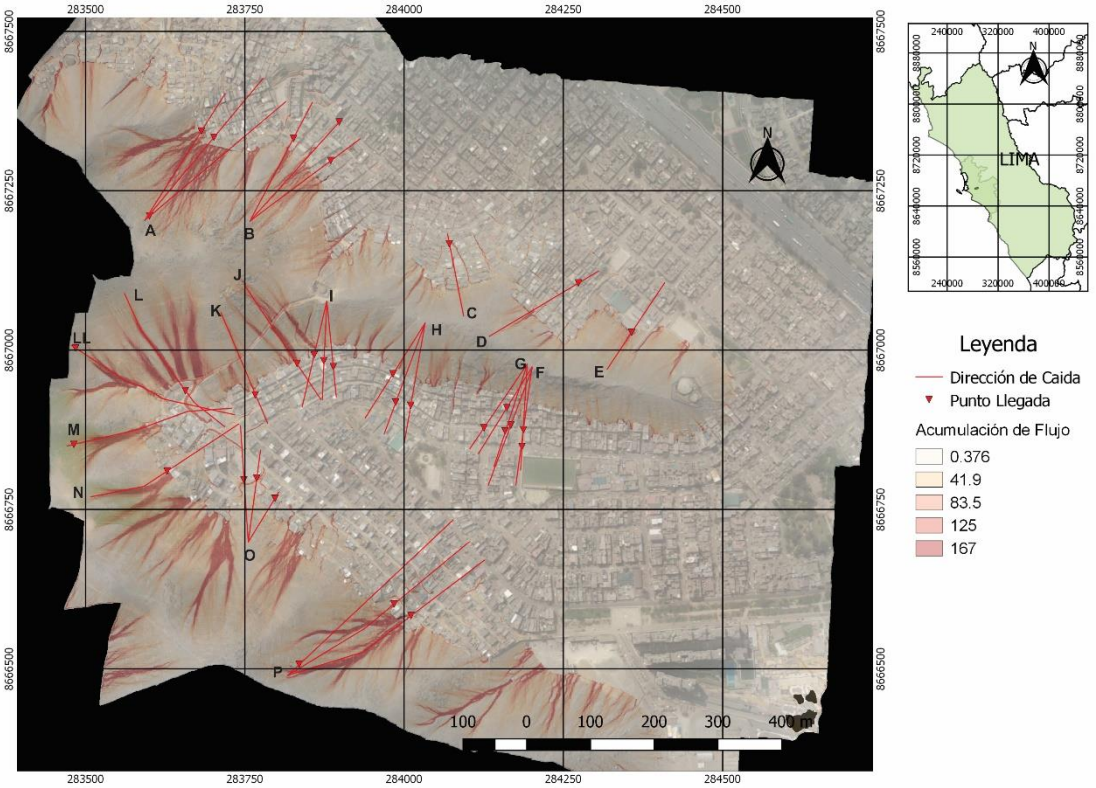


Figura 14. Imagen donde se ubica las líneas de perfil donde se generó las simulaciones de caída de rocas en el cerro El Agustino, Santa Anita.

Se tuvo en cuenta la comparación con un solo substrato (intrusivos) dado que, la totalidad de la ladera evaluada del cerro El Agustino presenta afloramientos rocosos. Otra limitación que podría reducirse con la comparación, es que los rebotes no siempre continúan en línea recta, así como superficie de diferente forma y composición, que cambia el comportamiento del bloque, reduciendo o acelerando su velocidad, dependiendo del caso, como ejemplo sobre los depósitos de arena. Los escenarios simulados para ladera homogénea dieron como resultado que, en las secciones propuestas, el alcance máximo varía entre 69 a 230 m desde su origen, en las 8 zonas evaluadas:

En la zona 1, se realizaron tres escenarios simulados con bloques de 625 kg, con alcance máximo de hasta 218 m, afectando viviendas de las manzanas M1, M2 y Ñ1, a inicios del pasaje San Ignacio de la Cooperativa de Vivienda Virgen de las Nieves.

Para la zona 2, se realizaron 3 simulaciones, con bloques de 1 kg cuyo alcance máximo es de 100 m hasta la calle Virgen de la Puerta con la calle Virgen de Cocharcas muy cerca de la plataforma deportiva, afectando en su trayecto a viviendas de la manzana G1 de la Cooperativa de Vivienda Virgen de las Nieves.

En la zona 3, las simulaciones se realizaron con bloques de 625 kg, alcanzó un desplazamiento máximo de 129 m hasta la coordenada 283621 O, 8666810 N, puede afectar vivienda de la manzana H5 de la Cooperativa de Vivienda Virgen de las Nieves. En esta zona se encuentran depósitos de arena.

En la zona 4, se realizaron dos simulaciones con bloques de 0.5 kg con alcances máximos de 141 m y 180 m, que llegarían hasta la trocha de acceso al pozo de agua potable y el cruce de la Av. Virgen de las Nieves y pasaje Virgen de Chapi respectivamente de la Cooperativa de Vivienda Virgen de las Nieves. La caída llega a afectar viviendas asentadas al pie de ladera.

En la zona 5, se realizaron varias simulaciones (secciones F, G, H, I, J), en las simulaciones F y G se realizaron con bloques de hasta 45000 kg, los cuales alcanzaron como desplazamiento máximo 101 m (hasta el cruce del Jr. Los Cactus y Los Arenales) afectando también viviendas del pasaje S/N del A.H. Las Terrazas y 130.5 m (cruce del Jr. Los Cactus y Marsella) de la Cooperativa de Vivienda Manuel Correa. En el sector con coordenadas 284188 O; 8666981 N, se puede observar un bloque de hasta 2 m de diámetro, sobre los 370 m s. n.m., ladera con pendiente de 43°.

En la zona 6, se realizaron tres escenarios con bloques de hasta 625 kg. Se realizaron tres simulaciones (secciones C1, D, E1). En la primera simulación (C1) el alcance máximo es de 1150 a 276 m s.n.m. podría afectar hasta donde empieza la manzana G2, pasaje Fabula Salvaje del A.H. Los Eucaliptos. En las siguientes simulaciones tienen un alcance máximo de 165 m y 69 m, pudiendo afectar viviendas de las manzanas E5, G1 del A.H. Los Perales.

En la zona 7, se realizaron tres escenarios corridos para la ladera actual con bloques de hasta 5 kg, en el primero (sección B1 del anexo) pueden afectar a las viviendas de la manzana B (pasaje 3 del A.H. Vista Alegre) con un desplazamiento máximo de 159 m desde su origen, en la sección B2 alcanza los 231 m hasta el Jirón Manuel Scorza del A.H. Vista Alegre y en el escenario B3 alcanza 147 m, afectando viviendas al pie de la laderas entre las manzanas K y E (límite entre los AA.HH. Las Malvinas y Vista Alegre).

Finalmente, para la zona 8, los escenarios simulados para ladera del cerro El Agustino dieron como resultado que, en las secciones propuestas, con bloques de hasta 250 kg el alcance máximo varía entre 165 a 169 m desde su origen (310 m s.n.m.) donde pueden afectarse viviendas de las manzanas F y G que se encuentran cerca al pasaje La Unión y Pasaje Río de la Plata del A.H. Las Malvinas.

Del análisis de la simulación se obtiene, que las rocas desprendidas del cerro El Agustino pueden a afectar a las viviendas del pie de ladera hasta los 230 m, desde sus orígenes identificados. Los bloques aumentan la energía de velocidad a media ladera cuando entra en contacto con substrato rocoso, reducen sobre depósitos de arena o cobertura vegetal. Las rocas se acumulan a media laderas y al pie de ladera y en otras zonas con barreras topográficas marcadas (muros). Es importante mencionar que los escenarios fueron generados para rocas con peso entre 0.5 y 45000 kg, las que tienen semejantes características a los últimos eventos desencadenados en la zona.

Derrumbes en laderas del cerro El Agustino

En el sector de estudio, también se han reconocido sectores susceptibles a este tipo de proceso en las partes altas de los AA.HH. Las Malvinas, Vista Alegre. Es importante destacar que los procesos de meteorización y alteración, aunados al fracturamiento de las rocas han facilitado la presencia de material inestable (bloques sueltos) propenso a los derrumbes en las laderas del cerro El Agustino.

CAUSAS DE OCURRENCIA DE LAS CAÍDAS

Los peligros geológicos que tienen mayor incidencia en la zona evaluada están relacionados con procesos gravitatorios. Es importante determinar cómo se generan los procesos terrestres potencialmente peligrosos, para poder evaluar el peligro asociado a ellos y proponer medidas preventivas o correctivas. En general, como causas de su ocurrencia se pueden citar factores naturales y antrópicos (Fidel et al., 2006).

Factores naturales

Se dividen en dos tipos: los parámetros intrínsecos (condiciones de suelo y roca, pendiente de las laderas) y los parámetros externos (actividad sísmica).

Parámetros intrínsecos:

a) Condiciones de suelo y roca: la presencia de depósitos superficiales sueltos, suelos saturados de agua por antiguos sistemas de saneamiento, discontinuidades y zonas de alteración en las rocas en el cerro El Agustino que rodea los AA.HH. del distrito de Santa Anita favorecen la generación de peligros geológicos.

b) Pendiente: para el caso de los movimientos en masa, a mayor pendiente mayor es el peligro, lo observamos en los asentamientos humanos que se ubican al pie y en las laderas del cerro El Agustino, que varía de muy fuertes a escarpadas (25° a 42°).

Parámetros externos:

a) Precipitaciones pluviales: la cantidad y duración de la lluvia ocasionan la movilización de material suelto e inestable debido a eventos asociados a lluvias excepcionales como las del fenómeno El Niño

b) Actividad sísmica: un sismo genera vibraciones que pueden desestabilizar las laderas. A mayor intensidad, duración y frecuencia de la actividad sísmica, mayor es el peligro; por ejemplo, los sismos de 1966 y 1974 provocaron fuertes caídas de rocas y derrumbes en las laderas de los cerros de Lima Metropolitana.

Factores antrópicos (actividad humana)

Se puede diferenciar dentro de los factores antrópicos, las actividades que contribuyen a la inestabilidad de las laderas (excavaciones, explosiones), las prácticas inadecuadas de construcción (terraplenes artesanales, sobrecarga, etc.) y la ocupación inadecuada del territorio.

Actividades que contribuyen a la inestabilidad de las laderas. Las excavaciones para la construcción de viviendas, edificios, escuelas, puentes, carreteras, entre otros, contribuyen a la inestabilidad de las laderas. La construcción de carreteras debilita los materiales (suelos y rocas), si no se realizan labores de desquinche o perfilado del talud de corte. Las actividades extractivas que producen socavones y canteras posteriormente rellenadas para la construcción de viviendas también han producido desastres, como el caso de las viviendas ubicadas en la manzana H5 de la Cooperativa de Vivienda Virgen de las Nieves donde extraen arena.

Prácticas inadecuadas de construcción. El uso de terraplenes artesanales inestables (pircas, llantas, costalillos de arena, etc.) contribuyen a incrementar el grado de vulnerabilidad de las poblaciones. Muchas viviendas de asentamientos humanos de Santa Anita, como las ubicadas en la manzana H de la Cooperativa de Vivienda Virgen de Las Nieves han sido levantadas sobre pircas, bases artesanales que son propensas a derrumbes por sismicidad, sobrecarga o humedecimiento del terreno. Las pircas están constituidas por bloques de roca y gravas apilados sobre una ladera con el fin de nivelar el terreno con respecto a la pendiente. Los costalillos de arena o muros de llantas no proporcionan ninguna seguridad ya que se revientan o desmoronan. Son sobrecargas debido a construcciones en laderas: rellenos, acumulación de materiales, muros, reservorios de agua, etc.

Ocupación inadecuada del territorio**.** La población se hace más vulnerable cuando se ubica en terrenos susceptibles a sufrir los efectos de los procesos naturales, como en el caso de los centros poblados en el cerro El Agustino donde las viviendas se ubican en laderas inestables, depósitos de movimientos en masa antiguos (derrumbes y desprendimiento de caídas), zonas arenosas; al pie de los taludes de corte de carreteras, entre otros. Esto sucede porque no se consideran los factores geológicos, climáticos, procesos geodinámicos, etc. al momento de elegir un lugar para vivir. Se dan casos en que las autoridades locales, regionales y nacional permiten a los pobladores que se ubiquen en estas zonas, inclusive proporcionándoles servicios básicos (luz, agua y desagüe).

ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA

De acuerdo al mapa de susceptibilidad elaborado para Lima Metropolitana (Villacorta *et al.*, 2015), el sector se encuentra en una zona de baja a muy alta susceptibilidad a movimientos en masa (figura 15).

Susceptibilidad muy baja, corresponde generalmente a terrenos de pendiente muy baja, con escasos o ningún indicio de eventos antiguos. Se distinguen algunos sectores en la zona baja de los AA.HH. Nocheto, Los Perales y en algunos sectores de Santa Rosa de Quives. en la figura 9 se encuentra con color verde oscuro.

Susceptibilidad baja, los terrenos involucrados son de pendiente baja y los procesos reconocidos son excepcionales. Se observan terrenos con esta categoría en todo el sector estudiado, principalmente en la Cooperativa de Vivienda Santa Rosa de Quives, y las viviendas cerca de la Av. Evitamiento. Se muestra en la figura 9 con color verde claro.

Susceptibilidad media, está relacionada a zonas con pendientes moderadas menores a 30° y a la presencia de rocas meteorizadas o suelos residuo-coluviales con pocos indicios de actividad en el pasado y algunas zonas con reactivación por la actividad antrópica (corte del talud para construir viviendas, carreteras, postes, etc.). Se distribuyen en gran parte en las laderas del cerro El Agustino. La estabilidad de estas áreas puede mantenerse relativamente estable si no se modifica su topografía por acción antrópica. Colinda en algunos casos con zonas de alta a muy alta susceptibilidad, pudiendo verse afectadas, si estas se reactivan.

Susceptibilidad alta, contiene laderas con pendientes fuertes (30 a 35°) y depósitos residuales y coluviales, poco a medianamente consolidados. Las rocas intrusivas del substrato se encuentran meteorizadas, con indicios de inestabilidad y presencia de procesos activos y antiguas caídas y desprendimientos de rocas. Destacan los terrenos de la parte alta del cerro El Agustino. Parte alta de la Cooperativa de vivienda Virgen de Las Nieves, los AA.HH. Las Terrazas, Los Hijos de Perales, Los Eucaliptos, Vista Alegre y Las Malvinas.

Susceptibilidad muy alta. Por sus características geológicas concentra un número importante de depósitos de movimientos en masa activos y con indicios de reactivación. Corresponde a un susbtrato constituido por gabrodiorittas y dioritas fracturadas y alteradas con una extensa cobertura de depósitos superficiales. Las pendientes son mayores a 35°. En su mayoría constituye zonas donde no se han ubicado viviendas ni deberían ubicarse como en los sectores que se encuentran en las laderas del cerro El Agustino, como los AA.HH. La Arichana, Los Hijos de Perales, Los Eucaliptos, Vista Alegre, Las Malvinas, los cuales se ubican en terrenos de susceptibilidad muy alta a la generación de movimientos en masa principalmente del tipo de desprendimiento de roca.

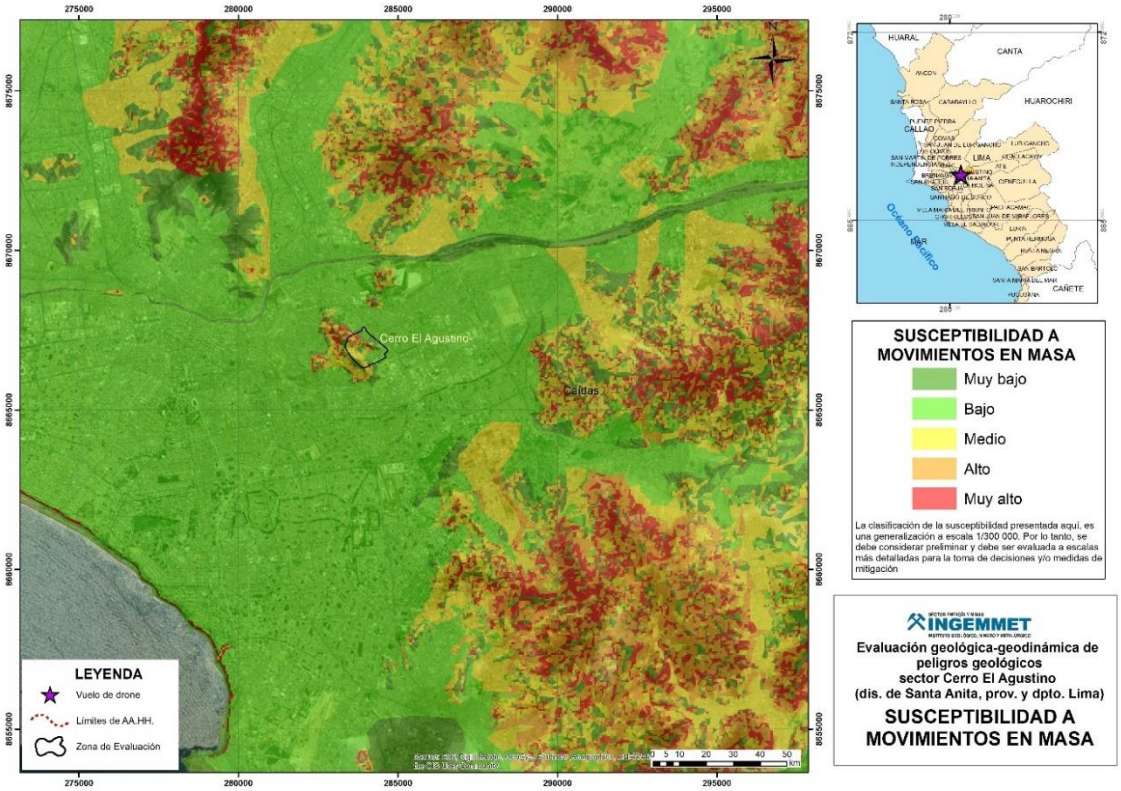


Figura 15. Susceptibilidad a movimientos en masa en el área evaluada (Villacorta et al., 2015)

Arenamiento

Por lo observado, durante la inspección técnica, en la ladera sureste del cerro El Agustino se han identificado procesos de arenamiento en forma de manto con espesores que superan los 60 cm (fotografía 17).

La arena es transportada continuamente tierra adentro por los vientos predominantes alcanzando tierra firme una penetración de 13 km. Las arenas eólicas se distribuyen en forma de mantos o cubiertas delgadas, en forma de dunas longitudinales. Los mantos son los más comunes en la zona de estudio, se encuentran cubriendo geoformas como colinas y piedemonte coluvial de detritos. Estas arenas son de tipo cuarzosas de grano medio a fino, bien seleccionadas.

En algunos casos, mantos eólicos producidos por meteorización de intrusivos se encuentran cubriendo las laderas de lomas y colinas, e incluso rellenando quebradas como se observa en El Agustino. La dirección, la velocidad del viento y la geomorfología del entorno favorecen este tipo de fenómenos.

Fotografía 17. Manto de arena por encima de las viviendas de la manzana H5 de la Cooperativa de Vivienda Virgen de las Nieves

7. PROPUESTA DE PREVENCIÓN Y/O MITIGACIÓN EN LA ZONA EVALUADA

A partir de la evaluación geológica-geodinámica realizada, se dan algunas propuestas de intervención de forma general para la zona evaluada. Se debe considerar como medidas de prevención y mitigación ante futuros eventos que puedan causar desastres en las laderas del cerro El Agustino, el no permitir la expansión urbana hacia las laderas, así como el que las viviendas no deben cimentarse sobre pircas sino sobre bases sismo-resistentes.

Algunas medidas específicas para los procesos registrados en el área de estudio se muestran a continuación:

7.1 Para bloques que sobresalen en el talud y no están sueltos

Debido a que algunos de los bloques se encuentran directamente sobre las viviendas, se recomienda "asegurarlos". Para ello se debe implementarse lo siguiente:

1) Construir un muro alrededor del bloque, con una altura que cubra hasta más de la mitad los bloques de mayor dimensión. Ver figuras 16, 17 y 18.
2) La base del muro debe estar cimentada sobre roca fresca. Las varillas de fierro que se van a fijar al muro, deberán ser introducidas en el substrato hasta medio metro (llegar a roca fresca).
3) Hacer un enmallado para la construcción de un muro, teniendo como base las varillas fijadas.
4) Una vez terminado el enmallado del muro, se empieza a vaciar el concreto, hasta formar el muro con un ancho aproximado de 1 m.
5) Una vez terminado el muro, se rellanará con concreto el espacio dejado entre el muro y el bloque, formando una cuña. Antes de comenzar estas actividades se debe reubicar y/o desocupar las viviendas, por fines preventivos, porque podría generarse un rodamiento de las rocas sueltas.

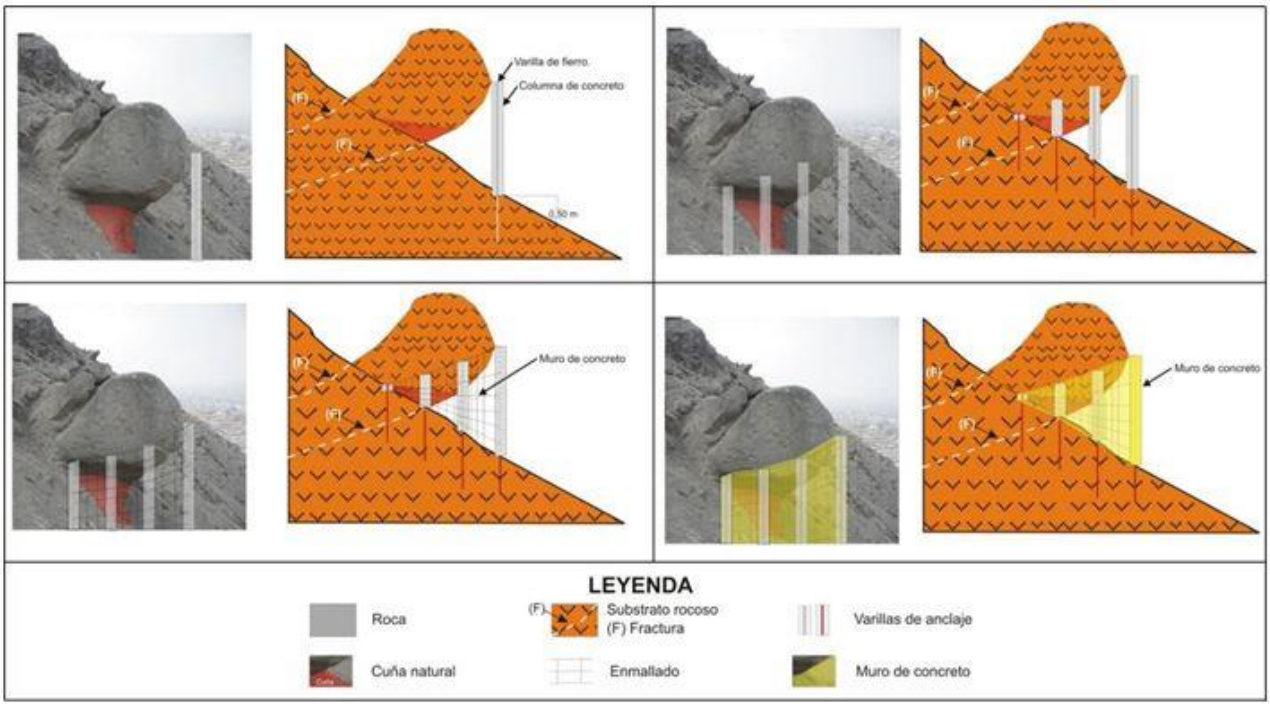


Figura 16. Muro en base del bloque para proteger viviendas aledañas

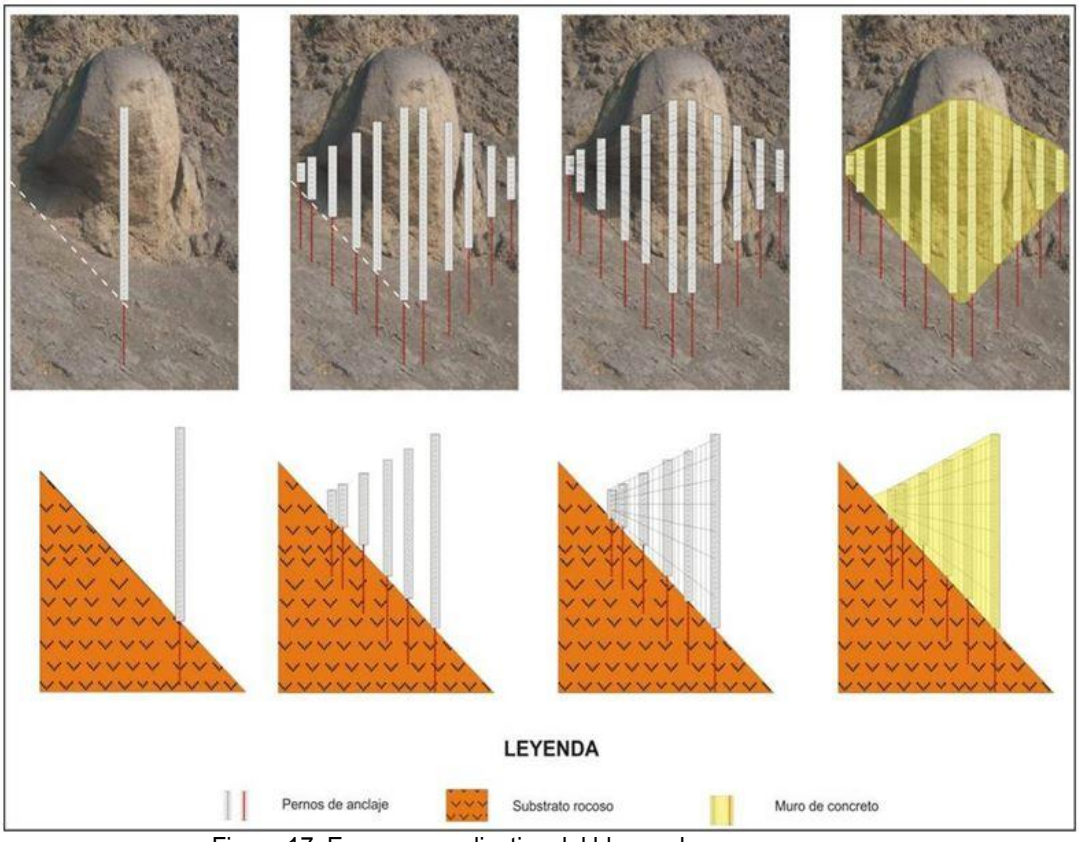


Figura 17. Esquema explicativo del bloque de roca

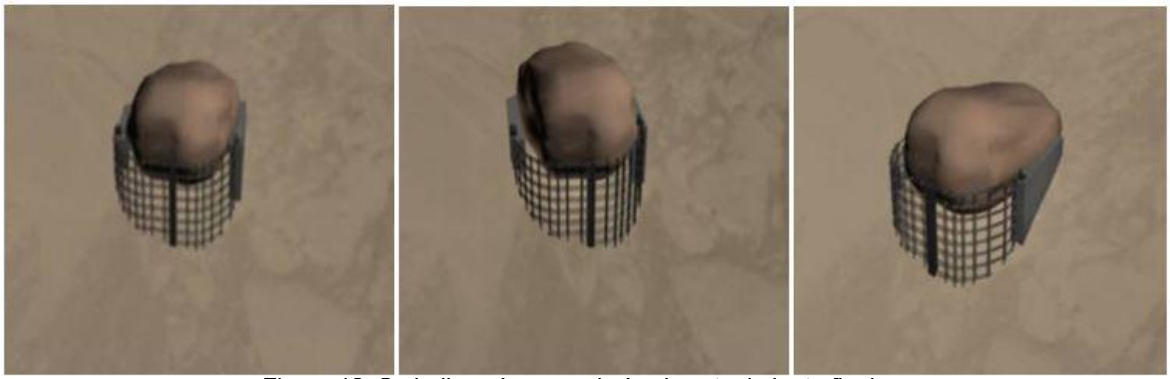


Figura 18. Se indica cómo quedaría el sostenimiento final

7.2 Para los bloques sueltos

1) Desatar los bloques inestables de la ladera.
2) Fragmentar los bloques inestables que tengan dimensiones menores a 1.50 m, en base al sistema de dilatación y contracción. Este proceso consiste en quemar la roca y una vez que alcance una alta temperatura (color rojo), agregar agua. Esto ocasionará una contracción muy violenta, dando como resultado su fragmentación.
3) En la ladera con bloques inestables y con buena cobertura de suelo, se puede estabilizar de la siguiente manera: hacer una excavación en la parte inferior del bloque, con la finalidad que este pierda estabilidad y caiga hacia la parte excavada (figura 19).
4) Para fines de prevención, al momento de desatar los bloques sueltos, es muy probable que estos se desplacen cuesta abajo, por lo que es necesario poner en alerta a los pobladores de las viviendas ubicadas en la falda de la ladera.

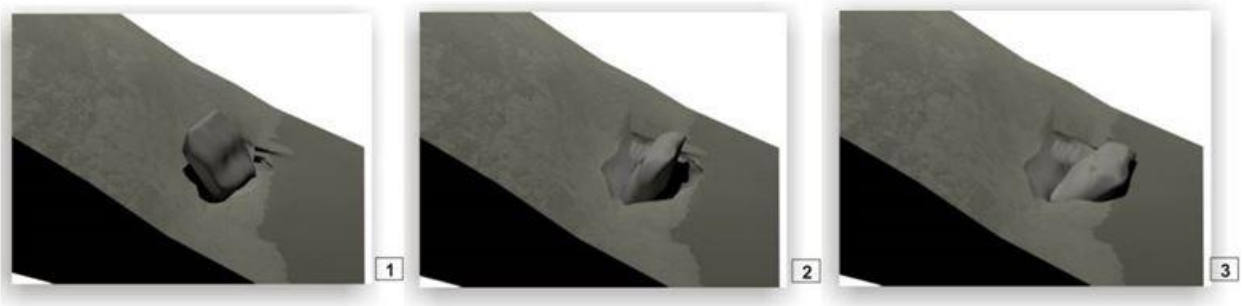


Figura 19. Tratamiento de un bloque suelto en suelo potente

Se recomienda la construcción de zanjas o vallas simples de contención o la ubicación de redes (malla galvanizada) para captar los bloques más pequeños que se desprendan de las laderas superiores a la zona de corte.

Además de lo anterior, es recomendable en este sector la ubicación de anclajes de refuerzo, gunita sistemática y muros de hormigón, de anclado en las zonas donde se observen procesos de desprendimientos de rocas activos.

Los macizos rocosos atravesados presentan características geológicas-geotécnicas complejas y heterogéneas con un elevado índice de fracturación que da lugar a un proceso permanente de caída de rocas de tamaños decimétricos hasta métricos.

Los sistemas propuestos son: mallas ancladas, barreras dinámicas y red de anillos, utilizados en forma independiente o combinada, según las características de cada contra talud:

Mallas ancladas: es un sistema de protección frente a desprendimientos rocosas o que cubre la superficie afectada del talud/ladera por medio de una malla de alambre de acero galvanizado de triple torsión, reforzada con anclajes cortos dispuestos en una grilla, que además se vinculan diagonal y perimetralmente por los extremos con cables de acero (figura 20). Debe tenerse en cuenta que los anclajes de mallas protegen de la caída de bloques superficiales, pero no representan estabilidad para el caso de fallas de bloques grandes o movimientos de grandes masas de suelo o roca.

Todos estos elementos poseen recubrimiento anticorrosivo salvo los elementos de anclaje (bulones intermedios, los anclajes superiores, tuerca y placas de anclaje)

Figura 20. Control de caída de rocas utilizando mallas ancladas

Las mantas de malla ancladas pueden utilizarse para impedir el movimiento de bloques pequeños (menos de 0.6 a 1 m de diámetro) o masas subsuperficiales delgadas de roca. Sin embargo, en ocasiones las mallas ayudan a atenuar el movimiento de grandes bloques. En principio la malla anclada actúa como una membrana alrededor de la masa o bloque inestable; a su vez pueden ser reforzadas con cables, los cuales se amarran a los anclajes.

Barreras dinámicas: es un sistema de protección utilizado en taludes con riesgo de caída de rocas, diseñado específicamente para interceptar y retener las rocas en un punto de su trayectoria de caída, disipando la energía cinética del movimiento a través de la deformación plástica de determinados elementos del sistema diseñados a tal efecto, y de la actuación elástica de elementos diseñados con determinados grados de libertad respecto del impacto recibido.

En ciertas situaciones de riesgo de caída de roca, puede que no sea práctico instalar una malla de protección contra cortinas o estabilización de la superficie debido a problemas técnicos, topográficos,

de acceso o económicos. En estos casos a menudo se proporciona una solución rentable mediante la instalación de barreras dinámicas de caída de rocas en la cara de la pendiente. Las barreras dinámicas de protección contra desprendimientos se caracterizan por su capacidad de absorción de impactos. Por ello conforman un sistema muy eficaz y seguro para detener la caída de rocas y otras masas. Su configuración varía de acuerdo con la energía requerida en el impacto previsto (figura 21)

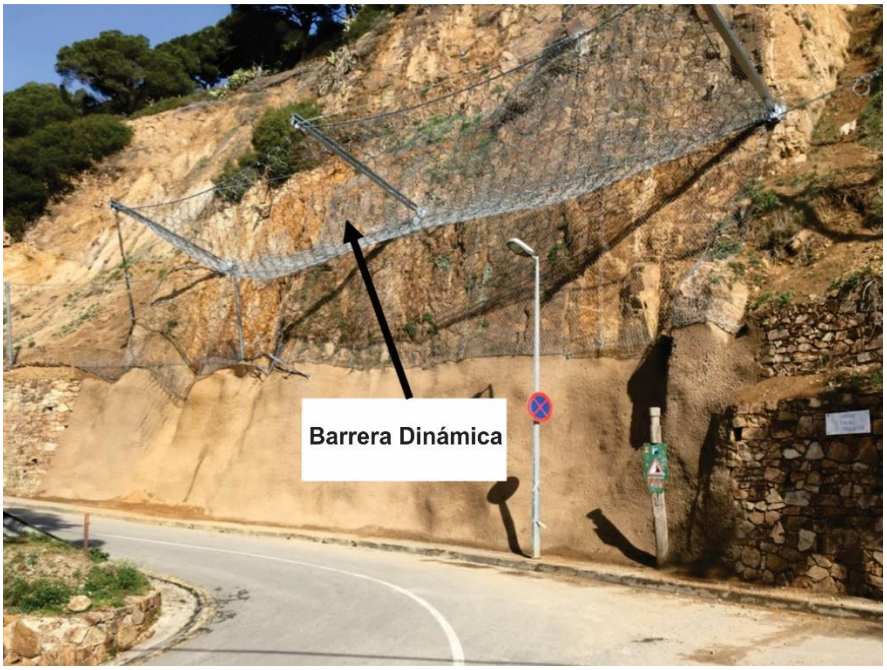


Figura 21. Ejemplo de barrera dinámica

Red de anillos: es un sistema de protección utilizado en taludes con riesgo de caída grande rocas, el que, actuando directamente sobre la zona afectada, permita fijar in situ los bloques rocosos inestables, conteniendo los mismos y por tanto eliminando el riesgo de desprendimientos. Está constituida por anillos de acero entrelazados entre sí, sin solución de continuidad y de elevada resistencia. Su configuración permite gran adaptabilidad a la morfología del talud en laderas irregulares. Los anillos trabajan en conjunto en la red, y por ello son ideales para soportar altas cargas e impactos de alta energía ya sea de forma concentrada y distribuida. La red es colocada con anclajes al terreno, conteniendo el macizo fracturado o con riesgo de desprendimiento, la resistencia de la red de anillos es muy elevada (figura 22).

Figura 22. Ejemplos de estabilización con red de anillos

7.3 Gestión de riesgo de desastres y comunicación con comunidades

Para que la población del sector se encuentre preparada ante eventuales desastres, es importante el desarrollo de actividades de prevención. Parte de ellas constituyen los trabajos de socialización de la información sobre peligros geológicos, que permitirá que los habitantes del sector conozcan los procesos que pueden afectarlos y como prevenir sus daños.

Así mismo, es recomendable que se cree un comité local de emergencia, que organice simulacros y otras actividades de sensibilización entre la población, de manera coordinada con la Municipalidad distrital de Santa Anita.

No olvidar que el municipio debe emprender con el apoyo del Gobierno Regional y CENEPRED un proyecto de reubicación preventiva de las viviendas ubicadas en sectores críticos, así como desarrollar un plan de prevención local.

CONCLUSIONES

a) La evaluación de los peligros geológicos nos ha permitido determinar que la zona de estudio, puede ser afectada por caída de rocas y derrumbes inducidas por sismos o provocados por el inadecuado manejo de taludes. Estos problemas son el resultado de la ocupación antrópica de zonas inadecuadas como laderas de pendientes fuertes a moderadas.

b) Para prevenir los daños causados por posibles movimientos en masa, se debe considerar la protección y tratamiento de los taludes en los sectores considerados críticos y la constante coordinación con los gobiernos locales, regionales, CENEPRED para realizar actividades de prevención y sensibilización, como charlas de inducción, sistema de alerta temprana y simulacros de evacuación.

c) Los centros poblados del cerro El Agustino del distrito de Santa Anita se encuentran al pie de los depósitos coluviales suspendidos en las laderas.

d) En la evaluación del área, se han identificado dos tipos de materiales: el substrato rocoso, conformado por rocas intrusivas (dioritas y gabrodioritas), con moderada a intensa meteorización y muy fracturadas de la Super Unidad Patap y los depósitos inconsolidados de origen coluvial, aluvial y eólico. En el coluvial se presentan bloques “colgados” e inestables de hasta 2 m de diámetro.

e) Los principales problemas por peligros geológicos del tipo movimientos en masa localizados en el área, son caídas de rocas y derrumbes. Por su localización geomorfológica (laderas y pendientes), tipo de material y la interacción de eventos “desencadenantes” como los sismos y cortes de talud para la construcción de viviendas, las caídas de rocas son muy probables de ocurrir en dicho sector.

f) Por las condiciones geológicas-geodinámicas de la zona de estudio, en los sectores que se encuentran al pie y en las laderas del cerro El Agustino, como los sectores de Cooperativa de Vivienda Virgen de Las Nieves, AA.HH. Las Terrazas, Vista Alegre y Las Malvinas, de **peligro muy alto** por caída de rocas y derrumbes, ante la presencia de un sismo o inadecuado manejo de taludes.

RECOMENDACIONES

a) En algunos sectores como en el AA.HH. Las Terrazas; las laderas presentan bloques de roca "que sobresalen", pero se encuentran "incrustados" en el macizo rocoso, siendo muy poco probable que puede caer ladera abajo. De todas maneras, para asegurar la tranquilidad de la población, se recomienda "asegurar" estos, ya sea mediante sostenimiento (muro en la base del bloque) para proteger las viviendas aledañas.

b) Reubicar las viviendas con cimientos precarios que se encuentran en las laderas inestables.

c) Retirar (desquinchar) progresivamente los bloques suspendidos. En el caso de los bloques sueltos, los sistemas propuestos son mallas ancladas, barreras dinámicas y red de anillos, entre otros, utilizados en forma independiente o combinada, según las características de cada ladera. Para así evitar que se desprenda hacia el flanco suroeste del cerro El Agustino. Estos trabajos deben ser diseñados y dirigidos por profesionales con experiencia en el tema.

d) En las laderas de los cerros, debería colocarse letreros de advertencia, con lemas referidos al grado de peligro en el que se encuentra la zona. Esto podría replicarse en todas las zonas que existen asentamientos humanos ubicados en laderas del cerro El Agustino.

e) Realizar charlas a los moradores, sobre el tema de construcción de las bases de viviendas ubicadas en la ladera. A fin de evitar colapsos de sus pircas con movimientos sísmicos. Labor que debe ser realizada por la municipalidad de Santa Anita.

f) Se recomienda mayor coordinación de la población con CENEPRED, INDECI y el municipio de Santa Anita para que se elimine las prácticas inadecuadas de construcción de viviendas, para monitorear la actividad de los procesos descritos en el sector cerro El Agustino y establecer un plan de contingencia a corto plazo. De esta forma estarán preparados ante un eventual sismo de gran magnitud.

g) Implementar un sistema de señalización de rutas de evacuación ante la amenaza de caídas por sismo.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Cruden, D.M. & Varnes, D.J. (1996). Landslides Types and Processes in Turner, A.K and Schuster, R.L. Editores (1996). Landslides Investigation and Mitigation, Special Report 247, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 672 p.

Hungr, O. & Evans, S.G. (2004). Entrainment of debris in rock avalanches: an analysis of a long run-out mechanism: Geological Society of America Bulletin, v.

Guzmán, A.; Fídel, L.; Aniya, R. & Zavala, B. (1998). Estudio geotécnico de futuras áreas de expansión urbana entre Lima y Cañete. INGEMMET, Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 20, 243 p.

Núñez, S. & Vásquez, J. (2009). Zonas críticas por peligros geológicos en Lima Metropolitana. Informe Técnico Preliminar. INGEMMET, 38 p.

Palacios, O; Caldas, J. & Vela, Ch. (1992). Geología de los cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica (24-i, 24-j, 25-i, 25-j). INGEMMET, Boletín Serie A: Carta Geológica Nacional, 43, 163 p.

Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas –PMA-GCA (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.

UNI-CISMID (2016). " Estudio de microzonificación sísmica y análisis de riesgo en la zona de estudio ubicada en la Municipalidad Distrital de Santa Anita, Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres-CIS M ID, Lima, Perú.

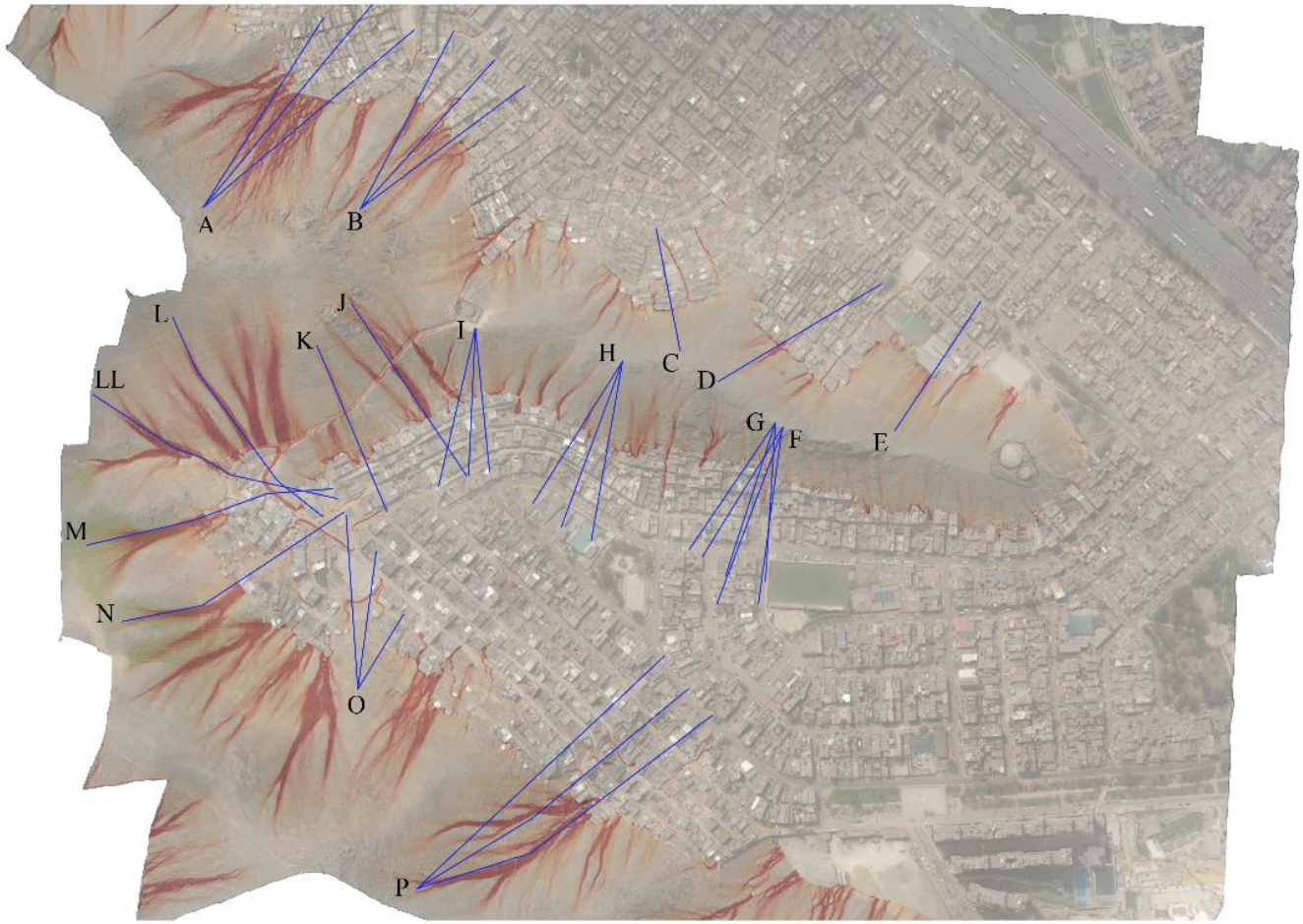
Varnes, J. (1978). Slope movements types and processes. En: SCHUSTER, L. y KRIZEK, J. Ed, Landslides analysis and control. Washington D.C.National Academy Press Transportation Research Board Special Report 176, p.

Villacorta, S.; Chambi, G.; Carlotto, V. & Fídel, L. (2008). Atlas ambiental de Lima Metropolitana: mapas de susceptibilidad en el ordenamiento territorial. En XIII Congreso Peruano de Geología. Resúmenes Extendidos. Sociedad Geológica del Perú. Pág. 171-174.

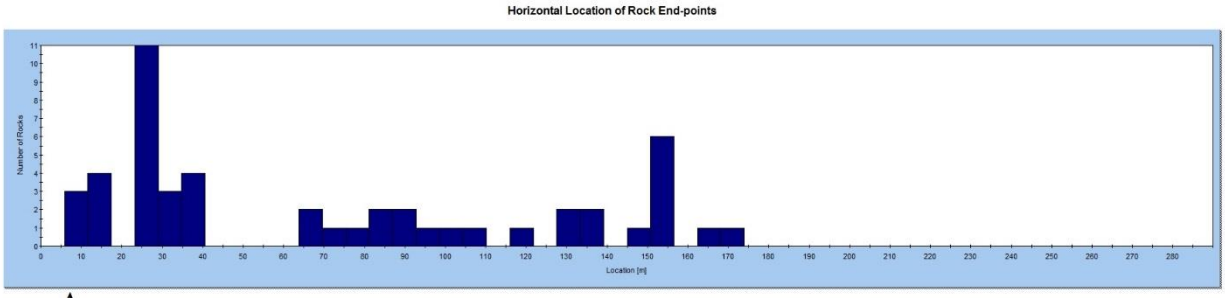
Villacorta, S.; Núñez, S.; Vásquez, J.; Pari, W.; Ochoa, M., et al. (2015) - Peligros geológicos en el área de Lima Metropolitana y la región Callao. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 59, 156 p.

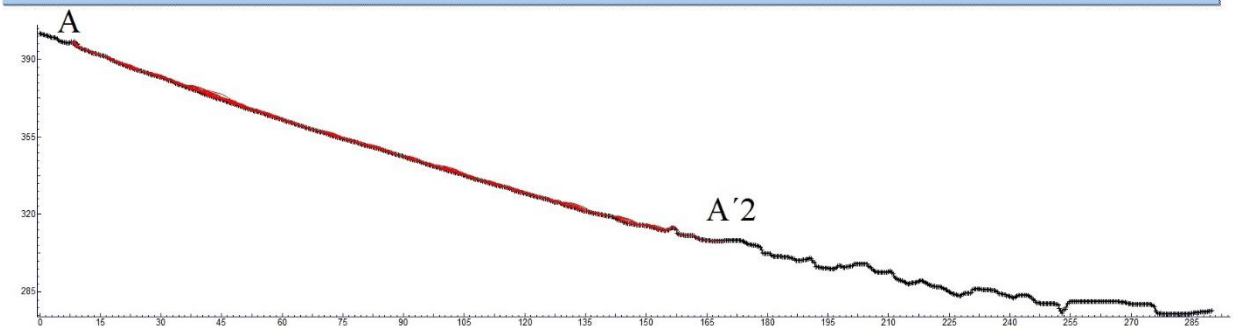
ANEXOS

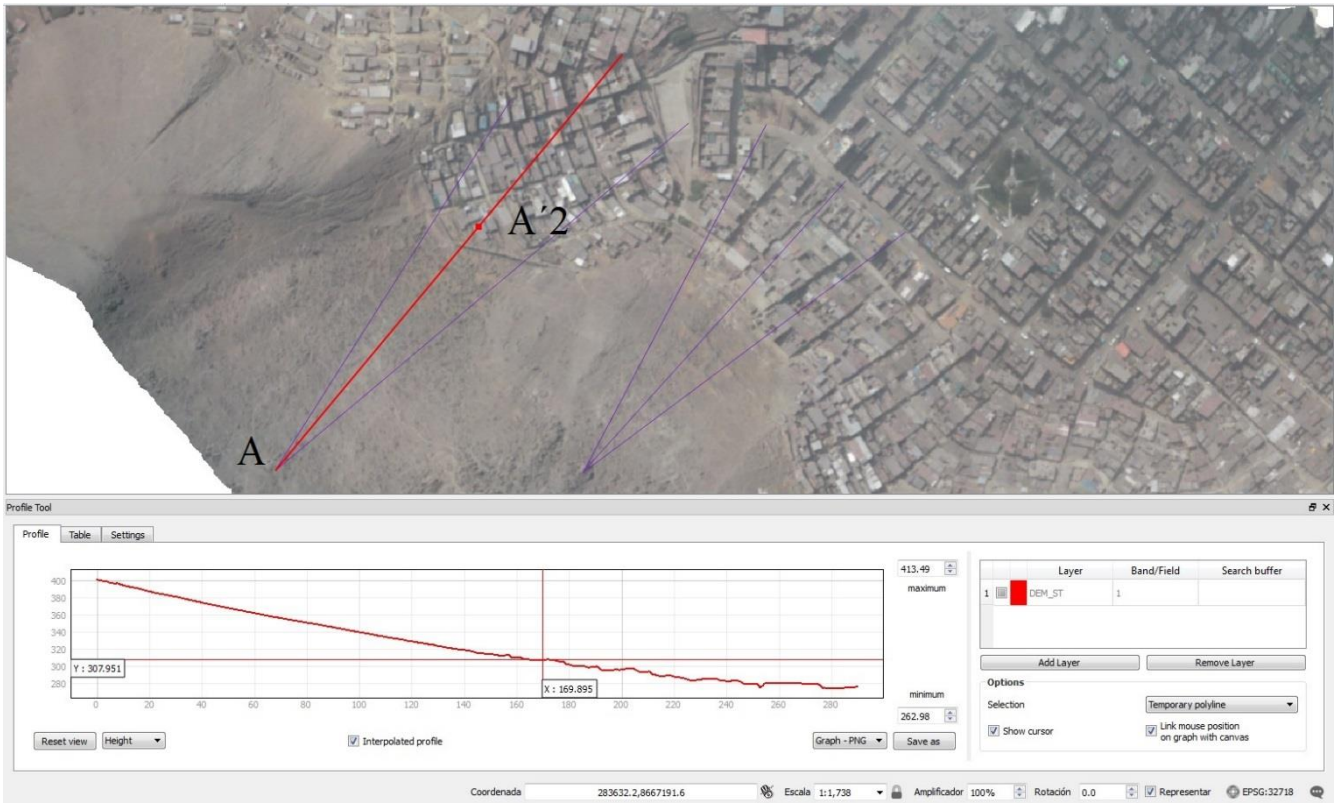
PERFILES TOMADOS

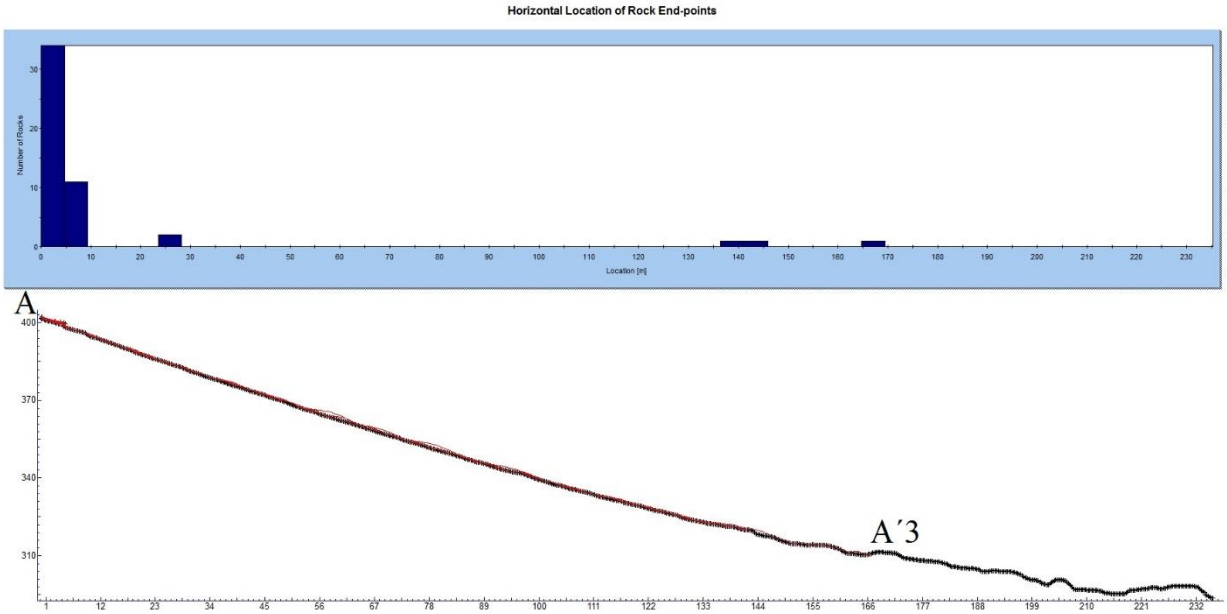


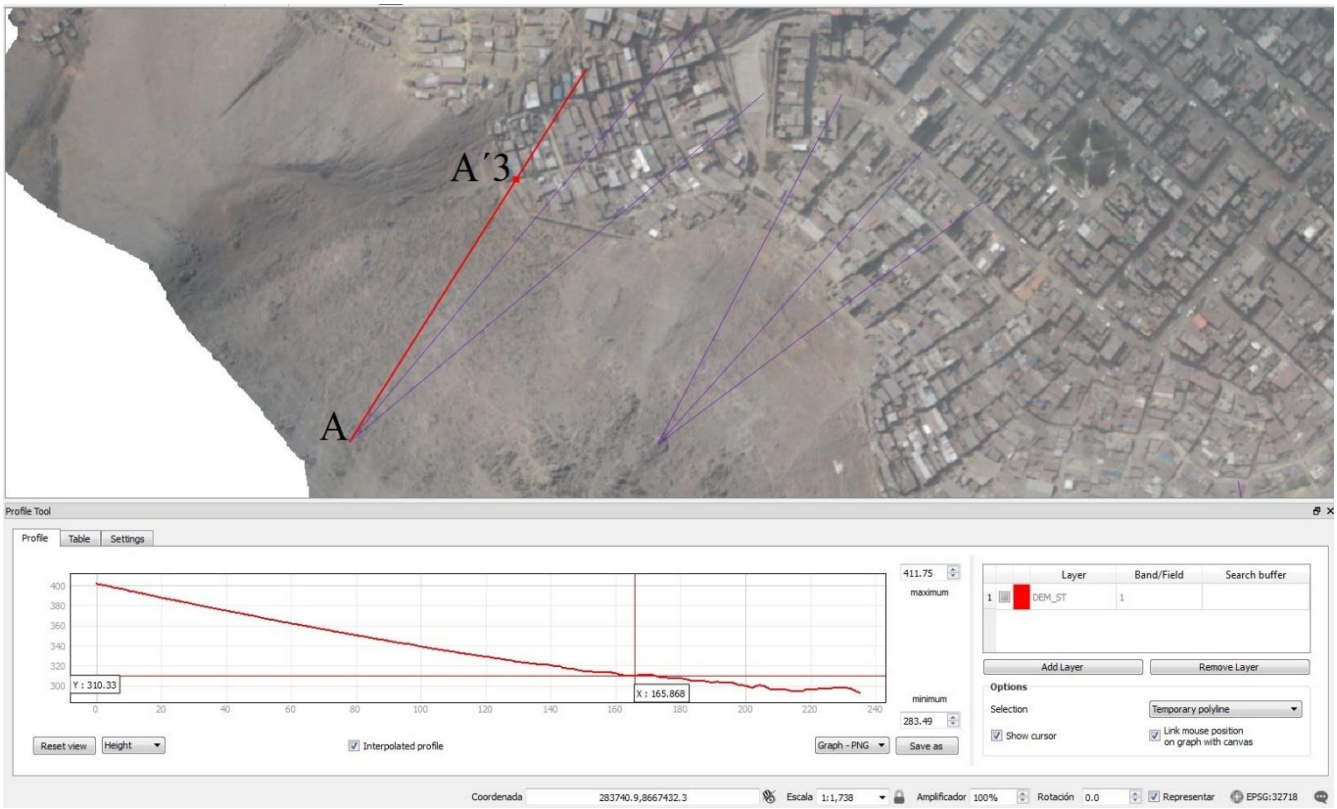
Perfil A: simulación con bloques de 11250 kg y volumen de 2.25 m^3



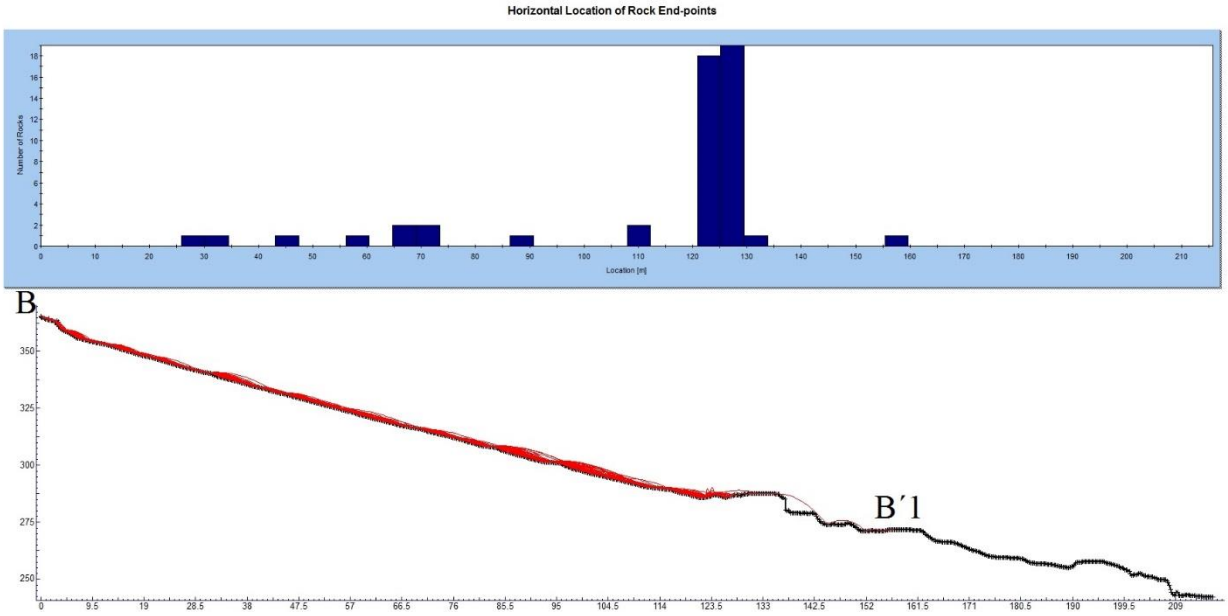


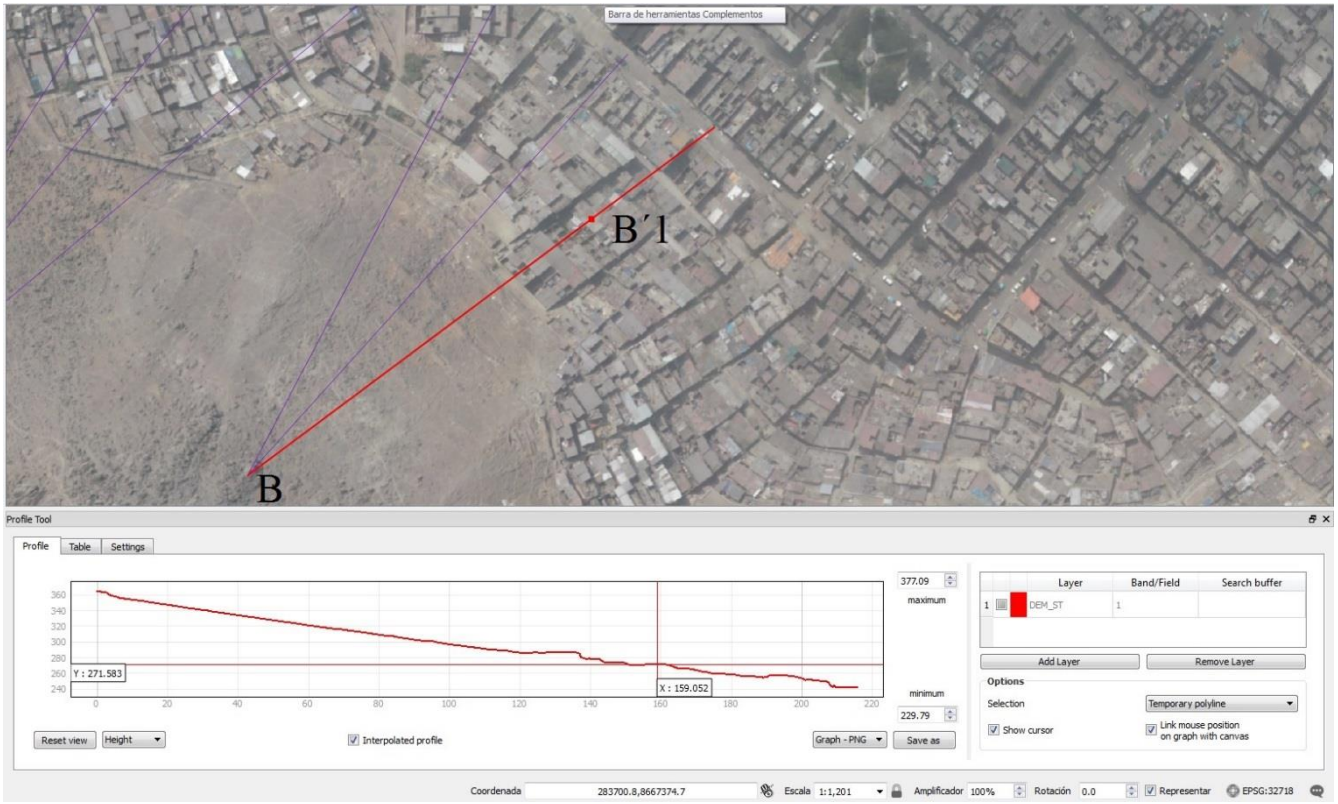


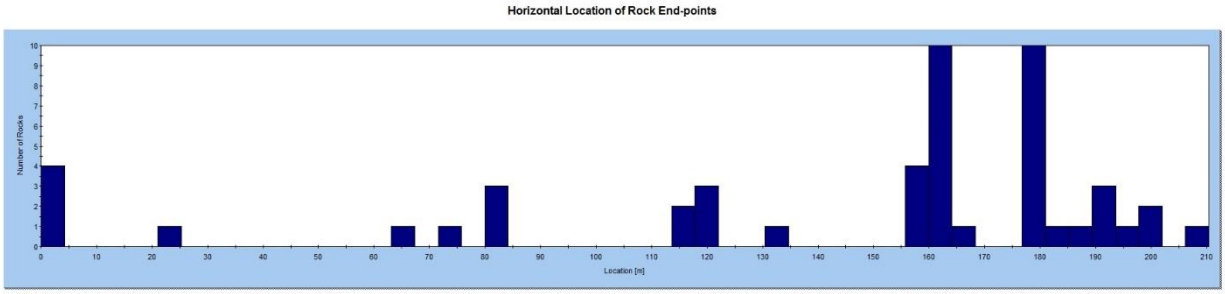

Horizontal Location of Rock End-points
Number of Rocks
Location [m]
A
A´3

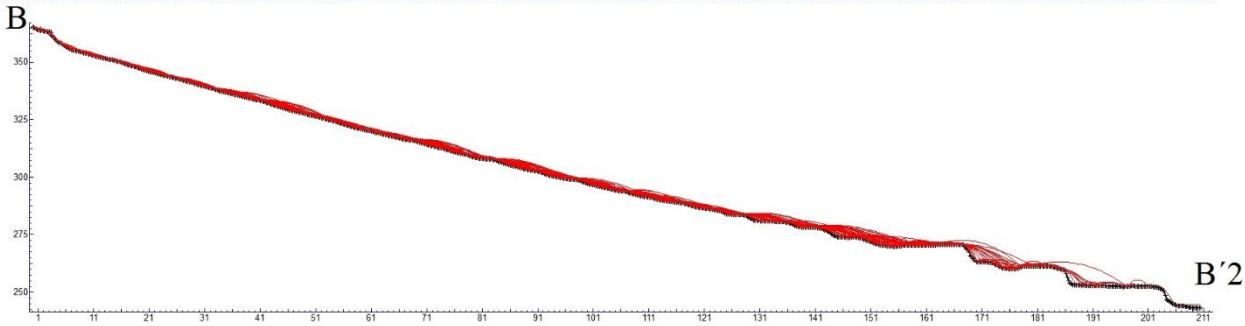

A´3
A
Profile Tool
Profile
Table
Settings
Y : 310.33
X : 165.868
411.75
maximum
283.49
minimum
Reset view
Height
Interpolated profile
Graph - PNG
Save as
Layer
Band/Field
Search buffer
DEM_ST
Add Layer
Remove Layer
Options
Selection
Temporary polyline
Show cursor
Link mouse position on graph with canvas
Coordenada
283740.9,8667432.3
Escala
1:1,738
Amplificador
100%
Rotación
0.0
Representar
EPSG:32718

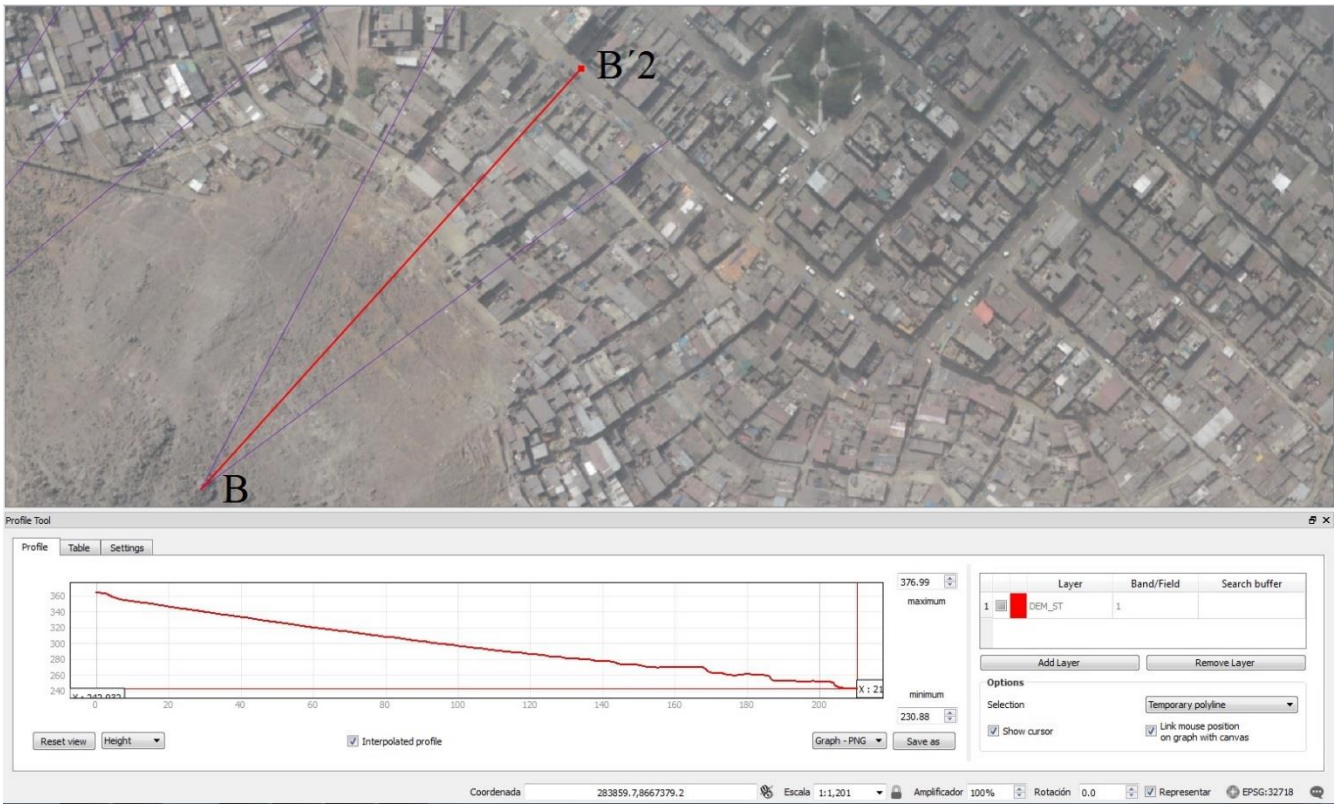
Perfil B: simulaciones con bloques de 5 kg y volumen de 0.001 m^3

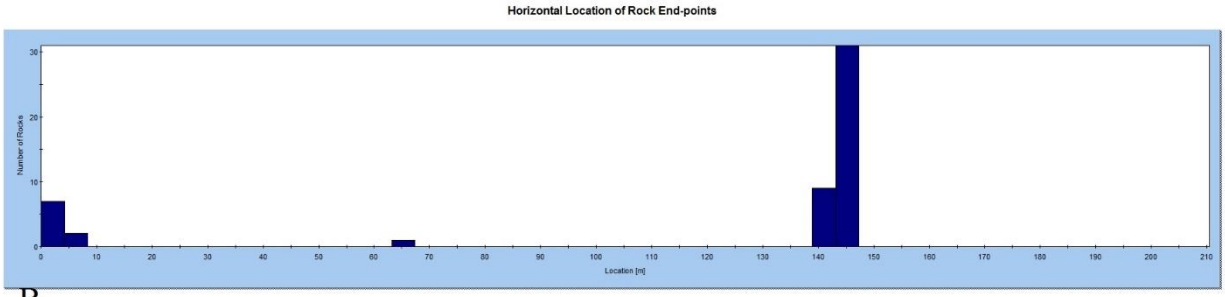


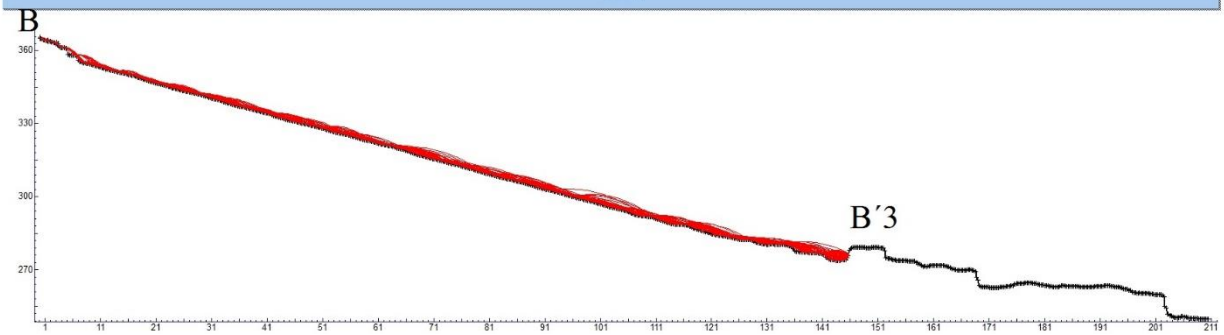


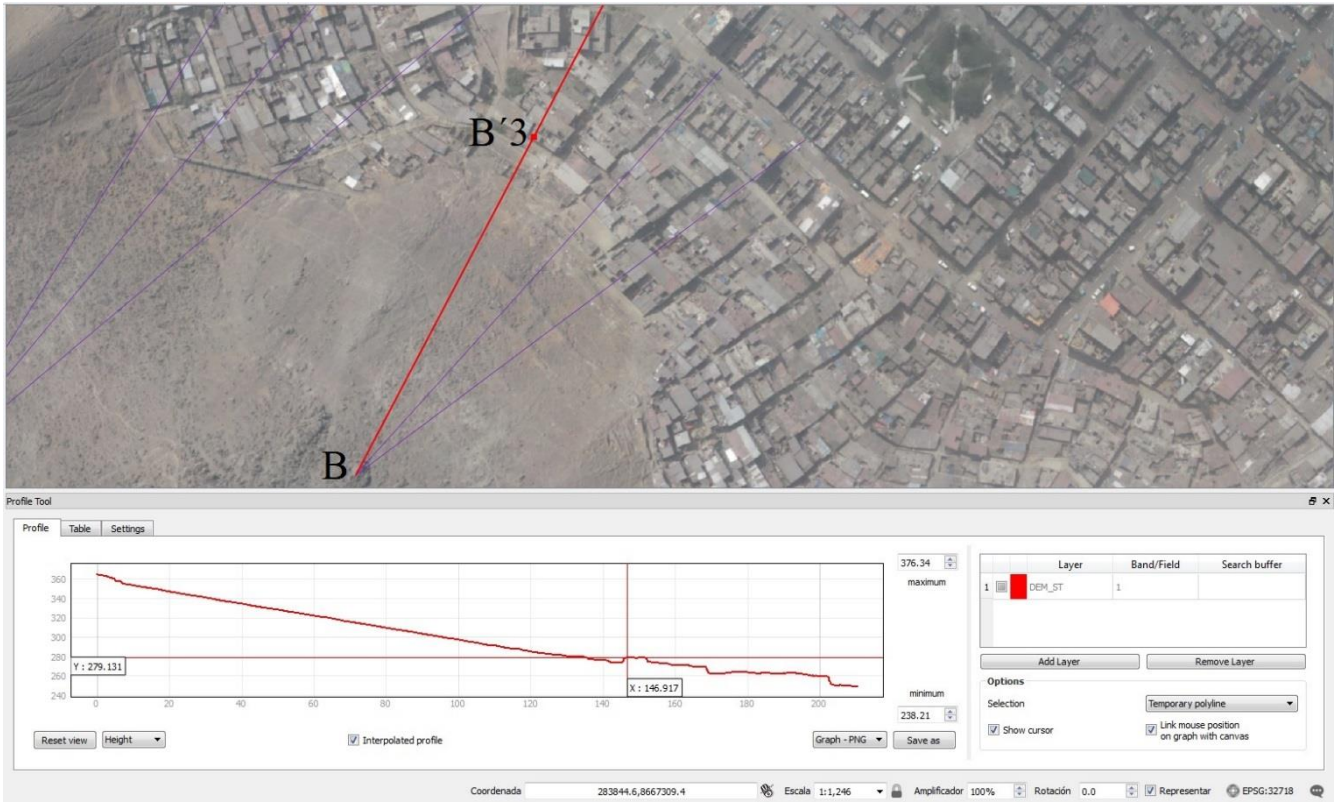

Horizontal Location of Rock End-points
Number of Rocks
Location [m]


B
B´2

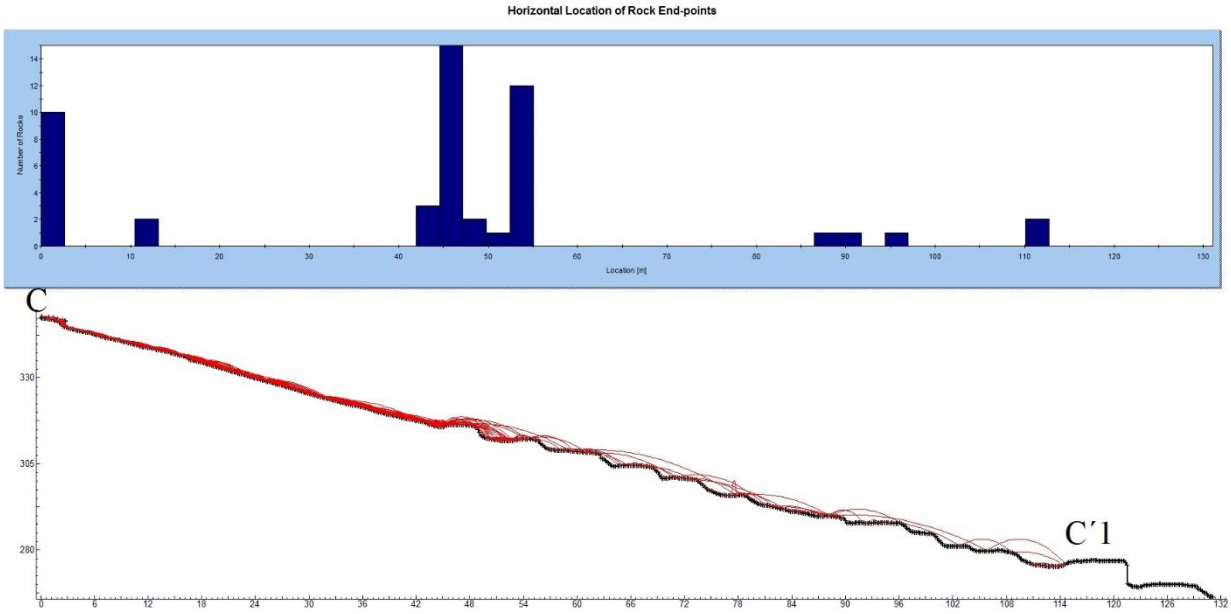

B´2
B
Profile Tool
Profile
Table
Settings
376.99
maximum
minimum
230.88
Reset view
Height
Interpolated profile
Graph - PNG
Save as
Layer
Band/Field
Search buffer
DEM_ST
Add Layer
Remove Layer
Options
Selection
Temporary polyline
Show cursor
Link mouse position on graph with canvas
Coordenada
283859.7,8667379.2
Escala
1:1,201
Amplificador
100%
Rotación
0.0
Representar
EPSG:32718

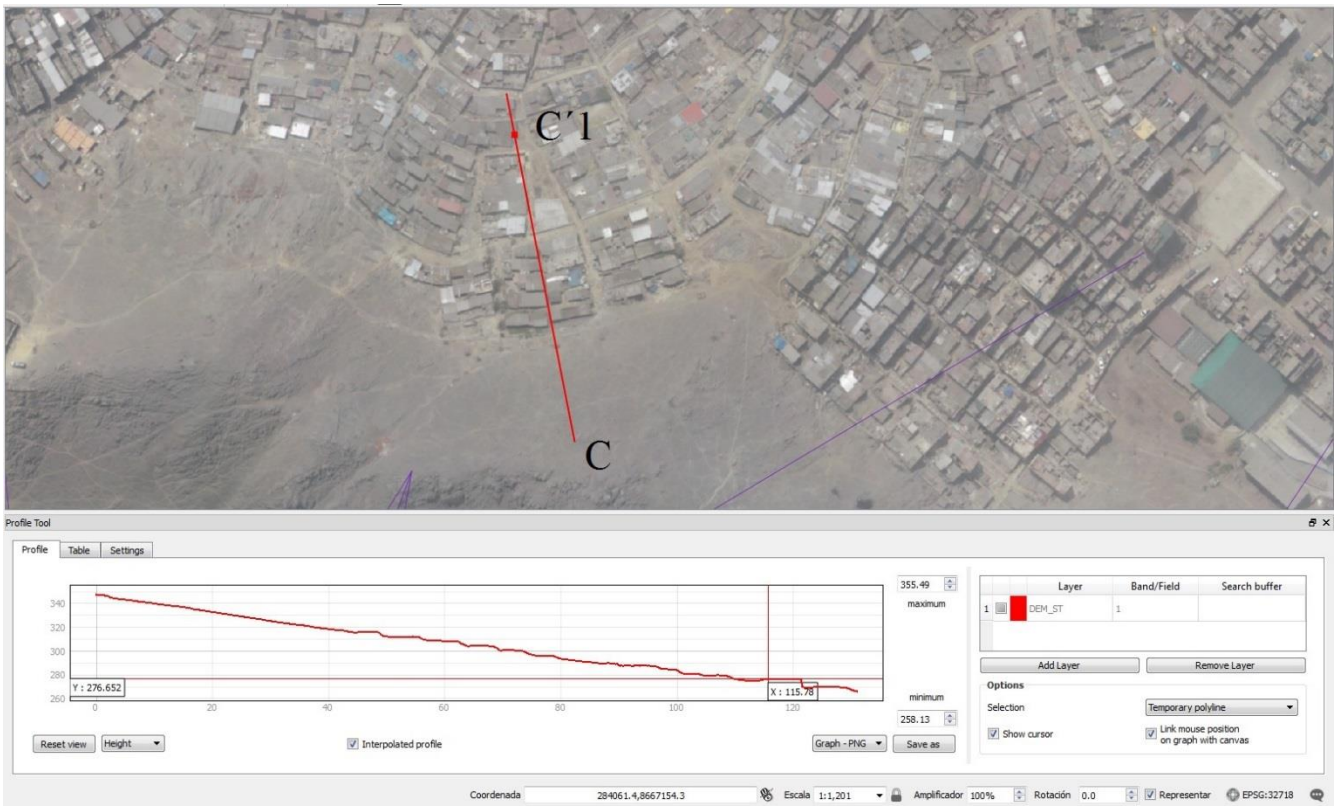

Horizontal Location of Rock End-points
Number of Rocks
Location [m]


B
B´3

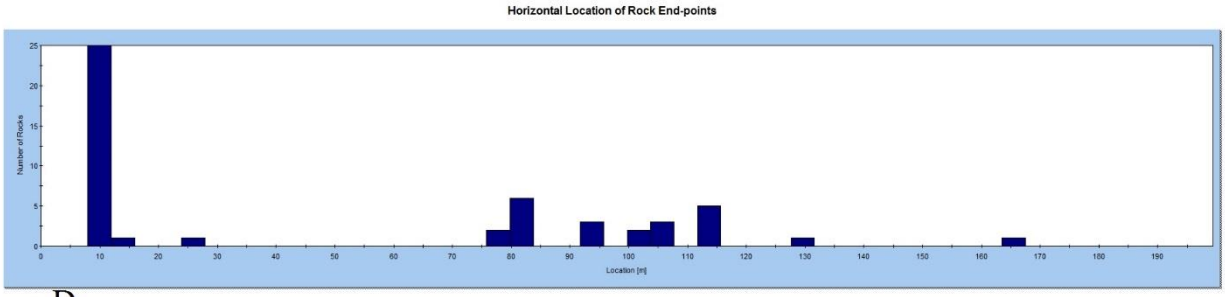

B´3
B
Profile Tool
Profile
Table
Settings
Y : 279.131
X : 146.917
376.34
maximum
minimum
238.21
Layer
Band/Field
Search buffer
DEM_ST
Add Layer
Remove Layer
Options
Selection
Temporary polyline
Show cursor
Link mouse position on graph with canvas
Reset view
Height
Interpolated profile
Graph - PNG
Save as
Coordenada
283844.6,8667309.4
Escala
1:1,246
Amplificador
100%
Rotación
0.0
Representar
EPSG:32718

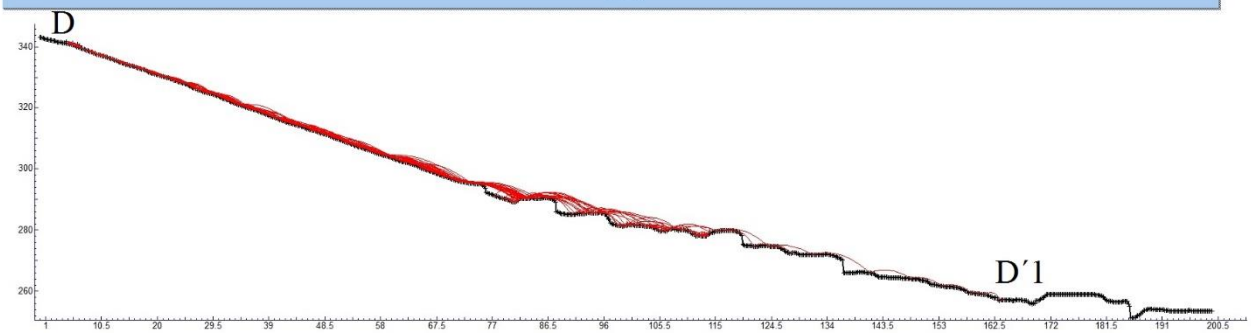
Perfil C: simulación con bloques de 625 kg y volumen de 0.125 m^3



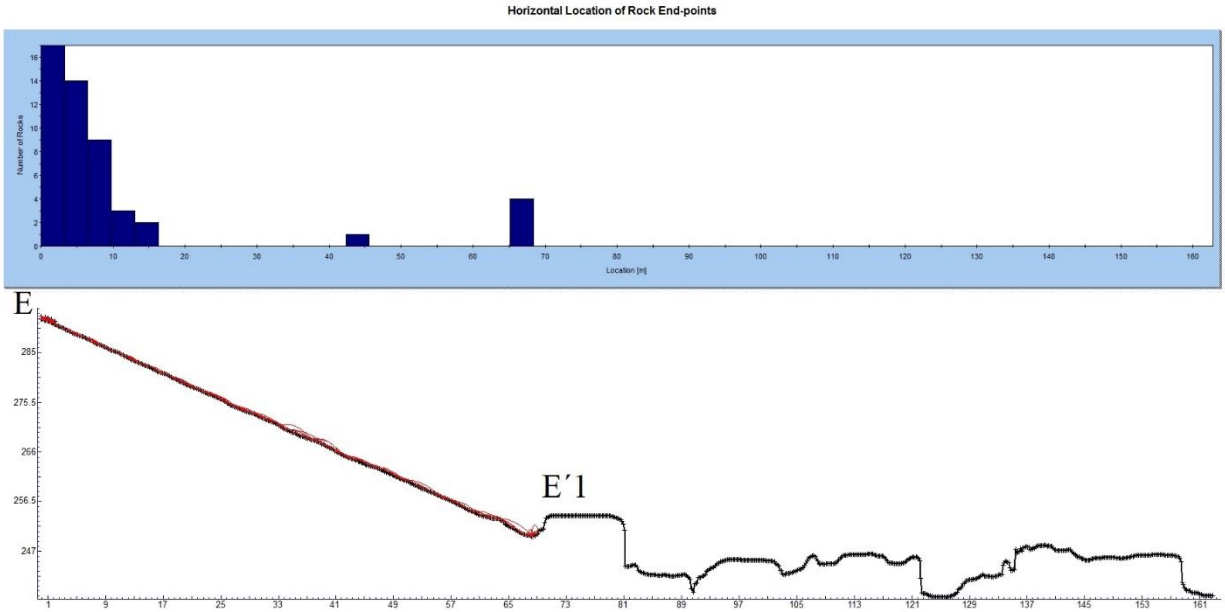


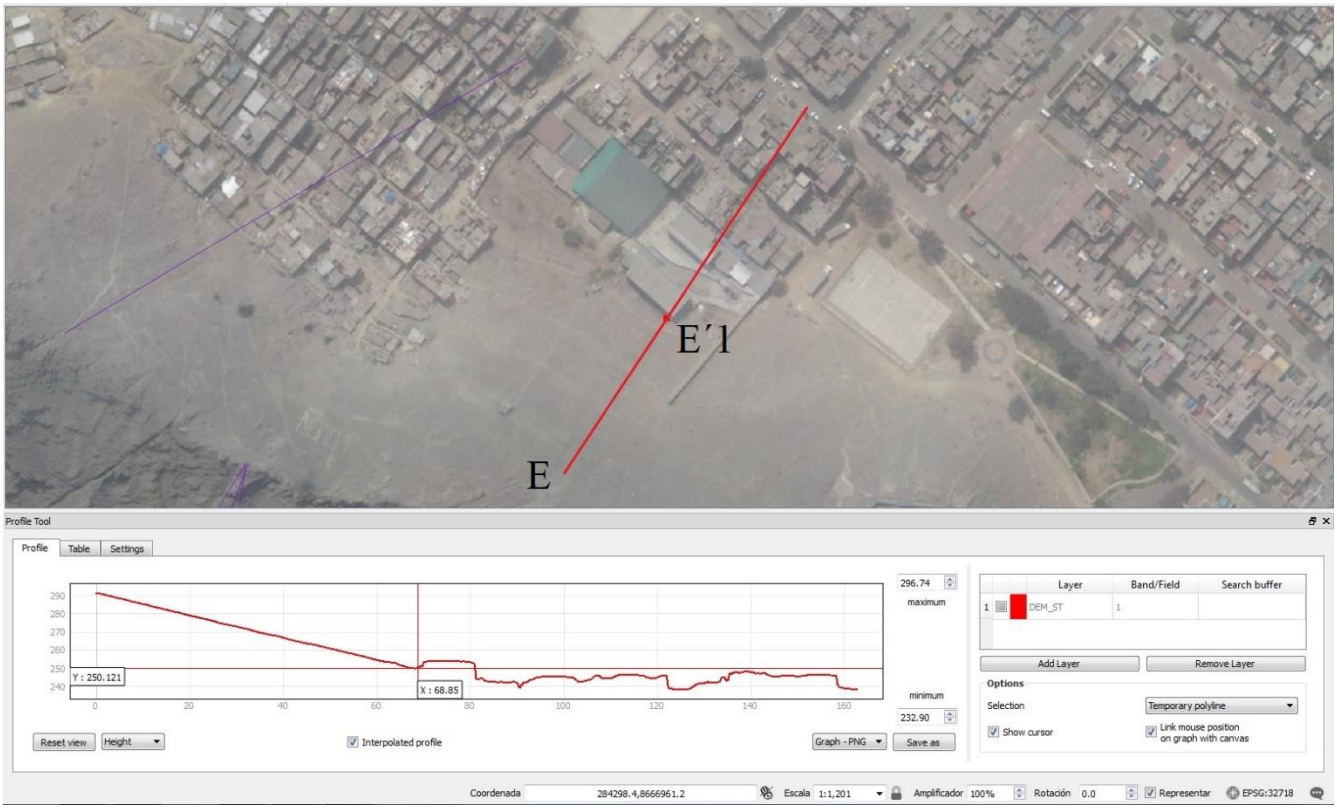
Perfil D: simulación con bloques de 625 kg y volumen de 0.125 m^3



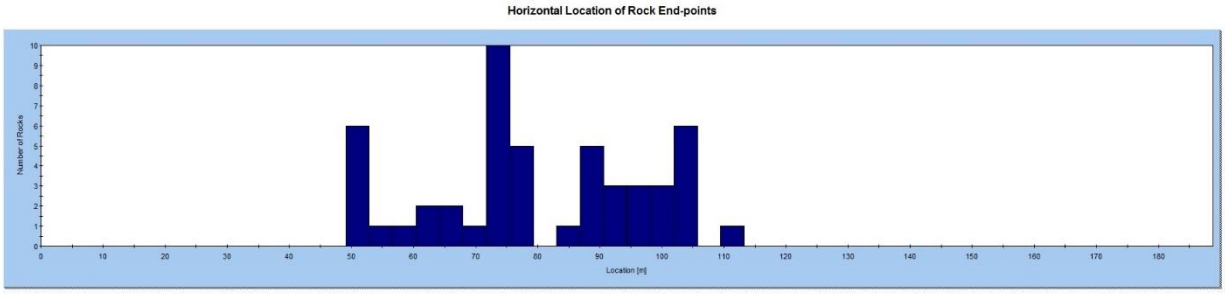


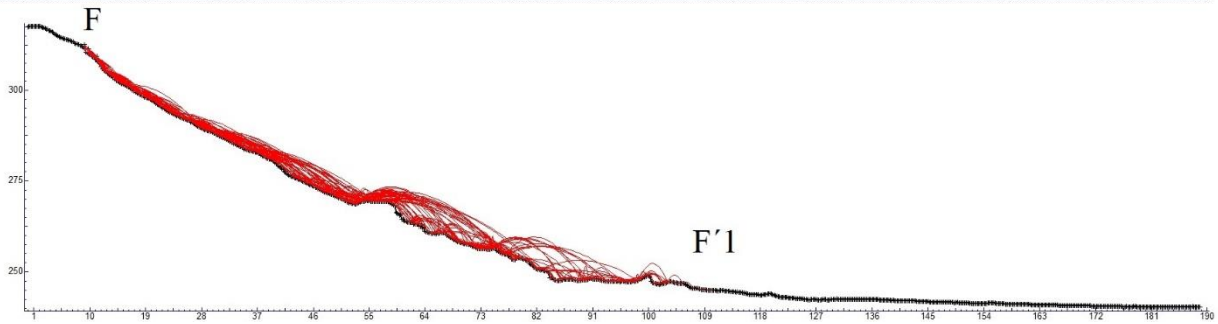
Perfil E: simulaciones con bloques de 625 kg y volumen de 0.125 m^3

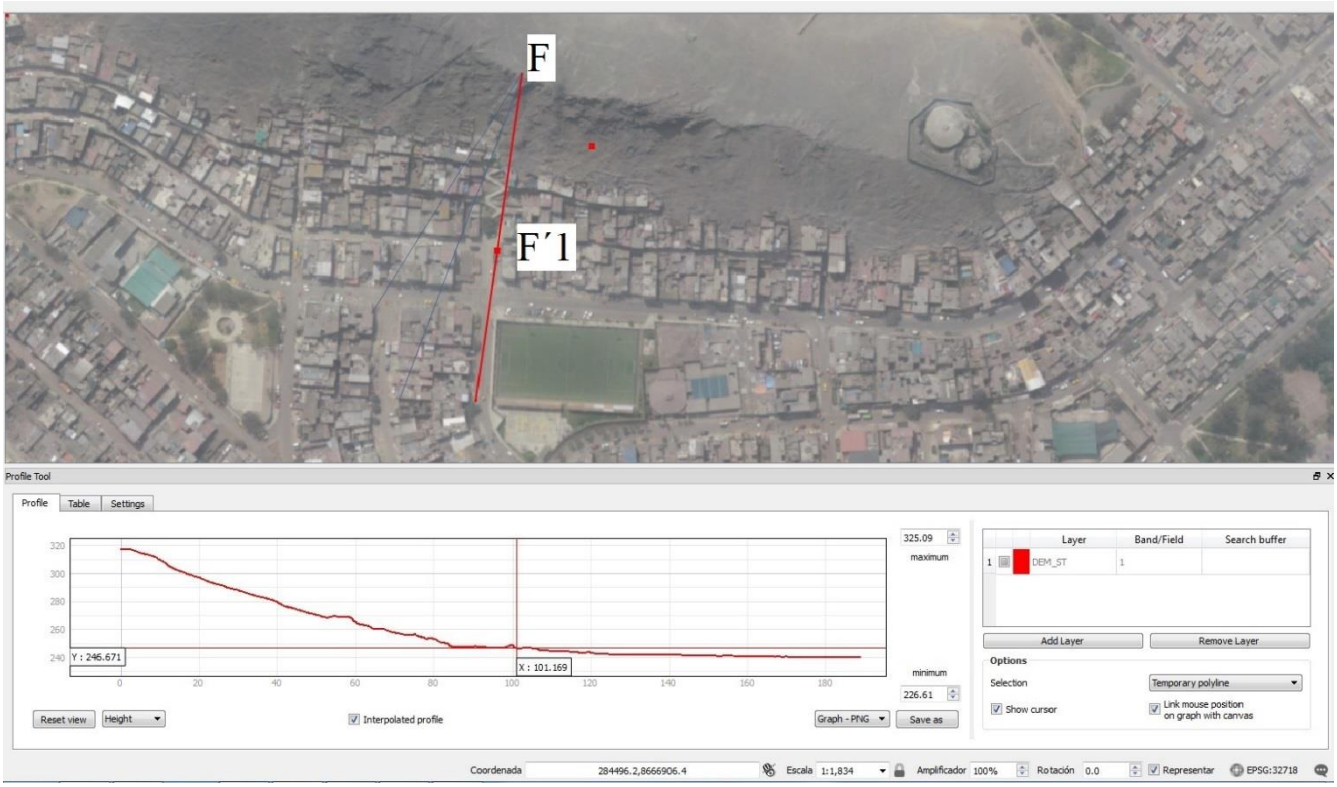


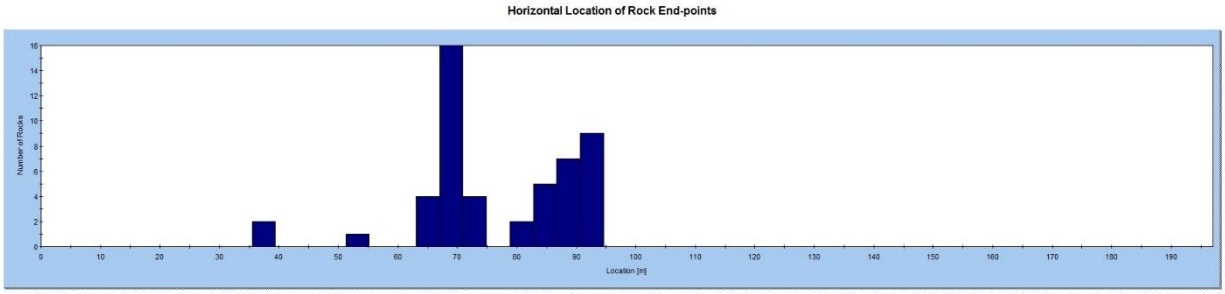


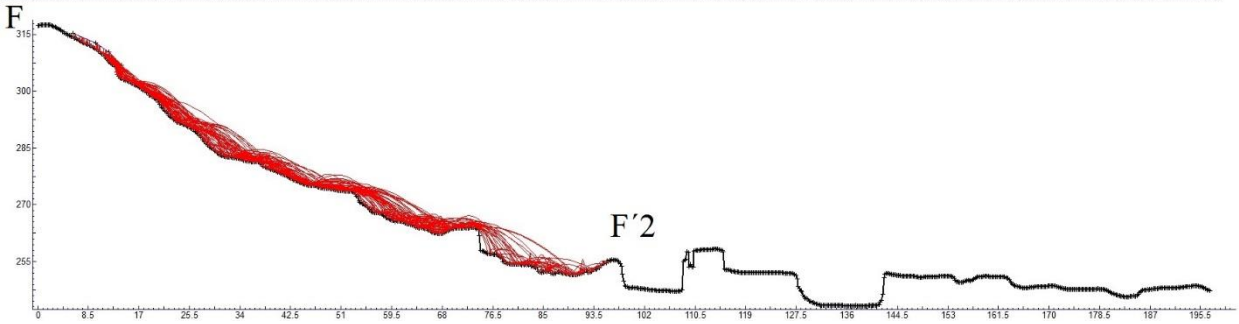
Perfil F: simulaciones con bloques de 45000 kg y volumen de 9 m^3



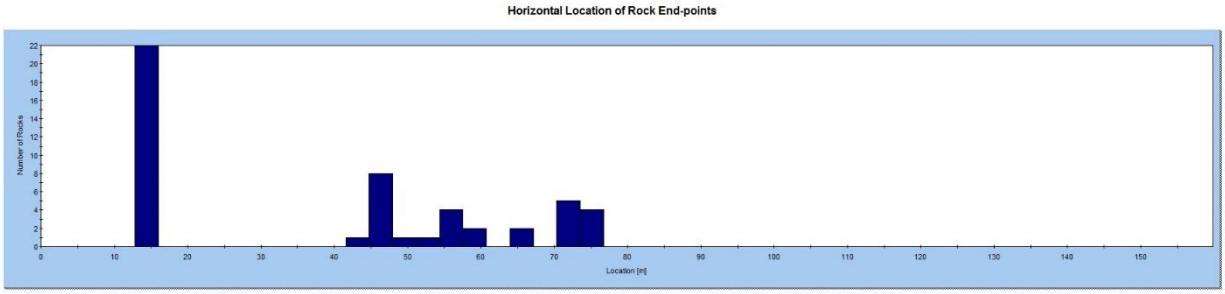


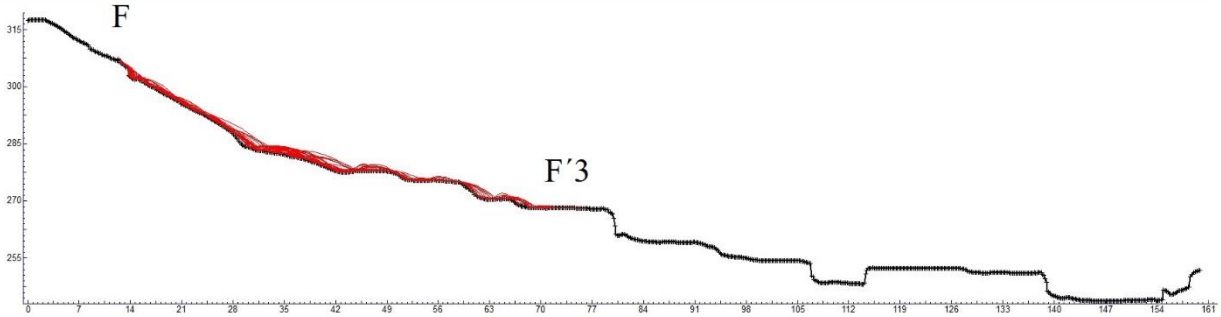


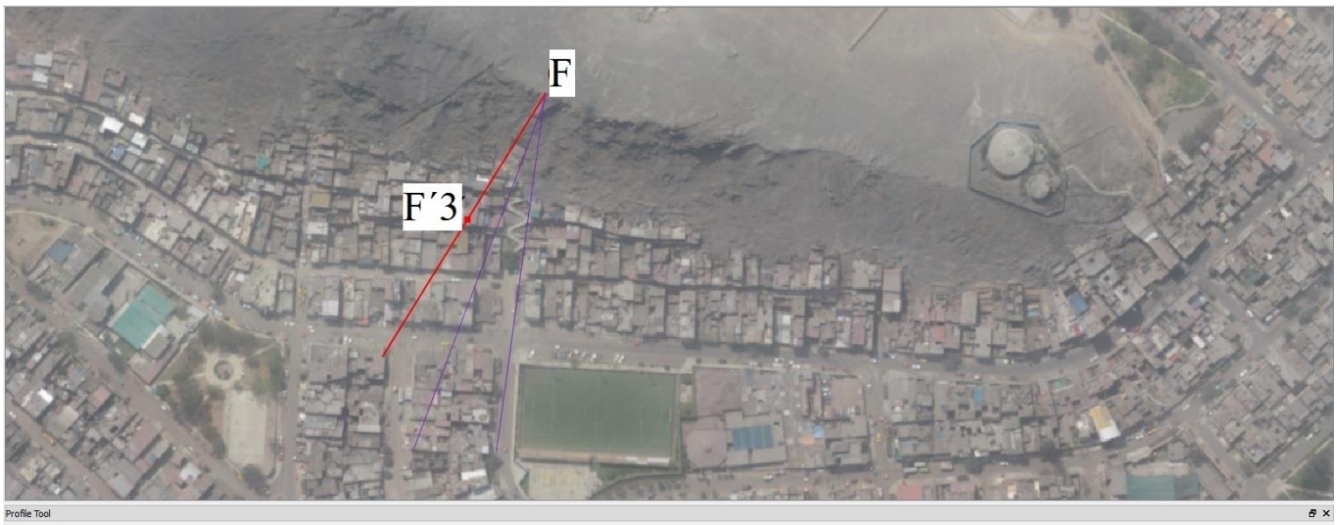

Horizontal Location of Rock End-points
Number of Rocks
Location [m]


F
F´2

F
F´2
Profile Tool
Profile
Table
Settings
Y : 255.27
X : 96.172
324.28
maximum
236.43
minimum
Layer
Band/Field
Search buffer
DEM_ST
Add Layer
Remove Layer
Options
Selection
Temporary polyline
Show cursor
Link mouse position on graph with canvas
Reset view
Height
Interpolated profile
Graph - PNG
Save as
Coordenada
284201.0,8666872.4
Escala
1:1,834
Amplificador
100%
Rotación
0.0
Representar
EPSG:32718

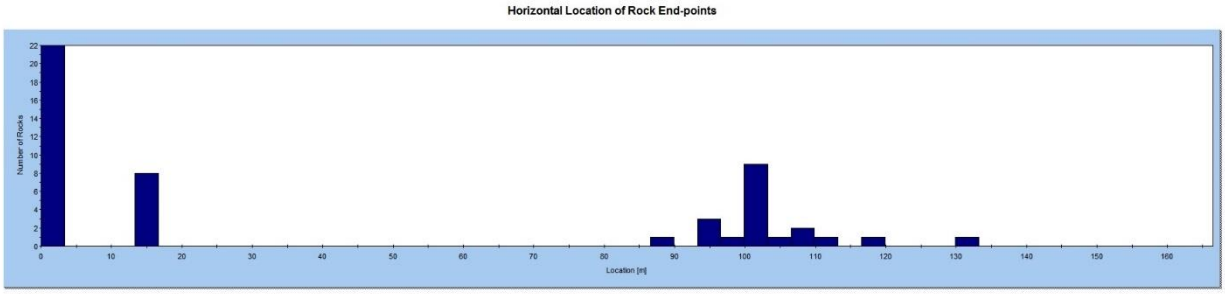

Horizontal Location of Rock End-points
Number of Rocks
Location [m]

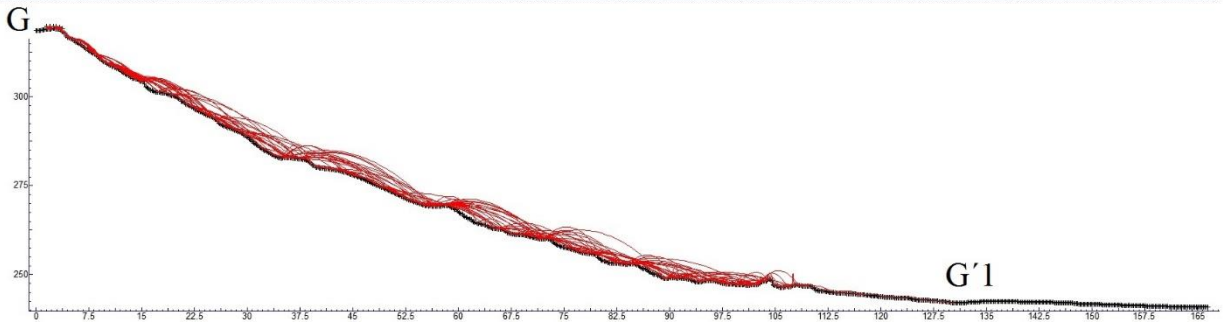

F
F´3

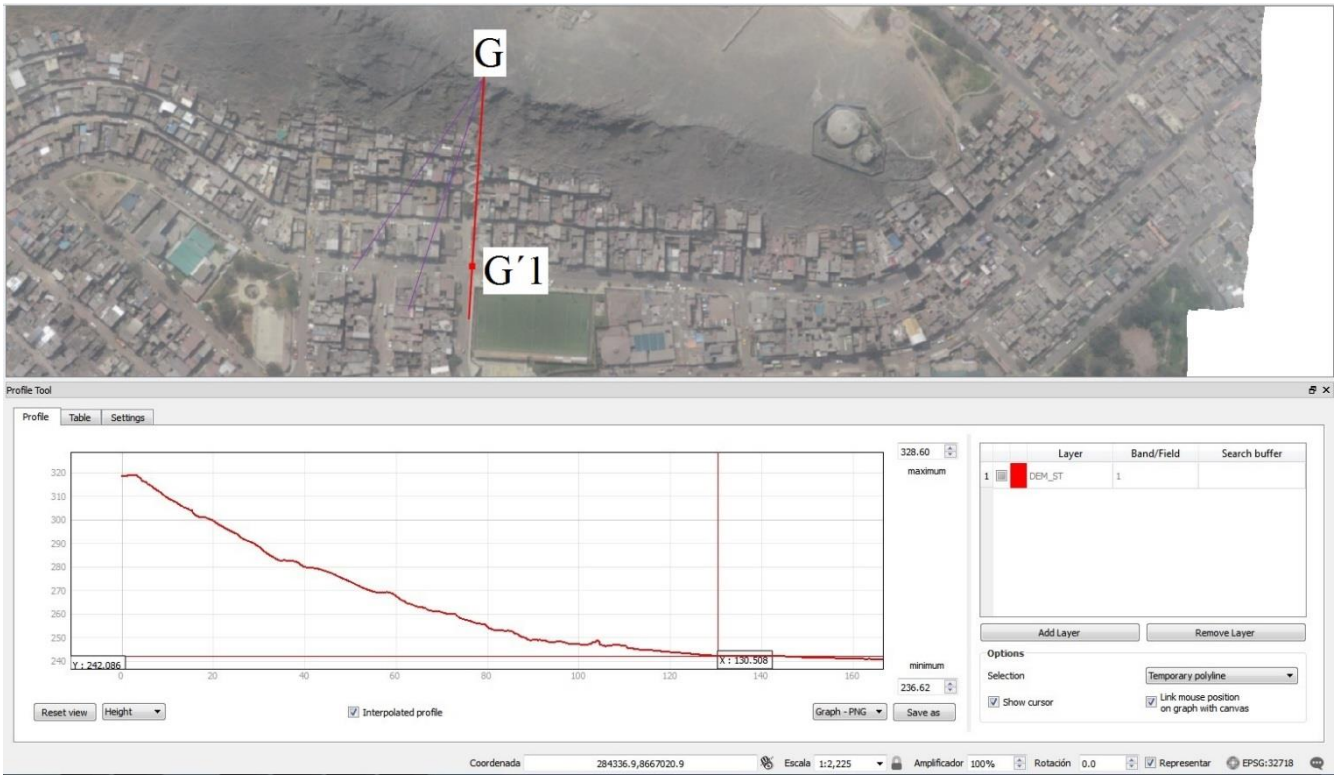

F
F´3

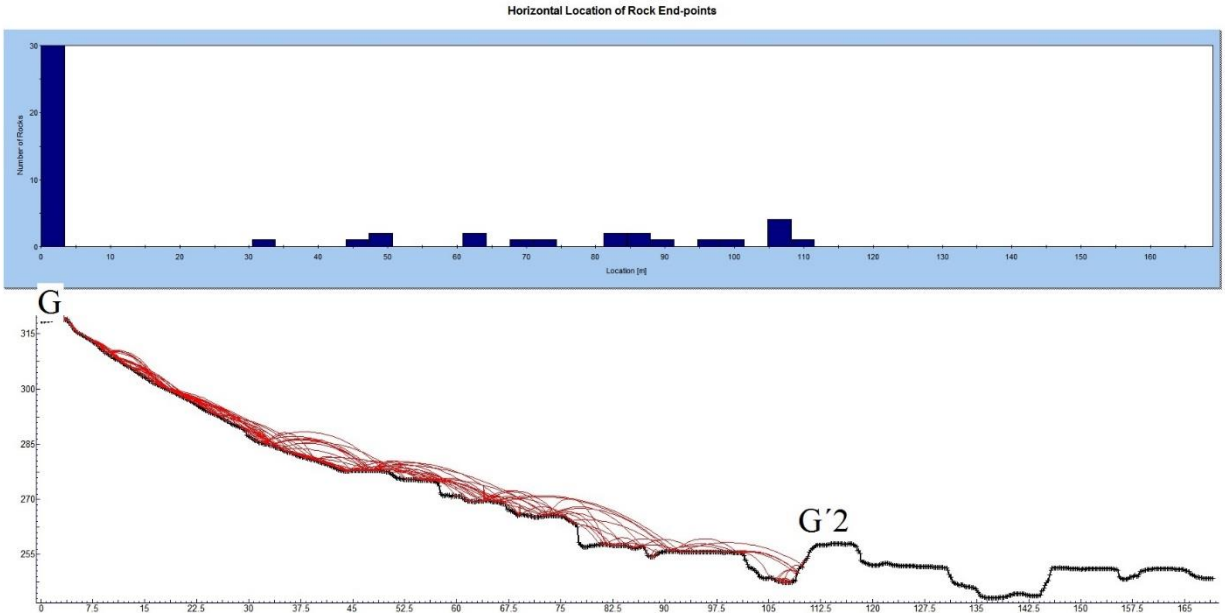
Profile Tool
Profile
Table
Settings
Y : 267.979
X : 76.345
324.69
maximum
236.59
minimum
Reset view
Height
Interpolated profile
Graph - PNG
Save as
Layer
Band/Field
Search buffer
DEM_ST
Add Layer
Remove Layer
Options
Selection
Temporary polyline
Show cursor
Link mouse position on graph with canvas
Coordenada
284606.4,8666956.0
Escala
1:1,674
Amplificador
100%
Rotación
0.0
Representar
EPSG:32718

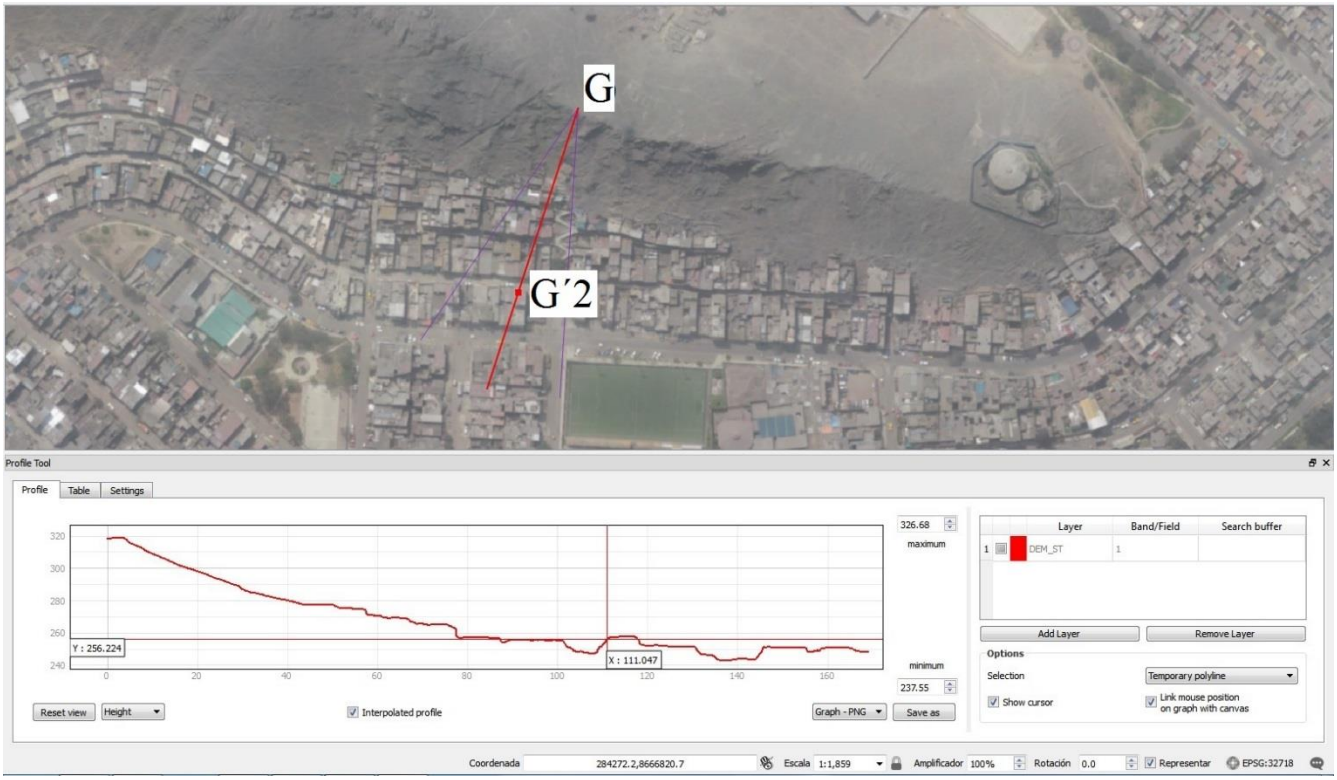
Perfil G: simulaciones con bloques de 45000 kg y volumen de 9 m^3

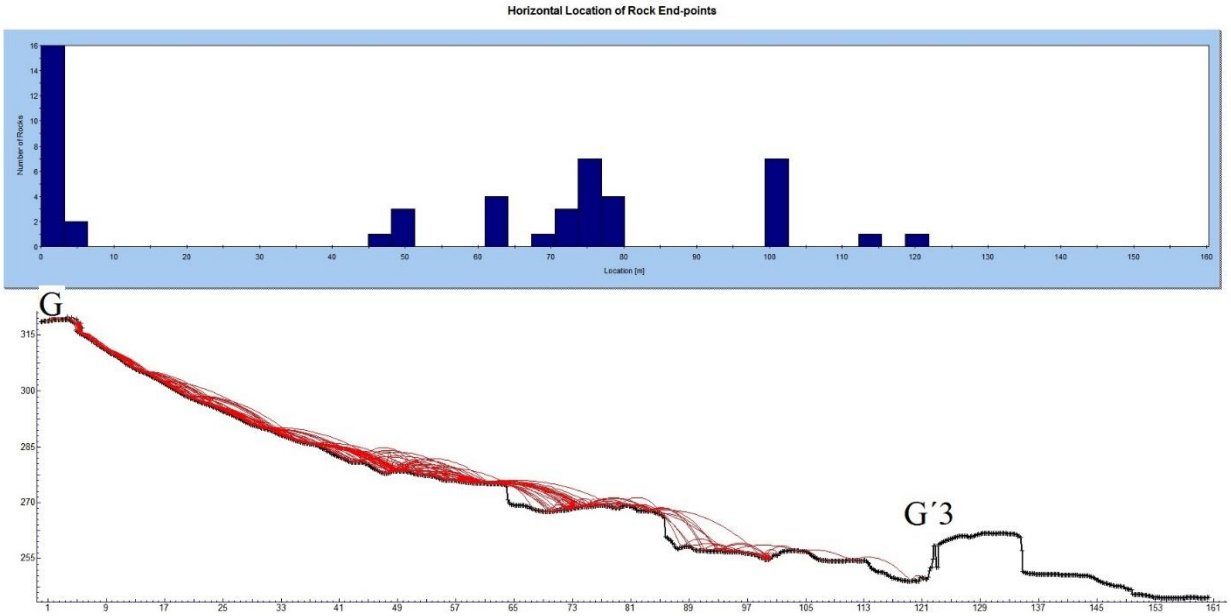


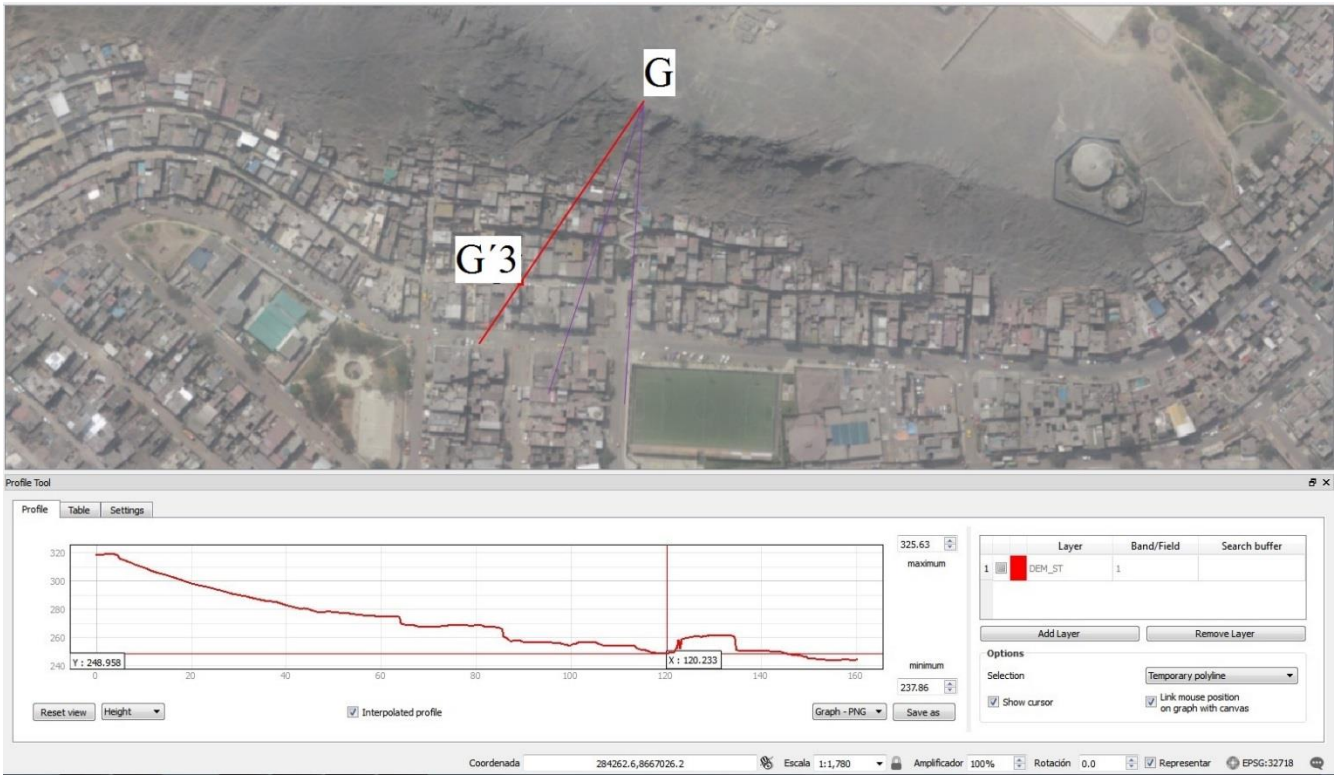




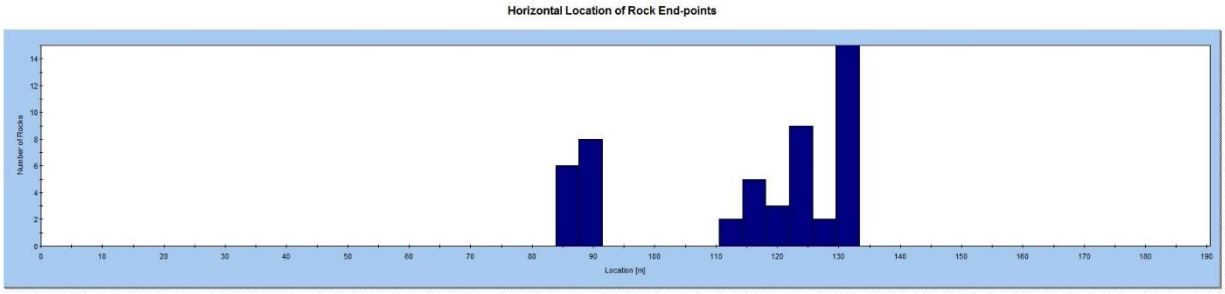

Horizontal Location of Rock End-points
Number of Rocks
Location [m]
G
G´2

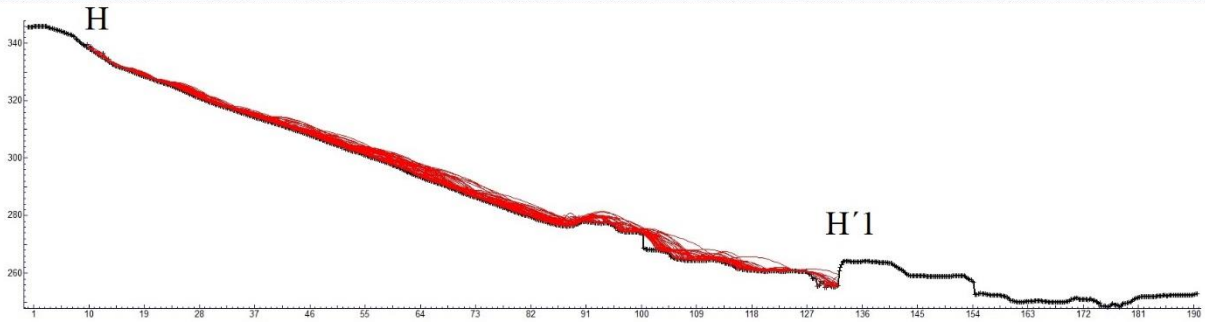

G
G´2
Profile Tool
Profile
Table
Settings
Y : 256.224
X : 111.047
326.68
maximum
minimum
237.55
Reset view
Height
Interpolated profile
Graph - PNG
Save as
Layer
Band/Field
Search buffer
DEM_ST
Add Layer
Remove Layer
Options
Selection
Temporary polyline
Show cursor
Link mouse position on graph with canvas
Coordenada
284272.2,8666820.7
Escala
1:1,859
Amplificador
100%
Rotación
0.0
Representar
EPSG:32718

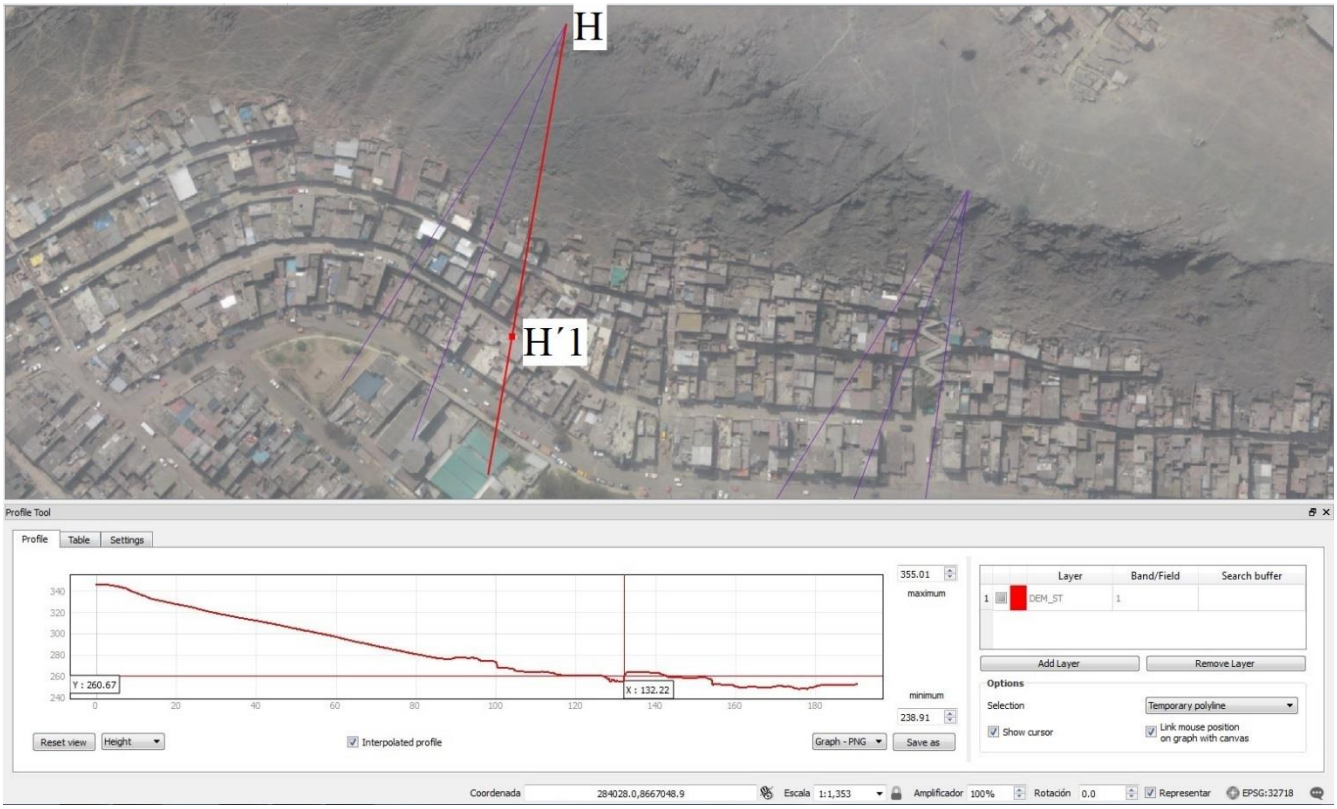

Horizontal Location of Rock End-points
Number of Rocks
Location [m]
G
G´3

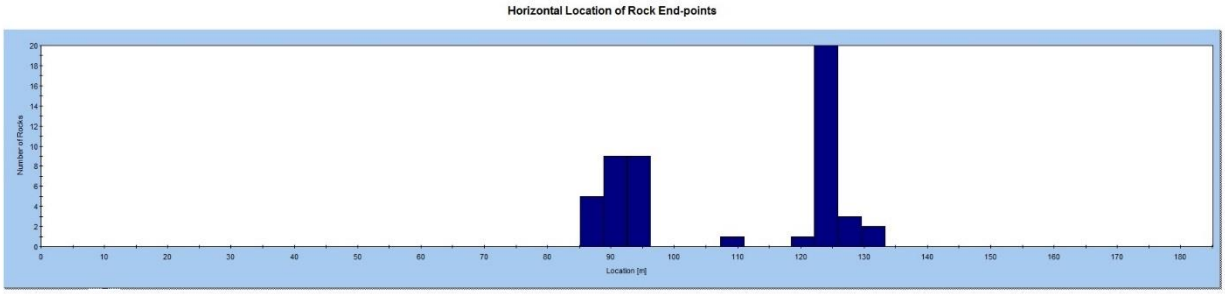

G
G´3
Profile Tool
Profile
Table
Settings
Y : 248.958
X : 120.233
325.63
maximum
minimum
237.86
Layer
Band/Field
Search buffer
DEM_ST
Add Layer
Remove Layer
Options
Selection
Temporary polyline
Show cursor
Link mouse position on graph with canvas
Reset view
Height
Interpolated profile
Graph - PNG
Save as
Coordenada
284262.6,8667026.2
Escala
1:1,780
Amplificador
100%
Rotación
0.0
Representar
EPSG:32718

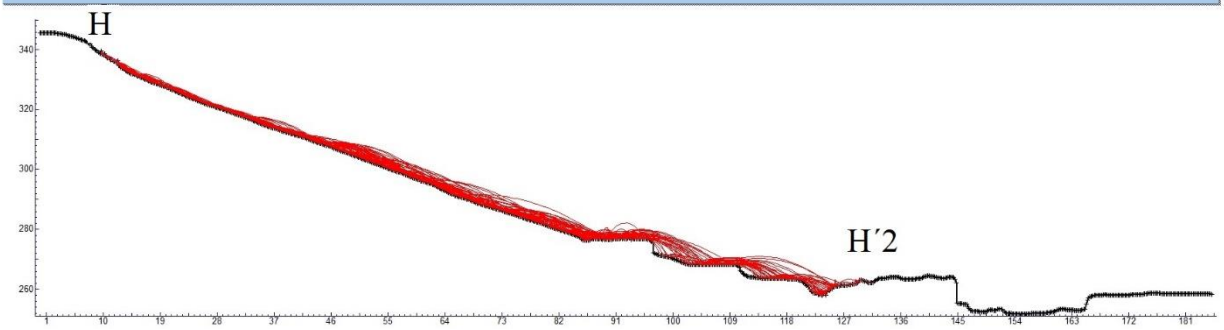
Perfil H: simulaciones con bloques de 0.5 kg y volumen de 0.0001 m^3

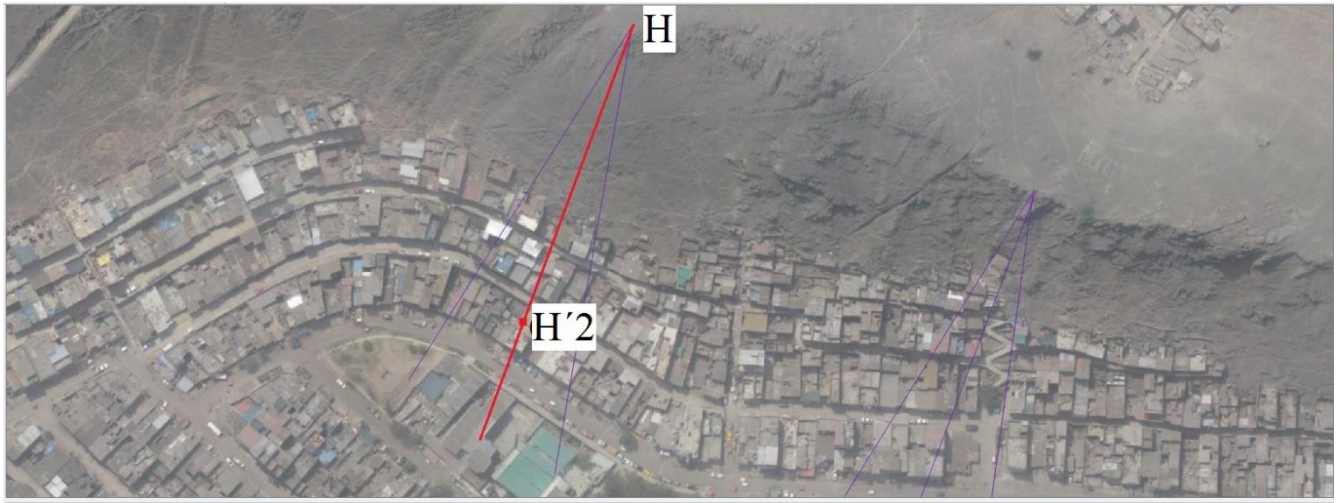


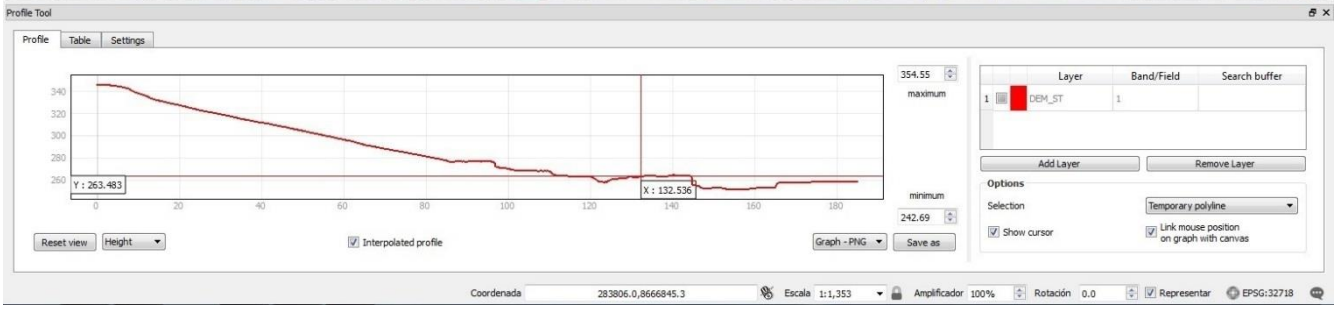


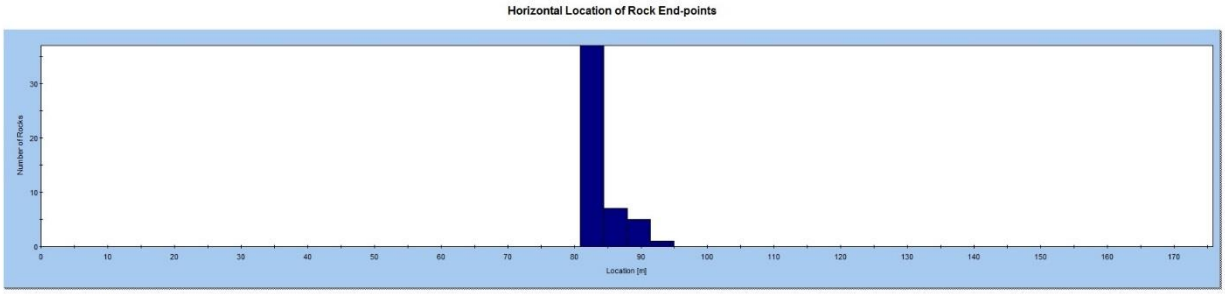


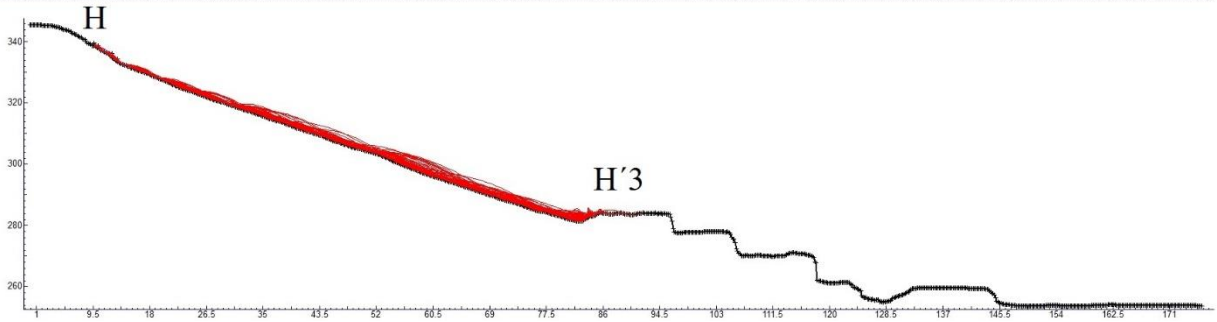

Horizontal Location of Rock End-points
Number of Rocks
Location [m]

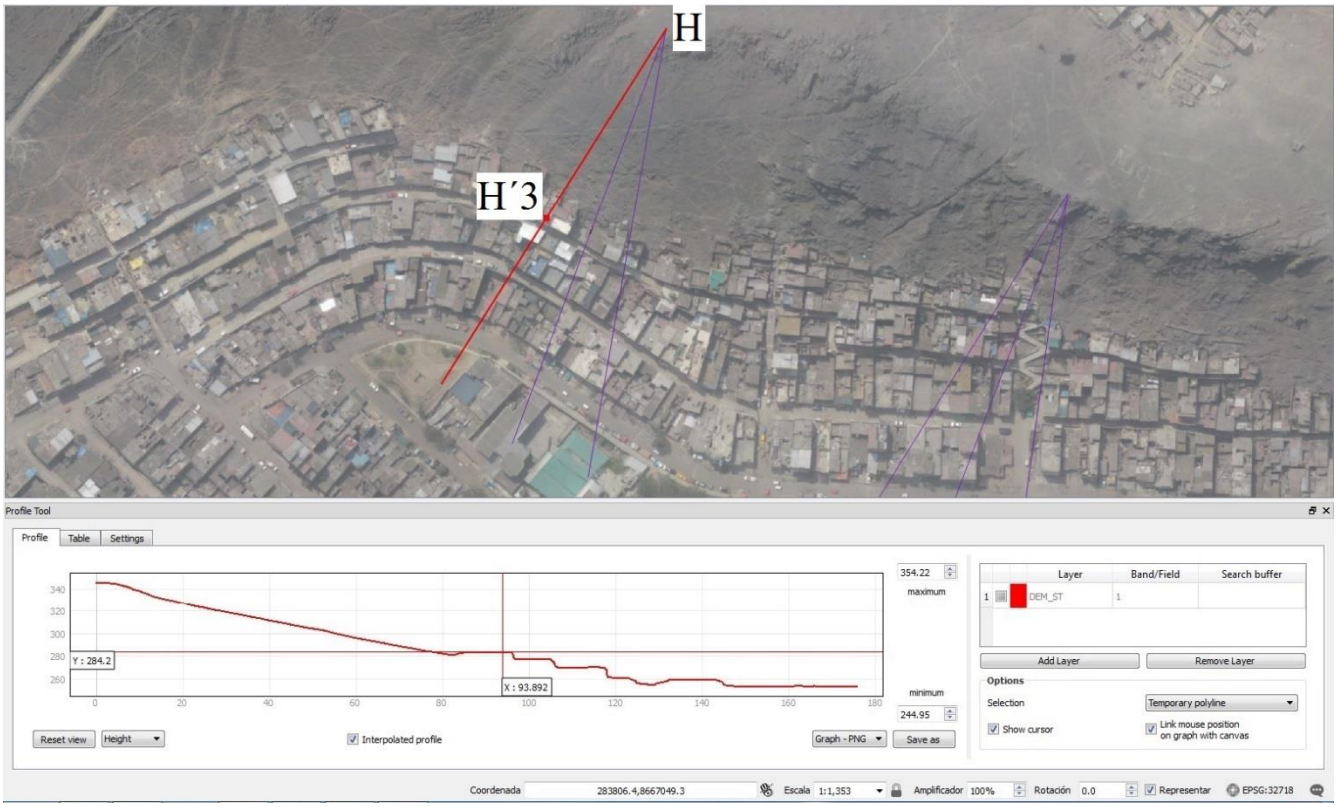

H
H´2


H
H´2

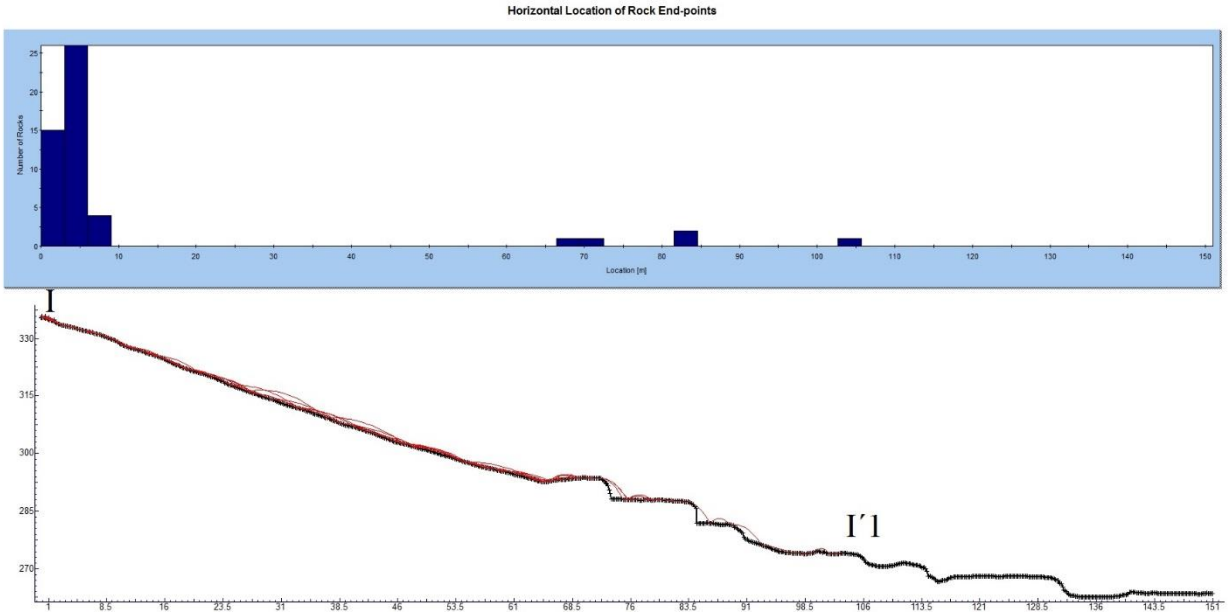

Profile Tool
Profile
Table
Settings
Y : 263.483
X : 132.536
354.55
maximum
minimum
242.69
Layer
Band/Field
Search buffer
DEM_ST
Add Layer
Remove Layer
Options
Selection
Temporary polyline
Show cursor
Link mouse position on graph with canvas
Reset view
Height
Interpolated profile
Graph - PNG
Save as
Coordenada
283806.0,8666845.3
Escala
1:1,353
Amplificador
100%
Rotación
0.0
Representar
EPSG:32718

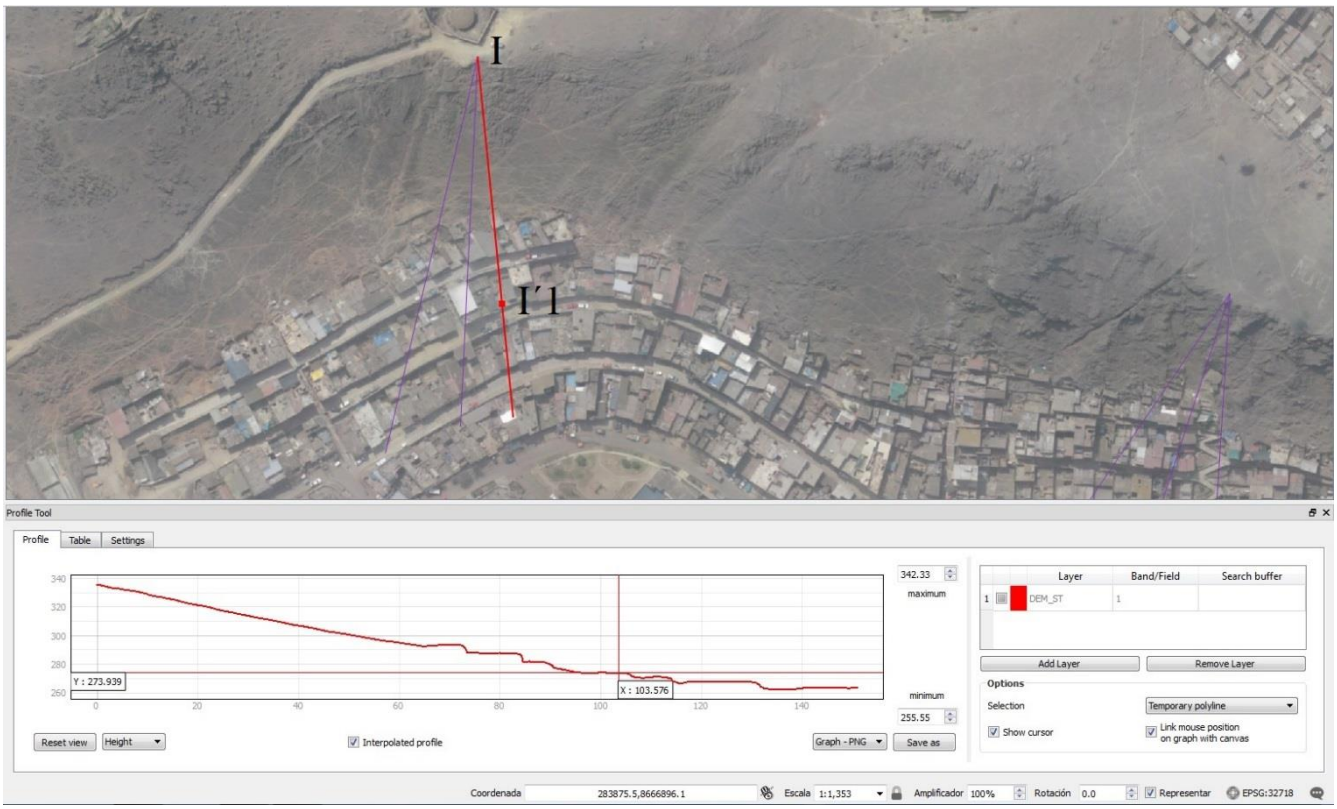

Horizontal Location of Rock End-points
Number of Rocks
Location [m]

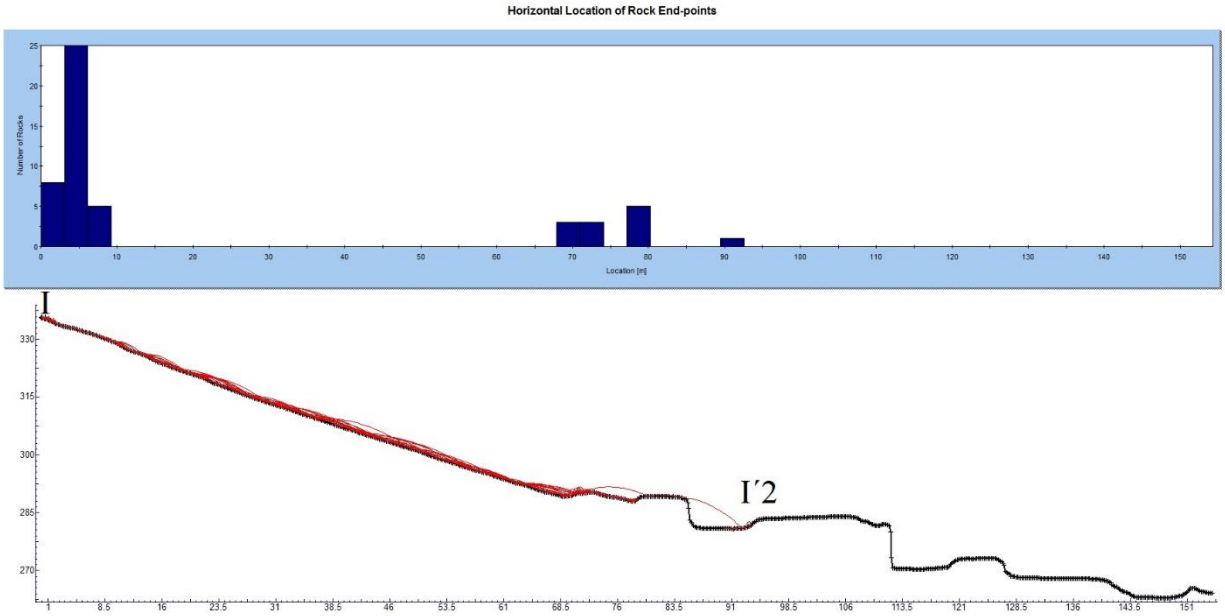

H
H´3

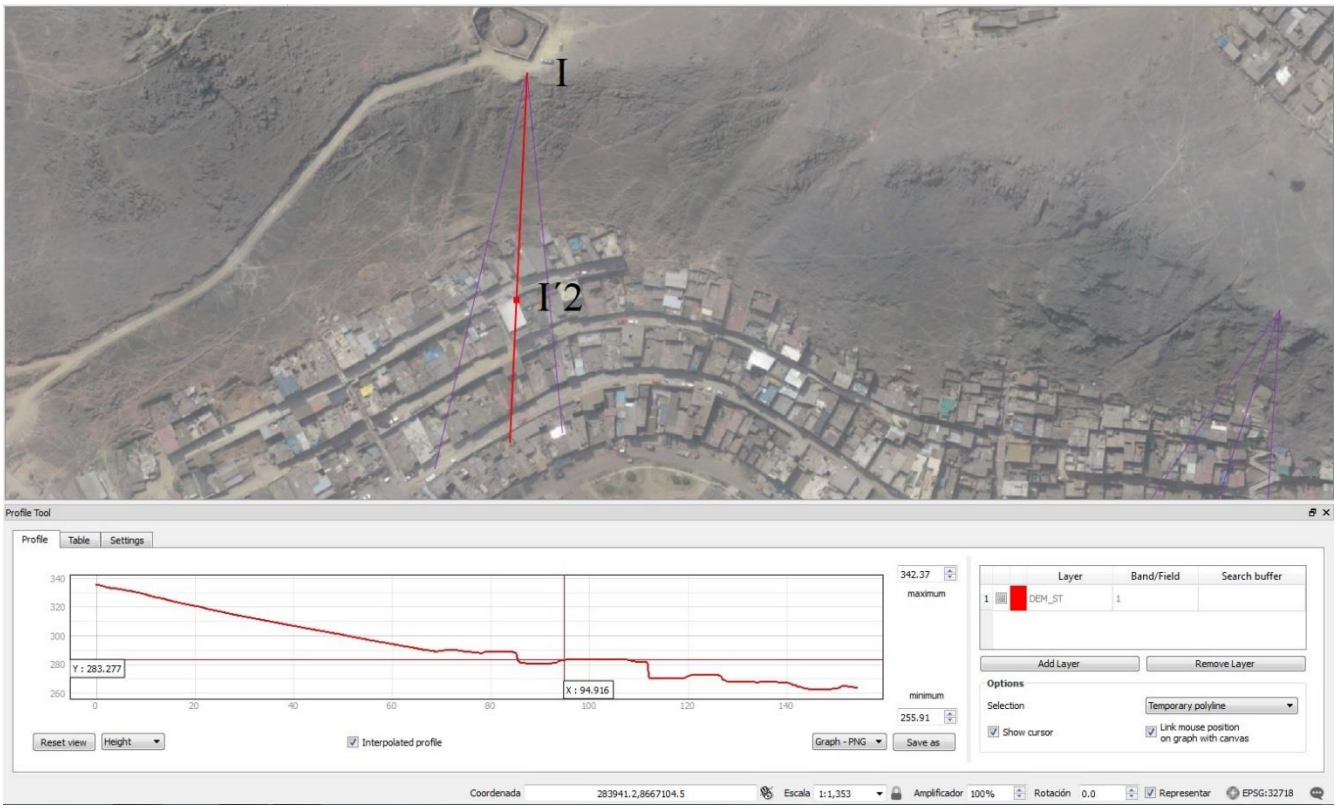

H
H´3
Profile Tool
Profile
Table
Settings
Y : 284.2
X : 93.892
354.22
maximum
minimum
244.95
Reset view
Height
Interpolated profile
Graph - PNG
Save as
Layer
Band/Field
Search buffer
OEM_ST
Add Layer
Remove Layer
Options
Selection
Temporary polyline
Show cursor
Link mouse position on graph with canvas
Coordenada
283806.4,8667049.3
Escala
1:1,353
Amplificador
100%
Rotación
0.0
Representar
EPSG:32718

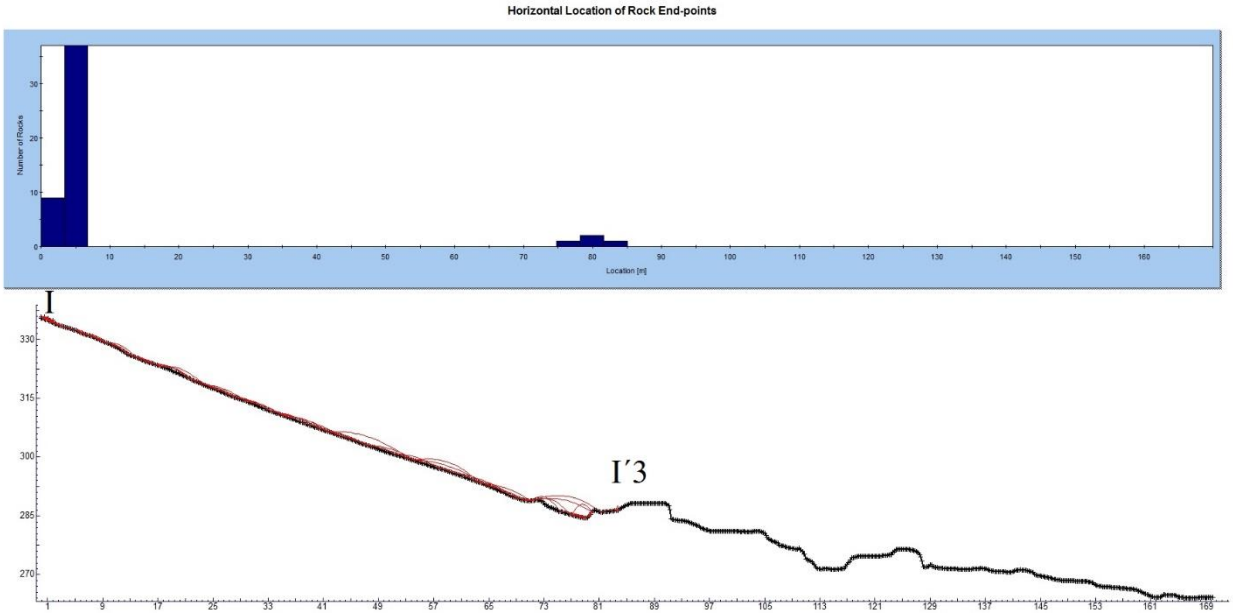
Perfil I: simulaciones con bloques de 0.5 kg y volumen de 0.0001 m^3

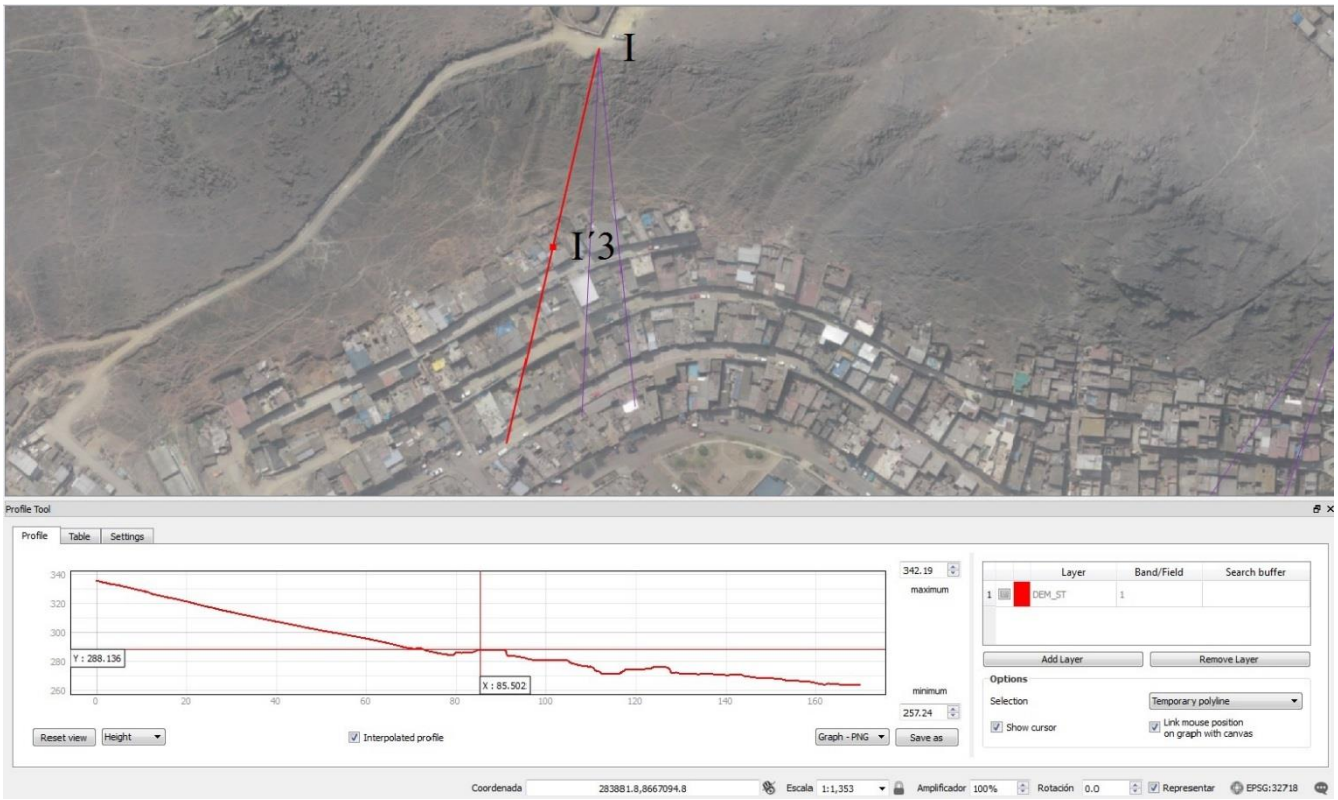




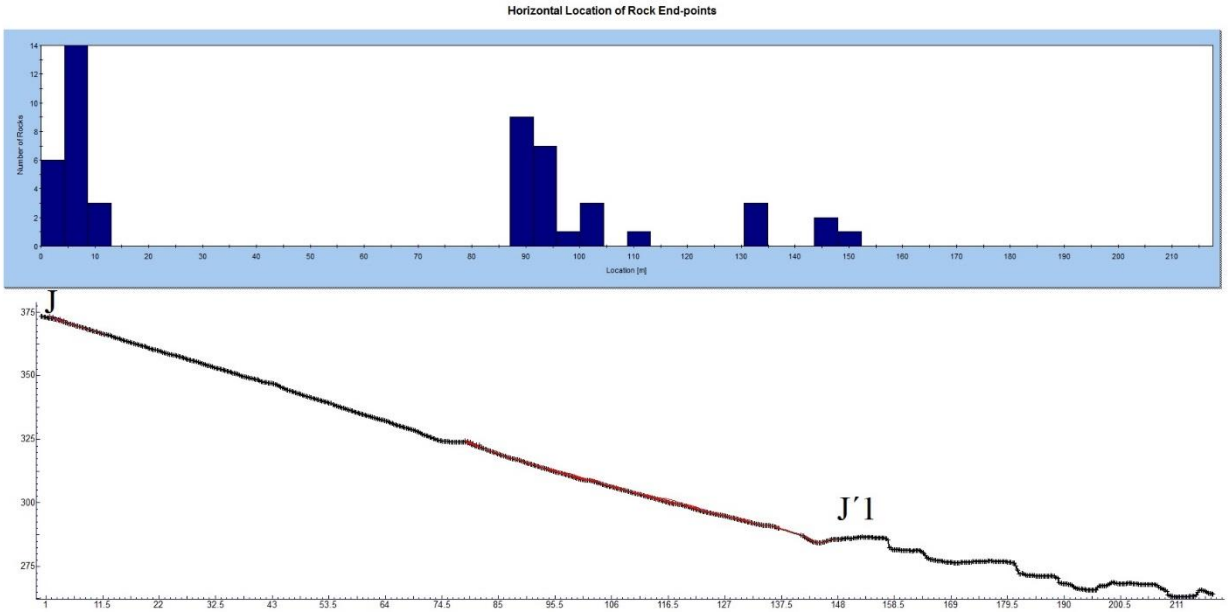

Horizontal Location of Rock End-points
Number of Rocks
Location [m]
I
I´2

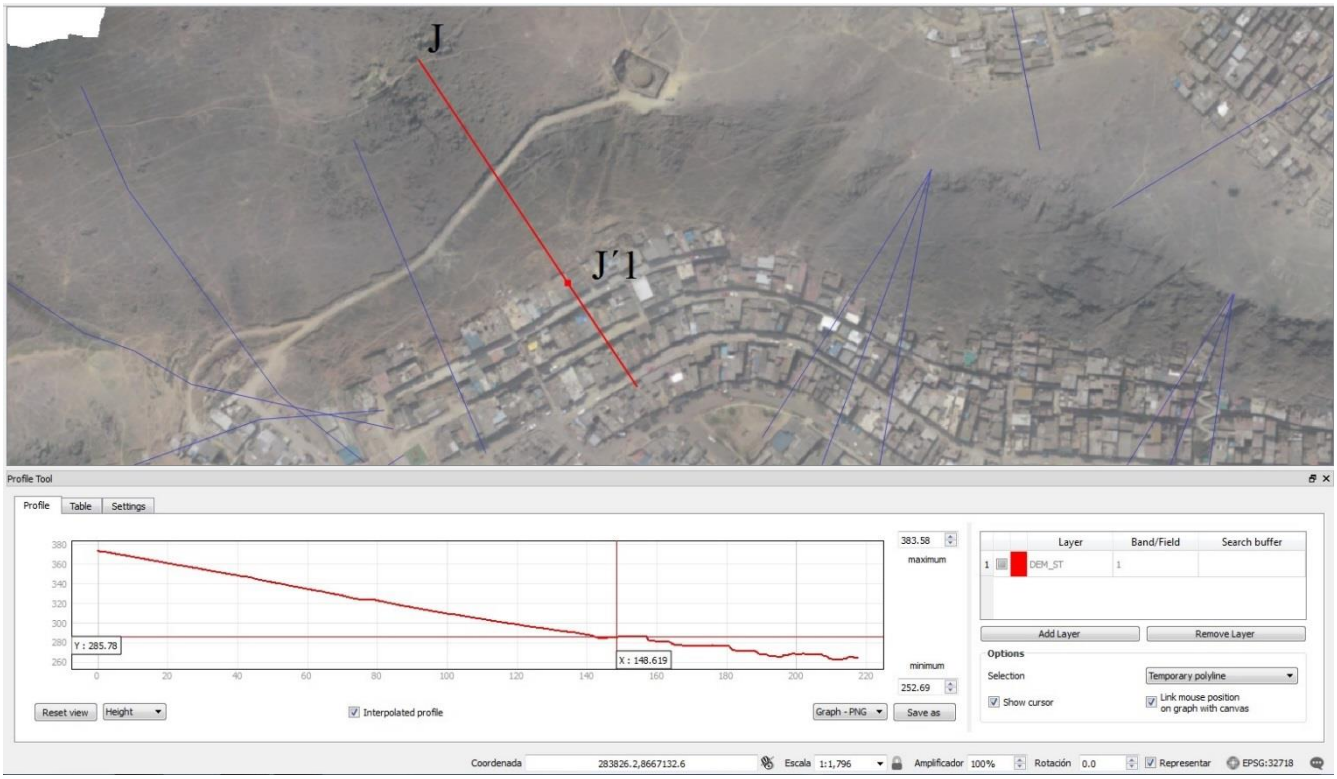

I
I´2
Profile Tool
Profile
Table
Settings
Y : 283.277
X : 94.916
342.37
maximum
minimum
255.91
Reset view
Height
Interpolated profile
Graph - PNG
Save as
Layer
Band/Field
Search buffer
DEM_ST
Add Layer
Remove Layer
Options
Selection
Temporary polyline
Show cursor
Link mouse position on graph with canvas
Coordenada
283941.2,8667104.5
Escala
1:1,353
Amplificador
100%
Rotación
0.0
Representar
EPSG:32718


Horizontal Location of Rock End-points
Number of Rocks
Location [m]
I
I´3

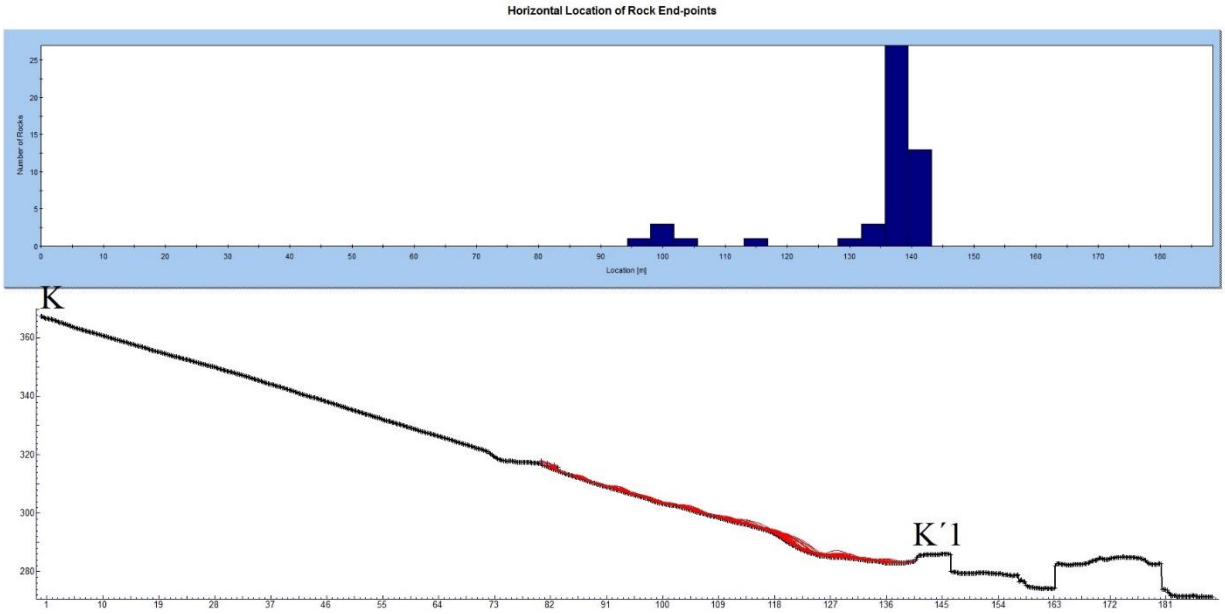

I
I´3
Profile Tool
Profile
Table
Settings
Y : 288.136
X : 85.502
342.19
maximum
257.24
minimum
Reset view
Height
Interpolated profile
Graph - PNG
Save as
Layer
Band/Field
Search buffer
DEM_ST
Add Layer
Remove Layer
Options
Selection
Temporary polyline
Show cursor
Link mouse position on graph with canvas
Coordenada
283881.8,8667094.8
Escala
1:1,353
Amplificador
100%
Rotación
0.0
Representar
EPSG:32718

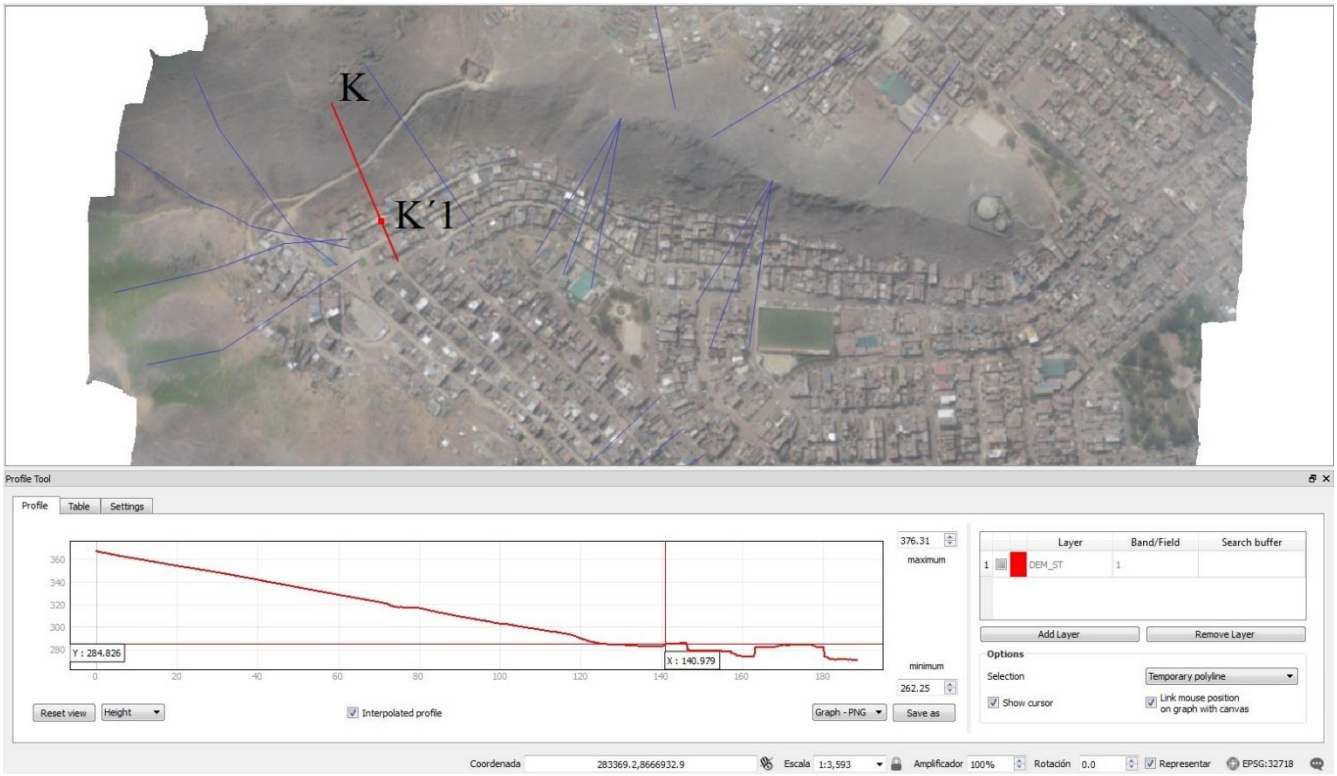
Perfil J: simulación con bloques de 0.5 kg y volumen de 0.0001 m^3



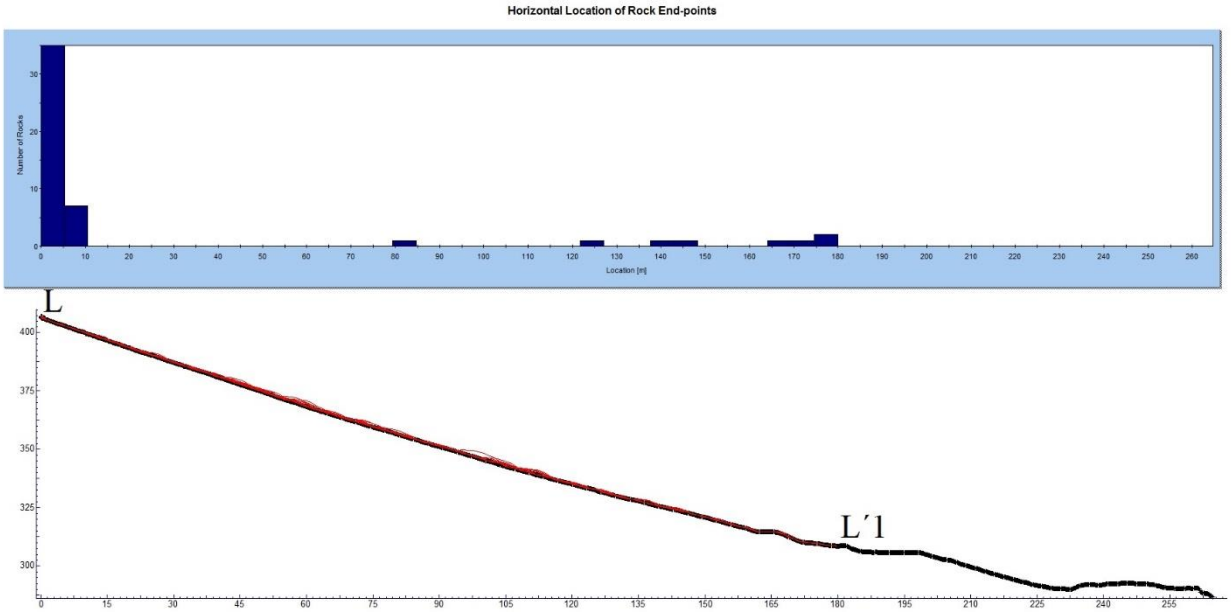


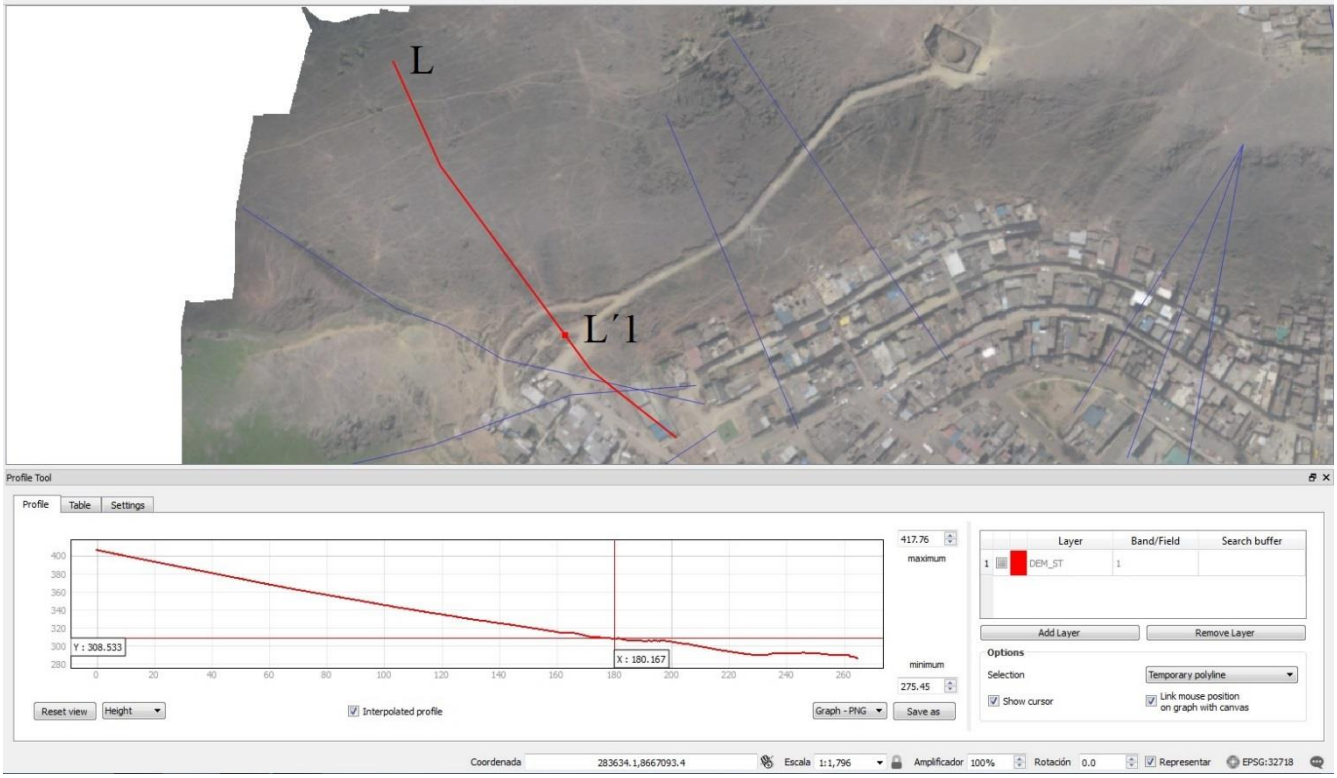
Perfil K: simulación con bloques de 0.5 kg y volumen de 0.0001 m^3



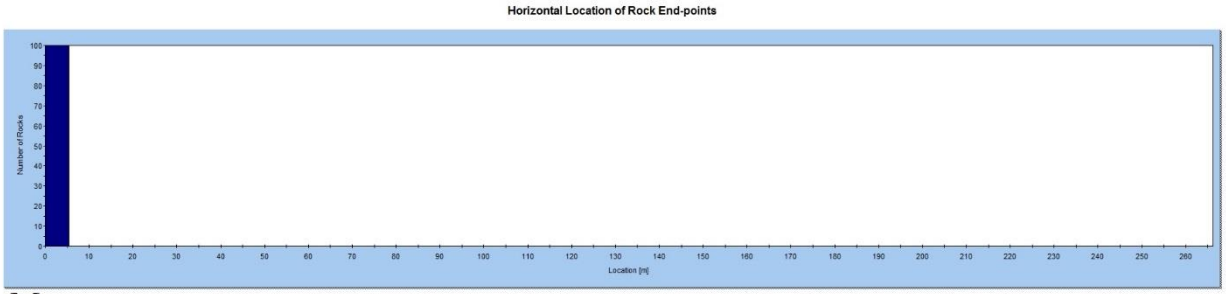


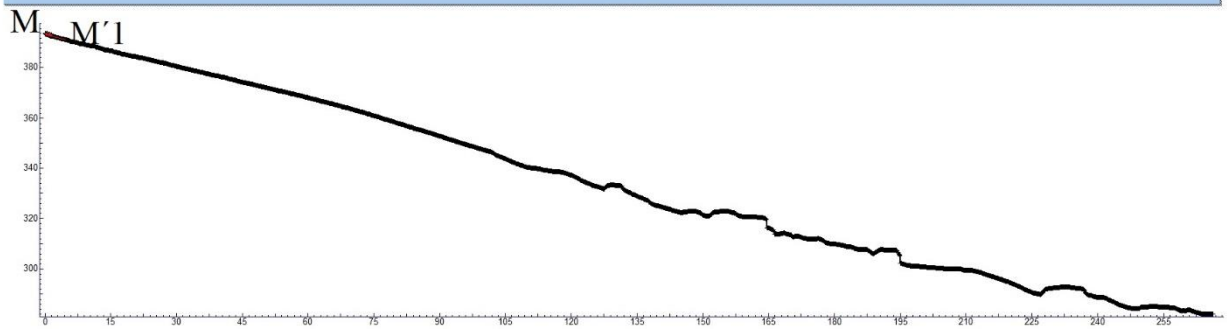
Perfil L: simulación con bloques de 0.5 kg y volumen de 0.0001 m^3

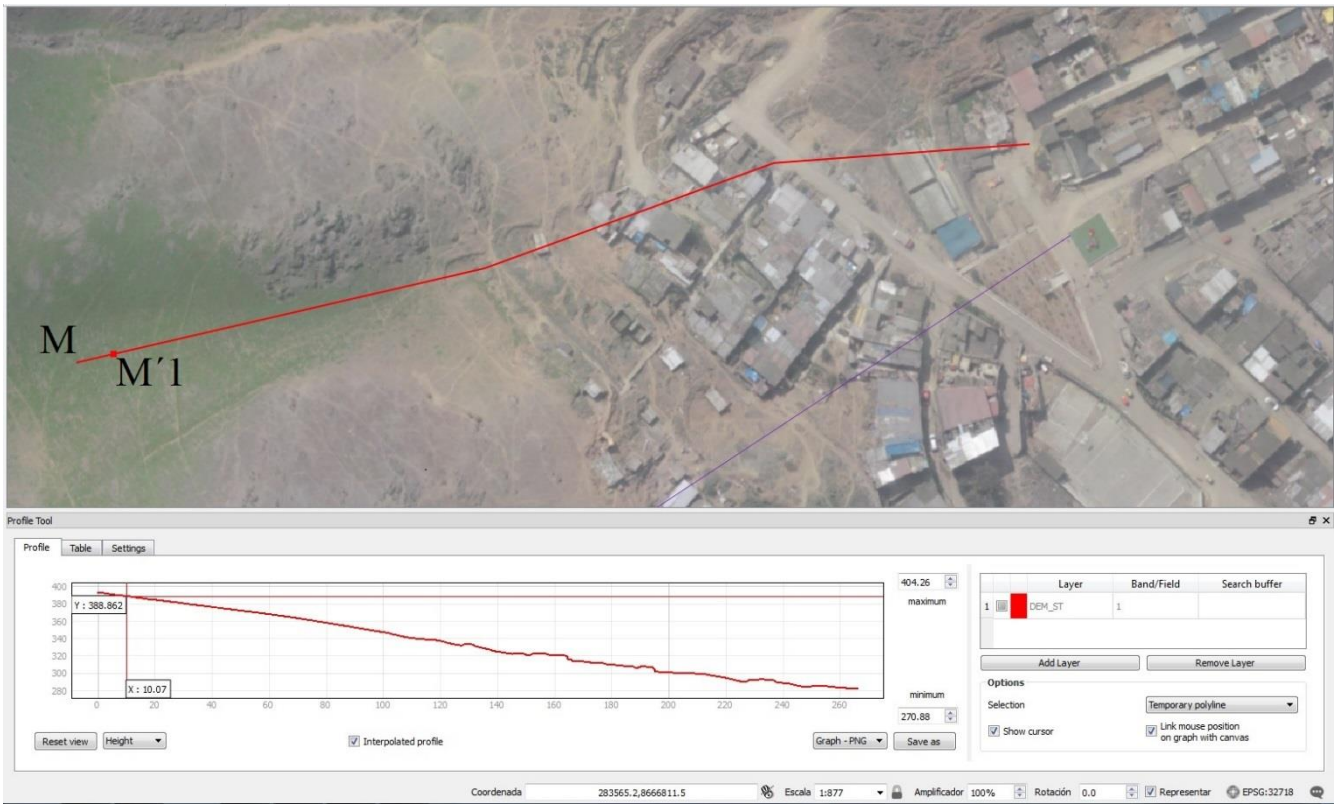




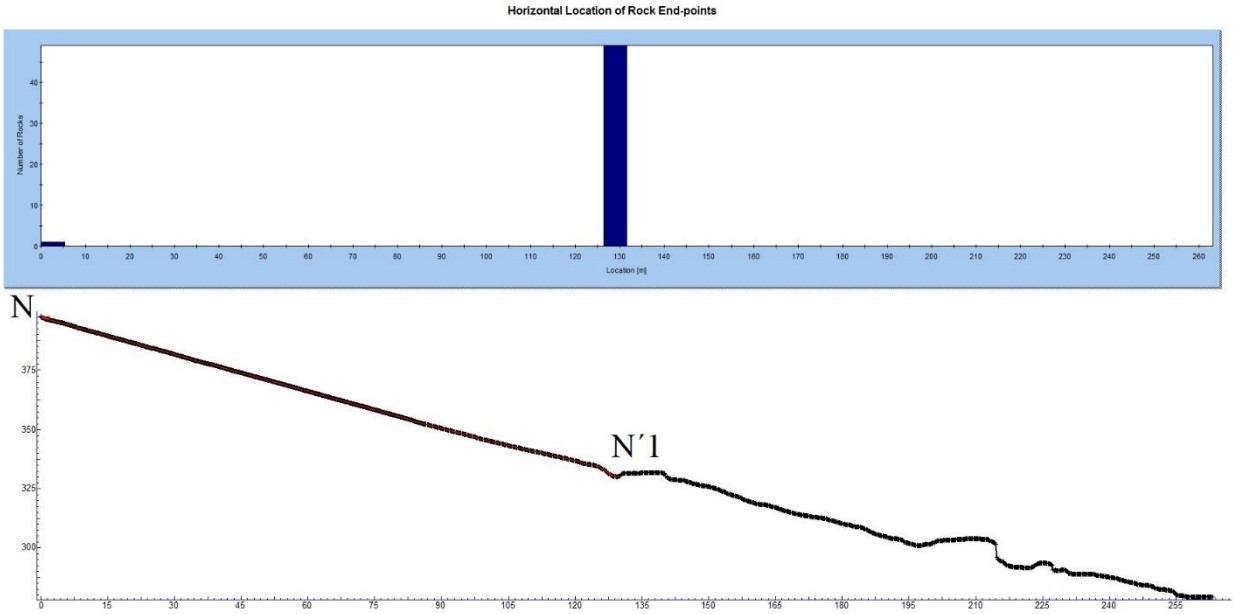
Perfil M: simulación con bloques de 625 kg y volumen de 0.125 m^3

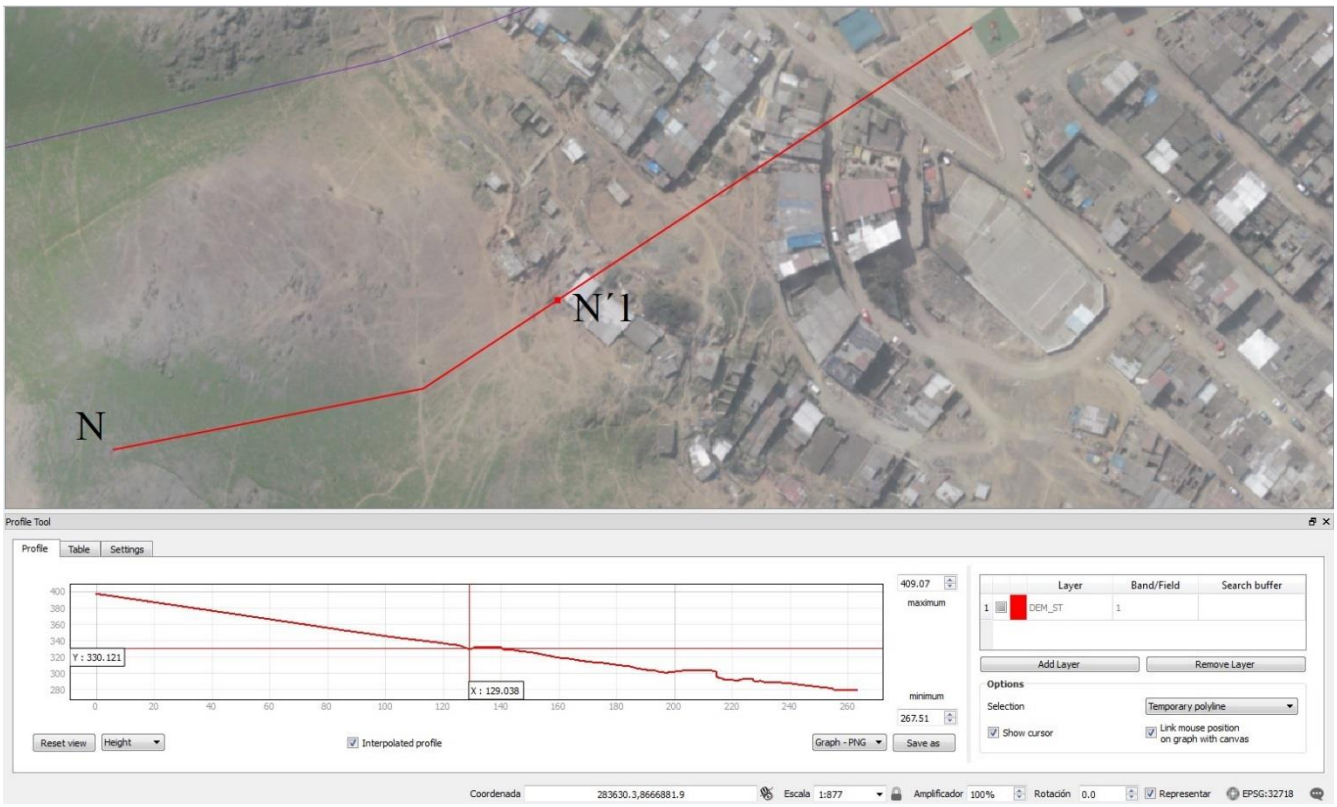




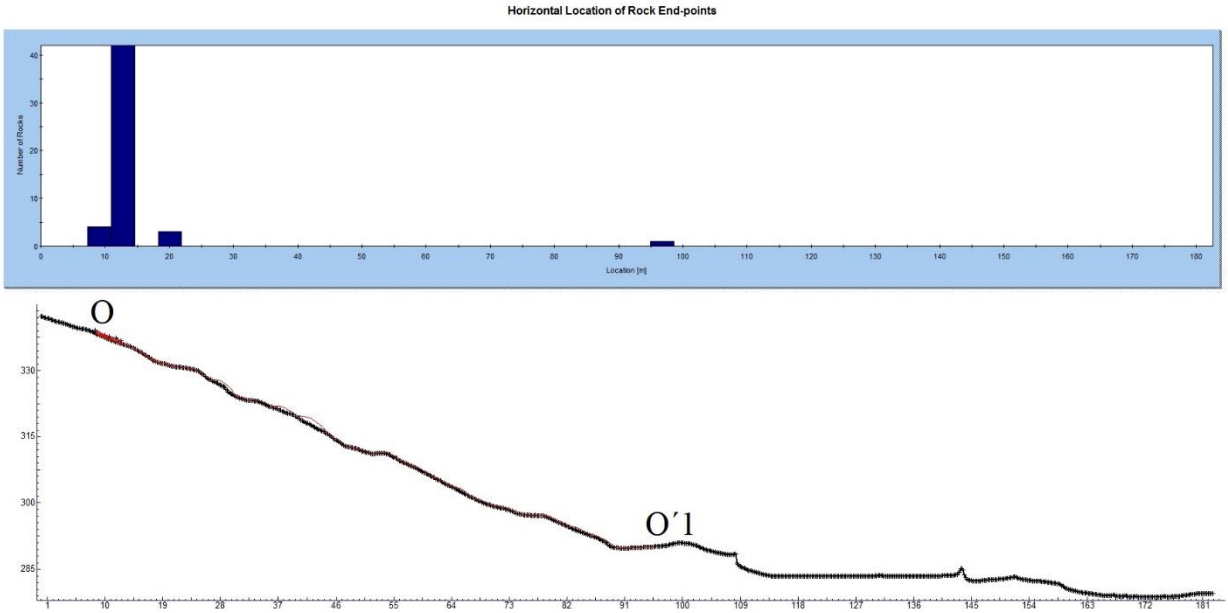


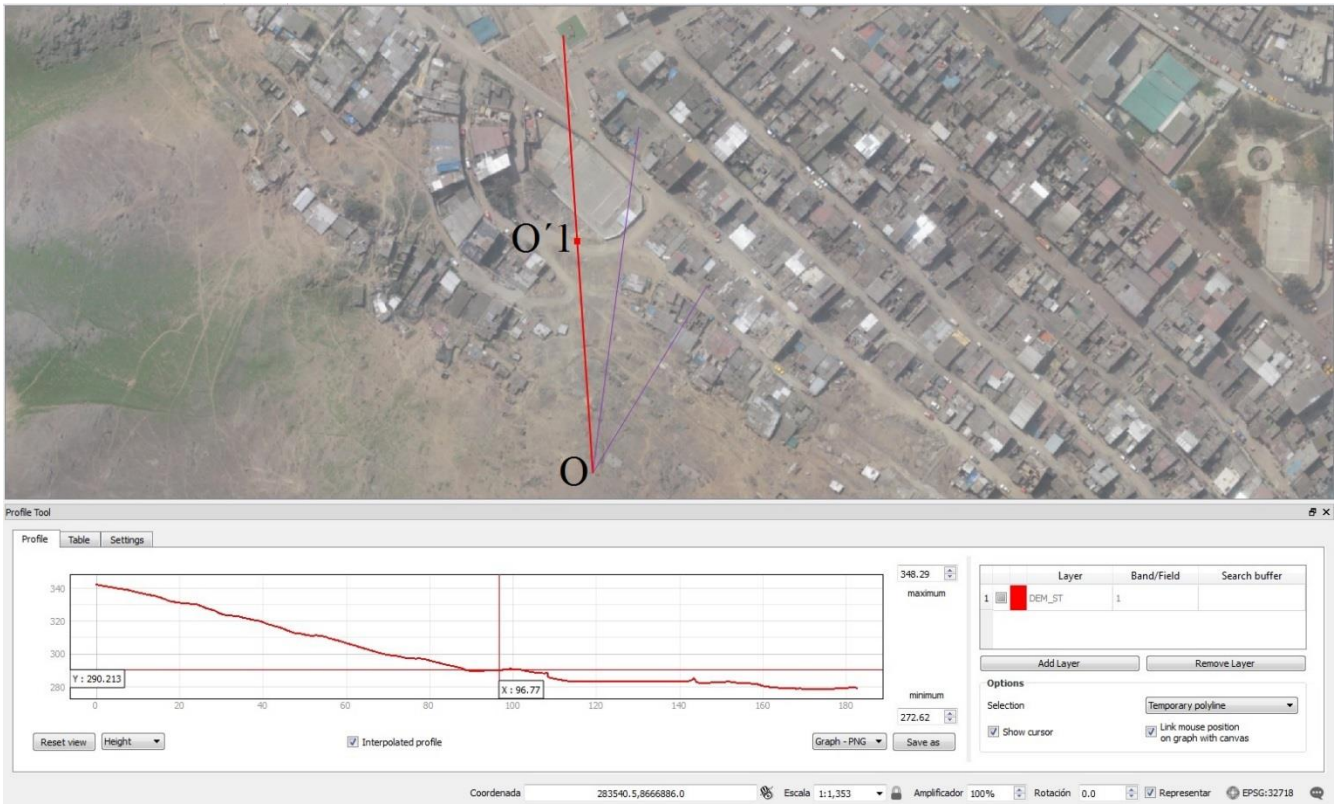
Perfil N: simulación con bloques de 625 kg y volumen de 0.125 m^3

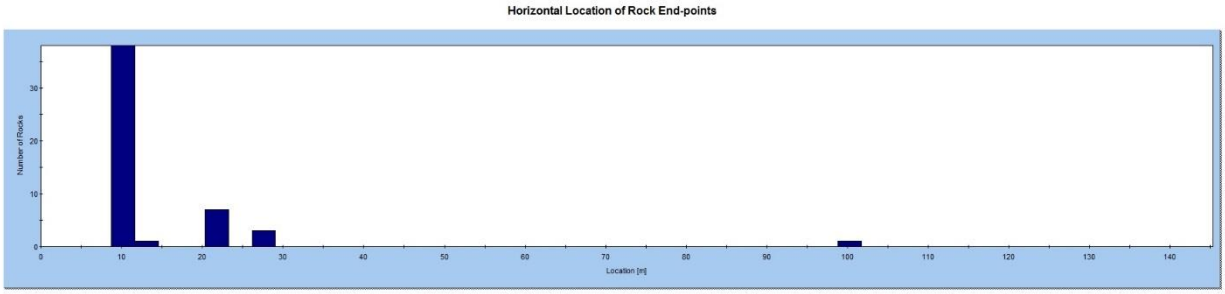


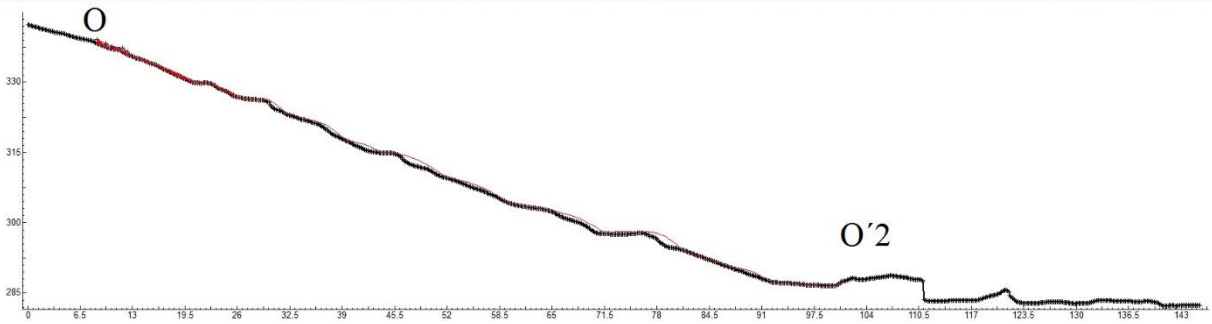


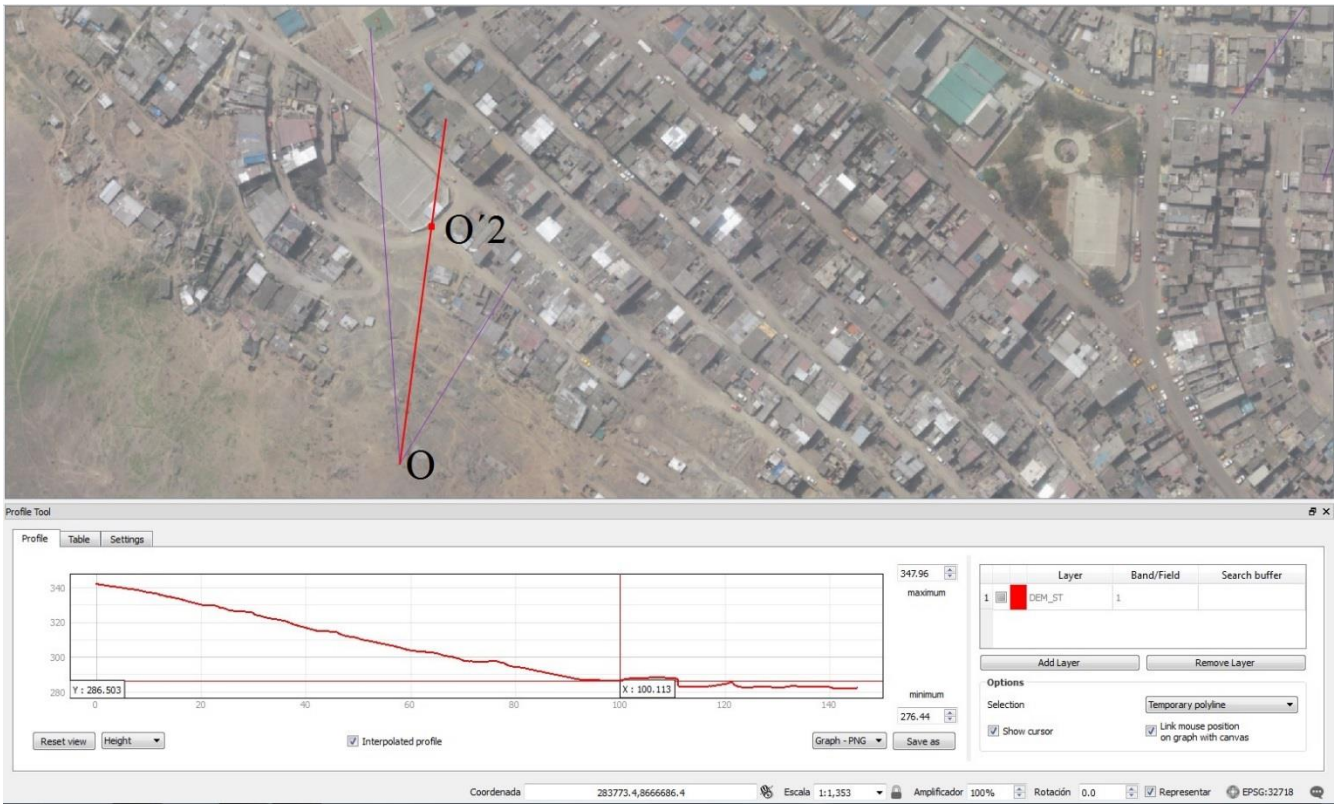
Perfil O: simulaciones con bloques de 1 kg y volumen de 0.0002 m^3

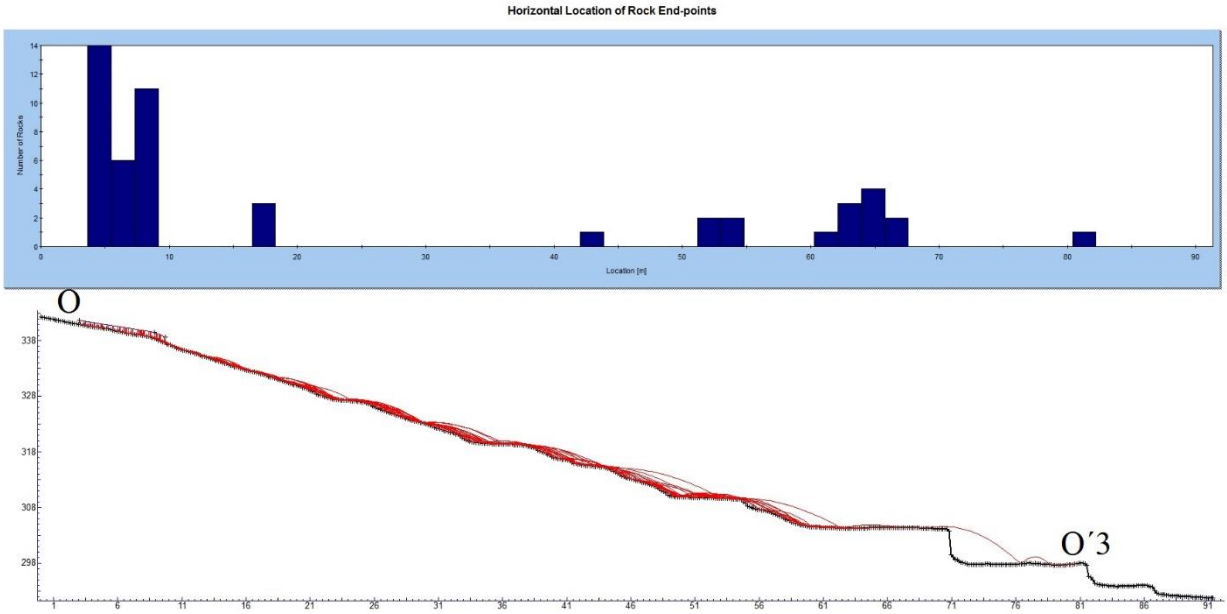


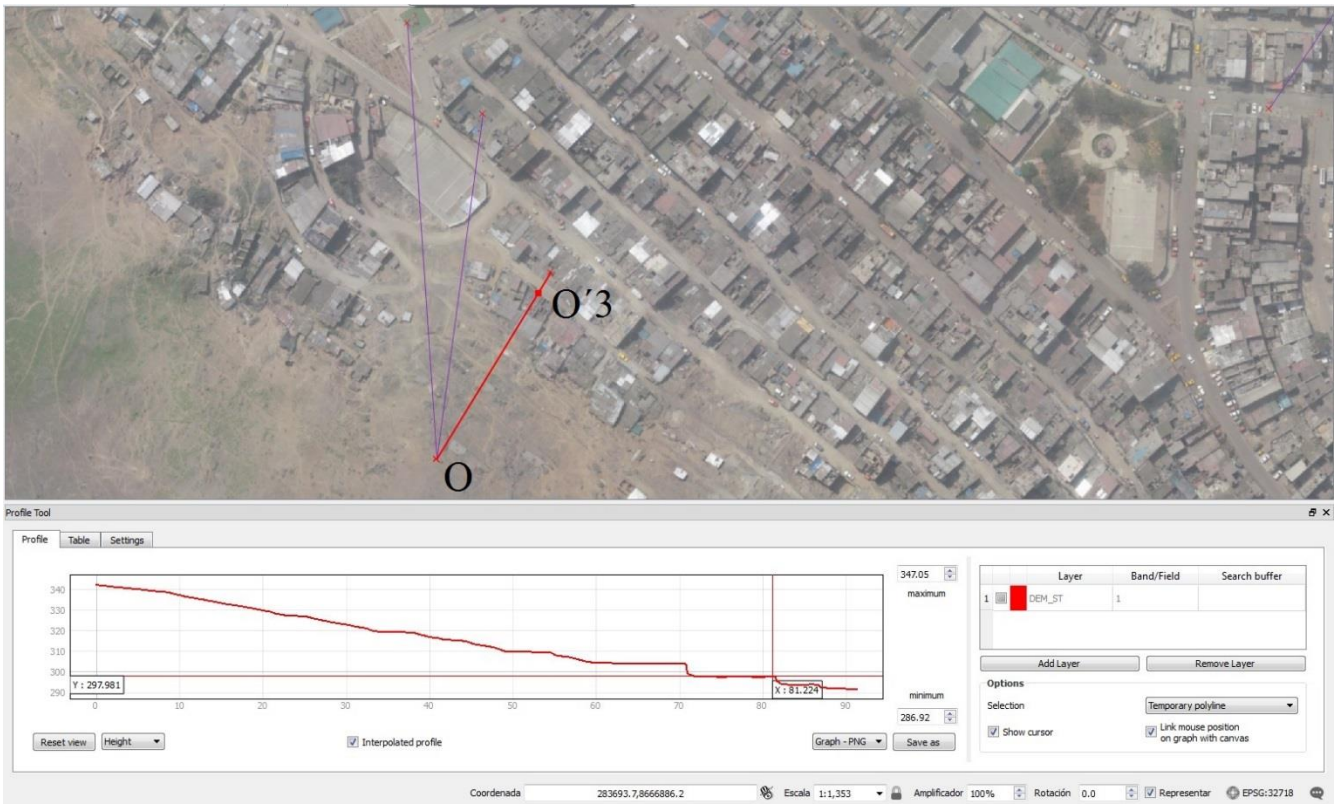



Horizontal Location of Rock End-points
Number of Rocks
Location [m]

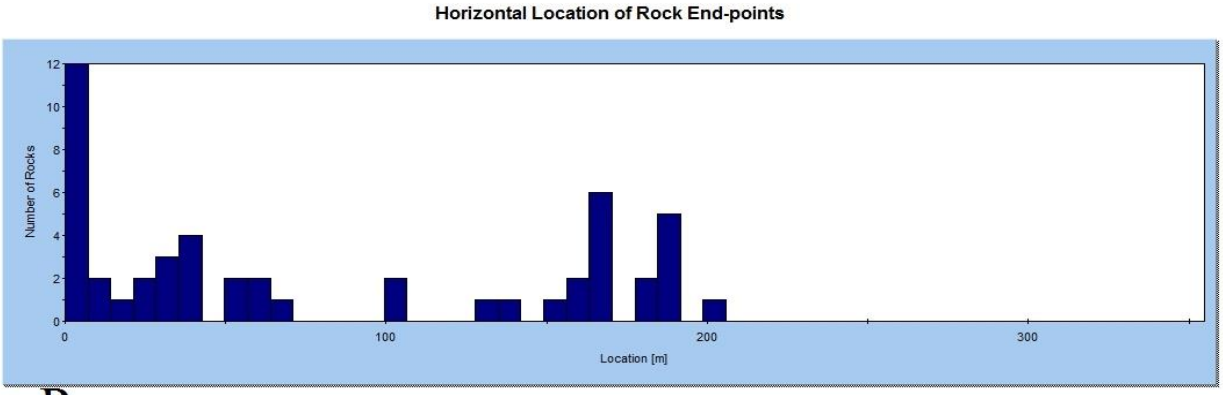

O
O´2

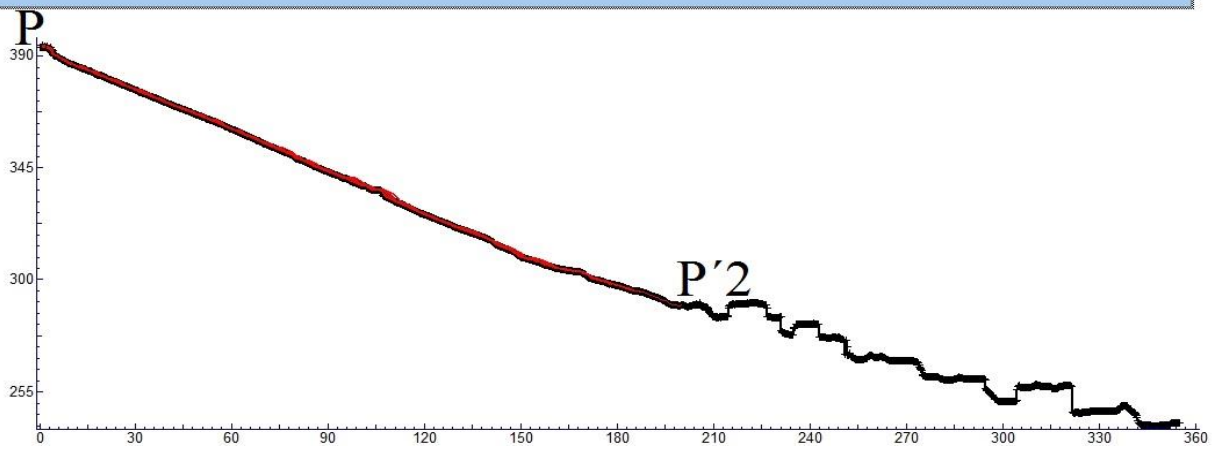

O´2
O
Profile Tool
Profile
Table
Settings
Y : 286.503
X : 100.113
347.96
maximum
minimum
276.44
Reset view
Height
Interpolated profile
Graph - PNG
Save as
Layer
Band/Field
Search buffer
OEM_ST
Add Layer
Remove Layer
Options
Selection
Temporary polyline
Show cursor
Link mouse position on graph with canvas
Coordenada
283773.4,8666686.4
Escala
1:1,353
Amplificador
100%
Rotación
0.0
Representar
EPSG:32718

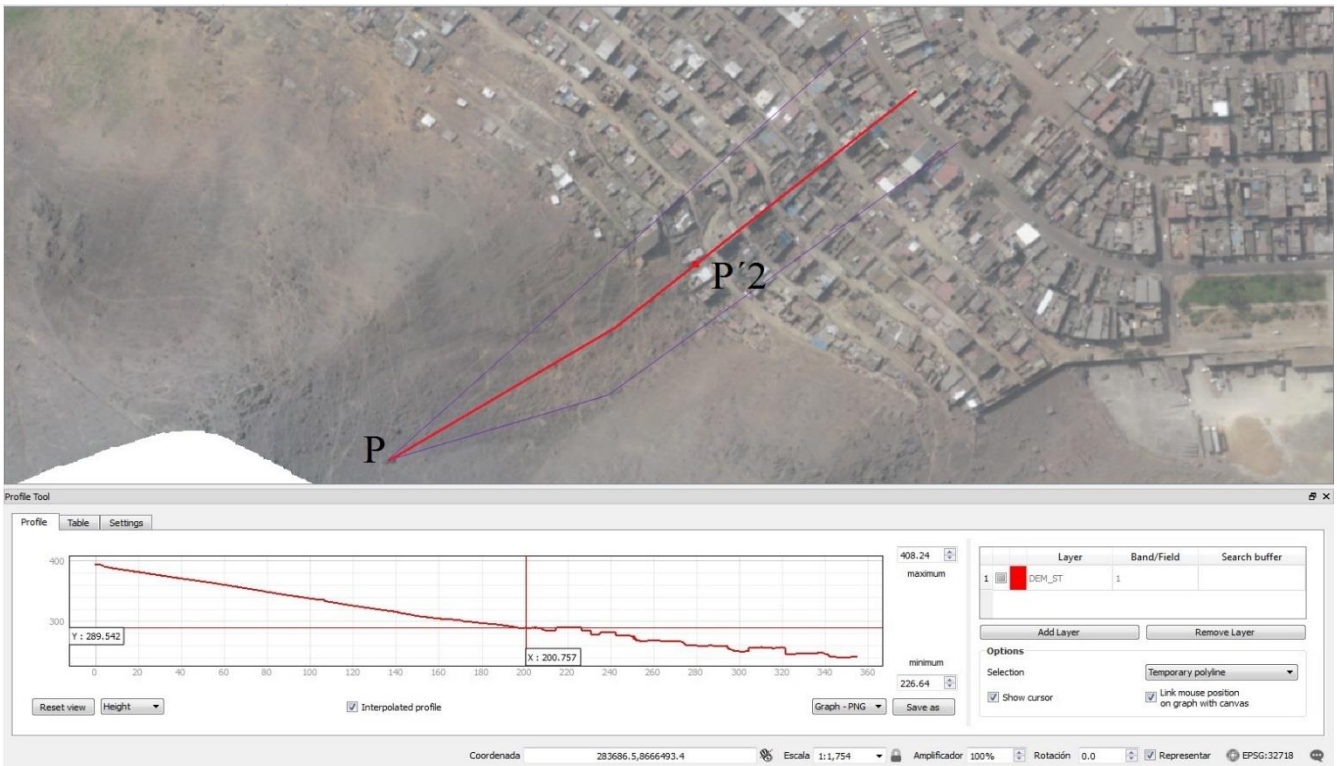

Horizontal Location of Rock End-points
Number of Rocks
Location [m]
O
O´3

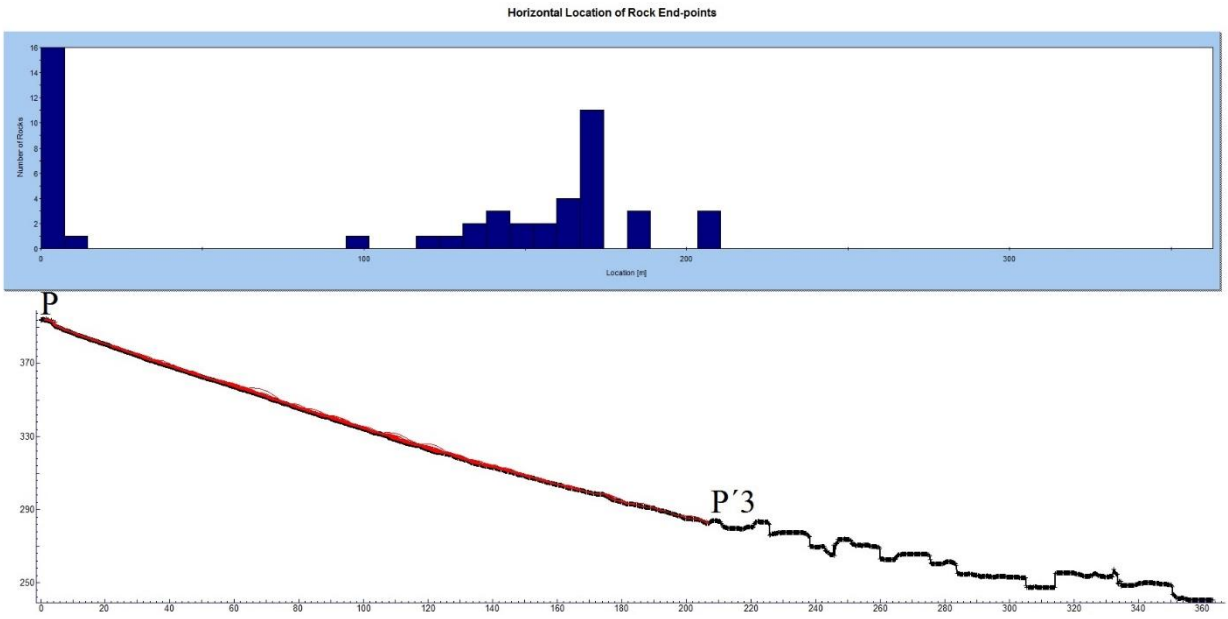

O´3
O
Profile Tool
Profile
Table
Settings
Y : 297.981
X : 81.224
347.05
maximum
minimum
286.92
Reset view
Height
Interpolated profile
Graph - PNG
Save as
Layer
Band/Field
Search buffer
DEM_ST
Add Layer
Remove Layer
Options
Selection
Temporary polyline
Show cursor
Link mouse position on graph with canvas
Coordenada
283693.7,8666886.2
Escala
1:1,353
Amplificador
100%
Rotación
0.0
Representar
EPSG:32718

Perfil P: simulaciones con bloques de 625 kg y volumen de 0.125 m^3








Horizontal Location of Rock End-points
Number of Rocks
Location [m]
P
P´3

P´3
P
Profile Tool
Profile
Table
Settings
Y : 279.562
X : 218.033
408.30
maximum
225.89
minimum
Reset view
Height
Interpolated profile
Graph - PNG
Save as
Layer
Band/Field
Search buffer
DEM_ST
Add Layer
Remove Layer
Options
Selection
Temporary polyline
Show cursor
Link mouse position on graph with canvas
Coordenada
283984.1,8666477.0
Escala
1:1,353
Amplificador
100%
Rotación
0.0
Representar
EPSG:32718