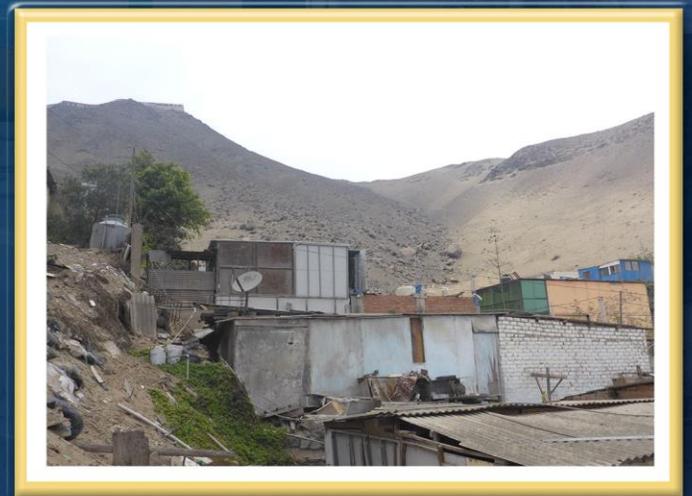
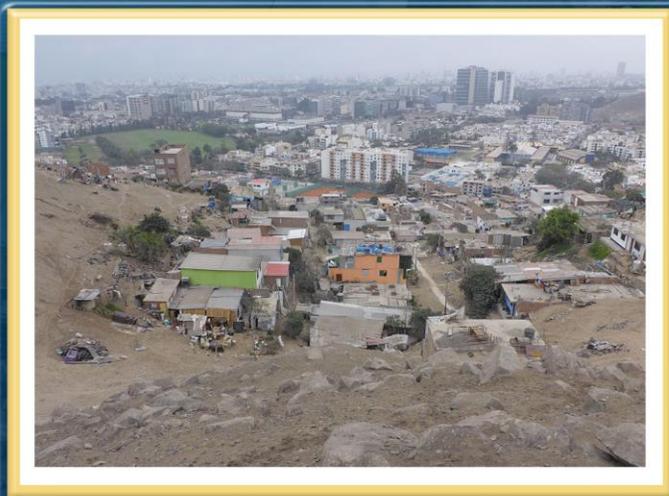


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7442

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR CAÍDA DE ROCAS EN EL ASENTAMIENTO HUMANO “DIENTE DE ORO”

Departamento Lima
Provincia Lima
Distrito Santiago de Surco



OCTUBRE
2023

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR CAÍDA DE ROCAS EN EL ASENTAMIENTO HUMANO “DIENTE DE ORO”

Distrito Santiago de Surco, provincia Lima, departamento Lima

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

Equipo de investigación:

Julio César Lara Calderón

Ángel Gonzalo Luna Guillén

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2023). *Evaluación de peligros geológicos por caída de rocas en el Asentamiento Humano “Diente de Oro”*. Distrito Santiago de Surco, provincia Lima, departamento Lima. Lima: INGEMMET, Informe Técnico A7442, 47 p.

ÍNDICE

RESUMEN.....	4
1. INTRODUCCIÓN.....	6
1.1. Objetivos del estudio	6
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores.....	7
1.1. Aspectos generales	11
1.1.1. Ubicación.....	11
1.1.2. Accesibilidad.....	13
1.1.3. Población.....	13
1.1.4. Clima	13
2. DEFINICIONES	14
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS	16
3.1. Unidades litoestratigráficas.....	16
3.1.1. Super Unidad Santa Rosa-Diorita (Ks-sr/di)	16
3.1.2. Depósito aluvial (Qpl-al)	17
3.1.3. Depósito eólico (Qh-e).....	17
3.1.4. Depósito coluvial (Qh-co)	19
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	20
4.1. Pendientes del terreno.....	20
4.2. Unidades geomorfológicas	20
4.2.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional.....	20
4.2.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional.....	21
5. PELIGROS GEOLÓGICOS	26
5.1. Caída de rocas en el A.H. “Diente de Oro”	26
5.1.1. Características del evento	28
5.1.2. Factores condicionantes.....	29
5.1.3. Factores desencadenantes.....	30
5.1.4. Factores antrópicos	31
5.1.5. Simulación con RAMMS (Rapid Mass Movements).....	33
6. CONCLUSIONES	38
7. RECOMENDACIONES.....	40
8. BIBLIOGRAFÍA.....	42
ANEXO 1: MAPAS.....	43

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por caída de rocas en el Asentamiento Humano “Diente de Oro” en el cerro Centinela, que pertenece a la jurisdicción del distrito de Santiago de Surco, provincia y departamento de Lima. 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 para los tres niveles de gobierno (distrital, regional y nacional).

En el contexto litológico se observa, que las estructuras de viviendas y población del A.H. “Diente de Oro” se asientan sobre depósitos eólicos, constituidos por arenas cuarzosas de grano fino a medio, bien seleccionadas, que, por su inconsistencia, se encuentra susceptible a procesos de licuefacción y/o asentamientos. Además, en los alrededores se presentan dioritas pertenecientes a la Super Unidad Santa Rosa, moderadamente meteorizadas y medianamente a muy fracturadas, que condiciona la ocurrencia de caída de rocas.

Los depósitos eólicos conforman mantos de arena, con pendiente moderada (5° - 15°) a fuerte (15° - 25°), sobre los cuales se asienta el A.H. “Diente de Oro”; mientras que, en los alrededores existen geoformas de tipo colina y lomada del cerro Centinela, de pendiente muy fuerte a escarpado (25° - 45°) a muy escarpado ($>45^{\circ}$) del terreno, estas condiciones del terreno favorecen la ocurrencia de caída de rocas; llanura o planicie aluvial con pendiente del terreno llano ($<1^{\circ}$) a inclinado-suave (1° - 5°) del terreno; así como vertiente o piedemonte aluvio-torrencial con pendiente moderada (5° - 15°) a fuerte (15° - 25°).

Los peligros geológicos identificados que ponen en peligro al A.H. “Diente de Oro” y alrededores corresponden a movimientos en masa, tipo caída (caída de rocas y derrumbe) y otros peligros geológicos, arenamiento, licuefacción y/o asentamientos. De todos ellos, la caída de rocas es el principal, con las siguientes dimensiones; longitud de zona de arranque de 287 m aproximadamente y el área (considerando los depósitos) corresponde a 24 738 m² aproximadamente.

Los factores condicionantes para la ocurrencia de caídas de rocas en el A.H. “Diente de Oro”, se le atribuyen a condiciones y características litológicas y geomorfológicas, configuradas por el substrato rocoso de rocas intrusivas dioríticas que se encontraban moderadamente meteorizadas y medianamente a muy fracturadas, las cuales poseen un Índice de Resistencia Geológica-GSI (Geological Strength Index) entre 45 - 65, originando inestabilidad en las laderas. Por otro lado, las colinas y lomadas en roca intrusiva del cerro Centinela, con laderas de pendiente muy fuerte a escarpado (25° - 45°) a muy escarpado ($>45^{\circ}$) del terreno, hacen que el material suelto que se encuentra sobre ellas, sean susceptibles a remoción por efectos de la gravedad y la escorrentía de aguas superficiales, formando caída de rocas y derrumbes.

Cabe destacar que los factores desencadenantes para la detonación de estas caídas de rocas en el A.H. “Diente de Oro”, estarán condicionadas por los sismos y actividad sísmica presente en la zona, teniendo para ello que, según el mapa de zonificación sísmica, presentan zonas de alta sismicidad y de intensidades VIII (escala de Mercalli modificada).

Los factores antrópicos como las excavaciones para la construcción de viviendas y/o calles, se suman a la inestabilidad de las laderas; es más el uso de terraplenes artesanales (pircas) precarios e inestables contribuyen a incrementar el grado de vulnerabilidad física en viviendas y población que se asienta sobre y bajo ellas, sujetas a ser impactos por las caídas de rocas.

En el análisis de simulaciones realizadas con el software RAMMS, presentados en ese informe, los bloques de rocas situados en las laderas del cerro Centinela, hacia la parte alta del A.H. “Diente de Oro”, darán lugar a episodios de caída de rocas, estimándose que alcanzarían energías máximas de hasta 1000 KJ, por ello se recomienda implementar las medidas de protección propuestas por la Municipalidad Distrital de Santiago de Surco, como: enmallados y barreras dinámicas capaces de resistir hasta 1500 KJ, con lo cual se reduciría el impacto del peligro potencial de la caída de roca y otros asociados a estos eventos.

Por ello, debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y de geodinámica externa, el A.H. “Diente de Oro”, es considerado como **Zona Crítica** y de **Peligro Alto** a la ocurrencia de caídas de rocas, derrumbes y arenamientos, así como procesos de licuefacción y asentamientos en los depósitos de arena, que podrían ser desencadenados por sismos de moderada y gran magnitud.

Finalmente, se brindan recomendaciones que deben ser tomadas en cuenta por las autoridades competentes, las cuales consisten principalmente en: instalar enmallados y barreras dinámicas capaces de resistir hasta 1500 KJ, frente a la caída de rocas; muros de contención para mitigar los efectos de las caídas de rocas y/o derrumbes, hasta en algunos casos rediseñar y/o mejorar las construcciones y cimientos de las viviendas del A.H. “Diente de Oro”; además se debe restringir el crecimiento urbano hacia las laderas del cerro Centinela laderas inestables; y realizar el monitoreo visual y constante en las laderas del cerro Centinela ante la ocurrencia de derrumbes y caída de rocas, entre otras.

1. INTRODUCCIÓN

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

En atención al oficio N° 163-2023-GM-MSS, y en el marco de nuestras competencias, se realiza la evaluación de peligros geológicos por caída de rocas en el A.H, “Diente de Oro”- cerro Centinela, distrito Santiago de Surco, provincia Lima, departamento Lima, que afecta a la población, viviendas y vías de acceso

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET designa a los ingenieros Julio Lara y Gonzalo Luna para realizar la evaluación técnica correspondiente.

La evaluación técnica se basó en la recopilación y análisis de información existente de trabajos anteriores realizados por el INGEMMET, los datos obtenidos durante el trabajo de campo (puntos de control GPS, fichas de inventario y fotografías), la cartografía geológica, geomorfológica y geodinámica, con lo que finalmente se realizó la redacción del informe técnico.

Este informe se pone en consideración de la Municipalidad Distrital de Santiago de Surco, el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED) y el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), donde se proporcionan resultados de la inspección y recomendaciones para la mitigación y reducción del riesgo de desastres, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Identificar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos que se presentan en el A.H. “Diente de Oro” en el cerro Centinela, distrito Santiago de Surco, provincia Lima, departamento Lima, que comprometen la seguridad física de personas, viviendas, obras de infraestructura y vías de comunicación en la zona de influencia de los eventos.
- b) Determinar las causas de origen de los peligros geológicos identificados.
- c) Emitir las recomendaciones pertinentes para la reducción o mitigación de los daños que pueden causar los peligros geológicos identificados.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Existen trabajos previos y publicaciones del INGEMMET, que incluyen el área de estudio correspondiente al A.H. “Diente de Oro” en el cerro Centinela, relacionados a temas de geología y geodinámica externa, los cuales se detallan en el cuadro 1 y se describen a continuación:

Cuadro 1. Estudios en el área de trabajo.

N°	Estudio	Autor (es)	Año	Aporte
1.2.1	Boletín N° 43 “Geología de los cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica” (Hojas 25i, 25j, 24i, 24j)	Palacios, O.; Caldas, J. & Vela, Ch.	1992	Estudio realizado a escala 1: 100 000 que identifica rocas intrusivas y depósitos aluviales en la zona de estudio.
1.2.2	Boletín N° 28 “Estudio de Riesgos Geológicos del Perú - Franja N° 3”	Ingemmet	2003	Identificación de áreas con riesgo alto a la ocurrencia de caída de rocas en la zona de estudio (usando aspectos y criterios del cuadro 2)
1.2.3	Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Mala (26-j), Lurín (25-j) y Lima (25-l).	León, W. & De la Cruz, O.	2003	Estudio realizado a escala 1: 50 000 que identifica rocas intrusivas y depósitos aluviales en la zona de estudio.
1.2.4	Boletín N° 59 “Peligros geológicos en el área de Lima Metropolitana y la región Callao”	Villacorta, S.; Núñez, S.; Tatard, L.; Pari, W. & Fidel, L.	2015	Identificación de 02 eventos por caída de roca en los sectores: Cerro Centinela (Fuente: <i>Ingemmet, 2003</i>) y Monterrico-Cerro Centinela.
1.2.5	Boletín N° 76 “Peligro geológico en la región Lima”	Luque, G.; Rosado, M.; Pari, W.; Peña, F. & Huamán, M.	2020	Recopilación de inventario de 02 eventos por caída de roca en los sectores: Cerro Centinela (Fuente: <i>Ingemmet 2003</i>) y Monterrico-Cerro Centinela (Fuente: <i>Villacorta et al., 2015</i>).

Fuente: *Elaboración propia*

- 1.2.1.** Boletín N° 43, serie A, carta geológica nacional: “Geología de los cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica” (Hojas 25i, 25j, 24i, 24j) (Palacios *et al.*, 1992). Este estudio realizado a escala 1: 100 000 muestra que el A.H. “Diente de Oro” se asienta sobre rocas intrusivas de tipo tonalita-diorita y granodiorita-granito de la Super Unidad Santa Rosa; así como depósitos aluviales.

- 1.2.2.** Boletín N° 28, serie C, geodinámica e ingeniería geológica: “Estudio de Riesgos Geológicos del Perú - Franja N° 3” (Ingemmet, 2003). En base a este trabajo a escala regional y considerando el área de estudio del presente informe, el A.H. “Diente de Oro” se asienta en áreas con riesgo alto a la ocurrencia de caída de rocas. Este estudio determinó áreas sujetas a caída de rocas y derrumbes que se han zonificado en riesgo muy alto, alto, moderado y bajo; según los criterios del cuadro 2.

Cuadro 2. Criterios para zonificación de riesgo por caída de rocas y derrumbes.

Grado de riesgo	Criterio: caída de rocas y derrumbes
Muy Alto	Laderas con pendientes fuertes a muy fuertes, rocas con discontinuidades favorables, muy fracturadas, formaciones superficiales inconsolidadas a medianamente consolidadas, donde han ocurrido estos fenómenos o existe una alta posibilidad de ocurrencia
Alto	Laderas de fuerte pendiente, rocas muy fracturadas y alteradas, donde han ocurrido o existe alta posibilidad de que ocurran estos fenómenos
Moderado	Laderas de pendientes medias a fuertes, zonas con rocas fracturadas y depósitos medianamente consolidados, donde no han ocurrido estos fenómenos, pero existen indicios de que pueden ocurrir
Bajo	Laderas de pendientes medias, rocas fracturadas que no presentan indicios que permitan predecir estos fenómenos

Fuente: Ingemmet (2003).

- 1.2.3.** Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Mala (26-j), Lurín (25-j) y Lima (25-l) (León & De la Cruz, 2003). Este trabajo fue realizado a escala 1: 50 000 y muestra que el A.H. “Diente de Oro” se asienta sobre rocas intrusivas de tipo diorita de la Super Unidad Santa Rosa; así como depósitos aluviales, conformados por gravas y arenas que pertenecen al cono deyectivo del río Rímac.
- 1.2.4.** Boletín N° 59, serie C, geodinámica e ingeniería geológica: “Peligros geológicos en el área de Lima Metropolitana y la región Callao” (Villacorta *et al.*, 2015). Los trabajos realizados como parte de esta investigación, permitieron identificar en Lima Metropolitana y el Callao un total de 848 peligros. Entre los movimientos en masa predominan las caídas de rocas y derrumbes con un 47% y flujos (huaicos, flujos de lodo, etc.) con 36%, seguido de inundaciones y erosión fluvial, con un 11%, así como arenamientos, hundimientos y licuefacción de suelos con un 6%. De acuerdo a este inventario, se registraron 02 eventos por caída de roca en los sectores: Cerro Centinela (Fuente: Ingemmet, 2003) y Monterrico-Cerro Centinela.
- 1.2.5.** Boletín N° 76, serie C, geodinámica e ingeniería geológica: “Peligro geológico en la región Lima” (Luque *et al.*, 2020). Los trabajos de campo y gabinete realizados como parte de este estudio en el departamento de Lima, permitieron identificar un total de 4329 eventos de peligros geológicos según su origen:

siendo los de movimientos en masa de mayor ocurrencia (75.6 %); peligros geohidrológicos (10.3 %) y otros peligros geológicos (14.1 %).

De acuerdo con el mapa de inventario de peligros geológicos, en los alrededores de la zona de estudio se realizó el inventario de 02 eventos por caída de roca en los sectores: Cerro Centinela (Fuente: Ingemmet 2003) y Monterrico-Cerro Centinela (Fuente: Villacorta *et al.*, 2015).

De igual manera, se cuenta con un mapa regional de susceptibilidad por movimientos en masa, a escala 1: 500 000 (Luque *et al.*, 2020). Considerando este mapa, el área de estudio presenta terrenos con susceptibilidad moderada y alta a la ocurrencia de movimientos en masa (figura 1). Entendiéndose por susceptibilidad a movimientos en masa como la propensión que tiene determinada zona a ser afectada por un determinado proceso geológico (movimiento en masa), expresado en grados cualitativos y relativos.

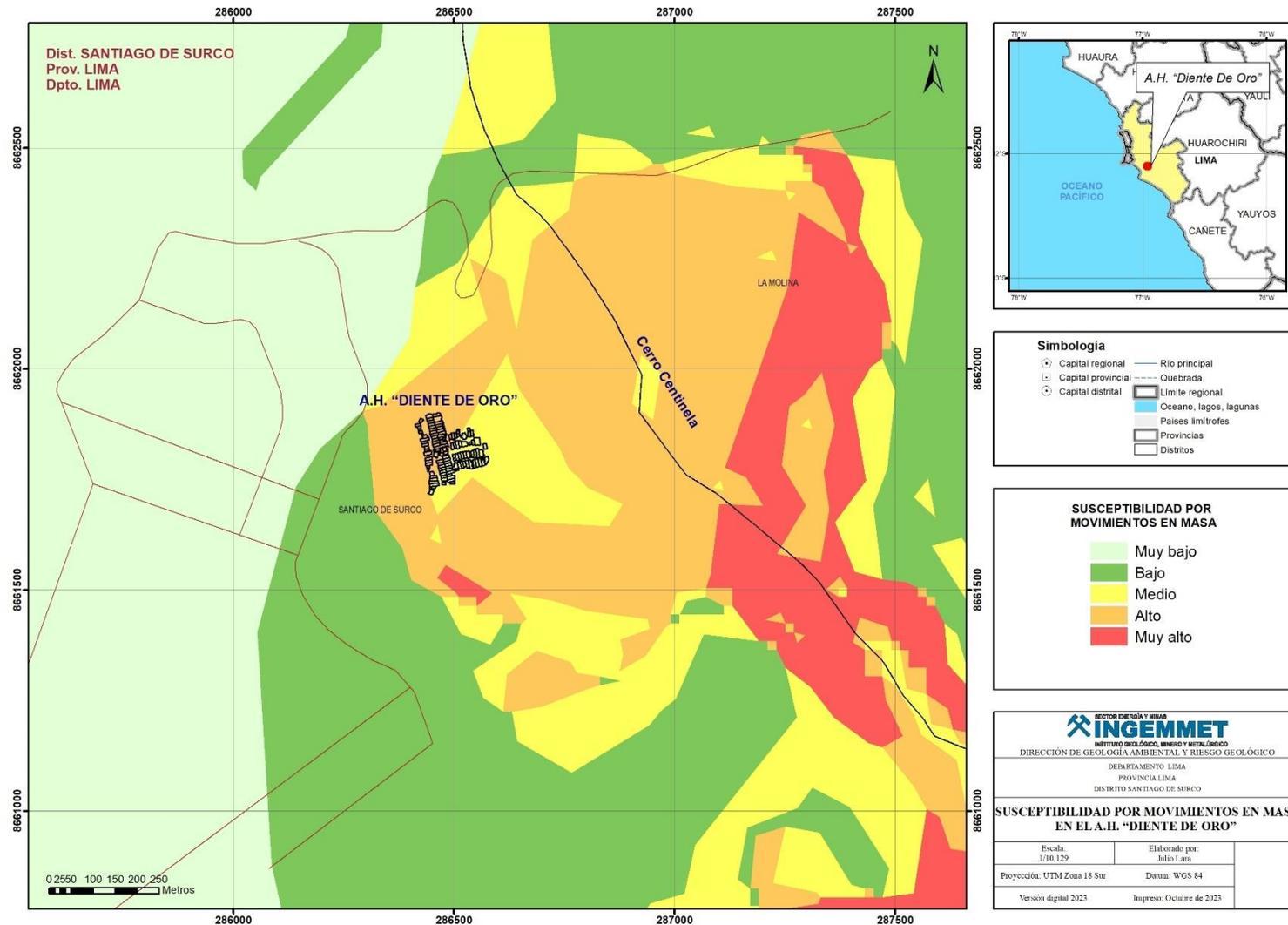


Figura 1. Susceptibilidad por movimientos en masa en el A.H. "Diente de Oro" y alrededores (Luque et al., 2020).

1.1. Aspectos generales

1.1.1. Ubicación

El A.H. “Diente de Oro” se encuentra ubicado en el distrito Santiago de Surco, provincia Lima, departamento Lima (figura 2), en las coordenadas UTM (WGS84 - Zona 18S) detalladas en el cuadro 3.

Cuadro 3. Coordenadas centrales del sector evaluado

Sector	UTM - WGS84 - Zona 18L		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
A.H. “Diente de Oro”	286494.73 m E	8661810.86 m S	12° 5'53.86"S	76°57'41.98"O

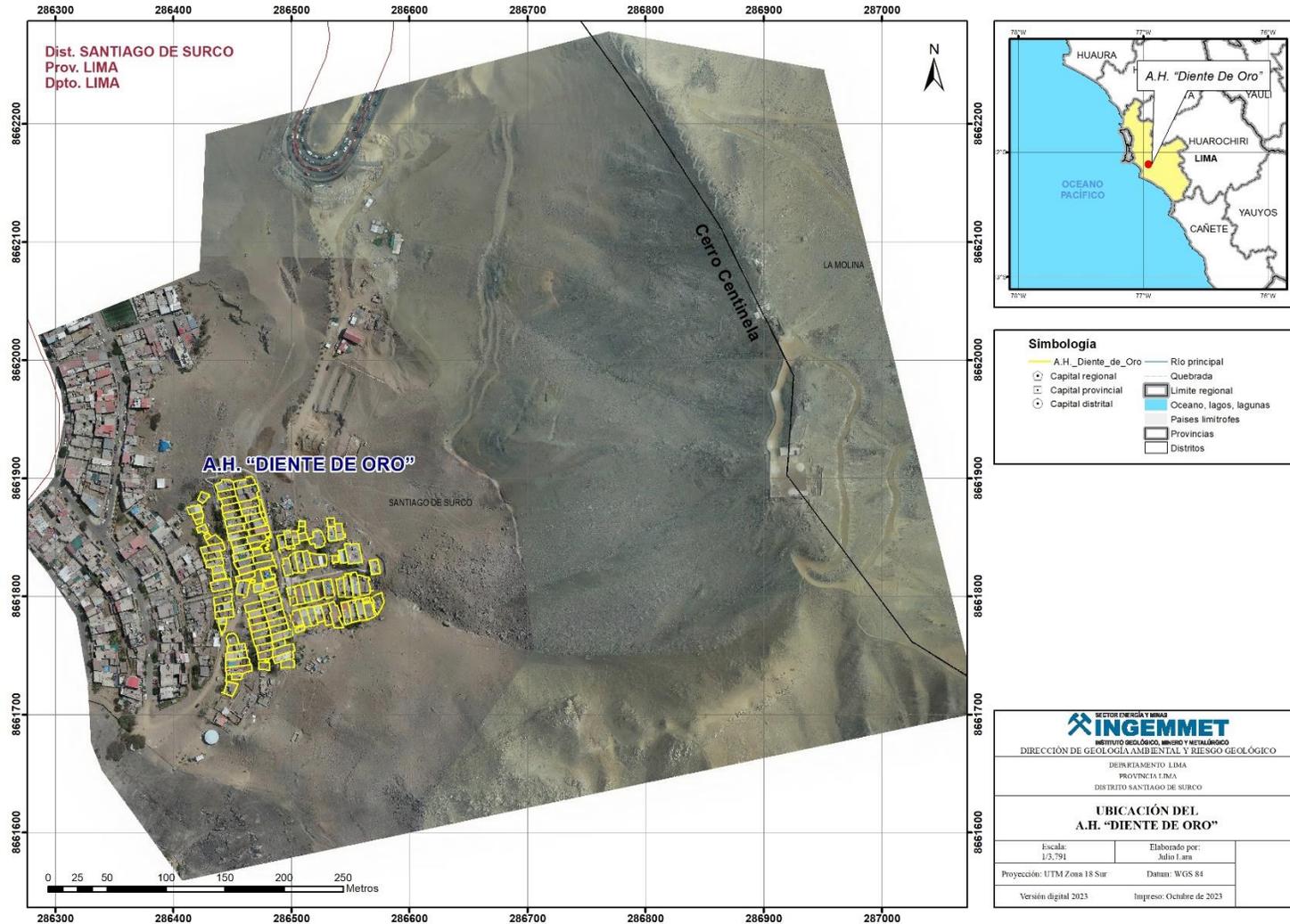


Figura 2. Ubicación del A.H. "Diente de Oro".

1.1.2. Accesibilidad

El acceso al A.H. “Diente de Oro” (distrito Santiago de Surco, provincia Lima, departamento Lima), se realiza mediante el sistema vial Metropolitano de Lima. El recorrido total desde la sede central del Ingemmet (distrito de San Borja) hasta el sector evaluado, es de 9.7 km aproximadamente por un tiempo estimado de 17 minutos.

Partiendo desde la sede central del Ingemmet (Av. Canadá 1470, San Borja), se sigue por la Av. Canadá hasta el cruce con la Av. Aviación, luego se continúa por la Av. Aviación hasta llegar a la Av. Javier Prado Este.

Se continúa por la Av. Javier Prado Este, hasta el llegar al óvalo Monitor Huáscar, para luego continuar por la Av. Club Golf los Incas hasta la Av. Raúl Ferrero.

Finalmente, se continúa por el Jirón Cineraria, y luego por el Jirón Las Caliandras hasta llegar al A.H. “Diente de Oro”, como se indica en el cuadro 4.

Cuadro 4. Rutas y accesos a las áreas evaluadas.

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Av. Canadá 1470, San Borja - Av. Javier Prado Este	Asfaltada	3.6	5 minutos
Av. Javier Prado Este - óvalo Monitor Huáscar	Asfaltada	3.7	5 minutos
óvalo Monitor Huáscar - A.H. “Diente de Oro”	Asfaltada	2.4	7 minutos

1.1.3. Población

De acuerdo con los trabajos realizados por la Municipalidad Distrital de Santiago de Surco, la población total del A.H. “Diente de Oro” es de 2000 hab. Aproximadamente (Fuente: Municipalidad Distrital de Santiago de Surco).

1.1.4. Clima

De acuerdo con el Mapa climático del Perú, elaborado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI, el A.H. “Diente de Oro” presenta un clima de tipo árido con deficiencia de humedad en todas las estaciones del año y templado (figura 3). El mapa en mención indica que, durante el año, en promedio, este tipo de clima se caracteriza por presentar temperaturas máximas de 19°C en las partes altas de la zona sur y hasta los 31°C en la zona norte del país. Mientras que, las temperaturas mínimas alcanzan hasta los 3°C en las partes altas la zona sur y los 21 °C en la zona norte. La precipitación anual varía entre 0 mm y 5 mm en las partes adyacentes al litoral y alcanza valores entre 500 y 700 mm en las zonas altas de costa norte.

Los datos de precipitaciones totales mensuales en milímetros, distribuidas a lo largo del mes de octubre de 2023, según datos pluviométricos de la estación meteorológica automática Von Humboldt (SENAMHI), presentan una precipitación máxima de 0 mm (Figura 3). Mientras que, los datos de temperatura indican una temperatura máxima de hasta 25.3 °C y mínima de 13.4 °C.

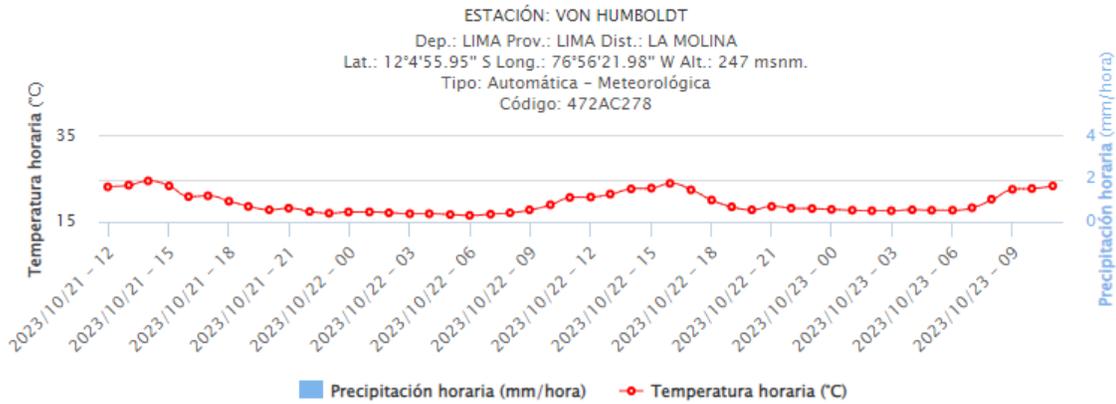


Figura 3. Histograma de precipitaciones (mm) y temperatura (°C) - Von Humboldt, distribuidas a lo largo del mes de octubre de 2023. Fuente: Estación meteorológica automática Von Humboldt - SENAMHI.

2. DEFINICIONES

Condicionante: se refiere a todos aquellos factores naturales o antrópicos que condicionan o contribuyen a la inestabilidad de una ladera o talud, pero que no constituyen el evento detonante del movimiento.

Caída: Es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra un desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido el material, cae desplazándose principalmente por el aire, y puede efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978). Se subdivide en tres tipos principales: aludes, caída de rocas y derrumbes.

Cárcava: tipo de erosión concentrada en surcos que se forma por el escurrimiento de las aguas sobre la superficie de las laderas.

Detonante (sin.: disparador, desencadenante, gatillante): acción o evento natural o antrópico, que es la causa directa e inmediata de un movimiento en masa. Entre ellos pueden estar, por ejemplo, los terremotos, la lluvia, la excavación del pie de una ladera y la sobrecarga de una ladera.

Erosión: parte del proceso denudativo de la superficie terrestre que consiste del arranque y transporte de material de suelo o roca por un agente natural como el agua, el viento y el hielo, o por el hombre. De acuerdo con el agente, la erosión se puede clasificar en eólica, fluvial, glaciar, marina y pluvial. Por su aporte, de acuerdo a las

formas dejadas en el terreno afectado se clasifica como erosión en surcos, erosión en cárcavas y erosión laminar.

Erosión de laderas: se manifiesta a manera de láminas, surcos y cárcavas en los terrenos. Un intenso patrón de estos tipos de erosiones se denomina tierras malas o bad lands. Este proceso comienza con canales muy delgados cuyas dimensiones, a medida que persiste la erosión, pueden variar y aumentar desde estrechas y poco profundas (< 1 m) hasta amplias y de varios metros de profundidad.

Formación geológica: es una unidad litoestratigráfica formal que define cuerpos de rocas caracterizados por sus propiedades litológicas comunes (composición y estructura) que las diferencian de las adyacentes.

Fractura: corresponde a una estructura de discontinuidad menor en la cual hay separación por tensión, pero sin movimiento tangencial entre los cuerpos que se separan.

Meteorización: se designa así a todas aquellas alteraciones que modifican las características físicas y químicas de las rocas y suelos. La meteorización puede ser física, química y biológica. Los suelos residuales se forman por la meteorización in situ de las rocas subyacentes.

Movimientos en masa: son procesos que incluyen todos aquellos movimientos ladera abajo, de una masa de rocas o suelos por efectos de la gravedad. En el territorio peruano, los tipos más frecuentes corresponden a caídas, deslizamientos, flujos, reptación de suelos, entre otros.

Peligro geológico: es un proceso o fenómeno geológico que podría ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales.

Susceptibilidad: la susceptibilidad está definida como la propensión que tiene una determinada zona a ser afectada por un determinado proceso geológico, expresado en grados cualitativos y relativos. Los factores que controlan o condicionan la ocurrencia de los procesos geodinámicos son intrínsecos (la geometría del terreno, la resistencia de los materiales, los estados de esfuerzo, el drenaje superficial y subterráneo, y el tipo de cobertura del terreno) y los detonantes o disparadores de estos eventos son la sismicidad y la precipitación pluvial.

Zona crítica: zona o área con peligros potenciales de acuerdo a la vulnerabilidad asociada (infraestructura y centros poblados), que muestran una recurrencia, en algunos casos, entre periódica y excepcional. Pueden presentarse durante la ocurrencia de lluvias excepcionales y puede ser necesario considerarlas dentro de los planes o políticas nacionales, regionales y/o locales sobre prevención y atención de desastres.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico del A.H. “Diente de Oro” y alrededores se elaboró teniendo como base el Boletín N° 43: “Geología de los cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica” (Hojas 25i, 25j, 24i, 24j) (Palacios *et al.*, 1992) a escala 1: 100 000 y la Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Mala (26-j), Lurín (25-j) y Lima (25-l) (León & De la Cruz, 2003) a escala 1: 50 000.

Palacios *et al.* (1992) indica que, en el ámbito evaluado, existen rocas intrusivas de tipo tonalita y granodiorita de la Super Unidad Santa Rosa; mientras que en los alrededores existen depósitos aluviales, estos últimos corresponden a cantos, arenas, bolos, etc. depositados en forma de terrazas antiguas.

De acuerdo con León & De la Cruz (2003) en la zona de estudio existen rocas intrusivas de tipo diorita de la Super Unidad Santa Rosa, así como depósitos aluviales (conglomerados, gravas y arenas que pertenecen al cono deyectivo del río Rímac).

3.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas que afloran en la zona de estudio corresponden a la Super Unidad Santa Rosa del Cretáceo Superior-Pleistoceno, depósitos aluviales del Pleistoceno, así como depósitos eólicos y coluviales del Holoceno (Mapa 1, Anexo 1).

3.1.1. Super Unidad Santa Rosa-Diorita (Ks-sr/di)

Esta super unidad está constituida por rocas intrusivas de tipo diorita y tiene una gran extensión en la zona de estudio. Considerando el trabajo realizado por León & De la Cruz (2003), los afloramientos de esta super unidad tienen una edad estimada desde el Cretáceo Superior hasta el Pleistoceno.

En el A.H. “Diente de Oro”, los afloramientos de esta super unidad se extienden ampliamente en los alrededores, especialmente hacia el este.

Las rocas de estos afloramientos presentan un color gris oscuro, textura holocristalina de grano medio variando a grueso y destacando las plagioclasas blancas dentro de una masa oscura.

Durante los trabajos de campo, se evidenció que las rocas de estos afloramientos estaban moderadamente meteorizadas y medianamente a muy fracturadas (fotografía 1), asimismo la pendiente del terreno era de hasta 30° aproximadamente. También se identificaron tres sistemas de fracturamiento principales: (1) Rb N 8°/Bz 61° E; (2) Rb N 37°/Bz 62° NW y (3) Rb N 70°/Bz 66° NE. Estas características del terreno condicionan que los afloramientos sean susceptibles a la ocurrencia de caída de rocas.



Fotografía 1. Afloramientos de dioritas de la Super Unidad Santa Rosa hacia el noreste del A.H. “Diente de Oro”.

3.1.2. Depósito aluvial (Qpl-al)

Los depósitos aluviales corresponden a materiales antiguos acumulados por el río Rímac y que pertenecen al cono deyectivo del río en mención.

Corresponden a bloques y gravas soportados en matriz arenosa y/o limosa, depositados en forma de terrazas antiguas.

3.1.3. Depósito eólico (Qh-e)

Los depósitos eólicos están conformados por arenas inconsolidadas acumuladas en las laderas de las elevaciones.

En el área de estudio, los depósitos eólicos están conformados por arenas cuarzosas de grano fino a medio, bien seleccionadas, adosadas en las laderas (fotografía 2). Mientras que, en la base de las elevaciones se evidenciaron depósitos de mayor espesor, sobre los cuales se asienta el A.H. “Diente de Oro” (fotografía 3).



Fotografía 2. Depósitos eólicos en las laderas de las elevaciones, hacia el noreste del A.H. “Diente de Oro”.



Fotografía 3. Depósitos eólicos sobre los cuales se asienta el A.H. “Diente de Oro”.

3.1.4. Depósito coluvial (Qh-co)

Corresponde a depósitos inconsolidados acumulados al pie o en las laderas de las colinas y lomadas en roca intrusiva, en forma de talud de detritos irregulares de origen coluvial, de edad reciente, que descienden hacia terrenos con menor pendiente por acción de la gravedad.

Presenta una naturaleza litológica homogénea que corresponde a bloques (hasta 2 m de diámetro) y gravas de dioritas (fotografía 4); sin embargo, su granulometría es variable con fragmentos angulosos a subangulosos y su grado de compacidad es bajo, no consolidado.

Este tipo de depósito corresponde a material potencialmente inestable en las laderas, que ante movimientos sísmicos de moderada a fuerte magnitud podrían generar daños en las viviendas asentadas bajo las laderas en el A.H. "Diente de Oro".



Fotografía 4. Depósitos coluviales inconsolidados adosados en las laderas del cerro Centinela, hacia el este del A.H. "Diente de Oro".

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Para el análisis geomorfológico, se utilizó un modelo digital de terreno proporcionado por la Municipalidad Distrital de Santiago de Surco, además se realizó el análisis de imágenes satelitales para el estudio de la morfometría del relieve, complementada con los trabajos de campo.

4.1. Pendientes del terreno

La pendiente, es un parámetro importante en la evaluación de procesos por movimientos en masa, actúa como factor condicionante y dinámico en la generación de movimientos en masa.

En el Mapa 2 (Anexo 1), se presenta el mapa de pendientes de terreno, elaborado en base a la información del modelo de elevación digital (DEM) obtenido mediante la fotogrametría con dron para la zona de estudio

De acuerdo con este mapa, en el A.H. “Diente de Oro” se asienta sobre terrenos con pendiente moderada (5° - 15°) a fuerte (15° - 25°).

Mientras que, las laderas de las elevaciones presentan pendientes que varían de muy fuerte a escarpado (25° - 45°) a muy escarpado ($>45^{\circ}$), las que conforman las laderas del cerro Centinela. En las laderas de esta elevación, sobre todo en las de muy fuerte a muy escarpado, en caso de sismo o cualquier otra vibración facilita la ocurrencia de movimientos en masa como caídas de rocas, así como procesos de licuefacción en los depósitos de arena.

4.2. Unidades geomorfológicas

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas en el área de estudio (Mapa 3, Anexo 1), se consideraron criterios de control como: la homogeneidad litológica y la caracterización conceptual en base a aspectos del relieve en relación a la erosión, denudación y sedimentación (Vílchez *et al.*, 2019). Estas unidades se dividen en dos grupos, los cuales se detallan a continuación:

4.2.1. Geformas 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, superficies onduladas y lomadas. Dentro de este grupo se tiene la siguiente unidad:

A) Unidad de colinas y lomadas

Está representada por colinas y lomadas de relieve complejo y en diferentes grados de disección, de menor altura que una montaña (menos de 300 metros desde el nivel de base local) y con inclinación de laderas promedio superior a 16% (como se cita en Villota, 2005, p. 64). Dentro de esta unidad se tiene la siguiente subunidad:

Subunidad de colina y lomada en roca intrusiva (RCL-ri)

Corresponde a geoformas modeladas en rocas intrusivas de alturas menores a 300 m que corresponden al cerro Centinela. Estos relieves se han generado en rocas de la Super Unidad Santa Rosa reducidas por procesos denudativos, conformando elevaciones alargadas.

Las colinas y lomadas del cerro Centinela, presentan laderas con pendiente muy fuerte a escarpado (25° - 45°) a muy escarpado ($>45^{\circ}$), del terreno, con cimas subredondeadas a agudas (figura 4).



Figura 4. Colinas y lomadas modeladas en rocas intrusivas, en el cerro La Centinela, cuyas laderas presentan pendiente muy fuerte a escarpado a muy escarpado.

4.2.2. Geoformas de carácter depositacional y 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 (Villota, 2005). Dentro de este grupo se tienen las siguientes unidades:

Unidad de planicie

Está asociada a depósitos aluviales, aluviales antiguos y fluvio-glaciares, limitados en muchos casos por depósitos de piedemonte y laderas de montañas o colinas. Son superficies que no presentan un claro direccionamiento, porque provienen de la denudación de antiguas llanuras agradacionales o del aplanamiento diferencial de anteriores cordilleras, determinado por una acción prolongada de los procesos denudacionales. Dentro de esta unidad se tienen las siguientes subunidades:

Subunidad de llanura o planicie aluvial (PI-al)

Geoforma de origen denudacional y/o depositacional conformada por relieves con pendientes llanas a moderadas, sobre la cual se asienta la zona urbana del distrito de Santiago de Surco (figura 5).

Esta geoforma corresponde a relieves con llano ($<1^\circ$) a inclinado-suave ($1^\circ-5^\circ$) del terreno.

Unidad de piedemonte

Los piedemontes corresponden a un conjunto de depósitos que conforman una superficie inclinada y disectada que se extiende al pie de sistemas montañosos y que ha sido formada por la depositación de las corrientes de agua que emergen de los terrenos más elevados hacia las zonas más bajas y abiertas (Villota, 1991). Dentro de esta unidad se tiene la siguiente subunidad:

Subunidad de vertiente o piedemonte aluvio-torrencial (P-at)

Esta geoforma corresponde a planicies inclinadas a ligeramente inclinadas que se ubican al pie de las colinas y lomadas en roca intrusiva. Se originaron por la acumulación de sedimentos transportados por las corrientes de agua de carácter excepcional provocadas por las lluvias anómalas en la zona de estudio, es decir, corresponden a los depósitos generados por flujos (flujos de detritos o huaicos).

La pendiente de estos relieves es moderada ($5^\circ-15^\circ$) a fuerte ($15^\circ-25^\circ$) (figura 5).



Figura 5. Geoformas de llanura o planicie aluvial y piedemonte aluvio-torrencial identificadas hacia el oeste del A.H. “Diente de Oro”.

Subunidad de vertiente coluvial de detritos (V-d)

Geoforma conformada por depósitos inconsolidados acumulados al pie o en las laderas de las colinas y lomadas en roca intrusiva, en forma de talud de detritos irregulares de origen coluvial, de edad reciente, que descienden hacia terrenos con menor pendiente por acción de la gravedad. 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.

Estos relieves se caracterizan por conformar material potencialmente inestable en las laderas. Se han generado en las rocas intrusivas de la Super Unidad Santa Rosa, las cuales se encuentran fracturadas y meteorizadas generando bloques inestables que caen o ruedan por la fuerza de gravedad, siendo el factor detonante los movimientos sísmicos.

En la zona de estudio, estas geoformas están asociadas a movimientos en masa de tipo caída de rocas, ubicadas en las laderas de las colinas y lomadas en roca intrusiva (figura 6). Presentan pendiente fuerte (15° - 25°) a muy fuerte (25° - 45°).



Figura 6. Vertiente coluvial de detritos formada por depósitos de caída de rocas, ubicadas en las laderas de las colinas y lomadas del cerro Centinela.

Unidad de geformas eólicas

Corresponde a geformas superficiales que presentan relieves planos a ligeramente inclinados con un bajo ángulo de inclinación originados por acumulación de materiales transportados y acumulados por acción del viento. Dentro de esta unidad se tiene la siguiente subunidad:

Subunidad de mantos de arena (M-a)

Geofoma conformada por la acumulación de arenas eólicas a manera de mantos, los cuales se encuentran cubriendo las laderas de colinas y lomadas en roca intrusiva, así como los piedemontes aluvio-torrenciales.

Sobre esta geofoma se asienta el A.H. “Diente de Oro”, también se identificaron mantos de arena en las laderas del cerro Centinela (figura 7). Hacia el noroeste del asentamiento humano en mención, también se presentan mantos de arena, así como algunas dunas, cuyos alineamientos indican la dirección del viento.



Figura 7. Geoformas de mantos de arena sobre las cuales se asienta el A.H. “Diente de Oro”, también se identificaron estos relieves en las laderas del cerro Centinela.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos identificados en el A.H. “Diente de Oro”, corresponden a movimientos en masa, tipo caída de rocas y derrumbes (Proyecto Multinacional Andino: GCA, 2007) (Mapa 4, Anexo 1); así como de otros peligros geológicos, tipo arenamiento. Los eventos de tipo caída son el resultado del proceso de modelamiento del terreno, en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978).

Uno de los peligros asociados a los sismos de pequeña, moderada y gran magnitud son los movimientos en masa, específicamente son los derrumbes y caídas de rocas, así como procesos de licuefacción y asentamientos en los depósitos de arena. Para que se presenten estos fenómenos, se deben contar con algunas características básicas tanto del sismo como del terreno, como, por ejemplo: aceleración del terreno, duración del sismo (ambos parámetros relacionados a la magnitud del sismo), pendiente, litología, fracturamiento, meteorización (estos últimos relacionados con las características del terreno).

Las caídas de rocas y derrumbes tienen como causas o condicionantes a factores intrínsecos, como son la geometría del terreno, la pendiente, así como el tipo de roca y/o suelo. Mientras que los factores desencadenantes” se representan por eventos de sismicidad. Cabe precisar que, los sismos de gran magnitud también podrían generar procesos de licuefacción de suelos en los depósitos eólicos, adosados en las laderas del cerro Centinela y sobre los cuales se asienta el A.H. “Diente de Oro”, el cual podría ser afectado por los procesos antes mencionados.

5.1. Caída de rocas en el A.H. “Diente de Oro”

El A.H. “Diente de Oro” se encuentra asentado al pie del cerro Centinela, sobre depósitos eólicos conformados por arenas cuarzosas de grano fino a medio, bien seleccionadas. Mientras que, en los alrededores existen afloramientos de rocas intrusivas (dioritas) moderadamente meteorizadas y medianamente a muy fracturadas, con pendiente muy fuerte a escarpado (25°-45°) a muy escarpado (>45°). Estas características del terreno condicionan que los afloramientos sean susceptibles a la ocurrencia de caída de rocas.

En las laderas del cerro Centinela, hacia el este del A.H. “Diente de Oro”, se identificaron depósitos coluviales formados por procesos de caída de rocas, que descienden hacia terrenos con menor pendiente por acción de la gravedad. Estos depósitos se acumulan en laderas del cerro Centinela, pero también se canalizan por surcos y cárcavas, hacia la parte baja, donde se asienta el A.H. “Diente de Oro”.

Estos depósitos se han originado por procesos de caída de rocas provenientes de la parte alta del cerro Centinela (bloques angulosos a subangulosos de hasta 2 m de diámetro y gravas de dioritas), y corresponde a material potencialmente inestable en las laderas, que

ante movimientos sísmicos de moderada a fuerte magnitud podrían generar daños en el A.H. "Diente de Oro".

De acuerdo con el análisis multitemporal utilizando imágenes satelitales de Google Earth del año 2000 y la imagen obtenida mediante fotogrametría con dron del año 2023 (figura 8), se pueden apreciar los depósitos coluviales generados por caídas de rocas. También se observa el incremento de la población y viviendas en la zona de estudio, así como cortes de laderas hacia el norte del A.H. "Diente de Oro".



Figura 8. Análisis multitemporal con imágenes de los años 2000 y 2023, donde se puede apreciar la ocurrencia de caída de rocas y el incremento de la población y viviendas en la zona de estudio.

5.1.1. Características del evento

Las caídas de rocas identificadas en el A.H. “Diente de Oro” (fotografías 5 y 6) tienen las siguientes características:

- Longitud de la zona de arranque: 287 m aproximadamente.
- Forma de la superficie de rotura: irregular y discontinua.
- Diferencia promedio de altura aproximada de la zona de arranque a la base de la caída de rocas: 291 m aproximadamente.
- Dirección (azimut) del movimiento: N 247°
- Área de caída de rocas (considerando los depósitos): 24 738 m² aproximadamente.
- Presencia de material colgado desde la zona de arranque de la caída de rocas que forma terrenos inestables.



Fotografía 5. Vista de la zona de arranque de caída de rocas en las laderas del cerro Centinela. Coordenadas UTM (WGS 84): 286715 E, 8661845 N.



Fotografía 6. Vista panorámica de la zona de estudio, se observan procesos de caídas de rocas en las laderas del cerro Centinela que podrían afectar el A.H. “Diente de Oro”. Coordenadas UTM (WGS 84): 286683 E, 8661880 N.

5.1.2. Factores condicionantes

a. Factor litológico

- Substrato rocoso conformado por rocas intrusivas de tipo diorita. Estos afloramientos se encuentran moderadamente meteorizados y medianamente a muy fracturados, mostrando un Índice de Resistencia Geológica-GSI¹ (Geological Strength Index) entre 45 - 65 (figura 9), originando inestabilidad en las laderas.

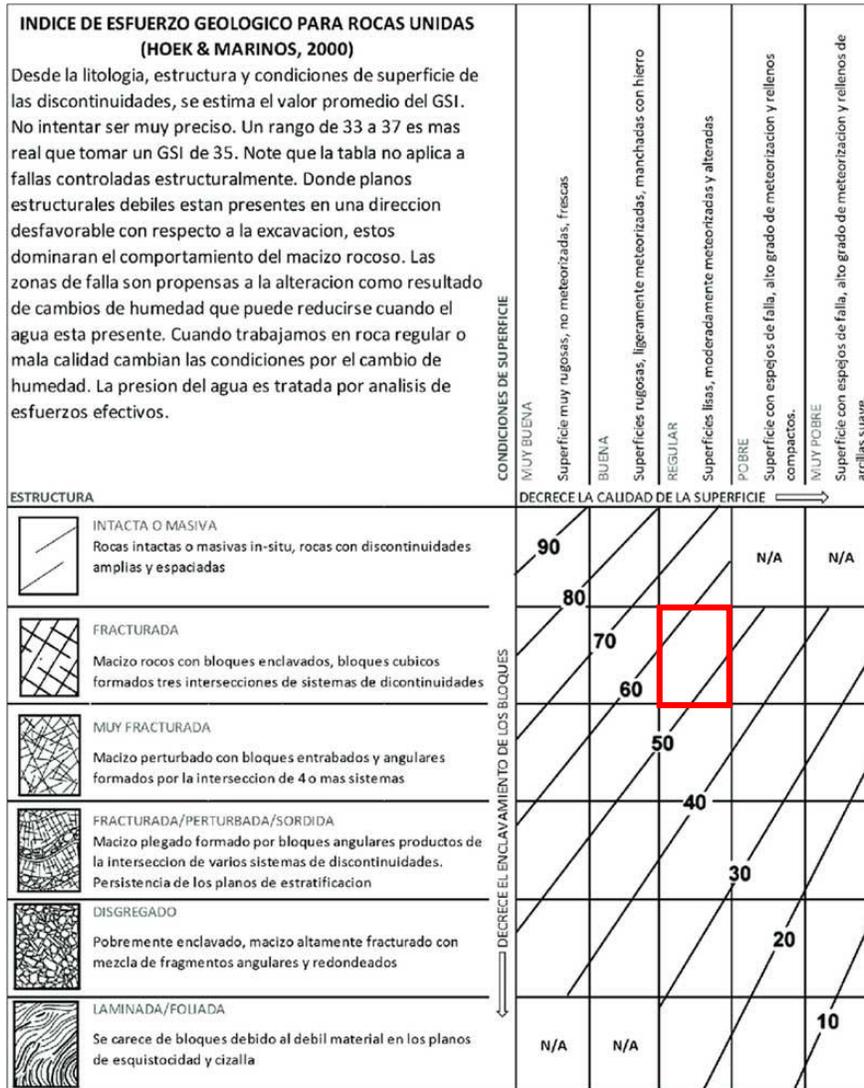


Figura 9. Caracterización del macizo rocoso GSI, con valores entre 45 - 65 para el substrato rocoso en la zona de estudio. Fuente: modificado de Hoek & Marinos (2002).

¹ El GSI estima la reducción de la resistencia del macizo para diferentes condiciones geológicas. La caracterización del macizo rocoso es simple y está basada en la impresión visual de la estructura rocosa, en términos de bloques y de la condición superficial de las discontinuidades indicadas por la rugosidad y alteración de las juntas. La combinación de estos dos parámetros proporciona una base práctica para describir un rango amplio de tipos de macizos rocosos.

- Presencia de depósitos coluviales (no consolidados), adosados a las laderas del cerro Centinela. Los depósitos coluviales presentan naturaleza litológica homogénea que corresponde a bloques (hasta 2 m de diámetro) y gravas de dioritas; sin embargo, su granulometría es variable con fragmentos angulosos a subangulosos y su grado de compacidad es bajo, no consolidado.

b. Factor geomorfológico

- La subunidad de colina y lomada en roca intrusiva del cerro Centinela, presenta laderas con pendiente muy fuerte a escarpado (25°-45°) a muy escarpado (>45°) del terreno, con cimas subredondeadas a agudas. Estas características permiten que el material suelto que se encuentra sobre las laderas sea susceptible a remoción por efectos de la gravedad y la escorrentía de aguas superficiales. Generando de esta manera caída de rocas y derrumbes.

5.1.3. Factores desencadenantes

a. Sismos

Lima Metropolitana muestra un índice alto de pérdidas asociadas a sismos en el periodo reciente, registrado desde el siglo XVI (IGP, 2005). Debido a la cercanía de las costas del Perú a la zona de subducción, es decir a causa de la interacción de las placas de Nazca y Sudamericana, Lima ha soportado a lo largo de su historia eventos naturales desastrosos como terremotos y tsunamis. Los más importantes fueron los terremotos de 1586, 1609, 1655, 1687, 1746, 1940, 1966 y 1974, que causaron pánico y destrucción de viviendas e infraestructura, especialmente en zonas donde las condiciones geológicas son menos favorables y donde viven las poblaciones más pobres.

En este contexto, es necesario indicar el Mapa de zonificación sísmica, elaborado por Alva *et al.* (1984), utilizado como base en el nuevo Reglamento Peruano de Construcción Sísmica con la norma técnica de edificación E-30 (Diseño Sismorresistente, actualizado al 2016), donde el territorio nacional está dividido en cuatro zonas. La zonificación propuesta se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de estos con la distancia epicentral, así como la información neotectónica.

A cada zona se asigna un factor Z, este factor se interpreta como la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10 % de ser excedida en 50 años. El factor Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad (Diario El Peruano 2016). De acuerdo a este mapa, el A.H. "Diente de Oro" se ubica en la zona 4, correspondiente a una zona de sismicidad alta, donde las aceleraciones con ventanas de tiempo para 20, 50 y 100 años de vida útil, corresponden 200, 500 y 1000 años de período de retorno respectivamente para un 10% de excedencia. Se determinó aceleraciones de 0.45 g.

De acuerdo al mapa de intensidades máximas esperadas a nivel nacional que produciría un sismo de 8.8 MW similares a las del terremoto de 1746. Gran parte de las provincias y distritos ubicados en la zona occidental del departamento de Lima se verían sometidas a intensidades mayores a VIII (MM). En cuanto al distrito de Santiago de Surco y toda Lima Metropolitana, así como el A.H. “Diente de Oro”, evidentemente serían expuestas a las más altas intensidades debido a su cercanía a la zona de ruptura, además se espera que ocurran efectos de licuefacción de suelos en la costa, asentamientos, movimientos en masa (derrumbes y caídas de rocas), entre otros.

5.1.4. Factores antrópicos

Dentro de los factores antrópicos, se consideran las actividades que contribuyen a la inestabilidad de las laderas (excavaciones, corte de talud), las prácticas inadecuadas de construcción (muros de contención artesanales, terraplenes artesanales, sobrecarga, etc.) y la ocupación inadecuada del territorio.

Actividades que contribuyen a la inestabilidad de las laderas. Sobre los depósitos eólico se han realizado excavaciones para la construcción de viviendas, calles, carreteras, entre otros, contribuyen a la inestabilidad de las laderas. Ejemplos de estas actividades se evidencian en el A.H. “Diente de Oro”, a través de la construcción de viviendas, calles y carreteras que debilita los materiales (suelos y rocas), si no se realizan labores de desquinche o perfilado del talud de corte.

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.

Algunas viviendas del A.H. “Diente de Oro”, han sido levantadas sobre pircas artesanales, costalillos de arena y/u otras bases artesanales que son propensas a colapso por sismicidad, sobrecarga o humedecimiento del terreno (fotografías 7 y 8).

Estos terraplenes artesanales (pircas) no proporcionan ninguna seguridad ya que son inestables y con la sobrecarga de la construcción constituyen áreas muy inestables en caso de sismos de gran magnitud y representan un mayor peligro en el A.H. “Diente de Oro”.



Fotografía 7. Viviendas del A.H. “Diente de Oro” asentadas sobre pircas de rocas y llantas. Coordenadas UTM (WGS 84): 286478 E, 8661823 N.



Fotografía 8. Viviendas asentadas sobre pircas ubicadas en depósitos de arenas inconsolidados. Coordenadas UTM (WGS 84): 275358 E, 8670785 N.

Ocupación inadecuada del territorio. La población del A.H. “Diente de Oro” se hace más vulnerable porque se ubica en: terrenos susceptibles a la ocurrencia de caídas de rocas, laderas inestables, zonas arenosas, al pie de los taludes de corte de carreteras, entre otros. Esto sucede porque no se consideran los factores geológicos, climáticos, ni procesos de geodinámica externa, al momento de elegir un lugar para vivir.

5.1.5. Simulación con RAMMS (Rapid Mass Movements)

Para la simulación de caída de rocas se utilizó el software RAMMS (Rapid Mass Movements), y se consideraron las rocas intrusivas de la Super Unidad Santa Rosa, compuestas por dioritas moderadamente meteorizadas y medianamente a muy fracturadas.

Los parámetros de entrada considerados para la simulación fueron:

- Densidad del bloque. La densidad de un bloque de roca depende de la composición y de las propiedades del material del que está hecho. La densidad se expresa generalmente en unidades de masa por unidad de volumen, como kilogramos por metro cúbico (kg/m^3) o gramos por centímetro cúbico (g/cm^3).

Para determinar la densidad de un bloque en específico, se necesita conocer su composición y dimensiones. Una vez obtenida esta información, se puede calcular la densidad utilizando siguiente la fórmula:

$$\text{Densidad} = \text{Masa} / \text{Volumen}$$

La densidad de las rocas intrusivas varía según su composición mineral y puede estar en un rango típico de 2.6 a 3.0 gramos por centímetro cúbico (g/cm^3) o 2600 a 3000 kilogramos por metro cúbico (kg/m^3).

Se estima que las rocas intrusivas como la diorita identificada en el área de estudio, tiene una densidad promedio de alrededor de 2.7 a 2.8 g/cm^3 (dato a simular).

*Es importante señalar que la densidad de una roca en particular puede variar dentro de un rango debido a las variaciones en la composición mineral y la porosidad.

- Dimensiones del bloque: Las dimensiones consideradas para el parámetro de evolución del macizo rocoso fueron:
 - Ancho promedio: 1.5 m
 - Altura promedio: 1.13 m
 - Largo Promedio; 0.75 m

Considerando la densidad de roca de 2700 kg/m^3 , y una masa de 2048 kg, se digitalizó el bloque con 30 puntos o nodos (figura 10), basado en la información de campo (fotografía 9).

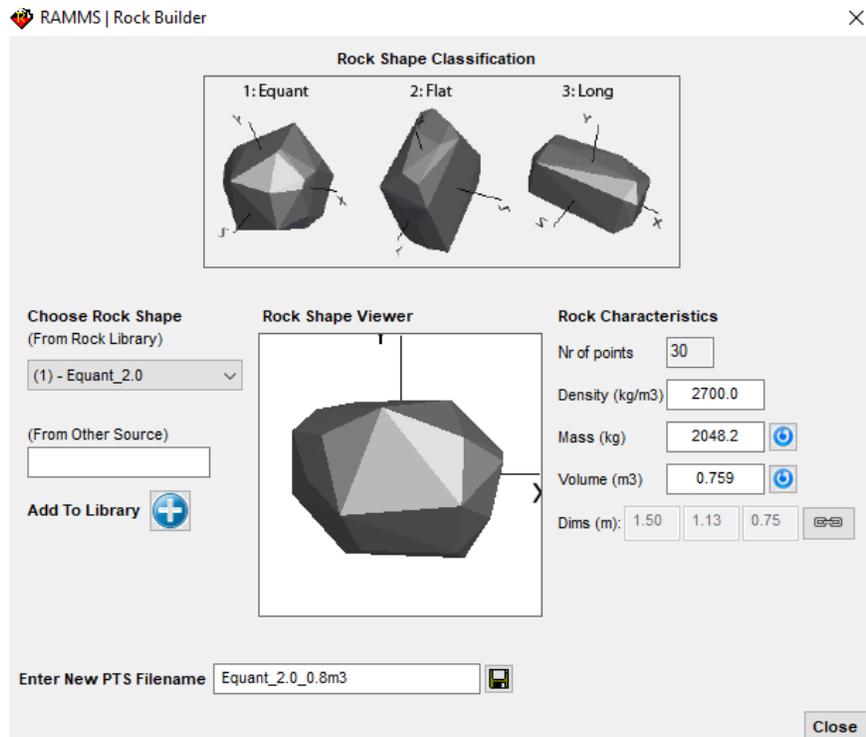


Figura 10. Dimensionamiento del tipo de bloque a simular.



Fotografía 9. Laderas con afloramientos rocosos susceptibles a caída, hacia la parte alta del A.H. "Diente de Oro".

Las características geométricas del terreno fueron tomadas del Modelo digital de Elevaciones (MDE), realizado con métodos fotogramétricos (figura 11).

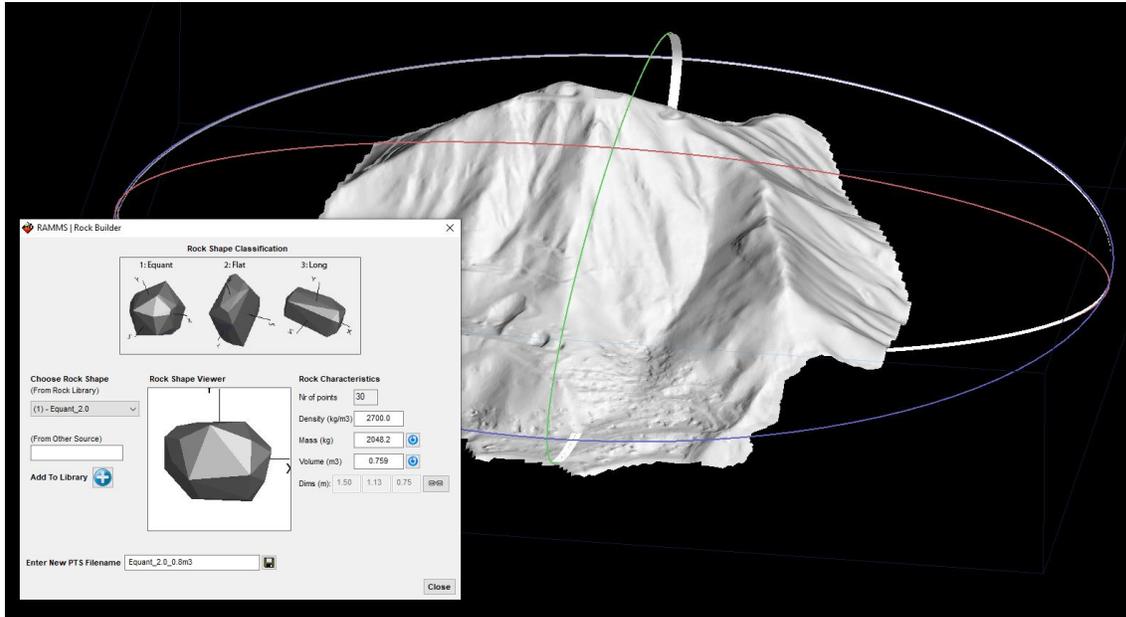


Figura 11. Características geométricas del terreno a simular.

Los parámetros físicos relacionados a la fricción del bloque de roque (interacción bloque - terreno) fueron caracterizados en campo, generalizando un área de trabajo “Medium” con coeficiente de rugosidad de 0.35 a 2 (figura 12).

Terrain	Mu_Min	Mu_Max	Beta	Kappa	Epsilon	Drag
Extra Soft	0.2	2	50	1	0	0.9
Soft	0.25	2	100	1.25	0	0.8
Medium Soft	0.3	2	125	1.5	0	0.7
Medium	0.35	2	150	2	0	0.6
Medium Hard	0.4	2	175	2.5	0	0.5
Hard	0.55	2	185	3	0	0.4
Extra Hard	0.8	2	200	4	0	0.3
Snow	0.1	0.35	150	2	0	0.7

Figura 12. Parámetros de fricción.

Los resultados obtenidos de las simulaciones fueron los siguientes:

- Los bloques de rocas situados en las laderas del cerro Centinela, hacia la parte alta del A.H. "Diente de Oro", darán lugar a episodios de caída de rocas, estimándose que se alcanzarían energías máximas de hasta 1000 KJ, según el análisis de simulaciones con el RAMMS (figura 13). Esto se debe a que los bloques que se desprenden tienen un diámetro máximo de 2 metros (evidenciados en desprendimientos anteriores), y gran parte de la energía liberada se disipa al interactuar con las arenas presentes en la ladera (características medias de fricción). Aunque existe el potencial de que los bloques lleguen hasta las viviendas del A.H. "Diente de Oro". Por ello, se considera apropiado implementar las medidas de protección propuestas por la Municipalidad Distrital de Santiago de Surco, como son: el desquinchado de bloques, enmallados y barreras dinámicas capaces de resistir hasta 1500 KJ, con el fin de reducir el peligro asociado a estos eventos.

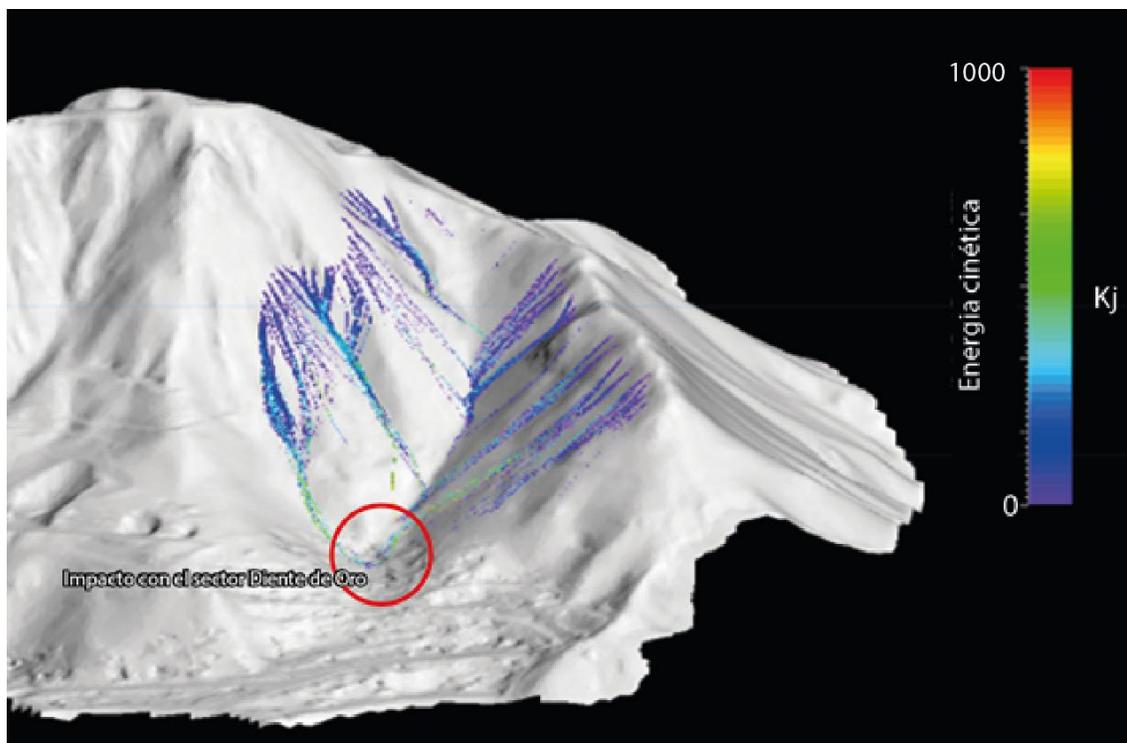


Figura 13. Resultados de simulación por caída de rocas en el A.H. "Diente de Oro".

- Las velocidades de caída de rocas dependen de factores como la pendiente de la ladera, la masa y tamaño de las rocas. Según la simulación, las caídas de rocas alcanzarían velocidades máximas de hasta 10 m/s (en áreas de mayor pendiente) desacelerando en contacto con el material detrítico (arenas y bloques de roca) en la ladera hasta 3 m/s (figura 14).
- Los saltos de bloque llegan a máximos de 1 m (figura 15), y mínimo de 0.10 m.

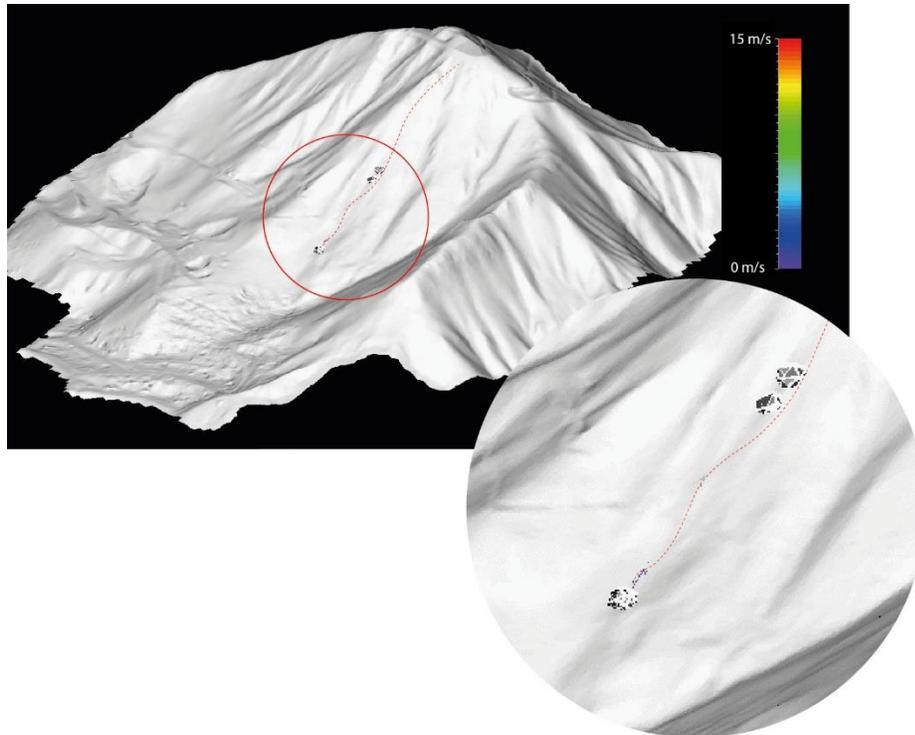


Figura 14. Trayectoria de bloques y saltos de rocas con velocidades de recorrido de 0, 3 y 10 m/s.

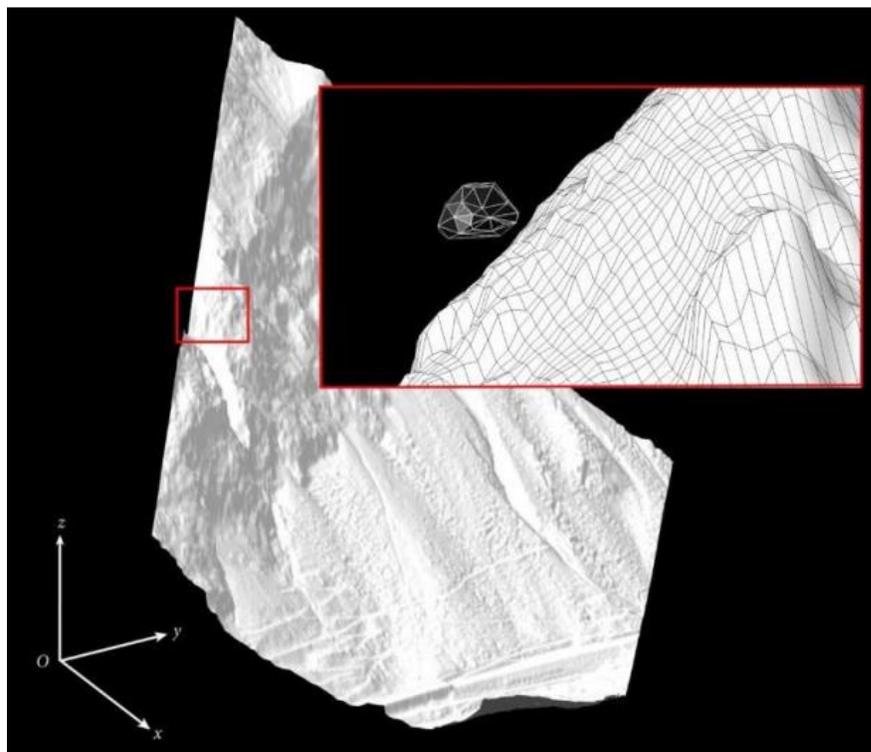


Figura 15. Separación máxima (salto) identificado en la simulación (1m).

6. CONCLUSIONES

- a) El Asentamiento Humano A.H. “Diente de Oro” se asienta sobre depósitos eólicos conformados por arenas cuarzosas de grano fino a medio, bien seleccionadas, susceptibles a procesos de licuefacción y/o asentamientos. Mientras que, en los alrededores se identificaron rocas intrusivas de tipo diorita pertenecientes a la Super Unidad Santa Rosa, cuyos afloramientos se encontraban moderadamente meteorizadas y medianamente a muy fracturadas. Estas características del terreno condicionan que los afloramientos sean susceptibles a la ocurrencia de caída de rocas.
- b) Sobre la geoforma denominada mantos de arena se asienta el A.H. “Diente de Oro”, la cual presenta pendiente moderada (5° - 15°) a fuerte (15° - 25°). Mientras que, en los alrededores se tienen geoformas de tipo colinas y lomadas del cerro Centinela, que presentan laderas con pendiente muy fuerte a escarpado (25° - 45°) a muy escarpado ($>45^{\circ}$) del terreno, con cimas subredondeadas a agudas. Estas condiciones del terreno favorecen la ocurrencia de caída de rocas.
- c) Los peligros geológicos identificados en el A.H. “Diente de Oro” y alrededores corresponde a movimientos en masa de tipo caída (caída de rocas y derrumbe) y otros peligros geológicos de tipo arenamiento. La caída de rocas tiene una longitud de la zona de arranque de 287 m aproximadamente y el área (considerando los depósitos) corresponde a 24 738 m² aproximadamente.
- d) Los factores condicionantes para la ocurrencia de caídas de rocas en el A.H. “Diente de Oro” son los factores litológicos y geomorfológicos. El factor litológico corresponde al substrato rocoso conformado por rocas intrusivas de tipo diorita que se encontraban moderadamente meteorizadas y medianamente a muy fracturadas, mostrando un GSI entre 45 - 65, originando inestabilidad en las laderas. Mientras que el factor geomorfológico corresponde a las colinas y lomadas en roca intrusiva del cerro Centinela, con laderas de pendiente muy fuerte a escarpado (25° - 45°) a muy escarpado ($>45^{\circ}$) del terreno, con cimas subredondeadas a agudas. Estas características permiten que el material suelto que se encuentra sobre las laderas sea susceptible a remoción por efectos de la gravedad y la escorrentía de aguas superficiales, generando de esta manera caída de rocas y derrumbes.
- e) Los factores desencadenantes para la generación de caídas de rocas en el A.H. “Diente de Oro” son los sismos. Según el mapa de zonificación sísmica, el asentamiento humano en mención se encuentra en la zona de alta sismicidad y según el mapa de distribución de máximas intensidades de escala de Mercalli modificada, se encuentra en la escala de intensidades de VIII.

- f) Los factores antrópicos como las excavaciones para la construcción de viviendas y/o calles, contribuyen a la inestabilidad de las laderas; el uso de terraplenes artesanales inestables (pircas) contribuye a incrementar el grado de vulnerabilidad; y la población se hace más vulnerable cuando se ubica en terrenos susceptibles a sufrir los efectos de movimientos en masa, como las caídas de rocas.
- g) Según el análisis de simulaciones con el RAMMS, los bloques de rocas situados en las laderas del cerro Centinela, hacia la parte alta del A.H. “Diente de Oro”, darán lugar a episodios de caída de rocas, estimándose que se alcanzarían energías máximas de hasta 1000 KJ, por ello se recomienda implementar las medidas de protección propuestas por la Municipalidad Distrital de Santiago de Surco, como: enmallados y barreras dinámicas capaces de resistir hasta 1500 KJ, con el fin de reducir el peligro asociado a estos eventos.
- h) Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y de geodinámica externa, el A.H. “Diente de Oro”, es considerado como **Zona Crítica** y de **Peligro Alto** a la ocurrencia de caídas de rocas, derrumbes y arenamientos, así como procesos de licuefacción y asentamientos en los depósitos de arena, que podrían ser desencadenados por sismos de moderada y gran magnitud.

7. RECOMENDACIONES

MEDIDAS ESTRUCTURALES

- a) Instalar enmallados y barreras dinámicas capaces de resistir hasta 1500 KJ, con el fin de reducir el peligro frente a la caída de rocas. Dichas obras deben ser realizadas por profesionales especializados.
- b) Construir muros de contención para mitigar los efectos de las caídas de rocas y derrumbes.
- c) Rediseñar y/o mejorar los cimientos de las construcciones de las viviendas del A.H. “Diente de Oro”, las cuales deben ser realizadas por profesionales especializados; para ello se deben considerar los estudios de estabilidad de taludes y cimentaciones.

MEDIDAS NO ESTRUCTURALES

- a) Restringir el crecimiento urbano hacia las laderas del cerro Centinela o en laderas inestables, para lo cual es necesario colocar señaléticas.
- b) Antes de realizar cualquier tipo de obras de prevención y mitigación en la zona, se debe considerar realizar el estudio de mecánica de suelos.
- c) Realizar el monitoreo visual y constante en las laderas del cerro Centinela ante la ocurrencia de derrumbes y caída de rocas, que pueden ser originados por sismos.
- d) Realizar estudios de estabilidad de taludes para determinar el comportamiento del terreno frente a las edificaciones y cortes de talud. Así como simulaciones para determinar la zona de colapso del talud. Con ello, se permitirá la construcción de medidas correctivas certeras.
- e) Realizar charlas de sensibilización y concientización sobre el peligro al que se encuentran expuestos los pobladores del A.H. “Diente de Oro” y otros sectores asentados en la parte baja del cerro Centinela.
- f) En las laderas del cerro Centinela, evitar realizar cortes del talud, de realizarse deben ser con dirección técnica, para no generar inestabilidad.
- g) Realizar el desquinche de las rocas sueltas en las laderas del cerro Centinela que puedan generar procesos de caídas de rocas.
- h) Forestar las laderas del cerro Centinela, así como en la zona de caída de rocas, para tener una barrera viva, que evite el desplazamiento de posibles caídas de rocas.

- i) Considerar la colocación de señaléticas en vías de acceso y áreas en peligro, advirtiendo la posible caída de rocas.
- j) Señalizar rutas de evacuación en el A.H. "Diente de Oro" y la identificación de zonas seguras en caso de sismos.



.....
Julio César Lara Calderón
Geólogo-Analista en peligros geológicos



.....
ING. JERSY MARIÑO SALAZAR
Director (e)
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

8. BIBLIOGRAFÍA

Alva, J., Meneses J. & Guzmán V. (1984). *Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas en el Perú*. V Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Tacna, Perú.

Diario Oficial El Peruano (2016). Decreto Supremo que modifica la Norma Técnica E.30 "Diseño sismorresistente" del Reglamento Nacional de Edificaciones, aprobada por Decreto Supremo N°011-2006-Vivienda, modificada con Decreto Supremo N° 002-2014-Vivienda. Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (2003). *Estudio de riesgos geológicos del Perú*, Franja No. 3 Boletín. Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, n. 28. Perú: INGEMMET. 373 p.

Instituto Nacional de Defensa Civil. Dirección de Preparación (2017). *Escenario sísmico para Lima Metropolitana y Callao: Sismo 8.8 Mw*, 54 p
<https://www.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2019/01/201711231521471-1.pdf>

León, W. & De la Cruz, O. (2003). Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Mala (26-j), Lurín (25-j) y Lima (25-l). Memoria descriptiva. Perú: INGEMMET. 18 p.

Luque, G.; Rosado, M.; Pari, W.; Peña, F. & Huamán, M. (2020). Peligro geológico en la región Lima. *INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica*, 76, 298 p., 9 mapas.

Mamani, Y.; Fabián, C. & Jacay, J. (2021) - Geología del cuadrángulo de Chosica (hojas 24j1, 24j2, 24j3, 24j4). INGEMMET, Boletín, Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1:50 000), 38, 80 p., 4 mapas.

Palacios, O., Caldas, J. & Vela, Ch. (1992). Geología de los cuadrángulos de Lurín, Chancay y Chosica. Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, n° 43. Perú: INGEMMET. 163 p.

Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007). *Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas*. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, 432 p., Publicación Geológica Multinacional, 4.

Villacorta, S., Núñez, S., Vásquez, J., Pari, w., Ochoa, M., Benavente, E., Tatar, L., Luque, G., Rosado, M., Fidel, S. & Úbeda J. (2015). *Peligros geológicos en el área de Lima Metropolitana y la Región Callao*. Boletín. Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, n. 99. Perú: INGEMMET. 151 p.

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

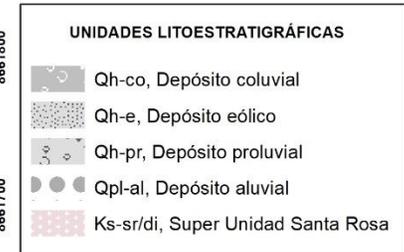
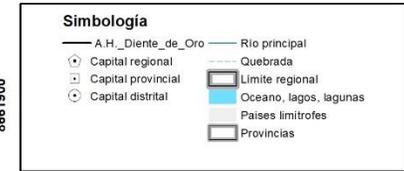
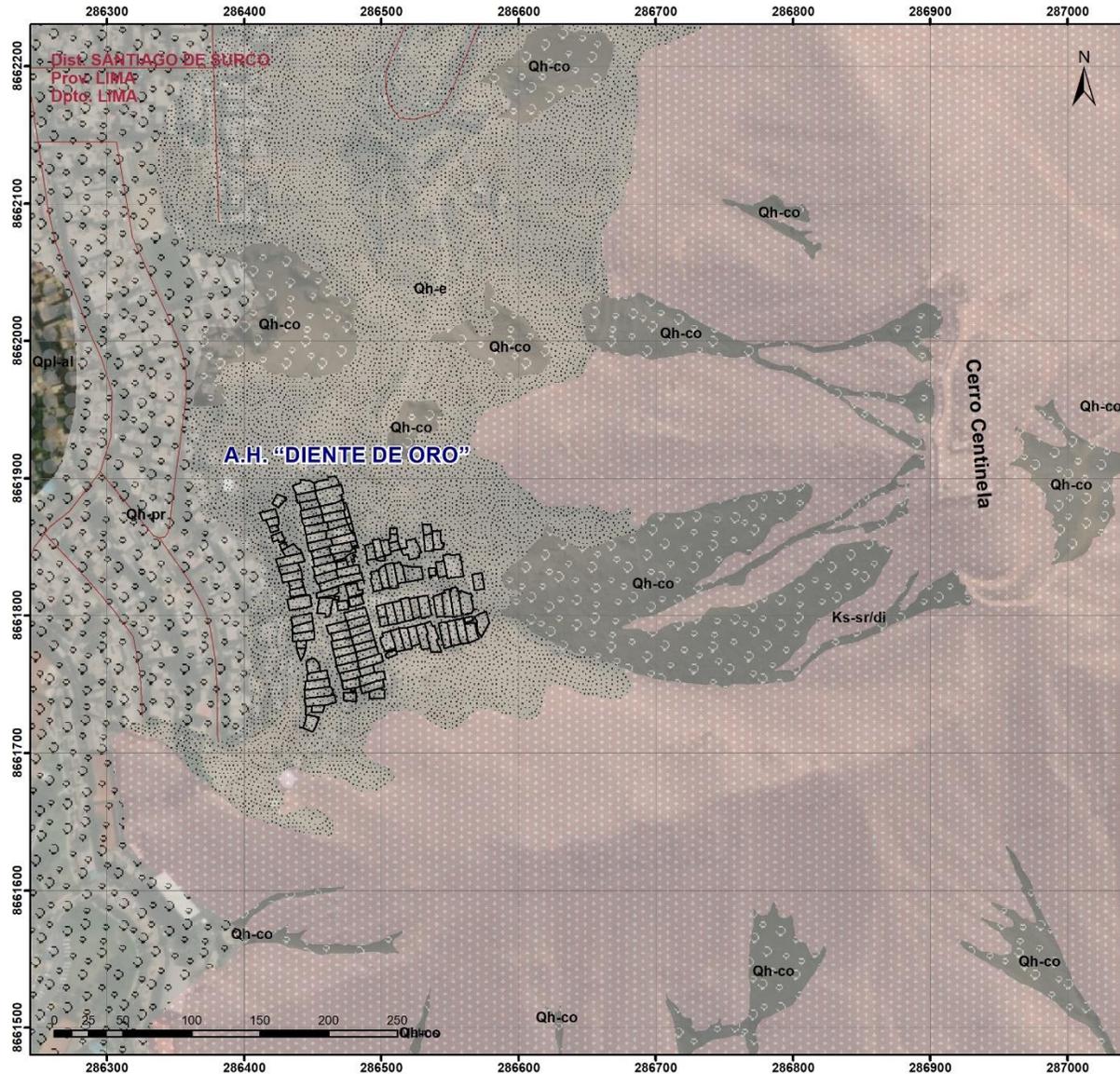
ANEXO 1: MAPAS

Mapa 1. Mapa geológico del A.H. “Diente de Oro”.

Mapa 2. Mapa de pendientes de terreno del A.H. “Diente de Oro”.

Mapa 3. Mapa geomorfológico del A.H. “Diente de Oro”.

Mapa 4. Cartografía de peligros geológicos en el A.H. “Diente de Oro”.

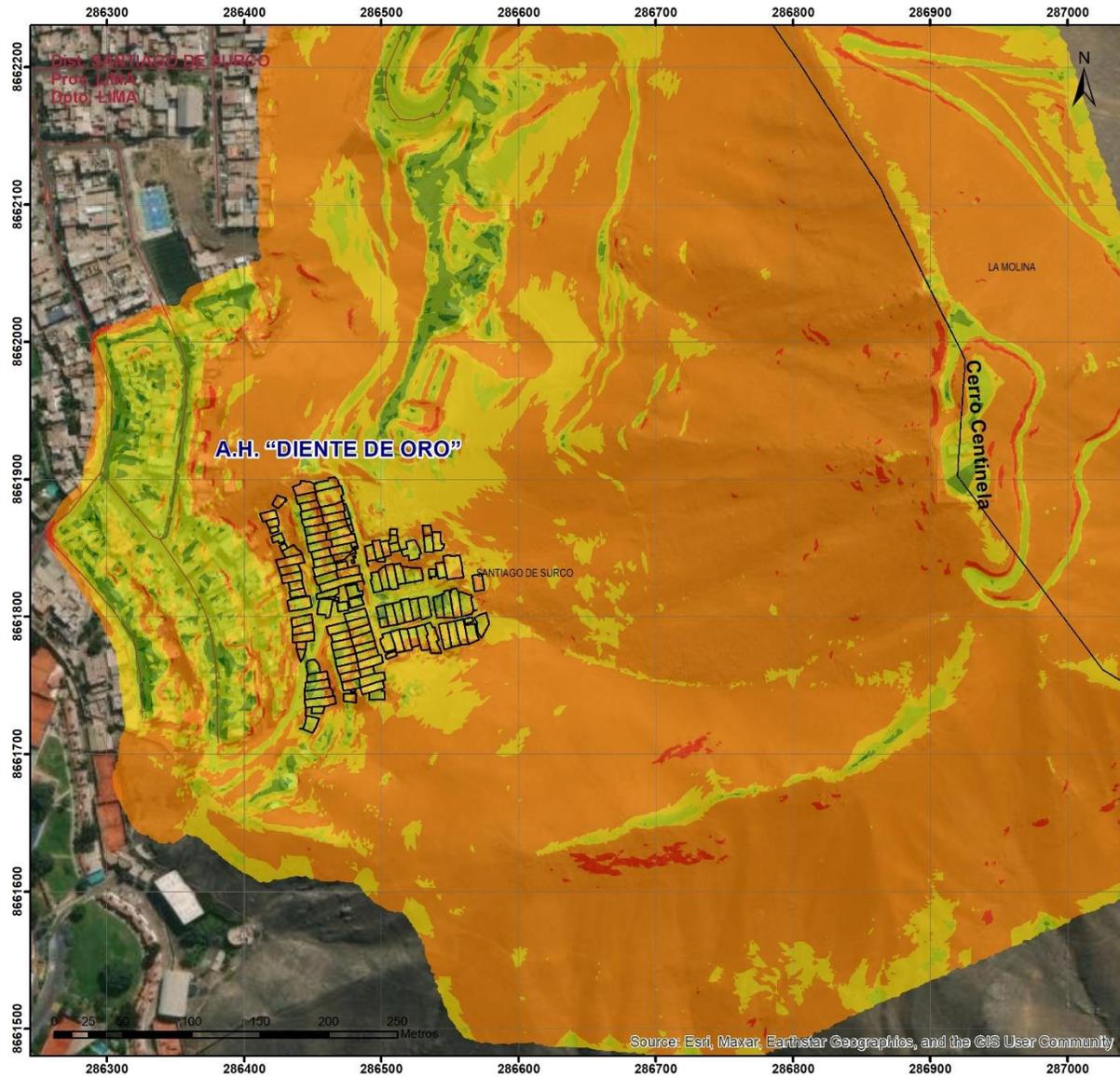


SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO
 DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

DEPARTAMENTO LIMA
 PROVINCIA LIMA
 DISTRITO SANTIAGO DE SURCO

**MAPA GEOLÓGICO DEL
 A.H. "DIENTE DE ORO"**

Escala: 1/5.791	Elaborado por: Julio Lara	MAPA 01
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datam: WGS 84	
Versión digital 2023	Impreso: Octubre de 2023	

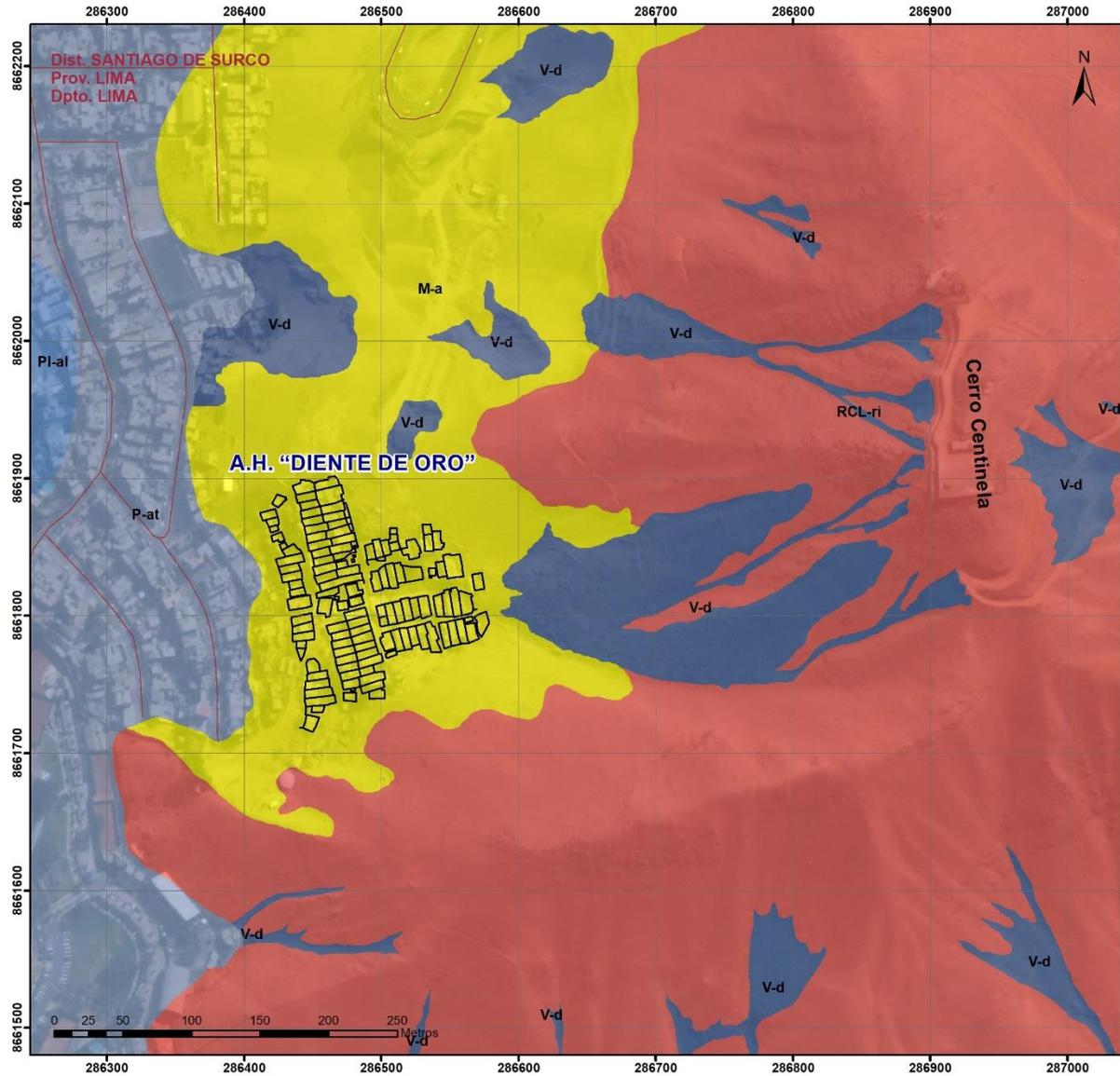


SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO
 DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

DEPARTAMENTO LIMA
 PROVINCIA LIMA
 DISTRITO SANTIAGO DE SURCO

**MAPA DE PENDIENTES DEL
 A.H. "DIENTE DE ORO"**

Escala: 1/5.791	Elaborado por: Julio Lara	MAPA 02
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datam: WGS 84	
Versión digital 2023	Impreso: Octubre de 2023	



Simbología

- A.H. "Diente de Oro"
- ⊙ Capital regional
- ⊙ Capital provincial
- ⊙ Capital distrital
- Río principal
- Quebrada
- ▭ Limite regional
- ▭ Océano, lagos, lagunas
- ▭ Países limítrofes
- ▭ Provincias

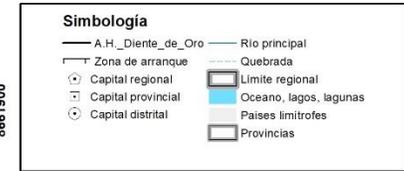
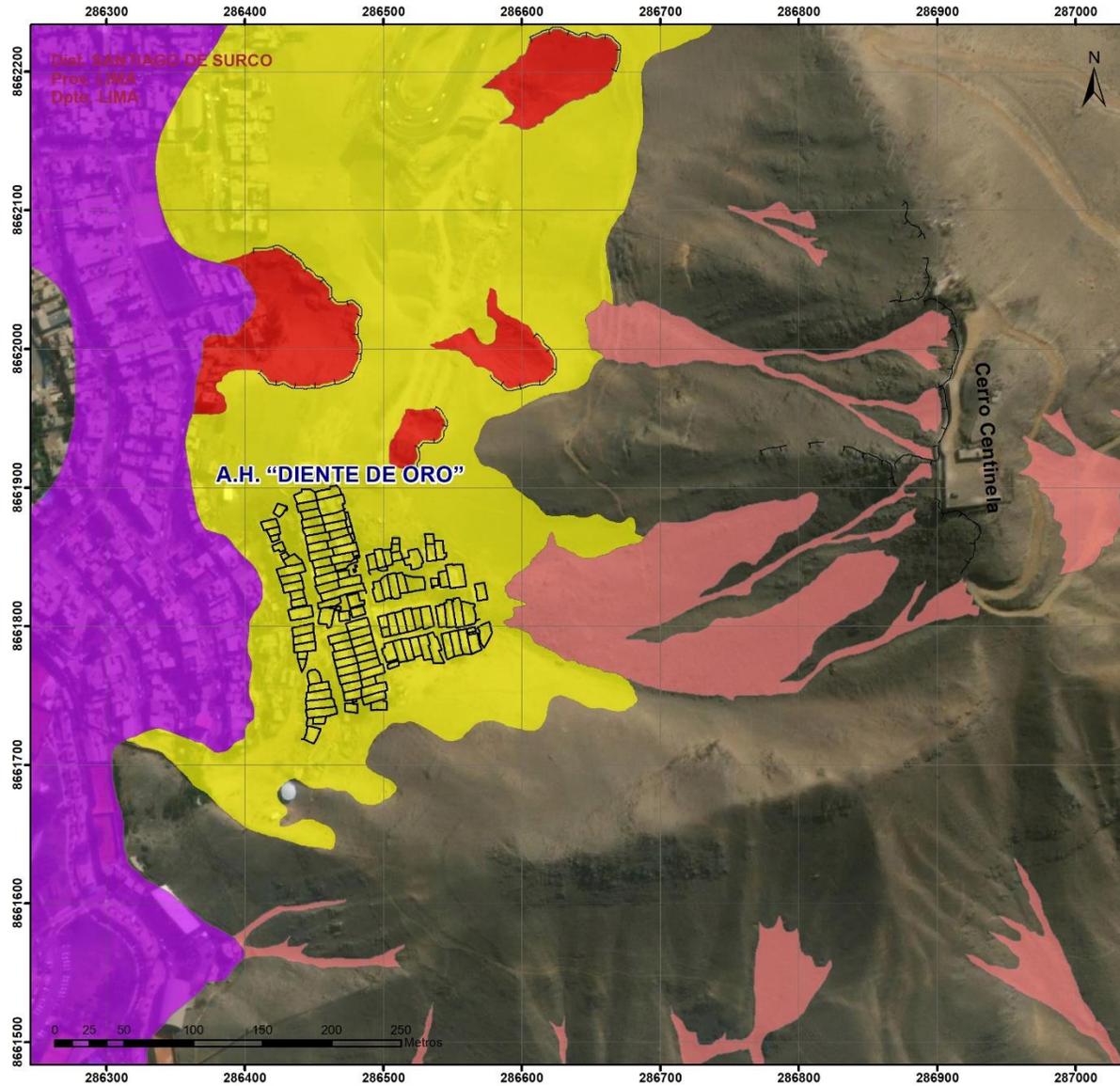
SUBUNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

- V-d, Vertiente coluvial de detritos
- M-a, Mantos de arena
- P-at, Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial
- PI-al, Llanura o planicie aluvial
- RCL-ri, Colina y lomada en roca intrusiva

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO
 DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO
 DEPARTAMENTO LIMA
 PROVINCIA LIMA
 DISTRITO SANTIAGO DE SURCO

**MAPA GEOMORFOLÓGICO DEL
 A.H. "DIENTE DE ORO"**

Escala: 1/5.791	Elaborado por: Julio Lara	MAPA 03
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datam: WGS 84	
Versión digital 2023	Impreso: Octubre de 2023	




 INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO
 DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO
 DEPARTAMENTO LIMA
 PROVINCIA LIMA
 DISTRITO SANTIAGO DE SURCO

CARTOGRAFÍA DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL A.H. "DIENTE DE ORO"

Escala: 1/5.791	Elaborado por: Julio Lara	MAPA 04
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datam: WGS 84	
Versión digital 2023	Impreso: Octubre de 2023	