



**Boletín 5**  
**ISSN 2411-6890**



Área de estudio

# ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO APLICADO A PELIGROS DE ORIGEN NATURAL. SECTOR: VERTIENTE OCCIDENTAL DE LOS CERROS LA MINA Y JECUAN

Efrain Huaricacha Condori

## RESUMEN

---

La investigación tuvo como propósito explicar la relación de la geomorfología y los peligros de origen natural, basada en la conjunción de peligros por movimientos en masa y sismos. A través, de un levantamiento geomorfológico, análisis geológico-geomorfológico, interpretación geomorfométrica y técnicas de fotointerpretación.

Para dicho proceso, se cartografiaron veintiún geoformas, sobre la base de una clasificación geomorfológica de laderas y planicies. Por tanto, los factores geomorfológicos, morfodinámicos, geomorfométricos y estructurales condicionaron la distribución espacial de los peligros, sintetizada en una zonificación que comprende tres niveles de peligro: muy alto, alto y medio.

**PALABRAS CLAVE:** *clasificación geomorfológica, geoformas, delimitación, zonificación.*

## DATOS DEL AUTOR

---

Geógrafo e investigador asociado al Grupo de Investigación y Asesoría Territorial (GIAT). Con experiencia en el análisis geoespacial, planeamiento urbano y elaboración de instrumentos de gestión territorial.  
Email: efrain.huaricacha.c@uni.pe

© Este artículo es de acceso abierto sujeto a la licencia Reconocimiento 4.0 Internacional de *Creative Commons*. No se permite un uso comercial de la obra original ni la generación de obras derivadas. Para más información, visite: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

## TITLE

Geomorphology study applied to the natural hazards. Sector: Occidental watershed from hills La Mina and Jecuan.

## ABSTRACT

The main purpose of the research was to explain the relationship between geomorphology and natural hazards based on the conjunction of mass movements and earthquakes; using geomorphology survey, geological-geomorphological analysis, geo-morphometric interpretation and photointerpretation techniques.

For this process, twenty-one landforms were mapped based on geomorphological classification about hillsides and plains. Therefore, the geomorphological, morphodynamic, geo-morphometric and structural factors determined the spatial distribution of risks, synthesized in zoning sources that involved three levels of risk: too high, high and medium.

**KEYWORDS:** *geomorphological classification, landforms, delimiting, zoning.*

© This article is of open access to the public and subject to the Creative Commons Attribution Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License. The commercial use of this original work and the production of derived works from this article is not allowed. For more information, please visit: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

## INTRODUCCIÓN

---

El presente estudio busca explicar la relación de la geomorfología y la zonificación de los peligros de origen natural, basada en la conjunción de peligros por movimientos en masa y sismos. Por tanto, el medio físico es el soporte principal de [los procesos de ocupación y] actividades económicas, destacando principalmente la geomorfología, identificando geoformas o formas del relieve, las cuales sintetizan los procesos geológico-geomorfológicos e incluso edafológicos en su disposición morfológica-estructural (Huaricacha, 2018:83).

Por consiguiente, las geoformas están expuestas a procesos de geodinámica interna y externa. Esta exposición se acelera por las actividades antrópicas, pues en las últimas décadas el vínculo y los efectos que tienen los seres humanos sobre las formas del relieve se han estrechado y han desencadenado desastres (García, Legorreta & Aceves, 2018:3).

Por tanto, una investigación geomorfológica es capaz de proveer enfoques teóricos y aplicados para reducir los desastres, en términos del origen y dinamismo de los procesos físicos que los controlan y condicionan. Donde, la magnitud, frecuencia, umbrales, así como la escala temporal y espacial, son conceptos geomorfológicos claves fuertemente correlacionados con las amenazas (Alcántara, 2002; en Ibarra, 2013:16).

En ese contexto, es común en el territorio peruano, los procesos naturales (amenazas) como son los sismos, movimientos en masa (procesos gravitacionales), aluviones (huaycos) entre otros. Debido a su disposición geológica-geomorfológica, topografía variada y ubicación geográfica en el Cinturón del Fuego Circunpácífico. En tal sentido, la región costera está sujeta a estos procesos, dado a su condición o proceso geológico-geomorfológico la constituyen como un espacio expuesto a la ocurrencia de peligros.

De manera que, un levantamiento geomorfológico es una herramienta valiosa que proporciona una información precisa y concreta sobre los procesos geomorfológicos, formas resultantes y fenómenos naturales relacionados (Aceves, Legorreta & Álvarez, 2014:330). Y que, mediante un análisis geomorfométrico (perfiles topográficos, disección, etc.), geomorfológico y disposición geológica; y, el uso de imágenes de satélite y modelos de elevación digital (DEM), se determinan las zonas de peligros de origen natural.

En tal sentido, se ha seleccionado como área de estudio: la vertiente occidental de los cerros La Mina y Jecuan con proyección hacia el litoral. En la referida área se emplaza el centro poblado Pampa Libre, ubicado a 5 km de la ciudad de Chancay, correspondiente al distrito del mismo nombre, provincia Huaral y departamento Lima. Según, el Sistema Nacional de Centros Poblados<sup>1</sup>, Pampa Libre forma parte del Sub Sistema Urbano Huacho y que, por su articulación con la ciudad de Chancay, posee carácter de centro complementario productor. Cuenta con una población de 9 359 habitantes (INEI, 2017<sup>2</sup>), es de economía agrícola y aflora un acelerado proceso de expansión urbana hacia las laderas de los cerros La Mina y Jecuan.

Que, debido a su ubicación en la región costera y proximidad a la ciudad de Chancay, el centro poblado Pampa Libre está expuesto a la ocurrencia de movimientos en masa y sismos. Pues, el territorio chancayano ha sido receptor de antiguos sismos que causó pérdidas humanas y de

---

<sup>1</sup> Aprobado mediante Decreto Supremo N°022-2016-VIVIENDA.

<sup>2</sup> Recuperado de INEI (Censos de Población y Vivienda), año 2017.

viviendas. Tales como los ocurridos en 1678, 1978 y en 1746, donde se registró un terremoto de intensidad X-XI, de 3 a 4 minutos. Asimismo, en 1828, 1940, 1970 y 1995, registrándose en este último, un sismo de magnitud de 5.3 Md; con una intensidad macro sísmica estimada en la escala M5K.

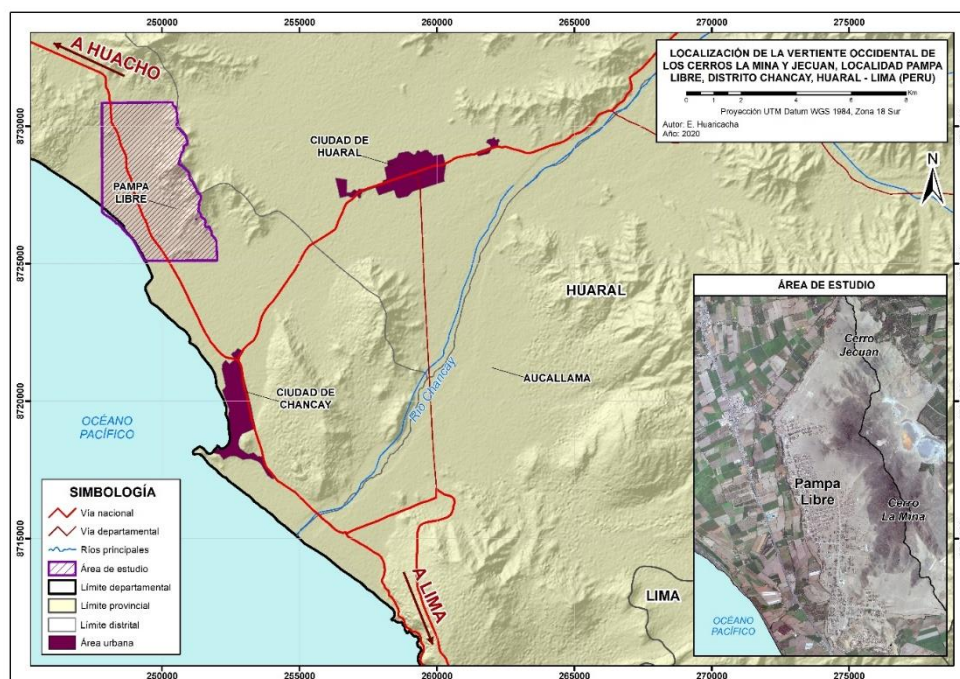
Por lo tanto, es fundamental realizar una zonificación de peligros naturales, porque, los peligros naturales condicionan la capacidad de acogida del territorio, dado que al activarse pueden producir efectos indeseados en las actividades humanas. Razón por la cual y con el fin de contribuir al ordenamiento sustentable del territorio, estos debieran ser inventariados, valorados y cartografiados para evitar el poblamiento de zonas de riesgo o para utilizar las tecnologías adecuadas para soportar [los riesgos] (Gómez, 1994; en Elmes, 2006:6).

Por ello, la zonificación representa la distribución espacial de los factores condicionantes<sup>3</sup> (principalmente la geomorfología y geología) conjugados con los factores desencadenantes<sup>4</sup> (precipitación, intensidad sísmica, entre otros). Por tanto, su representación cartográfica y análisis espacial son fundamentales para la evaluación de riesgos potenciales en asentamientos humanos y actividades económicas. Asimismo, es un aporte fundamental para un proceso de planificación territorial que el gobierno local podría implementar.

Por consiguiente, en este artículo se brinda un modelo que permite zonificar los peligros de origen natural basada en un levantamiento geomorfológico, permitiendo identificar y delimitar geformas. A través del método *thalweg*-interfluvio y el criterio de homogeneidad geológica-geomorfológica.

FIGURA 1.

Mapa de localización del área de estudio



<sup>3</sup> Son parámetros propios del ámbito geográfico de estudio, el cual contribuye de manera favorable o no al desarrollo del fenómeno de origen natural (magnitud e intensidad), así como a su distribución espacial (CENEPRED, 2015:106).

<sup>4</sup> Son parámetros que [producen] eventos y/o sucesos asociados que pueden generar peligros en un ámbito geográfico específico. Por ejemplo: las lluvias generan deslizamiento de material suelto o meteorizado, los sismos de gran magnitud ocurridos en el mar (locales) ocasionan tsunamis, etc. (CENEPRED, 2015:107).

## METODOLOGÍA

---

La investigación se desarrolló en siete pasos secuenciales de elaboración, sistematización y análisis para determinar y evaluar la zonificación de peligros de origen natural. En el primer paso, se ha realizado una revisión bibliográfica y la elaboración de una base de datos geoespacial. El área de estudio comprende dos hojas de la Carta Geológica Nacional denominadas Huaral (23i) y Chancay (24i). Y que fueron obtenidas, a través del Sistema Geológico y Catastral Minero (GEOCATMIN). Asimismo, se dispuso de la imagen de satélite CENES Airbus y el DEM de 12.5 metros de resolución, generado a partir de imágenes radar Alos Palsar.

En el segundo paso, se han generado los perfiles topográficos, el sombreado y las pendientes del terreno, a través del procesamiento del DEM en un Sistema de Información Geográfica. Seguidamente, sobre la base de la imagen de satélite y el análisis de los Boletines geológicos N° 26 y 43 (INGEMMET), se ha redelimitado las unidades geológicas y el reajuste de sus datos a escala local, basadas en técnicas de fotointerpretación.

El tercer paso, consistió en un levantamiento geomorfológico a escala 1:2000, haciendo uso de parámetros geomorfométricos (perfiles topográficos y pendientes del terreno), imagen de satélite y geología reajustada; además, del Google Earth en ciertas ocasiones. El levantamiento, la identificación y delimitación de geoformas, consistió en una clasificación geomorfológica de laderas y planicies, basadas en el método *thalweg*-interfluvio y el criterio de homogeneidad geológica-geomorfológica.

Pues, de acuerdo al método *thalweg*-interfluvio y parámetros geomorfométricos, la clasificación geomorfológica de laderas, reside en la identificación y delimitación de geoformas según aspectos morfoestructurales, morfodinámicos y el carácter topográfico-geológico. En cuanto, a la clasificación geomorfológica de planicies, se basó en el criterio de homogeneidad geológica-geomorfológica, referido a la delimitación de geoformas considerando su morfológica y morfogénesis. En tal sentido, la aludida clasificación se fundamenta en aspectos morfoestructurales y fisonómicos (declives).

En el cuarto paso, se ha elaborado los mapas: geológico, geomorfológico y pendientes del terreno. Cabe indicar, que los referidos mapas representan los parámetros de evaluación de los peligros de origen natural. Por otro lado, la clasificación de los rangos de pendientes se realizó basándose en los estudios de Cholley y Tricart, que van desde pendientes llanas hasta muy escarpados.

Se ha realizado un análisis de decisión multicriterio basado en el método AHP<sup>5</sup> y escala Saaty, para la zonificación y ponderación (pesos) de los parámetros de evaluación de peligros por movimientos en masa y sismos. Por consiguiente, este procedimiento ha facilitado la estratificación de los niveles de peligros (muy alto, alto, medio y bajo).

En el quinto paso, para la evaluación y zonificación de peligros por movimientos en masa, se ha realizado un análisis geológico-geomorfológico, estableciendo un modelo de estimación de la intensidad del peligro. Por tanto, se ha definido los pesos de los descriptores de cada parámetro de

---

<sup>5</sup> Método Proceso Jerárquico de Análisis o método AHP, por sus siglas en inglés. Fue desarrollado por el matemático Thomas L. Saaty, su metodología se basa en comparación por parejas de la siguiente forma ¿Cómo de importante es la variable  $X_i$  respecto al  $X_j$ ? De esta forma, también permite no solo valorar las diferentes alternativas, sino también establecer por comparaciones pareadas la importancia relativa de cada criterio respecto al resto, y establecer un vector de pesos (Muñoz & Romana, 2016:32).

evaluación, cuyos pesos van de 1 a 4. Donde el valor 1 representa el nivel mínimo y el valor 4 el máximo, sobre la intensidad del descriptor en la ocurrencia y desarrollo de los movimientos en masa.

Es decir, las geoformas de laderas poseen mayor peso que las geoformas de planicies; pues, se relacionan directamente y favorecen la ocurrencia del peligro. En cuanto a la geología, las unidades litológicas con fuerte meteorización y erosión, tendrán mayor peso que las unidades consolidadas (roca dura). Asimismo, tendrán mayor peso las pendientes de mayor inclinación, debido a su relación directa con los procesos gravitacionales. Por tanto, para la evaluación del peligro por movimientos en masa, se aplicó la ecuación 1:

$$\text{Peligros por movimientos en masa} = (\text{geomorfología} * \text{peso}) + (\text{geología} * \text{peso}) + (\text{pendientes} * \text{peso})$$

Del mismo modo, en el sexto paso, para la evaluación y zonificación de peligros por sismos, se ha basado en un análisis geológico-geomorfológico, estableciendo un modelo de estimación de la intensidad del peligro. Asimismo, se ha definido los pesos de los descriptores de los parámetros de evaluación, que oscilan entre valores de 1 a 4.

Donde, las geoformas de planicies tienen mayor peso que las geoformas de laderas, pues, estas son receptoras del material erosionado y de depósitos recientes y que, por su disposición morfoestructural son inestables y poco resistentes. En cuanto, a los descriptores geológicos, tiene mayor peso los depósitos y acumulaciones recientes, los cuales son menos cohesivos y más susceptibles a la licuación de suelos. Respecto, a las pendientes, tendrán mayor peso los declives menores, pues están han sido resultado de la erosión y sedimentación. Por lo tanto, para su estimación y zonificación se aplicó la ecuación 2:

$$\text{Peligros por sismos} = (\text{geomorfología} * \text{peso}) + (\text{geología} * \text{peso}) + (\text{pendientes} * \text{peso})$$

Por último; en el séptimo paso, se ha realizado el procesamiento e integración de los peligros por movimientos en masa y sismos en un Sistema de Información Geográfica, obteniendo como resultado los peligros de origen natural y su posterior zonificación. La zonificación está dada por los niveles de peligros cartografiados (espacializados) según zonas: Muy alto, Alto, Medio y Bajo. Por tanto, El procesamiento e integración se ha basado en la ecuación 3:

$$\text{Peligros de origen natural} = (\text{peligros por movimientos en masa} * 0.50) + (\text{peligros por sismos} * 0.50)$$

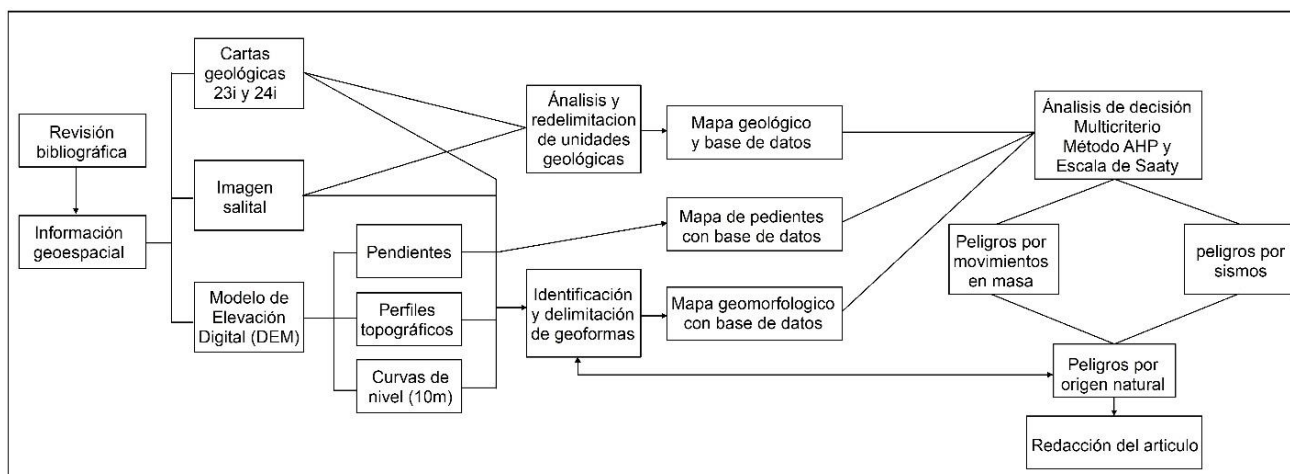
Cabe mencionar que, para la determinación de las zonas de peligros, se utilizó la siguiente matriz de niveles de peligros según rangos.

**TABLA 1.**  
Matriz de niveles de peligros según rango

| Nivel de peligro | Rango (valores)                | Simbología |
|------------------|--------------------------------|------------|
| Muy alto         | $3 < \text{peligro} \leq 4$    |            |
| Alto             | $2 < \text{peligro} \leq 3$    |            |
| Medio            | $1 < \text{peligro} \leq 2$    |            |
| Bajo             | $0 \leq \text{peligro} \leq 1$ |            |



**FIGURA 2.**  
Procedimiento metodológico



## RESULTADOS

### GEOLÓGIA DE LA VERTIENTE OCCIDENTAL DE LOS CERROS LA MINA Y JECUAN

Durante los trabajos de evaluación, fotointerpretación y análisis de información contenido en los boletines geológicos N° 26 y 40 (INGEMMET). Se identificaron, redelimitaron y cartografiaron siete unidades geológicas, conformados por grupo, formaciones y depósitos; además, del reajuste de datos (petrografía, estratigrafía y litología). Cuyas unidades geológicas son las siguientes:

#### **Grupo Casma (Ki-c)**

Unidad conformada por una serie de volcánicos con sedimentos intercalados, constituido por derrames de andesita masiva, estratificada con intercalaciones de arenisca, cuarcita, caliza y marga. Petrográficamente posee una baja resistencia y son inestables, producto de la meteorización y erosión constante, generando depósitos coluviales al pie de las laderas. La edad geológica del grupo Casma data del jurásico superior al cretáceo inferior, siendo el basamento de las laderas del cerro La Mina.

Su división litoestratigráfica, está definida por una secuencia volcánica sedimentaria en la parte inferior, y otro, volcánica en la parte superior. En tal sentido, se ha dividido en dos formaciones, en el cretáceo medio: Formación Huarangal (Kim-h) y en el cretáceo medio superior: Formación Quilmaná (Kms-q).

#### **Formación Huarangal (Kim-h)**

Es una unidad volcánico-sedimentaria constituida por calizas y rocas clásticas intercaladas con derrames volcánicos. Y, con una secuencia sedimentaria conformada por areniscas, calizas y horizontes conglomerados, principalmente de origen volcánico por acción de la erosión y sedimentación rápida, pudiendo llegar su espesor hasta los 1000 metros. Formación localizada al Sur del centro poblado Pampa Libre, con orientación al Sur Oeste y Sur Este.

### ***Formación Quilmaná (Kms-q)***

Unidad geológica constituida por una secuencia volcánico-sedimentaria en la base, y con rocas volcánicas en la parte superior. Esta secuencia aflora en su base, con derrames andesíticos y dacíticos de texturas porfiroides o afaníticas, de color gris a gris verdoso; con espesores que van entre los 600 y 700 metros. Localizado al Este del centro poblado Pampa Libre, colindante con la formación Hurangal y Grupo Casma.

### ***Granodiorita de Jecuan (KTi-gd-j)***

Esta unidad granodiorítica posee una composición variable con presencia de diaclasamiento. Pues, los procesos de intemperismo y erosión son profundos, fragmentando en bloques, detritos y arenas (producto de la conjunción de la acción eólica), generando taludes y laderas modelados. Emplazado al Nor Este de la localidad Pampa Libre, colindante con la unidad de depósitos eólicos, donde afloran los procesos de expansión urbana.

### ***Depósitos eólicos (Q-e)***

Los depósitos eólicos están emplazados al pie de las laderas de los cerros La Mina y Jecuan y la planicie costera, alcanzando mayor espesor en los taludes y espacios con declives. La arena es transportada hacia las planicies onduladas y laderas por vientos predominantes de playa. Constituidos por acumulaciones de arena y limo, siendo susceptibles a flujos de arena que se deslizan por laderas. Los depósitos de mayor antigüedad poseen cierta compacidad y se han vuelto estables por acción de la humedad.

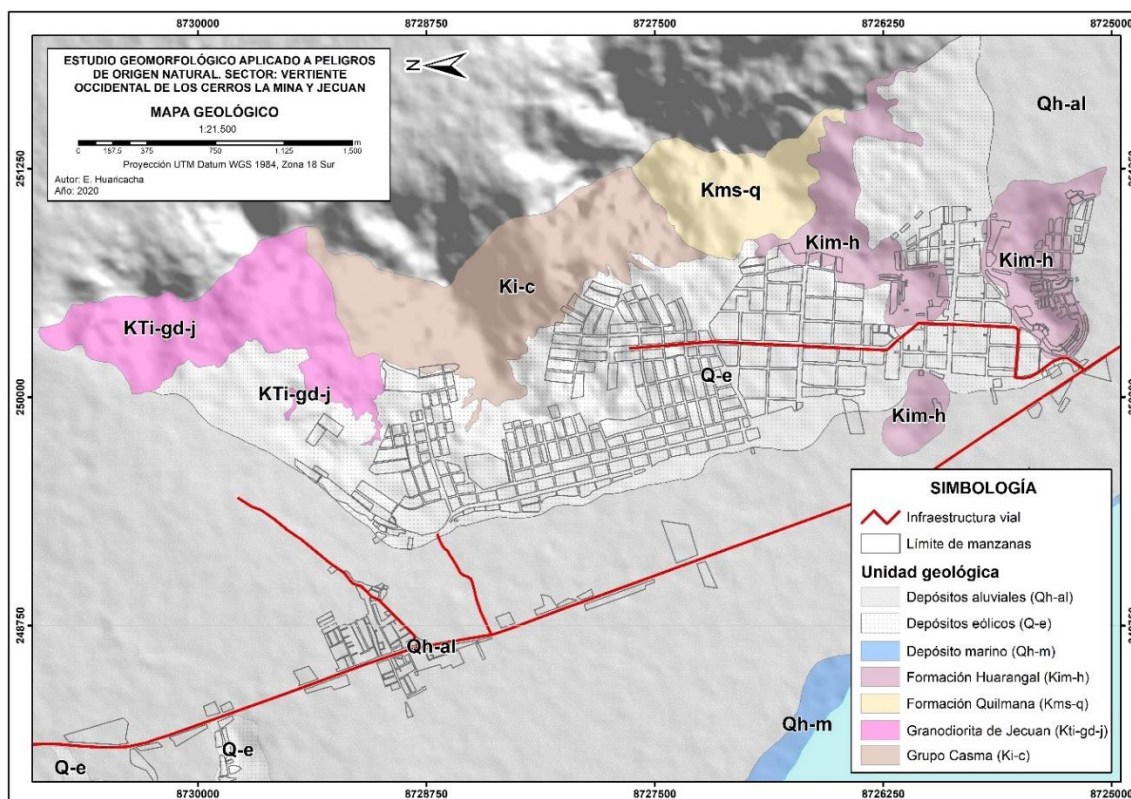
### ***Depósitos aluviales (Q-al)***

Estos depósitos se han originado a partir de la acumulación de materiales acarreados por acción fluvial formando planicies aluviales y terrazas. Constituido por material heterométrico bien clasificado, con gravas, arenas intercaladas con capas arcillo limosa. Conforman suelos productivos y de calidad buena, permitiendo el desarrollo agrícola predominante y la ocupación de nuevos asentamientos aledaños a la red vial.

### ***Depósitos marinos (Qh-m)***

Depósitos caracterizados por materiales clásticos, resultado de la acción erosiva de las olas y distribuidos por corrientes marinas. Posee una dinámica geológica permanente, están dispuestos a lo largo de la línea de costa y dominan las playas del litoral. Litológicamente conformado por arenas sueltas, saturadas y grises de grano medio a fino.

**FIGURA 3.**  
Mapa geológico



### GEOMORFOLOGÍA DE LA VERTIENTE OCCIDENTAL DE LOS CERROS LA MINA Y JECUAN

Se han delimitado veintiún geoformas, resultado del levantamiento, la identificación y el cartografiado geomorfológico. De los cuales, nueve geoformas corresponden a la clasificación geomorfológica de laderas (morfoestructural, morfodinámico y topográfico-geológico), siete a la clasificación geomorfológica de planicies (morfoestructural y fisonómico), y cinco geoformas independientes; conformado por colinas, lomas y acantilado.

#### **Clasificación morfoestructural de laderas**

Ladera de roca intrusiva (La-ri): superficie inclinada de roca intrusiva, principalmente granodiorita. Geoforma con declives de algo escarpado ( $24^{\circ}$ - $12^{\circ}$ ) a escarpado ( $45^{\circ}$ - $24^{\circ}$ ) y con una longitud de 150 metros aproximadamente. Son laderas sometidas a un fuerte intemperismo y erosión por escorrentía, debido a la presencia de microformas de cárcavas. Localizado al Nor Este de la localidad de Pampa Libre.

Ladera de roca volcánica sedimentaria (Ld-rs): superficie inclinada con declives algo escarpados ( $24^{\circ}$ - $12^{\circ}$ ), constituido por rocas volcano-sedimentarias (andesitas y dacíticos). Donde, se producen movimientos gravitacionales (caídas y deslizamientos), y que su intensidad depende de las pendientes y la compacidad del material litológico. Ubicado entre geoformas de laderas de torrente.

Laderas de torrente (Ld-to): denominado también como vertiente de laderas de torrente. Geoforma caracterizada por laderas de fuertes pendientes ( $45^{\circ}$ - $24^{\circ}$  a  $24^{\circ}$ - $12^{\circ}$ ) y con un cauce rectilíneo de corto recorrido. Son laderas sometidas a la acción conjunta de procesos gravitacionales (remoción) y erosión por escorrentía, debido a la presencia de cárcavas y surcos (microformas). Ubicados al Sur Este de Pampa Libre y forma parte del cerro La Mina.

### ***Clasificación morfodinámica de laderas***

Ladera con afloramiento rocoso con mantos de arena (Lo-ar): laderas de composición litológica diaclasada, resultado de los procesos de meteorización y erosión profunda, a los cuales está sometida. Que, por la acción del viento sobre la ladera, están cubiertos por mantos de arena, cuyo régimen va cambiando permanentemente. Son geoformas con declives escarpados y con microformas de cárcavas y surcos, con relativas disecciones,

Ladera escarpada con afloramiento rocoso (Le-ar): laderas con pendientes escarpadas ( $45^{\circ}$ - $24^{\circ}$ ) con fuerte presencia de afloramientos rocosos en su cima o divisoria. Se producen movimientos gravitacionales ininterrumpidos de material detrítico. Siendo, los procesos de ladera más comunes: deslizamientos, caídas, erosión hídrica laminar y por cárcavas. Asimismo, son superficies inestables y de depósitos eólico-coluviales (ubicados al pie de la ladera) debido a la acción constante del viento y la erosión.

Ladera escarpada disectada (Le-d): son laderas con pendientes escarpadas ( $45^{\circ}$ - $24^{\circ}$ ) fuertemente disectadas, por la presencia de microformas de cárcavas y surcos. Se producen movimientos gravitacionales ininterrumpidos de material detrítico. Siendo, los procesos de ladera más comunes: deslizamientos, erosión por escorrentía y cárcavas. Asimismo, la acción constante del viento y la erosión, han generado superficies inestables y de depósitos eólico-coluviales (ubicados al pie de la ladera).

Ladera media con mantos de arena (Lm-ar): laderas de altura corta (80 metros aproximadamente) de composición litológica diaclasada, resultado de los procesos de meteorización y erosión profunda, a los cuales está sometida. Que, debido a la acción del viento sobre la ladera, están cubiertos por mantos de arena, cuyo régimen va cambiando permanentemente. Son geoformas con declives algo escarpados ( $24^{\circ}$ - $12^{\circ}$ ).

### ***Clasificación geomorfológica de laderas: carácter topográfico-geológico***

Ladera escarpada de roca volcánica sedimentaria (Le-vs): superficie inclinada con declives muy escarpados ( $45^{\circ}$ - $24^{\circ}$ ), constituido por rocas volcano-sedimentarias (andesitas y dacíticos). Donde se producen movimientos gravitacionales (caídas y deslizamientos), y su intensidad depende de los declives y la compacidad del material litológico. Ubicado al Este de la localidad de Pampa Libre y con presencia de depósitos eólico-coluviales.

Ladera media de roca volcánica sedimentaria (Lm-rv): superficie inclinada con declives algo escarpados ( $24^{\circ}$ - $12^{\circ}$ ), constituido por rocas volcano-sedimentarias (andesitas y dacíticos). Es común los procesos gravitacionales (caídas y deslizamientos), donde su intensidad depende de las pendientes y de la compacidad del material litológico. Con microformas de cárcavas y surcos, además, de poseer depósitos eólico-coluviales ubicado al pie de la ladera.

### ***Clasificación morfoestructural de planicies***

Peniplano aluvial (Pn-al): superficie casi plana constituida por depósitos aluviales (material heterométrico bien clasificado, con gravas y arenas intercaladas con capas arcillo limosa). Geoforma resultante del predominio de procesos exógenos sobre los endógenos (ciclo final de erosión), afectada por la acción erosiva-acumulativa proveniente de los procesos gravitacionales.

Peniplano eólico (Pn-e): superficie inclinada constituida por depósitos eólicos (acumulaciones de arenas). Geoforma resultante del predominio de procesos exógenos sobre los endógenos (ciclo final de erosión), afectada por la acción erosiva-acumulativa proveniente de los procesos gravitacionales y eólicos.

Peniplano eólico-aluvial (Pn-ea): superficie inclinada constituida por depósitos eólicos y aluviales, donde se ha asentado la población de Pampa Libre. Geoforma resultante del predominio de procesos exógenos sobre los endógenos (ciclo final de erosión), afectada por la acción erosiva-acumulativa proveniente de los procesos gravitacionales y eólicos.

Planicie aluvial (Pl-al): superficie amplia a manera de terrazas fluviales, pues, su formación se debió cuando el río Chancay tenía mayor capacidad de carga. Constituido por depósitos aluviales con intercalaciones de material eólico y comprende terrenos de pendientes suaves con escasa erosión hídrica. Geoforma donde se desarrolla la actividad agrícola intensiva y se emplazan nuevos asentamientos humanos (resultado de la expansión urbana).

Planicie intermareal (Pl-in): superficie longitudinal paralelo al litoral, con pendientes suaves. Caracterizado por ser una geoforma de constante inundación, producto de las altas mareas. Asimismo, es rellenado con arenas durante los oleajes y se encuentra sometida a la abrasión marina y erosión eólica.

### ***Clasificación geomorfológica de planicies: carácter fisonómico***

Planicie aluvial moderadamente inclinada (Pa-mi): superficie de transición entre el peniplano eólico-aluvial y planicie aluvial. Geoforma extensa con pendientes modernamente inclinada (de  $6^{\circ}$ - $3^{\circ}$  a  $3^{\circ}$ - $1^{\circ}30'$ ), constituido por depósitos aluviales con escasa erosión hídrica.

Planicie eólica - aluvial ondulada (Pe-al): superficie amplia constituida por depósitos eólicos y aluviales, con pendientes moderadamente ondulados ( $6^{\circ}$ - $3^{\circ}$ ) a muy inclinados ( $12^{\circ}$ - $6^{\circ}$ ). Se ubica entre las geoformas de laderas y el peniplano eólico-aluvial. Geoforma afectada por la acción erosiva-acumulativa proveniente de los procesos gravitacionales y eólicos.

#### ***Acantilado (Ac)***

Geoforma a manera de escarpe (pared) de masa rocosa, ubicado en la zona de litoral. Geoforma resultante del predominio de procesos de abrasión marina, y se encuentra sometida a los procesos gravitacionales (caídas), ante la ocurrencia de sismos.

#### ***Colina de roca volcánico sedimentaria (Co-vs)***

Comprende elevaciones con laderas de mediana inclinación (pendientes algo escarpadas) y alargadas. Posee una altura de 150 metros aproximadamente, con predominio de rocas volcánico sedimentarias y depósitos eólico-coluviales en su base. Medianamente disectadas por microformas

de cárcavas y de fuerte meteorización, como resultado tiene una estructura litológica de baja resistencia e inestable.

#### *Colinas disectadas (Cold)*

Colinas fuertemente disectadas o cortadas por cárcavas por efectos de la erosión. Posee una elevación de 70 metros aproximadamente con laderas medianamente alargadas y con declives algo escarpados. Asimismo, se encuentra sometida a la acción erosiva del viento.

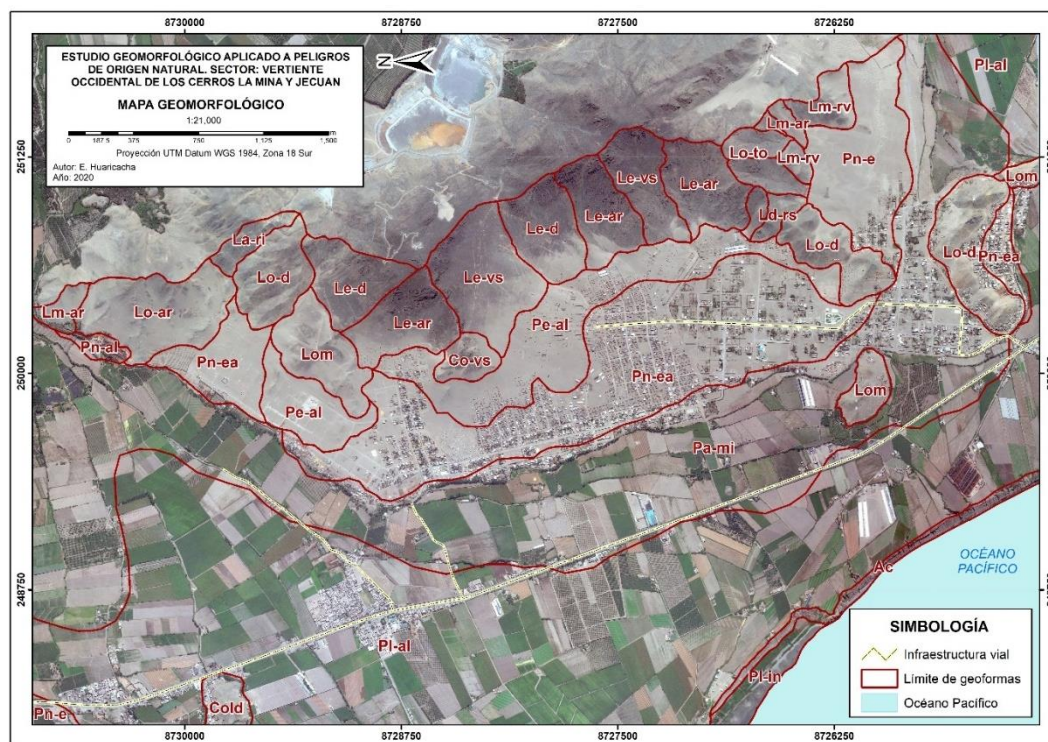
#### *Lomas disectadas (Lo-d)*

Superficie que comprende lomas denudatorias, es decir, lomas que han sido erosionadas o disectadas por acción torrencial (movimientos en masa y aluviones) mostrando espacios moderadamente nivelados. Posee una altura de 50 metros aproximadamente y con pendientes de 24°-12° principalmente.

#### *Lomeríos (Lom)*

Geoforma resultante por la disección o nivelación de las laderas de los cerros La Mina y Jecuan. Asimismo, es originado por procesos endógenos que condicionan una acción erosiva. Los procesos de erosión son de tipo torrencial y se encuentra afectada por la acción erosiva-acumulativa proveniente de los procesos gravitacionales y eólicos.

**FIGURA 4.**  
Mapa geomorfológico

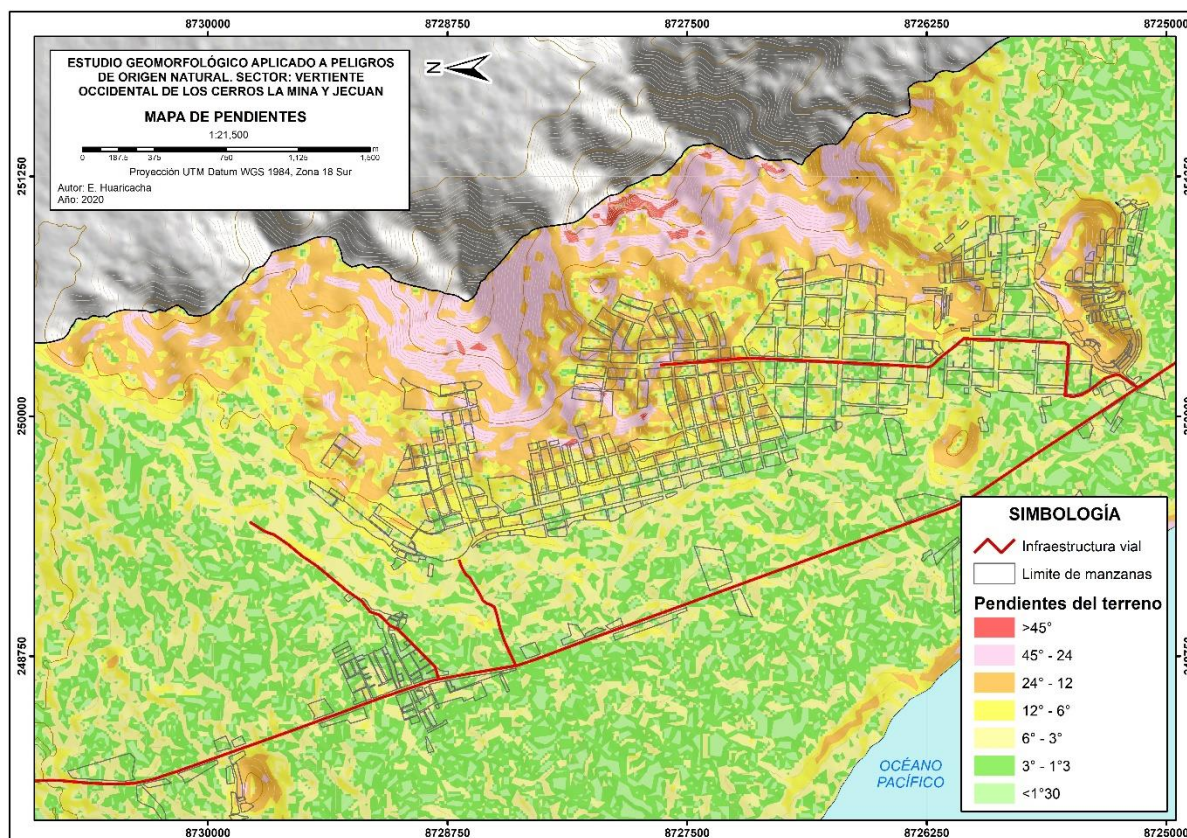


### PENDIENTES DEL TERRENO

Parámetro geomorfométrico determinado en función a las características físico-topográficos de la vertiente occidental de los cerros La Mina y Jecuan. Clasificados en siete rangos de pendientes: *muy*

*escarpados* (declives mayores a 45°), *escarpado* (entre 45° y 24° de inclinación), *algo escarpado* (entre 24° y 12°), *muy inclinado* (de 12° a 6°), *moderadamente ondulados* (declives entre 6° y 3°), *suaves* (entre 3° y 1°30') y *llanos* (menores a 1°30').

**FIGURA 5.**  
Mapa de pendientes del terreno



## EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE PELIGROS POR MOVIMIENTOS EN MASA

### *Evaluación y asignación de pesos de parámetros y descriptores*

Basándose en el análisis y evaluación geomorfológica, morfoestructural y morfodinámico de la vertiente occidental de los cerros La Mina y Jecuan, se han determinado los pesos de los parámetros de evaluación de peligros por movimientos en masa.

**TABLA 2.**

Matriz de jerarquización analítica de asignación de pesos a los parámetros de evaluación

| Parámetros    | Geomorfología | Geología    | Pendientes   |
|---------------|---------------|-------------|--------------|
| Geomorfología | 1,00          | 5,00        | 7,00         |
| Geología      | 0,20          | 1,00        | 5,00         |
| Pendientes    | 0,14          | 0,20        | 1,00         |
| <b>Suma</b>   | <b>1,34</b>   | <b>6,20</b> | <b>13,00</b> |

**TABLA 3.**

Normalización de los pesos según parámetro de evaluación para peligros por movimientos en masa

| Parámetros       | Geomorfología | Geología | Pendientes | Peso     |
|------------------|---------------|----------|------------|----------|
| Geomorfología    | 0,74          | 0,81     | 0,54       | 0,70     |
| Geología         | 0,15          | 0,16     | 0,38       | 0,23     |
| Pendientes       | 0,11          | 0,03     | 0,08       | 0,07     |
| <b>Sumatoria</b> |               |          |            | <b>1</b> |

Seguidamente, se han definido los pesos de cada descriptor según parámetro de evaluación.

**TABLA 4.**

Designación de pesos de los descriptores del parámetro geomorfología

| N° | Descriptor                               | Peso | N° | Descriptor   | Peso | N° | Descriptor                               | Peso |
|----|--|------|----|--|------|----|--|------|
| 1  | Acantilado                               | 3    | 8  | Ladera escarpada disectada                         | 4    | 15 | Planicie aluvial moderadamente inclinada | 1    |
| 2  | Colinas disectadas                       | 3    | 9  | Ladera escarpada de roca volcánica sedimentaria    | 4    | 16 | Planicie eólica-aluvial ondulada         | 3    |
| 3  | Colina de roca volcánica sedimentaria    | 3    | 10 | Ladera media con mantos de arena                   | 3    | 17 | Planicie aluvial                         | 1    |
| 4  | Ladera de roca intrusiva                 | 3    | 11 | Ladera media de roca volcano sedimentaria          | 3    | 18 | Planicie intermareal                     | 1    |
| 5  | Ladera de roca volcánica sedimentaria    | 3    | 12 | Ladera con afloramiento rocoso con mantos de arena | 4    | 19 | Peniplano aluvial                        | 2    |
| 6  | Laderas de torrente                      | 4    | 13 | Lomas disectadas                                   | 3    | 20 | Peniplano eólico                         | 3    |
| 7  | Ladera escarpada con afloramiento rocoso | 4    | 14 | Lomeríos   | 2    | 21 | Peniplano eólico aluvial                 | 3    |



**TABLA 5.**  
Designación de **pesos** de los descriptores del parámetro geología

| Número | Descriptor             | Peso |
|--------|------------------------|------|
| 1      | Deposito marino        | 1    |
| 2      | Depósitos aluviales    | 1    |
| 3      | Depósitos eólicos      | 2    |
| 4      | Granodiorita de Jecuan | 4    |
| 5      | Grupo Casma            | 4    |
| 6      | Formación Huarangal    | 3    |
| 7      | Formación Quilmana     | 3    |

**TABLA 6.**  
Designación de pesos de los descriptores del parámetro pendientes

| Número | Descriptor                          | Peso |
|--------|-------------------------------------|------|
| 1      | > 45°<br>Muy escarpado              | 4    |
| 2      | 45°- 24°<br>Escarpado               | 4    |
| 3      | 24°- 12°<br>Algo escarpado          | 3    |
| 4      | 12°- 6°<br>Muy inclinado            | 2    |
| 5      | 6°- 3°<br>Moderadamente<br>ondulado | 2    |
| 6      | 3°- 1°30´<br>Suaves                 | 1    |
| 7      | < 1°30´<br>Llanos                   | 1    |

Por tanto, la zonificación de peligros por movimientos en masa, es resultado de la ecuación 1. Dicha zonificación está dada por cuatro zonas:

### **Zonas de peligro muy alto**

Zona conformada por geoformas de laderas escarpadas y disectadas por microformas de cárcavas y surcos, laderas con afloramiento rocoso y laderas de torrente. Con pendientes que oscilan entre algo escarpadas (24°-12°) a escarpadas (45°-24°). Que, por su condición fisonómica-topográfica favorecen la ocurrencia de procesos gravitacionales y erosión por escorrentía.

En la base (al pie de las laderas) de la geoformas que constituyen la zonificación, están siendo afectadas por la acción erosiva-acumulativa proveniente de procesos gravitacionales y eólicos. Según disposición litológica, está constituido por rocas del grupo Casma, formación Quilmaná y granodiorita Jecuan. Donde los procesos de intemperismo y erosión son profundos.

### Zonas de peligro alto

Zonas conformadas por geformas de planicies inclinadas y peniplanos, compuestos de material eólico-aluvial principalmente. Conformados por pendientes mayores a los 3° y, menores a los 24° de inclinación. El material litológico predominante son los depósitos eólicos, resultado de la acción erosiva-acumulativa proveniente de los procesos eólicos y gravitacionales. La localidad de Pampa Libre se asienta sobre esta zona.

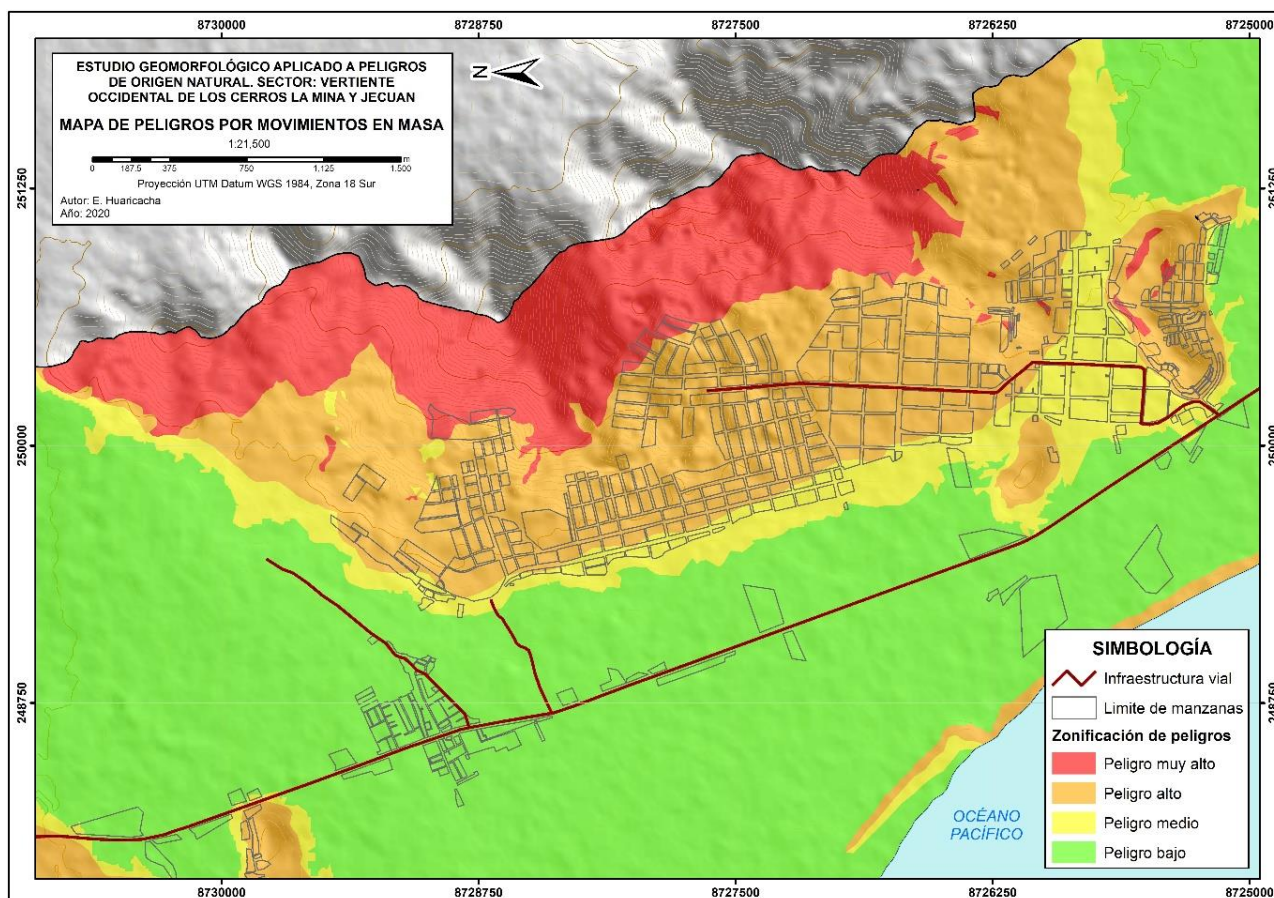
### Zonas de peligro medio

Zona conformada por geformas de planicie aluvial modernamente inclinada y constituido por depósitos eólicos. Sobre esta zonificación se asienta parte de la localidad de Pampa Libre y los terrenos de cultivo.

### Zonas de peligro bajo

Zona constituida por geformas de planicies aluviales e intermareales, compuesto por depósitos aluviales y marinos. En esta zona se desarrolla una actividad agrícola intensiva, asimismo, es una zona atractiva para las ocupaciones recientes.

**FIGURA 6.**  
Mapa de peligros por movimientos en masa



## EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE PELIGROS POR SISMOS

### *Evaluación y asignación de pesos de parámetros y descriptores*

Del mismo modo, con base en el análisis y evaluación geomorfológica, morfoestructural y morfodinámico de la vertiente occidental de los cerros La Mina y Jecuan, se han determinado los pesos de los parámetros de evaluación de los peligros por sismos

**TABLA 7.**

Matriz de jerarquización analítica de asignación de pesos a los parámetros de evaluación

| Parámetros    | Geomorfología | Geología    | Pendientes   |
|---------------|---------------|-------------|--------------|
| Geomorfología | 1,00          | 0,33        | 5,00         |
| Geología      | 3,00          | 1,00        | 7,00         |
| Pendientes    | 0,20          | 0,14        | 1,00         |
| <b>Suma</b>   | <b>4,20</b>   | <b>1,48</b> | <b>13,00</b> |

**TABLA 8.**

Normalización de los pesos según parámetro de evaluación para peligros por sismos

| Parámetros       | Geomorfología | Geología | Pendientes | Peso     |
|------------------|---------------|----------|------------|----------|
| Geomorfología    | 0,24          | 0,23     | 0,38       | 0,28     |
| Geología         | 0,71          | 0,68     | 0,54       | 0,64     |
| Pendientes       | 0,05          | 0,10     | 0,08       | 0,07     |
| <b>Sumatoria</b> |               |          |            | <b>1</b> |

Posteriormente, se han definido los pesos de cada descriptor según parámetro de evaluación.

**TABLA 9.**  
Designación de pesos de los descriptores del parámetro geomorfología

| N° | Descriptor                               | Peso | N° | Descriptor   | Peso | N° | Descriptor                               | Peso |
|----|--|------|----|--|------|----|--|------|
| 1  | Acantilado                               | 4    | 8  | Ladera escarpada disectada                         | 3    | 15 | Planicie aluvial moderadamente inclinada | 3    |
| 2  | Colinas disectadas                       | 2    | 9  | Ladera escarpada de roca volcánica sedimentaria    | 3    | 16 | Planicie eólica-aluvial ondulada         | 4    |
| 3  | Colina de roca volcánica sedimentaria    | 2    | 10 | Ladera media con mantos de arena                   | 3    | 17 | Planicie aluvial                         | 3    |
| 4  | Ladera de roca intrusiva                 | 1    | 11 | Ladera media de roca volcano sedimentaria          | 2    | 18 | Planicie intermareal                     | 4    |
| 5  | Ladera de roca volcánica sedimentaria    | 1    | 12 | Ladera con afloramiento rocoso con mantos de arena | 3    | 19 | Peniplano aluvial                        | 3    |
| 6  | Laderas de torrente                      | 2    | 13 | Lomas disectadas                                   | 2    | 20 | Peniplano eólico                         | 4    |
| 7  | Ladera escarpada con afloramiento rocoso | 3    | 14 | Lomeríos   | 3    | 21 | Peniplano eólico aluvial                 | 4    |

**TABLA 10.**  
Designación de pesos de los descriptores del parámetro geología

| Número | Descriptor             | Peso |
|--------|------------------------|------|
| 1      | Deposito marino        | 4    |
| 2      | Depósitos aluviales    | 3    |
| 3      | Depósitos eólicos      | 4    |
| 4      | Granodiorita de Jecuan | 3    |
| 5      | Grupo Casma            | 2    |
| 6      | Formación Huarangal    | 1    |
| 7      | Formación Quilmana     | 1    |

**TABLA 11.**  
Designación de pesos de los descriptores del parámetro pendientes

| Número |           | Descriptor                | Peso |
|--------|-----------|---------------------------|------|
| 1      | > 45°     | Muy escarpado             | 1    |
| 2      | 45°- 24°  | Escarpado                 | 1    |
| 3      | 24°- 12°  | Algo escarpado            | 2    |
| 4      | 12°- 6°   | Muy inclinado             | 3    |
| 5      | 6°- 3°    | Moderadamente<br>ondulado | 3    |
| 6      | 3°- 1°30´ | Suaves                    | 4    |
| 7      | < 1°30´   | Llanos                    | 4    |

Por último, aplicando la ecuación 2, se obtuvo la zonificación de peligros por sismos, constituido por cuatro zonas:

#### ***Zonas de peligro muy alto***

Zona de peligro conformado por geoformas de planicies inclinadas y peniplanos, compuestos de material eólico, aluvial y marino. Compuesto por pendientes que oscilan entre 3°, 6°, 12° y 24° de inclinación. El material litológico predominante son los depósitos eólicos, resultado de la acción erosiva-acumulativa proveniente de los procesos eólicos y gravitacionales. La localidad de Pampa Libre y áreas de expansión urbana, se asientan sobre esta zona.

#### ***Zonas de peligro alto***

Zona constituida por geofomas de planicies aluviales constituidas por material heterométrico bien clasificado, con gravas, arenas intercaladas con capas arcillo limosa (propio de depósitos aluviales). En esta zona se desarrolla una actividad agrícola intensiva, asimismo, es receptora de ocupaciones recientes, próximos a la carretera especialmente.

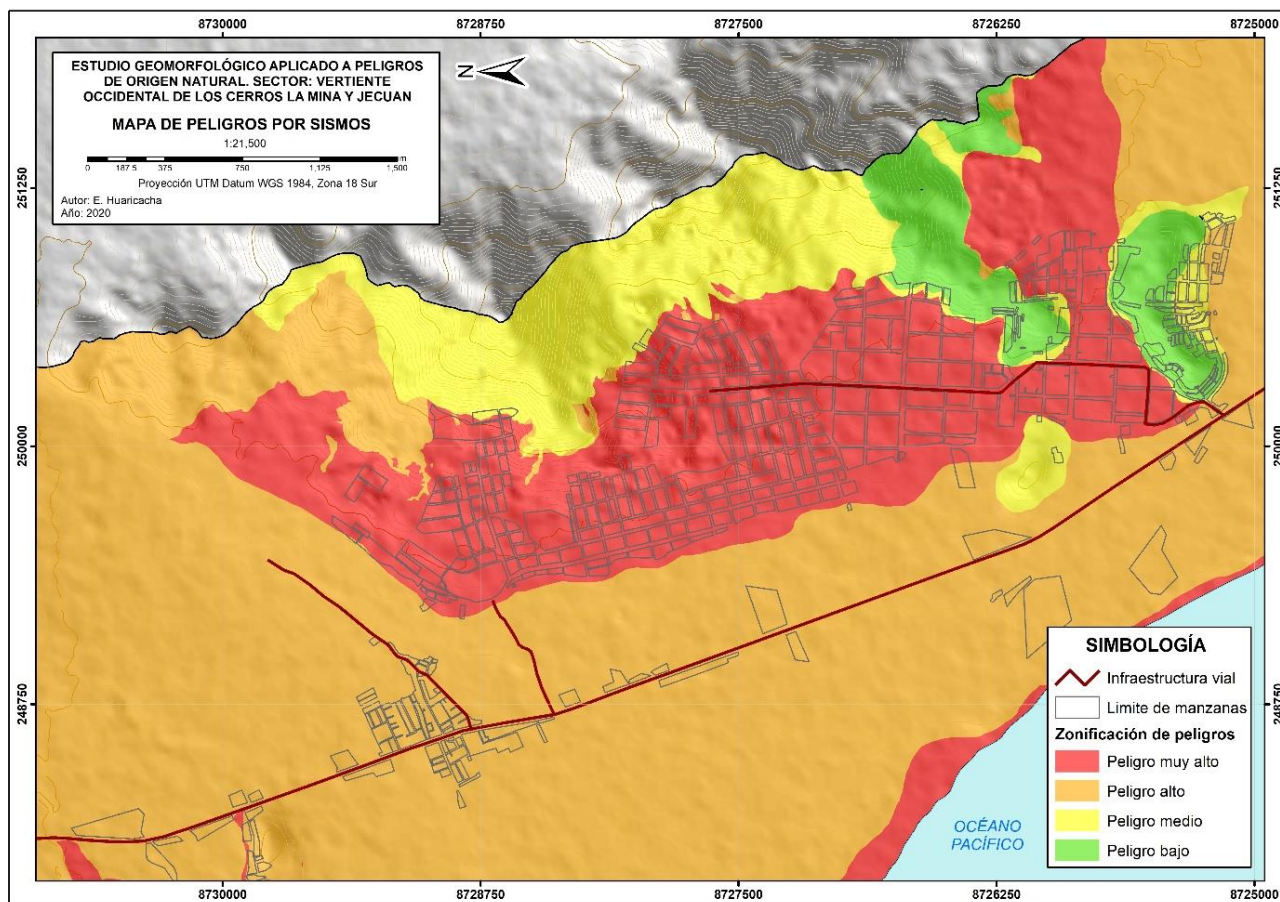
#### ***Zonas de peligro medio***

Zona conformada por geoformas de laderas escarpadas y disectadas por microformas de cárcavas y surcos, y laderas con afloramiento rocoso. Con pendientes que oscilan entre algo escarpadas (24°-12°) a escarpadas (45°-24°) y que, por su condición fisonómica-topográfica favorecen la ocurrencia de procesos gravitacionales, principalmente caídas.

#### ***Zonas de peligro bajo***

Zona conformada por geoformas de laderas de torrente, laderas medias de roca volcánico sedimentaria y lomas disectadas. Constituido por pendientes algo escarpadas (24°-12°) a escarpadas (45°-24°).

**FIGURA 7.**  
Mapa de peligros por sismos



### ZONIFICACIÓN DE PELIGROS DE ORIGEN NATURAL

Del procesamiento e integración de los peligros por movimientos en masa y sismos en un Sistema de Información Geográfica, se tiene como resultado tres zonas de peligros de origen natural, siendo las siguientes:

#### **Zonas de peligro muy alto**

Zona de peligros de origen natural conformado por geofomas de planicies inclinadas y peniplanos, compuestos por depósitos aluviales y eólicos. Donde, la localidad de Pampa Libre y las áreas de expansión urbana, se asientan sobre esta zona.

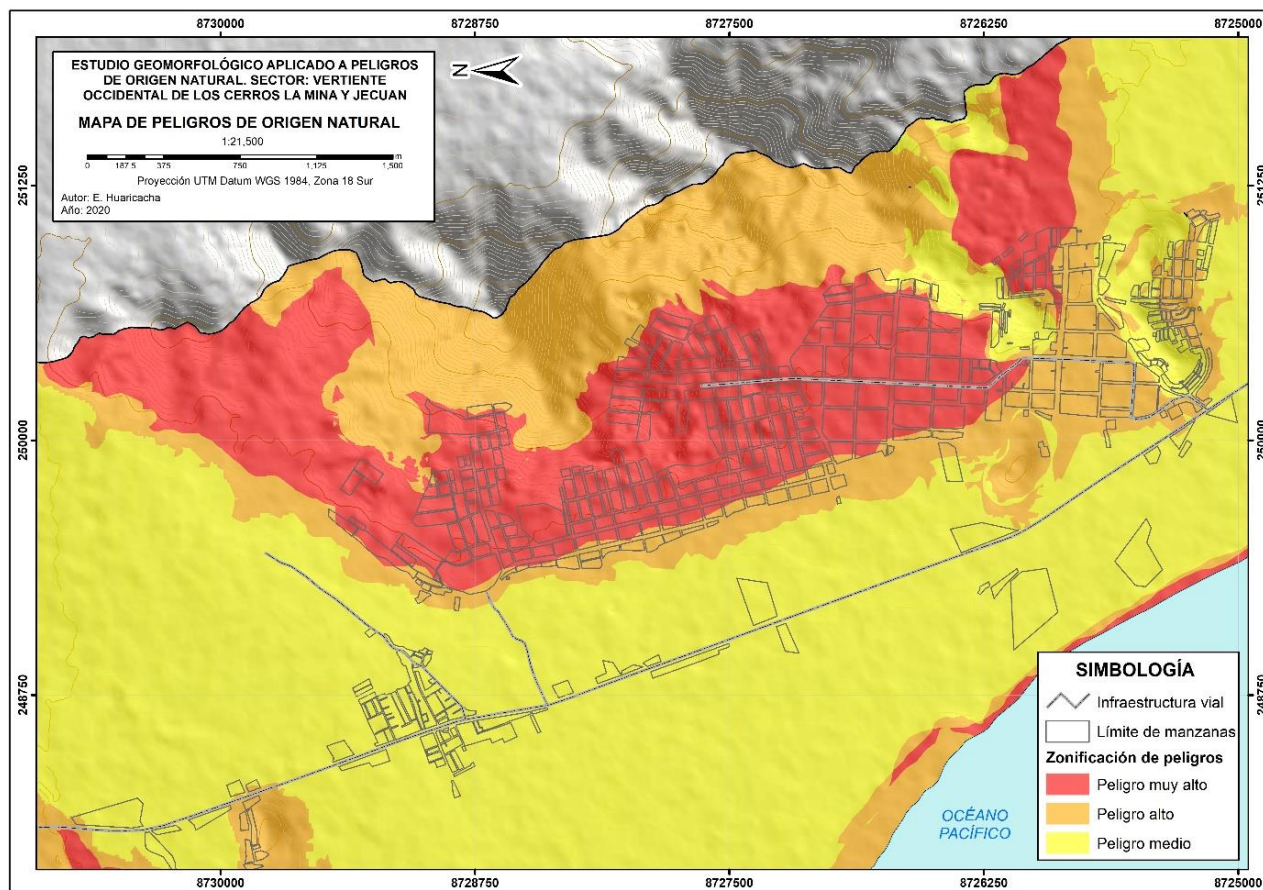
#### **Zonas de peligro alto**

Zona conformada por geofomas de laderas escarpadas y disectadas por microformas de cárcavas y surcos, laderas con afloramiento rocoso y laderas de torrente. Zona ubicada al Este de la localidad de Pampa Libre, y con dirección al Oeste, está conformado por planicies aluviales modernamente inclinadas.

### Zonas de peligro medio

Zona conformada por un conjunto de geformas de planicie aluvial y lomas disectadas. Sobre esta zonificación se asientan los terrenos de cultivos, las ocupaciones recientes y la red vial.

**FIGURA 8.**  
Mapa de peligros de origen natural



## DISCUSIÓN

Si bien, la evaluación de los peligros está en función a los factores condicionantes y desencadenantes de un ámbito geográfico, es recomendable considerar un solo factor desencadenante (CENEPRED, 2017:39). En ese sentido, la evaluación de peligros del área de estudio, se basó solo en factores condicionantes, y que, a su vez, son inherentes a la geomorfología. Los factores desencadenantes para peligros por movimientos en masa y sismos, estaría dado por las altas precipitaciones e intensidad sísmica respectivamente.

Las pendientes, es un factor geomorfométrico que sea considerado como un parámetro de evaluación y en la zonificación de peligros. Debido a su relación directa con el grado de erosión y sedimentación. En tal sentido, la zonificación de los peligros y estratificación (niveles de peligros) resultante, están en función de la disposición físico-espacial, estructura y dinámica geomorfológica.

Pues, las geoformas de planicies y laderas compuestas de materiales cuaternarios recientes (depósitos eólicos), expuestas a fuertes procesos erosión, intemperismo profundo y de sedimentación constante. Originan y desencadenan zonas de peligros naturales muy altos. Cabe mencionar que, para la zonificación de peligros de origen natural, los peligros por movimientos en masa y sismos, poseen los mismos pesos. Debido que, los peligros naturales deben contemplar todos los peligros existentes, con igual importancia.

## CONCLUSIONES

---

En este trabajo se muestra de manera breve la aplicación de un método para evaluación y zonificación de peligros de origen natural, mediante un levantamiento geomorfológico a detalle a través de técnicas de fotointerpretación, análisis geológico-geomorfológico, uso de parámetros geomorfométricos y aplicación de los Sistemas de Información Geográfica.

Se utilizó un análisis de decisión multicriterio (jerarquización) para la ponderación de los parámetros de evaluación de peligros por movimientos en masa y sismos, y posteriormente definir la distribución espacial (zonificación) de los peligros de origen natural. Los aspectos teóricos y métodos geomorfológicos contribuyen a una adecuada designación de pesos, y que, deben ser considerados en los estudios de riesgos de desastres.

Por tanto, la relación de la geomorfología con la zonificación de peligros de origen natural, está basado en una relación espacial de causa-efecto. Pues, los factores geomorfológicos, morfodinámicos, geomorfométricos y estructurales definen y condicionan la distribución espacial de los peligros, sintetizada en una zonificación de peligros, estratificado por niveles de peligros.

## BIBLIOGRAFÍA

---

- Aceves, J., Legorreta, G., Lugo J., Umaña, J. y Legorreta, H. (2016). *Sistemas de información geográfica y cartografía geomorfológica aplicados al inventario de deslizamientos y cartografía de susceptibilidad en la cuenca del río El Estado, Pico de Orizaba, México*. Investigaciones geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, num. 91, 2016, pp.43-55.
- CENEPRED. (2015). *Manual para la evaluación de riesgos originados por Fenómenos Naturales 02 Versión*. Lima.
- CENEPRED. (2017). *Manual para la evaluación de riesgos por sismos*. Lima.
- Dávila, J. (2011). *Diccionario geológico*. Lima.
- De Pedraza, J. (1996). *Geomorfología - Principios, métodos y aplicaciones*. Madrid: Editorial Rueda.
- ELMES, M. (2006). *Análisis y evaluación de riesgos por movimientos en masa, inundación y sismicidad en el piedemonte de la comuna de Puente Alto*. Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Huaricacha, E. (2018). *Los peligros y la planificación del uso del suelo en las subcuencas de las quebradas Barba Blanca y Callahuanca, distrito Callahuanca, provincia Huarochiri, departamento Lima - aplicaciones de la geomática*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 244h.
- INGEMMET. (1992). *Boletín N° 43 Geología de los cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica*. Lima.



- INGEMMET. (1973). *Boletín N° 26 Geología de los cuadrángulos de Barranca, Ambar, Oyon, Huacho, Huaral y Canta*. Lima.
- García, S., Legorreta, G. y Aceves, F. (2018). *Susceptibilidad geomorfológica a procesos gravitacionales en arroyos secundarios del sur de la cuenca La Ciénega, volcán Nevado de Toluca*. Investigaciones geográficas ISSN (digital): 2448-7279, 1-14.
- Ibarra, I. (2013). *Geomorfología aplicada en la evaluación y análisis de amenazas naturales en la zona sur de la comuna de Pichilemu: sectores de Punta de Lobos – Cachuil - Estero Nilahue*. VI Región, Chile. Universidad de Chile, 169 h.
- Lugo, J. (1998). *Diccionario geomorfológico*. México: UNAM.
- Muñoz, Belen y Romana, Manuel (2016). *Aplicación de métodos de decisión multicriterio discretos al análisis de alternativas en estudios informativos de infraestructura de transporte*. Volumen VI, Número 2, 99. 027-046.
- Strahler, A. (1994). *Geografía Física*. Barcelona: Omega.