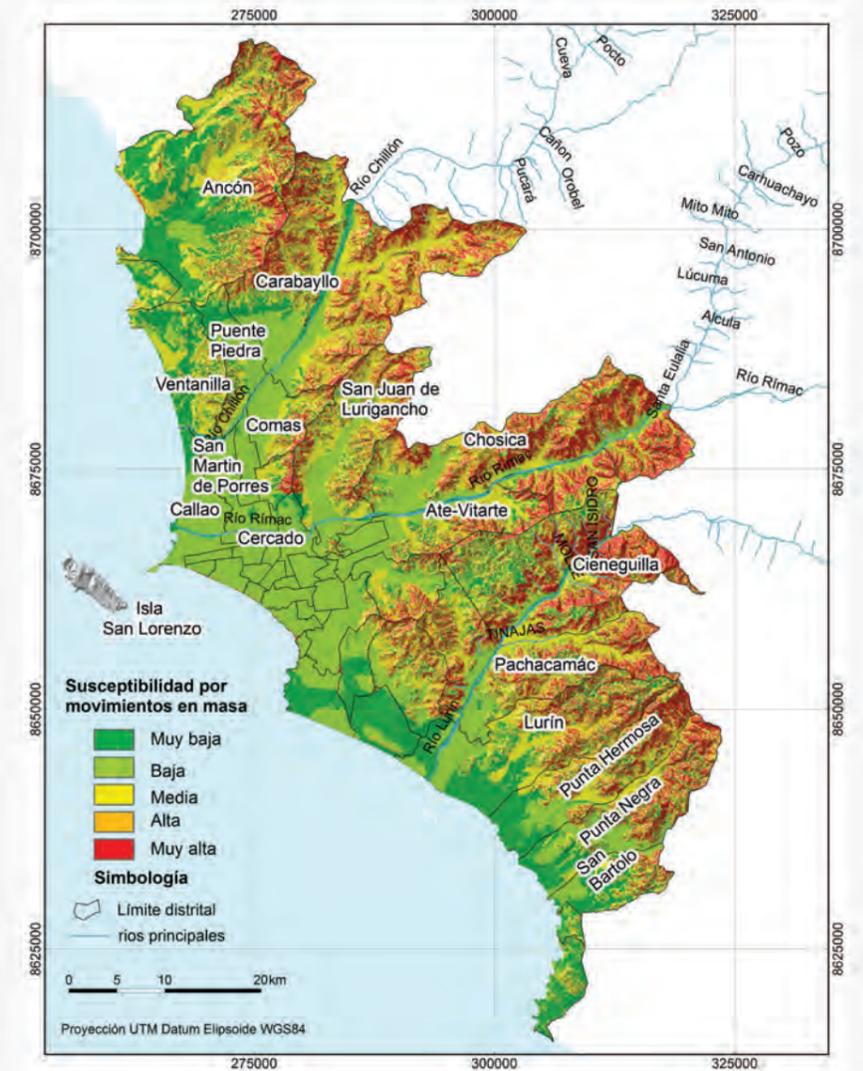




Av. Canadá 1470 - San Borja, Lima 41, Perú  
 Teléfono: 051 - 1- 618 9800  
 Fax: 051-1-225-3063 | 051-1-225-4540  
 www.ingemmet.gob.pe  
 comunicacion@ingemmet.gob.pe



ISSN 1560-9928  
 INGEMMET, Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica  
 N° 59



## Peligros Geológicos en el área de Lima Metropolitana y la Región Callao

Lima, Perú  
 2015



INGEMMET, Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica  
N° 59

# **Peligros Geológicos en el área de Lima Metropolitana y la Región Callao**

**Dirección de Geología Ambiental  
y Riesgo Geológico**

## **Equipo de Investigación:**

**Sandra Villacorta Chambi  
Segundo Núñez Juárez  
Jenny Vásquez Acuña  
Walter Pari Pinto  
Magdie Ochoa Zubiarte  
Carlos Benavente Escobar  
Lucille Tatard  
Griselda Luque Poma  
Malena Rosado Seminario  
Lionel Fidel Smoll  
José Úbeda Palenque**

Lima, Perú  
2015

INGEMMET, Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica  
N° 59

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2015-06775  
ISSN 1560-9928

Razón Social: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET)  
Domicilio: Av. Canadá N° 1470, San Borja, Lima, Perú  
Primera Edición, INGENMET 2015  
Se terminó de imprimir el 20 de mayo del año 2015 en los talleres de INGENMET

© **INGEMMET**

Derechos Reservados. Prohibida su reproducción

Presidenta del Consejo Directivo: Susana Vilca

Secretario General: César Rubio

Comité Editor: Susana Vilca, Lionel Fídel, Pedro Navarro,  
Jorge Chira, Oscar Pastor

Dirección encargada del estudio: Dirección de Geología Ambiental y Riesgo  
Geológico

Unidad encargada de edición: Unidad de Relaciones Institucionales

Corrección Geocientífica: Cosme Pérez-Puig

Corrección gramatical y de estilo: María Obregón

Diagramación: Zoila Solis

Fotografía de la carátula: Área Geográfica cubierta por el estudio

Referencia bibliográfica

Villacorta, S.; Núñez, S.; Tatar, L.; Pari, W. & Fídel, L. (2015). Peligros geológicos en el área de Lima Metropolitana y la región Callao, *INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, 59, 156 p., 07 mapas

Publicación disponible en libre acceso en la página web ([www.ingemmet.gob.pe](http://www.ingemmet.gob.pe)). La utilización, traducción y creación de obras derivadas de la presente publicación están autorizadas, a condición de que se cite la fuente original ya sea contenida en medio impreso o digital (GEOCATMIN - <http://geocatmin.ingemmet.gob.pe>).

Los términos empleados en esta publicación y la presentación de los datos que en ella aparecen son de exclusiva responsabilidad del equipo de investigación.

# Contenido

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	1
<b>RESUMEN</b> .....	3
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	5
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>GENERALIDADES</b> .....	9
Por: Segundo Núñez & Sandra Villacorta .....	9
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA</b> .....	17
Por: Sandra Villacorta, Segundo Núñez & José Úbeda	
<b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>PELIGROS GEOLÓGICOS Y GEOHIDROLÓGICOS</b> .....	41
Por: Sandra Villacorta, Lucile Tatar, Segundo Núñez & Walter Pari	
<b>CAPÍTULO V</b>	
<b>CARACTERÍSTICAS INGENIERO-GEOLÓGICAS</b> .....	79
Por: Sandra Villacorta, Segundo Núñez & Lionel Fidel	
<b>CAPÍTULO VI</b>	
<b>ZONAS CRÍTICAS Y PREVENCIÓN DE DESASTRES</b> .....	95
Por: Segundo Núñez & Sandra Villacorta	
<b>CONCLUSIONES</b> .....	105
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	107
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	109
<b>ANEXOS</b> .....	115
I. Glosario .....	117
II. Zonas Críticas por Peligros Geológicos y Geohidrológicos en Lima Metropolitana .....	123
III. Zonas Críticas por Peligros Geológicos y Geohidrológicos en la Provincia Constitucional del Callao .....	139
IV. Fuentes Macrosísmicas ocurridos en las Áreas del Estudio .....	143



## AGRADECIMIENTOS

Los autores de este informe agradecen a las siguientes instituciones por el apoyo que han prestado para el desarrollo del proyecto y la culminación de este boletín:

- *Institut de Recherche pour le Développement* (IRD), Francia.
- Grupo de Investigación en Geografía Física de Alta Montaña de la Universidad Complutense de Madrid (GFAM-UCM), España.
- Universidad Politécnica de Madrid, España
- Instituto Metropolitano de Planificación.
- Municipalidad de Lima Metropolitana y municipalidades distritales de Carabaylo, Cieneguilla, Comas, El Agustino, Independencia, Los Olivos, Lurín, Pachacamac, Puente Piedra, Rímac, San Juan de Lurigancho, San Juan de Miraflores, Ventanilla, Villa El Salvador, Villa María del Triunfo.



## RESUMEN

El proyecto «Peligros geológicos en el área de Lima Metropolitana y la Región Callao», ejecutado durante el periodo 2007-2011, se llevó a cabo con la finalidad de generar información geocientífica útil para las instituciones involucradas en la planificación territorial de dichas regiones. Por ese motivo, se ha incidido principalmente en la identificación de los peligros geológicos y geohidrológicos que pueden causar desastres.

La investigación se ha basado en la revisión de publicaciones científicas, la interpretación de fotografías aéreas (1960-1970) e imágenes satelitales (Landsat 1995-2000 y 2003-2005) y mapas de procesos superficiales a escala 1:25 000, integrando una base de datos en un sistema de información geográfica (SIG). De ese modo, se ha podido realizar un análisis espacial con el fin de interpretar la evolución de los paisajes geomorfológicos, detectar los procesos que pueden causar desastres y proponer medidas para su prevención y mitigación.

En el territorio de Lima Metropolitana y la Región Callao se distinguen rocas con edades comprendidas entre el Jurásico superior (de hace 154-145 Ma) y el Pleistoceno (de hace 1.7 Ma). Las rocas más antiguas afloran en los relieves exhumados por el encajamiento de la red de drenaje (Morro Solar, cerro El Pino, cerro Mulería, cerros de Oquendo, cerro Culebras y cerros de Ventanilla, entre otros) y las primeras estribaciones andinas. Los materiales más recientes conforman el relleno de los fondos de valle y las planicies que descienden hacia la costa del océano Pacífico, en donde la erosión marina ha originado los acantilados de la Costa Verde.

El reconocimiento geomorfológico del área de estudio incluye variadas formas del relieve. En unos casos se trata de unidades

más recientes, como los depósitos de flujos de detritos (huaycos), o las dunas y otras formas de sedimentación eólica que recubren amplios sectores del paisaje en escalas de detalle. También se observan formas antiguas como los relieves aislados (*inselbergs*) y alineaciones montañosas y los abanicos fluviales sobre los que se asienta la ciudad. En conjunto indican condiciones climáticas pasadas áridas o semiáridas y la excavación del territorio y su relleno posterior por los ríos Chillón, Rímac y Lurín.

La caracterización geodinámica ha permitido inventariar 848 peligros geológicos y geohidrológicos (incluyendo 718 movimientos en masa y 130 eventos hidrometeorológicos y otros) y 107 zonas críticas susceptibles a dichos procesos.

Un 36 % del total inventariado son procesos recientes (ocurridos entre 2000 y 2010) y el resto son procesos anteriores al año 2000. Sólo 18 casos se han catalogado como procesos «inactivos-jóvenes», con edades estimadas entre 100 y 500 años. Probablemente fueron detonados por lluvias excepcionales como las producidas por el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENSO). El inventario arroja que en el área de estudio son más frecuentes las caídas de rocas (47 % del total de procesos inventariados) y los flujos de detritos o lodo (36 %). En menor proporción también destacan los fenómenos de inundación, arenamiento, erosión y hundimiento (que suman en conjunto un 17 % del total). Sin embargo, los sismos son la principal amenaza que afecta a la población del área de estudio, tal como lo indica su elevada frecuencia en los antecedentes históricos. Los sismos pueden activar los peligros mencionados con anterioridad y también provocar la destrucción parcial o total de las construcciones humanas.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

El proyecto «Peligros geológicos en el área de Lima Metropolitana y la Región Callao» de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (Ingemmet) se ejecutó entre los años 2007 y 2011 con el objetivo principal de contribuir a la prevención de desastres en las zonas de estudio.

Lima Metropolitana y el Callao están ubicados en la estrecha franja costera del Perú, sobre un sistema de abanicos fluviales formados por los ríos Chillón, Rímac y Lurín y sus redes afluentes. La erosión marina de esas unidades ha generado los acantilados de la Costa Verde en San Miguel, Miraflores, Barranco y Chorrillos, mostrando el registro sedimentario de la evolución del drenaje. El área urbanizada también ocupa los contrafuertes de la cordillera occidental de los Andes Centrales, que rodean las planicies anteriores con laderas de pendientes moderadas a fuertes. En conjunto, la ciudad alberga una población de más de ocho millones de personas (casi el 31 % del Perú) y constituye el centro de las actividades económicas, industriales, culturales y científicas del país. Desde mediados del siglo XX ha experimentado un crecimiento incontrolado, que no ha sido acompañado por un ordenamiento territorial adecuado.

Uno de los principales problemas es la ubicación de una parte de la población, especialmente los sectores más humildes, en quebradas aparentemente secas, laderas inestables, rellenos sanitarios, dunas o mantos de arena y otros lugares vulnerables.

Las precipitaciones excepcionales por influencia del fenómeno ENSO, el cambio climático o sismos suficientemente intensos, son factores detonantes de diferentes procesos (movimientos en masa, etc.) que se constituyen en una amenaza para el área de estudio, afectando sobre todo a la población cuyas viviendas son de material precario, las cuales podrían ser más fácilmente destruidas.

No se puede olvidar que el área evaluada y en general el Perú está ubicado en el Cinturón de Fuego del Pacífico, la zona con mayor actividad sísmica y volcánica a nivel mundial. Por esa causa la ciudad ha soportado a lo largo de su historia varios terremotos, como los ocurridos en 1586, 1655, 1746, 1940, 1966 y 1974, que causaron pánico y destrucción de viviendas e infraestructuras,

especialmente en zonas donde las condiciones geológicas son menos favorables y las poblaciones más pobres.

Los intentos de las autoridades nacionales y locales de mejorar las condiciones de vida de la población se han visto obstaculizados por la falta de una información más completa sobre el medio geológico, geomorfológico y geodinámico de la ciudad, esencial para poder realizar un planeamiento urbanístico eficiente. A modo de ejemplo puede señalarse que, ante la falta de drenajes pluviales, el sistema de alcantarillado de Lima Metropolitana y el Callao colapsaría si sucedieran lluvias suficientemente intensas, porque las infraestructuras de la ciudad no están preparadas para soportar desastres de esas proporciones.

Los resultados de los trabajos efectuados en el marco de este proyecto constituyen la contribución del Ingemmet al conocimiento de los peligros geológicos que afectan el reordenamiento de Lima Metropolitana y el Callao, principalmente en lo concerniente al crecimiento urbano desordenado de la ciudad.

Es preciso indicar que ha existido un factor limitante para el desarrollo de los trabajos de campo de este proyecto: el difícil acceso a algunos sectores ubicados en la periferia de Lima que tienen un alto grado de densidad poblacional y están cubiertos por viviendas y obras de desarrollo urbano como aceras, escaleras, pistas asfaltadas, etc. Además, la actual inseguridad social existente en ciertos sectores de Lima Metropolitana y el Callao hizo necesario contar con el apoyo de personal de las comisarías o representantes de las municipalidades, con el fin de proteger a los profesionales del Ingemmet.

### ANTECEDENTES

Algunos trabajos anteriores han estudiado la geodinámica y prevención de desastres en el área de Lima Metropolitana y el Callao, destacando publicaciones del Ingemmet como el «Estudio geodinámico de la cuenca del río Lurín» (Dávila & Valenzuela, 1996); el «Estudio geodinámico-geotécnico de la cuenca del río Chillón» (Pérez, 1979); el «Estudio geodinámico de la cuenca del río Rímac» (Ingemmet, 1988); el «Estudio geotécnico de futuras áreas de expansión urbana entre Lima y Cañete» (Guzmán *et al.*,

1998); «Riesgos geológicos en el Perú. Franja N° 3» (Ingemmet, 2003); «Riesgos geológicos en el Perú. Franja N° 4» (Fidel *et al.*, 2006) y «Zonas críticas por peligros geológicos en el área de Lima Metropolitana» (Núñez & Vásquez, 2010). Otros estudios que merecen especial atención son la «Evaluación de los peligros naturales y zonificación geodinámica para la prevención de desastres naturales en el valle del río Lurín, provincias Lima-Huarochirí, departamento de Lima» (Allende, 1998); el «Atlas Ambiental de Lima Metropolitana» (IMP, 2008) y el «Estudio SIRAD. Recursos de respuesta inmediata y de recuperación temprana ante la ocurrencia de un sismo y/o tsunami en Lima Metropolitana y Callao (D'Ercole *et al.*, 2011).

Los estudios geodinámicos de las cuencas del río Chillón (Pérez, 1979) y el río Rímac (Ingemmet, 1988) hicieron una caracterización geomorfológica e hidrológica y señalaron problemas relacionados con la seguridad física de los asentamientos humanos. En el estudio «Riesgos geológicos en el Perú. Franja N° 4» (Fidel *et al.*, 2006) se citaron seis sectores críticos en la cuenca del río Chillón. Asimismo, en el «Primer reporte de zonas críticas por peligros geológicos en el área de Lima Metropolitana» (Núñez & Vásquez, 2010) se señalaron 29 sectores incluidos en la misma cuenca donde deberían adoptarse medidas preventivas, porque en el caso de ocurrir lluvias excepcionales o sismos de gran magnitud las pérdidas podrían ser cuantiosas.

En el «Estudio geodinámico de la cuenca del río Lurín», Dávila & Valenzuela (1996) efectuaron una caracterización geomorfológica e hidrológica de la cuenca del río Lurín, indicando la existencia de problemas relacionados con la seguridad física de las poblaciones involucradas.

En el «Estudio geotécnico de futuras áreas de expansión urbana entre Lima y Cañete» (Guzmán *et al.*, 1998), se hizo una evaluación preliminar del medio físico del sector comprendido entre Lurín y Cañete, con la finalidad de seleccionar áreas con características adecuadas para la expansión urbana de Lima Metropolitana.

Otro estudio que merece destacar es la «Evaluación de los peligros naturales y zonificación geodinámica para la prevención de desastres naturales en el valle del río Lurín, provincias Lima-Huarochirí, departamento de Lima» (Allende, 1998). En dicho trabajo se refirieron algunas alternativas para el tratamiento de zonas afectadas por procesos geológicos en la cuenca baja del río Lurín.

En el estudio «Riesgos geológicos en el Perú. Franja N° 3», el Ingemmet (2003) señaló la existencia de dos sectores críticos por peligros geológicos en la cuenca del río Lurín. En el estudio de «Zonas críticas por peligros geológicos en Lima Metropolitana», Núñez & Vásquez (2010) describieron todas las zonas críticas identificadas en Lima Metropolitana.

Vale mencionar las evaluaciones técnicas de seguridad física de asentamientos humanos en Lima Metropolitana y el Callao realizadas por el Ingemmet «ver, a modo de ejemplo, Dávila & Valenzuela (1998) y Guzmán & Vilchez (2003)» que han contribuido en la determinación de zonas vulnerables a los fenómenos de remoción en masa más frecuentes y a la evaluación de riesgos e impactos a los que están sujetas las poblaciones y obras de infraestructura existentes.

## OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

El presente proyecto ha tenido los siguientes objetivos:

- Inventariar los peligros geológicos ocurridos en el área de estudio y determinar áreas susceptibles a estos procesos.
- Identificar las zonas críticas por peligros geológicos y geohidrológicos (hidrometeorológicos) para contribuir en la prevención de riesgos geológicos y fortalecer el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres en el área estudiada.
- Proponer medidas para la prevención de daños por dichos procesos en las zonas críticas identificadas.

Para conseguir los objetivos propuestos, se trabajó en tres etapas: recopilación de la información existente, obtención de datos en campo e integración y procesamiento de la información.

Durante la etapa de recopilación de la información, se sistematizaron las bases geográficas del área de estudio. Además, se realizó la interpretación de fotografías aéreas de los años 1970 a escala 1:40000 e imágenes de satélite disponibles en la plataforma Google Earth. En estas fotografías e imágenes se reconocieron los contactos litológicos, lineamientos y áreas afectadas por movimientos en masa como derrumbes, caídas, flujos, etc., los cuales se delinearon en 17 mapas a escala 1:25000. Esta etapa ha sido fundamental para los trabajos posteriores debido a que gran parte de Lima Metropolitana se encuentra cubierta por viviendas y obras de desarrollo urbano (aceras, escaleras, pistas asfaltadas, etc.).

En la etapa de obtención de datos de campo, se efectuaron el cartografiado, el inventario y la caracterización de los peligros geológicos, así como el registro de datos geomecánicos en afloramientos de roca y trabajos de comunicación con comunidades para difundir y socializar la información elaborada en el marco del proyecto. Dichos trabajos se llevaron a cabo entre los años 2007 y 2011, con campañas anuales de 25 a 30 días de duración (tres en cada año). Los datos geológicos, geomorfológicos y geotécnicos permitieron definir el comportamiento geodinámico en el área de estudio. Las escalas de trabajo han sido 1:25000 y 1:50000. Simultáneamente se efectuó la identificación de zonas críticas o con alto grado de riesgo geológico para las cuales se brindan en el

capítulo VI algunas recomendaciones que ayudarán a decidir las obras de prevención que deben ejecutarse.

Una vez concluida la etapa de campo, se integró y procesó la información previa y la obtenida en campo, categorizando los

procesos inventariados por su grado de peligrosidad. Paralelamente se generaron los mapas temáticos finales, así como los modelos de susceptibilidad, y se elaboraron el informe respectivo y la base de datos georreferenciada.



# CAPÍTULO II

## GENERALIDADES

POR: SEGUNDO NÚÑEZ & SANDRA VILLACORTA

Lima Metropolitana, como capital de la república, y el Callao, como primer puerto nacional, concentran los principales ejes administrativos, comerciales, financieros, tecnológicos y culturales del Perú. Son unidades geográficas aledañas, cuyos límites sólo se diferencian administrativamente. En este capítulo se mostrarán de manera concisa sus principales aspectos geográficos, socioeconómicos, climáticos e hidrológicos.

### UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La zona de estudio se halla entre las siguientes coordenadas UTM: Norte 8 720 000-8 615 000 y Este 260 000-325 000 (figura 2.1), sobre el flanco occidental de la cordillera occidental de los Andes. Limita por el norte con la provincia de Chancay, por el sur con Chilca, por el este con la comunidad campesina de Jicamarca y Huarochirí, y por el oeste con el océano Pacífico.

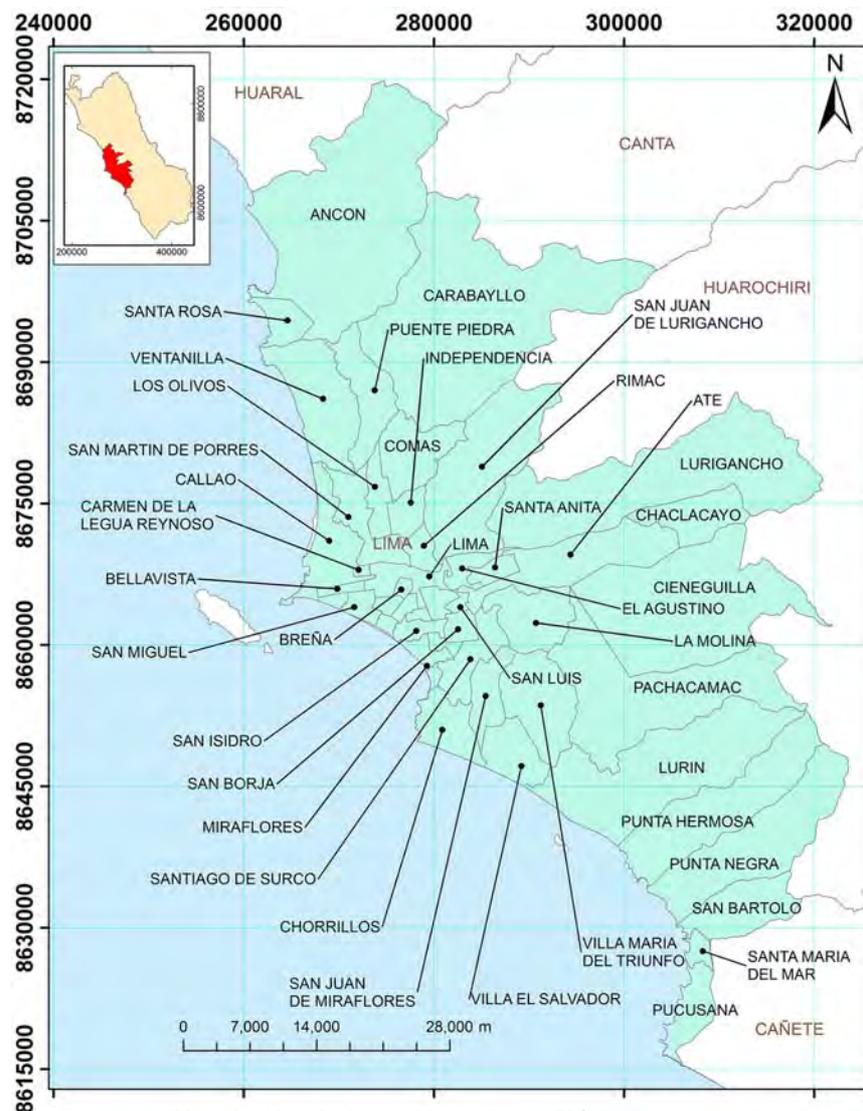


Figura 2.1 Mapa de ubicación de Lima Metropolitana y El Callao.

La ciudad de Lima se extiende a lo largo de los ríos Chillón, Lurín y Rímac y en las pendientes de los cerros menos abruptos o en las dunas de la costa. Tiene una extensión aproximada de 2820 km<sup>2</sup>.

## ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS

La información que se presenta aquí procede de dos censos nacionales: el XI Censo de Población y el VI Censo de Vivienda (INEI, 2008).

La población se encuentra distribuida en 49 distritos: 43 en la provincia de Lima y 6 en la Provincia Constitucional del Callao (cuadro 2.1). Aproximadamente es de 8 500 000 habitantes, que representan casi el 31 % de la población nacional y el 39 % de la población económicamente activa en el Perú.

Arellano (2010) agrupa los distritos de Lima Metropolitana en cuatro sectores: Lima, Cono<sup>1</sup> Norte, Cono Sur y Cono Este, los cuales se incluyen en el cuadro 2.1 junto con la Provincia Constitucional del Callao.

**Cuadro 2.1**  
**Clasificación de los distritos de Lima en cuatro sectores y la Provincia Constitucional del Callao**

Cono Norte	Cono Sur	Cono Este	Lima	Callao
1. Ancón	1. Chorrillos	1. Ate	1. Breña	1. Bellavista
2. Carabaylo	2. Cieneguilla	2. Chaclacayo	2. Barranco	2. Callao
3. Comas	3. Lurín	3. Cieneguilla	3. Cercado de Lima	3. Carmen de la Legua
4. Independencia	4. Pachacamac	4. El Agustino	4. Jesús María	4. La Perla
5. Los Olivos	5. Pucusana	5. Lurigancho-Chosica	5. La Molina	5. La Punta
6. San Martín de Porres	6. Punta Hermosa	6. San Juan de Lurigancho	6. La Victoria	6. Ventanilla
7. Puente Piedra	7. Punta Negra	7. Santa Anita	7. Lince	
	8. San Bartolo		8. Magdalena	
	9. San Juan de Miraflores		9. Miraflores	
	10. Santa María del Mar		10. Pueblo Libre	
	11. Villa El Salvador		11. Rímac	
	12. Villa María del Triunfo		12. San Borja	
			13. San Isidro	
			14. San Luis	
			15. San Miguel	
			16. Santiago de Surco	
			17. Surquillo	

De acuerdo con el Censo Nacional del 2007, el Cono Norte es el sector más poblado de Lima Metropolitana (2072680 habitantes, gráfico 2.1); y los distritos con mayor población son Comas y San Martín de Porres. En el Cono Sur son Villa El Salvador, Villa María del Triunfo y San Juan de Miraflores. A nivel de distrito, el más poblado de Lima es San Juan de Lurigancho con 898443 habitantes, que sería a su vez el distrito más poblado del Perú.

Respecto a la vivienda, en Lima Metropolitana y el Callao se han registrado un total de 3268014 viviendas, con porcentajes significativos de las mismas en condiciones precarias, específicamente en los distritos de Puente Piedra en el Cono Norte (19153) y San Juan de Lurigancho en el Cono Este (13307). Esta información es importante para poder relacionarla con los procesos geológicos detectados en dichos sectores.

<sup>1</sup> El término «Cono» nace en base a una redefinición del espacio urbano de la ciudad a partir de su desarrollo económico, urbano y factores de dependencia. Actualmente se tienen en Lima estos diferentes centros de desarrollo económico independientes: Cono Norte, Cono Sur y Cono Este.

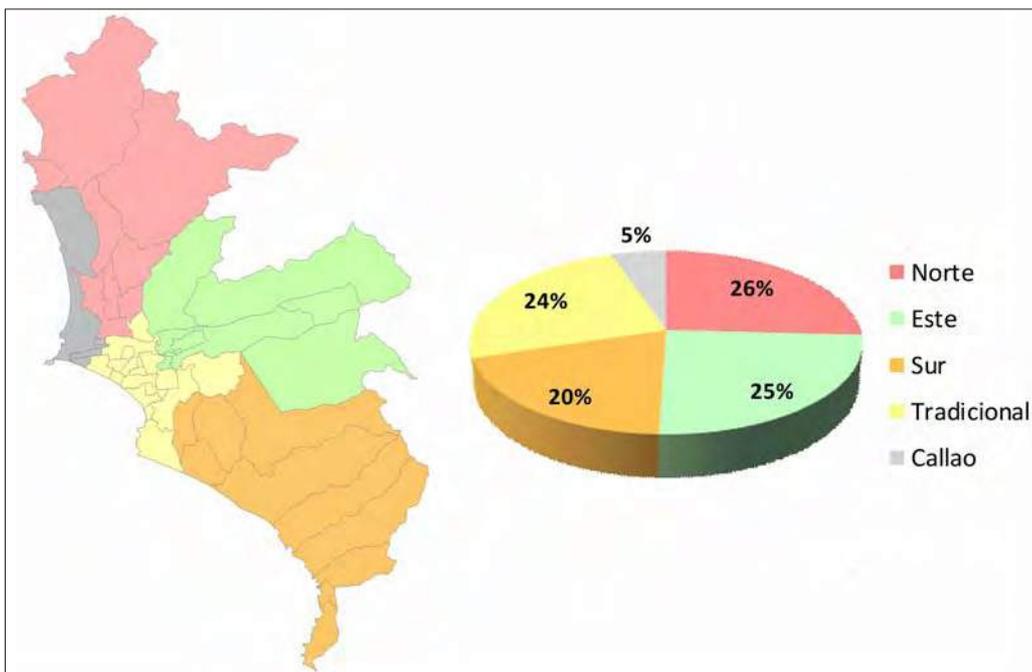


Gráfico 2.1 Distribución de la población en los conos de Lima Metropolitana y Callao (tomado de: Arellano, 2010).

## OBRAS DE INFRAESTRUCTURA

En Lima Metropolitana y el Callao, las principales obras de infraestructura son las centrales hidroeléctricas, térmicas, vías terrestres, infraestructura aérea y las plantas de tratamiento de agua.

Con la creación del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), Lima forma parte del Sistema Interconectado Centro Norte. La hidroeléctrica de Huinco es la estación principal para Lima, con una potencia instalada de 258,4 MW. Desde el 1 de junio del 2005, la central térmica de Santa Rosa, al poner en marcha su unidad N° 7 Westinghouse, ha ingresado al SEIN y genera energía eléctrica valiéndose del gas natural de Camisea. El sistema de distribución de gas natural en Lima y el Callao está conformado por una red de tuberías proveniente del lote 88 (Camisea), que parte desde el «City Gate» en el distrito de Lurín hasta la estación terminal ubicada en Ventanilla. También existe un pequeño reactor nuclear administrado por el Instituto Peruano de Energía Nuclear cuya utilidad es el diagnóstico de enfermedades, el tratamiento de patologías tiroideas y, más recientemente, el tratamiento de terapias del dolor en enfermedades terminales (Minem, 2012). En la figura 2.2 se representa la infraestructura energética de Lima Metropolitana y el Callao.

La red vial de Lima Metropolitana y el Callao cuenta con autopistas que intercomunican toda la ciudad, entre las que destacan (figura

2.3): la Vía Expresa de Paseo de La Republica (fotografía 2.1), la vía de Evitamiento, la avenida Costanera-Circuito de Playas (conocida también como autopista Costa Verde, fotografía 2.2), la vía Panamericana (norte y sur) y la avenida Universitaria. Esta red vial cuenta con 37 puentes viales (MTC, 2012; figura 2.4).

Respecto a la infraestructura aérea, en Lima Metropolitana y el Callao existen 4 helipuertos, 3 aeródromos y un aeropuerto internacional (Dirección General de Aeronáutica Civil, 2011; figura 2.5). El Aeropuerto Internacional Jorge Chávez está ubicado en el Callao, a 10 km del centro de Lima. Es el principal aeropuerto del Perú, pues concentra gran parte de los vuelos internacionales y nacionales del país.

Entre otras obras de infraestructura mayor destacan los colectores y plantas de tratamiento de agua administrados por Sedapal (figura 2.6). Estos forman parte del sistema de alcantarillado de Lima Metropolitana y el Callao. Existen actualmente ocho colectores, además de dos colectores submarinos asociados a las nuevas plantas de tratamiento de aguas residuales de Taboada y de La Chira, cuya construcción se espera esté terminada durante los años 2014 y 2015, respectivamente; para apoyar a las 17 plantas que están en operación en la actualidad. Existen también dos plantas de potabilización: La Atarjea (para aguas del río Rímac) y Punchauca (aguas del río Chillón).



Figura 2.2 Infraestructura energética en Lima Metropolitana y el Callao (tomado de: Minam, 2011).

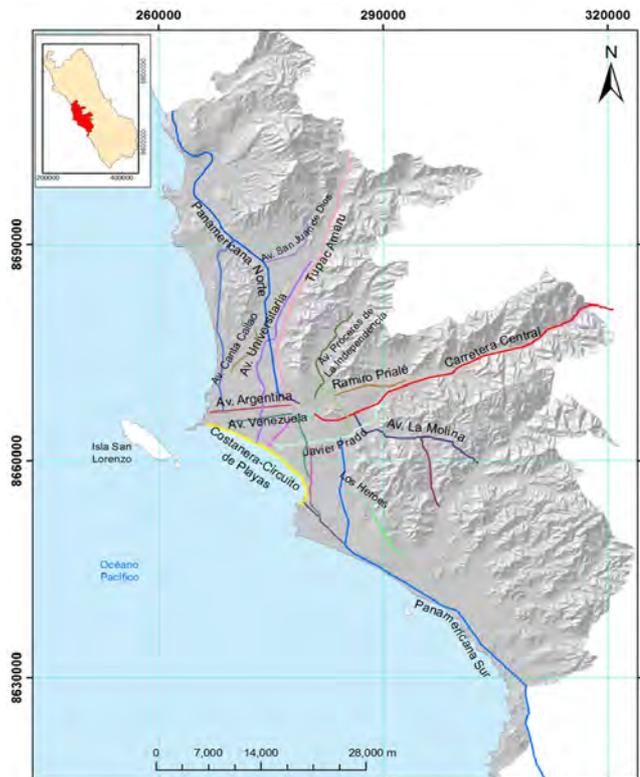


Figura 2.3 Principales vías terrestres en Lima Metropolitana y el Callao (tomado de: <http://mtcgeo.mtc.gob.pe/>).

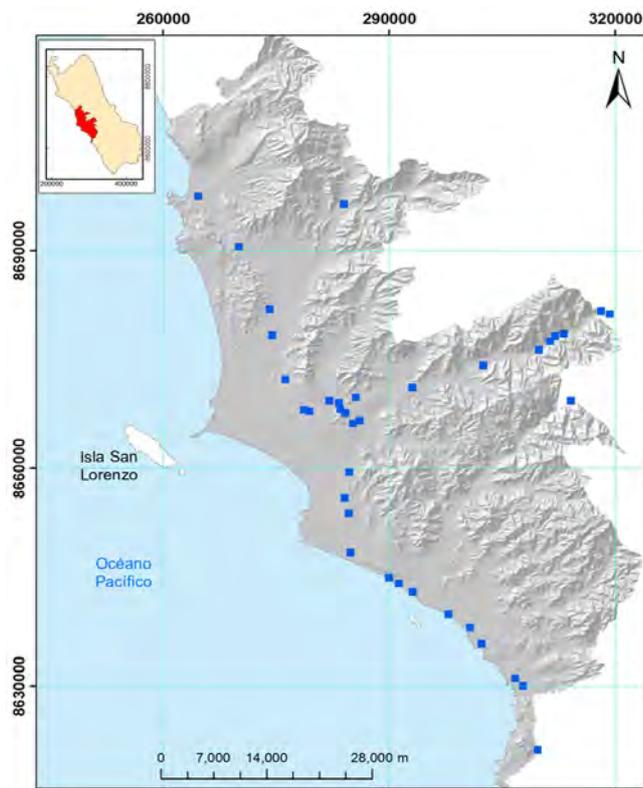


Figura 2.4 Puentes viales en Lima Metropolitana y el Callao (tomado de: <http://mtcgeo.mtc.gob.pe/>).



Figura 2.5 Infraestructura aérea en Lima Metropolitana y el Callao (tomado de: <http://mtcgeo.mtc.gob.pe/>).



**Fotografía 2.1** Vía Expresa. Conecta el Centro de Lima Metropolitana con distritos como San Isidro, Surquillo y Miraflores (tomado de: <http://es.encydia.com>).



**Fotografía 2.2** Autopista Costa Verde, circuito de varios kilómetros que bordea el circuito de playas del litoral (tomado de: <http://www.aeronoticias.com.pe>).

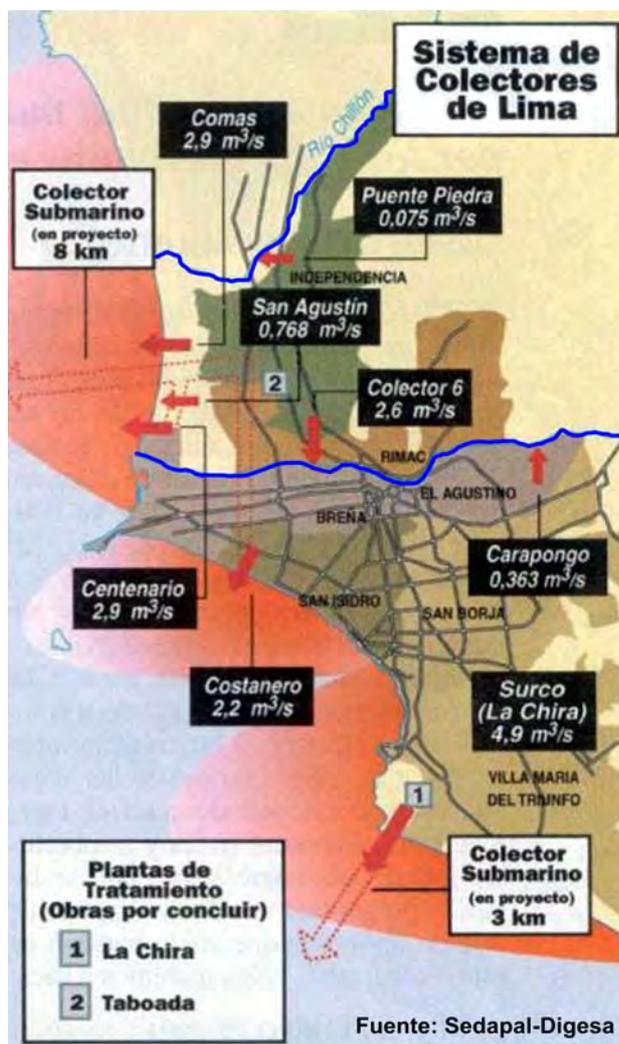


Figura 2.6 Sistema de Colectores en Lima Metropolitana y el Callao (tomado de: Caretas N° 13 del 25.01.2001, página 50).

## CLIMA

Actualmente el clima de la región de Lima Metropolitana y el Callao se caracteriza por temperaturas medias anuales suaves, entre 18 °C y 20 °C, y una precipitación total anual inferior a 20 mm (IMP, 2008). Es un clima templado-árido, resultado de la influencia combinada de diversos factores geográficos. En primer lugar, de la corriente marina de Humboldt, que transporta aguas frías desde los océanos antárticos hasta la costa peruana. La corriente de Humboldt enfría la base de la tropósfera y genera una inversión térmica y una situación anticiclónica permanente sobre el Pacífico, que impide que sobre la ciudad de Lima ocurran precipitaciones importantes procedentes del océano. Además, la cordillera de los Andes Centrales funciona como una barrera orográfica que impide el acceso de masas de aire húmedas procedentes de la cuenca del Amazonas, donde la distribución estacional de la precipitación

está vinculada con el régimen anual de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). Se denomina de esa manera a la banda nubosa de alta actividad convectiva donde convergen los vientos alisios del Hemisferio Norte y el Hemisferio Sur. Durante el invierno austral (de junio a septiembre) se mantiene en posiciones más septentrionales (10-15°N) y durante el verano (de diciembre a marzo) se desplaza hacia el sur, sobre la cuenca del Amazonas. Durante ese periodo ocurre la mayor parte de la precipitación total anual sobre los Andes Centrales. El fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) altera esa situación periódicamente, modificando esporádicamente los patrones de humedad. En el territorio objeto de este trabajo, dichos cambios pueden consistir en incrementos en la precipitación que tienen importantes implicaciones desde el punto de vista de los peligros geológicos, porque debido a la ausencia de fitoestabilización toda la lluvia se transforma en escorrentía generando flujos hipersaturados o huaycos.

La costa de Lima es árida, pero en la sierra las precipitaciones son suficientemente abundantes para mantener durante todo el año los caudales de los ríos Chillón, Rímac y Lurín, que desembocan en el océano Pacífico. Aunque algunas montañas todavía conservan glaciares, sus dimensiones actuales son muy reducidas y los caudales de los ríos están relacionados con la lluvia o la nieve en mayor medida que con la fusión de esas masas de hielo. Sin embargo, las evidencias de campo demuestran que en el pasado amplios sectores de la cordillera estuvieron cubiertos por glaciares. Su presencia revela que el clima era más frío y, sobre todo, más húmedo que en el presente. Todavía no hay datos de la sierra de Lima, pero se han publicado dataciones radiométricas de otras regiones de los Andes Centrales (Hall *et al.*, 2009; Smith *et al.*, 2008; Smith *et al.*, 2009; Úbeda *et al.*, 2012a; Úbeda *et al.*, 2012b; Zech *et al.*, 2009). Las cronologías indican que la última máxima expansión glacial comenzó hace 29 000 años y en algunos lugares se prolongó hasta hace tan sólo 10 000 años.

Modelos independientes basados en datos del nevado Coropuna, al sur de Perú (Úbeda, 2011) y el cerro Tunupa (Blard *et al.*, 2009), al oeste de Bolivia, han deducido que el clima llegó a ser hasta 6.6 °C más frío que el actual. Otros trabajos han encontrado que entre los 25 000 y 11 000 años, grandes lagos inundaron el Salar de Uyuni, en el altiplano árido de Bolivia (Blard *et al.*, 2011; Plazcek *et al.*, 2006). La presencia de los lagos y las dimensiones de los glaciares que recubrían las montañas demuestran que, en el pasado, el clima era más húmedo que en el presente. Algunas hipótesis sugieren que la causa de ese incremento de humedad pudo ser un mayor desplazamiento hacia el sur de la ZCIT durante las fases de enfriamiento del Hemisferio Norte (Chiang & Bitz, 2005; Sylvestre, 2009; Zech *et al.*, 2009; Zhang & Delworth, 2005). Si estuvieran en lo cierto, el mismo fenómeno estacional, que actualmente desencadena las lluvias, habría provocado un aumento de la precipitación sobre la cordillera de los Andes Centrales en escalas de miles de años.

## CAPÍTULO III

### GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

POR: SANDRA VILLACORTA, SEGUNDO NÚÑEZ & JOSÉ ÚBEDA

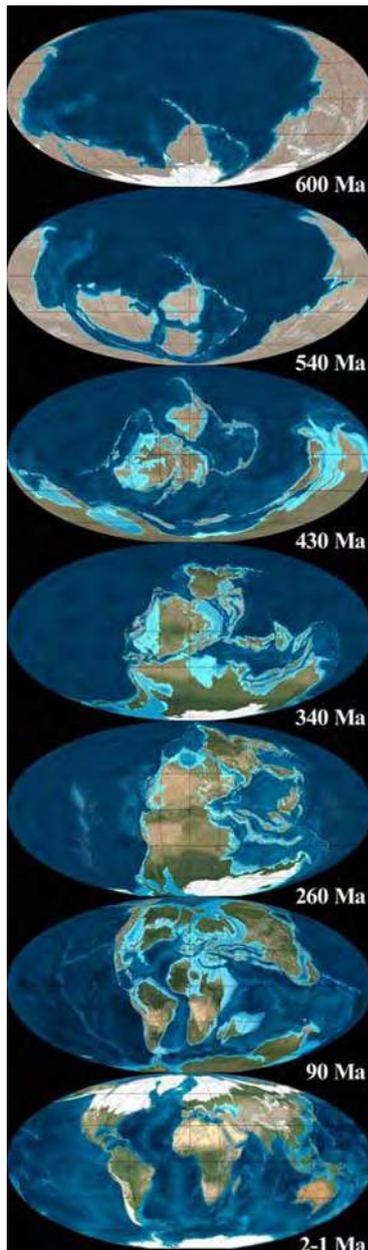


Figura 3.1 Diferentes fases de la deriva de los continentes, en millones de años antes del presente (tomado de: <http://cpgeosystems.com>).

#### LA EVOLUCIÓN DE LA TIERRA

La superficie del planeta Tierra está dividida en placas de corteza oceánica y de corteza continental. La corteza oceánica es esencialmente basáltica y densa, porque está constituida por las emisiones de los volcanes submarinos que conforman las dorsales oceánicas. La corteza continental, en cambio, es fundamentalmente silíceo y menos densa que la corteza oceánica. A causa de esa diferencia de densidad los continentes flotan sobre el fondo de los océanos y se desplazan sobre la superficie del planeta, impulsados por la creación de nueva corteza en las dorsales oceánicas.

La expansión del fondo oceánico sucede en escalas de tiempo de millones de años y ha dado lugar a sucesivas fases de acreción y desmembramiento de los continentes. De ese modo, el territorio donde actualmente se encuentra la región de Lima Metropolitana-el Callao ha estado en diferentes lugares del planeta a lo largo del tiempo geológico (figura 3.1). Donde la corteza oceánica colisiona con la corteza continental se produce una subducción, de la primera por debajo de la segunda, como consecuencia de la mayor densidad de la corteza oceánica. De ese modo, a lo largo de decenas o cientos de millones de años (Ma) el proceso de convergencia continental ha generado orógenos como la cordillera de los Andes.

En el siglo pasado, las dataciones de uranio-plomo permitieron estimar la edad aproximada de la Tierra (~4500 Ma). Durante ese periodo tan amplio de tiempo, después de la formación de la atmósfera, el clima de la Tierra también ha variado mucho. Ha pasado por épocas más cálidas, que no permitían la presencia de grandes masas de hielo, y épocas más frías que el presente, que favorecieron la acumulación de grandes glaciares en las masas continentales de las altas latitudes y en las cumbres de las montañas suficientemente altas. Esos cambios climáticos se debieron a diferentes causas: la proporción de gases de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, que varía en escalas de millones de años (Berner, 2004); las oscilaciones en la órbita terrestre, que suceden en escalas de decenas de miles de años (Milankovitch, 1941); o cambios en la temperatura de la superficie del mar, que pueden suceder en sólo algunos miles de años (Bond & Loti, 1995).

## LA EVOLUCIÓN REGIONAL EN ESCALAS DE MILLONES DE AÑOS

Lima Metropolitana y el Callao están ubicados en la vertiente del Pacífico de los Andes Centrales, una empinada rampa que desciende hacia la costa salvando un desnivel de 5300 m en tan sólo 100 km de distancia. Hacia el oeste se hunde debajo del mar, hacia el plano definido por la subducción del fondo del océano Pacífico (placa de Nazca) por debajo de la corteza continental de Sudamérica. El proceso de subducción explica el levantamiento de la cordillera desde hace ~90 Ma, pero en la región de Lima Metropolitana hay rocas más antiguas. La cordillera de los Andes Centrales es el resultado de tres ciclos geodinámicos (Benavides-Cáceres, 1999). El primero es de edad precámbrica, anterior a ~540 Ma. Entonces los continentes tenían una disposición muy diferente a la actual, aunque en la región objeto de este estudio no se conservan rocas de esa época. El segundo ciclo geodinámico tuvo lugar durante el Paleozoico (desde hace ~540 Ma). Fue un amplio periodo de deriva continental que culminó con la formación del supercontinente Pangea, como resultado de la agregación de todos los continentes a principios del Triásico (hace ~250 Ma, figura 3.1). En Lima Metropolitana y el Callao tampoco hay rocas

de esa edad. El tercer ciclo geodinámico comenzó en el Triásico final, hace ~240 Ma, coincidiendo con la separación de Sudamérica y África y la apertura del Atlántico Sur (figura 3.1). Durante una primera fase que se prolongó hasta el comienzo del periodo Senoniense (~94 Ma), el tipo de subducción, el vulcanismo y el ambiente sedimentario eran muy diferentes a los actuales (Benavides-Cáceres, 1999). Donde hoy en día se asienta la ciudad de Lima existía un arco volcánico (figura 3.2). Hacia el este, el territorio donde actualmente se encuentra la cordillera de los Andes Centrales estaba ocupado por mares cálidos de escasa profundidad que cubrían la plataforma continental. En esas cuencas se depositaron los sedimentos que han dado lugar a las litologías de los grupos Puente de Piedra, Morro Solar y Lima, de edades fini-Jurásica a Cretácica inferior (154-96 Ma). A causa de su contexto paleogeográfico, esas unidades incluyen una variada tipología de rocas. Algunas son claramente marinas, como las calizas. Otras están compuestas por sedimentos procedentes de la erosión del continente, como las lutitas, areniscas o cuarcitas. También hay rocas evaporíticas, generadas por la evaporación de masas de agua, así como rocas volcánicas submarinas y rocas piroclásticas que indican la presencia de volcanes explosivos subaéreos.

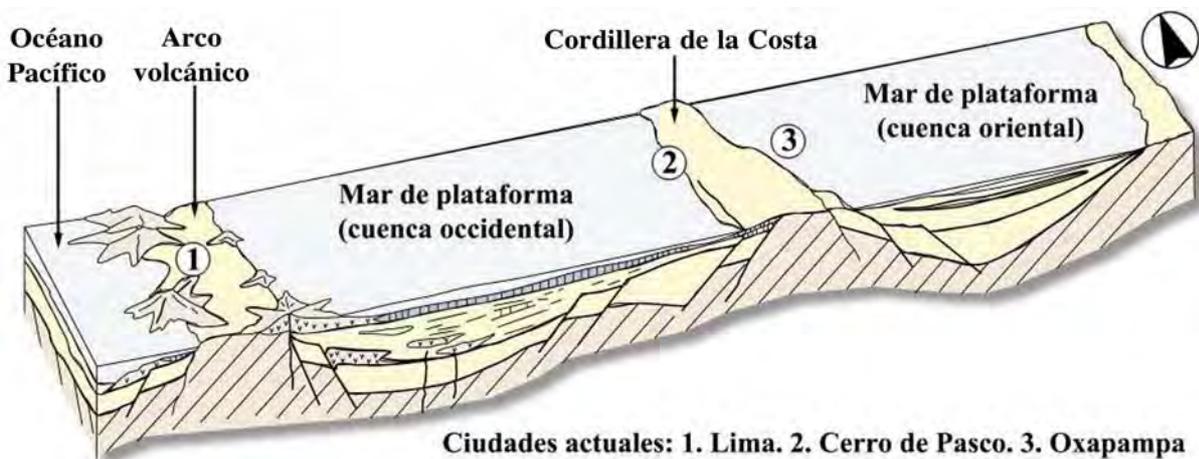


Figura 3.2 Paleogeografía del centro de Perú hace ~105 Ma (modificado de: Megard, 1979).

Durante el periodo Senoniense (~94-71 Ma) ocurrieron profundos cambios geodinámicos íntimamente relacionados entre sí que han conducido a la configuración actual de los Andes Centrales (Benavides-Cáceres, 1999): la aparición del tipo de subducción andina, la retirada del mar y la emergencia de la cordillera. Los sismos que periódicamente suceden en el Perú son un efecto superficial que refleja la fricción de las placas como consecuencia del proceso de subducción. La disponibilidad de largas series de

datos de la localización y profundidad de los terremotos ha permitido reconstruir el plano de subducción o Zona de Benioff (Gutscher, 2002; figura 3.3). La placa de Nazca se introduce debajo del margen occidental de Sudamérica conjuntamente con las cordilleras submarinas del fondo del océano Pacífico, generando distorsiones en el ángulo de subducción que determinan en qué sectores de la cordillera ocurren erupciones volcánicas (figura 3.4).

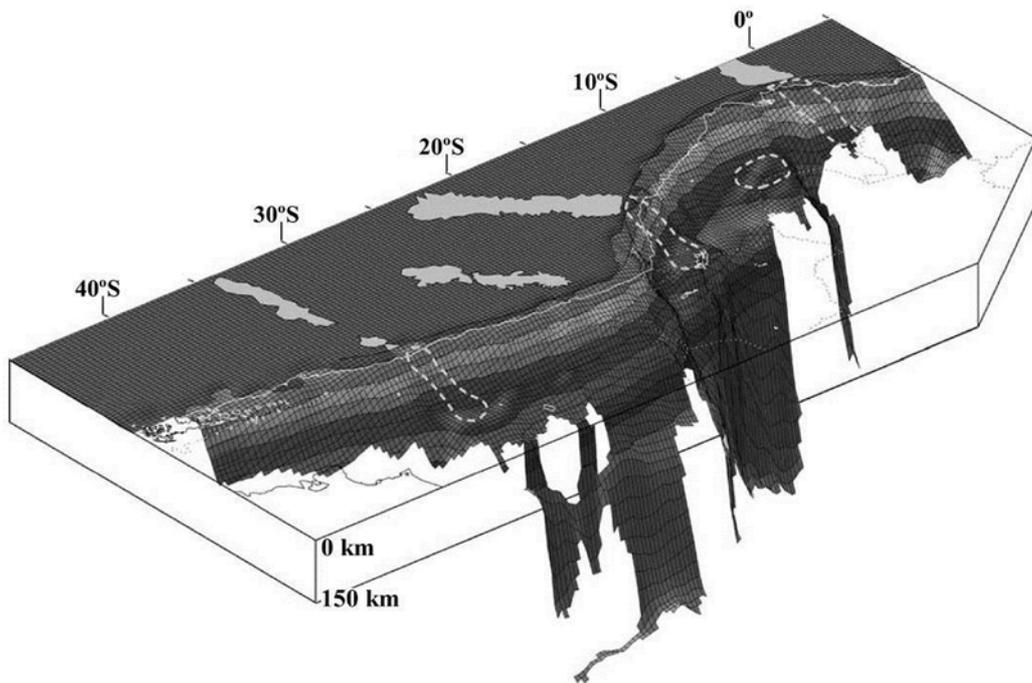


Figura 3.3 Plano de subducción de la placa de Nazca (modificado de: Gutscher, 2002).

En el sector superior del manto terrestre, la creación de magma con capacidad de intruir la corteza continental y ascender hacia la superficie depende de dos factores: la humedad que la corteza oceánica que subduce transfiere al manto y el ángulo de subducción.

La distribución del vulcanismo de edad cuaternaria (menos de ~2 Ma) a lo largo del margen de colisión continental (figura 3.4) indica

que sólo ocurren erupciones volcánicas cuando el ángulo de subducción es  $>20^\circ$  (Stern, 2004), como en la Zona Volcánica Central (CVZ, figura 3.4-2). En casi todo el Perú está en la zona de subducción plana peruana (figura 3.4) y por este motivo no ha existido vulcanismo cuaternario y los sismos suceden a menor profundidad. Esa es una cuestión muy relevante porque implica un mayor riesgo sísmico debido a la proximidad entre el hipocentro y el epicentro de los terremotos.

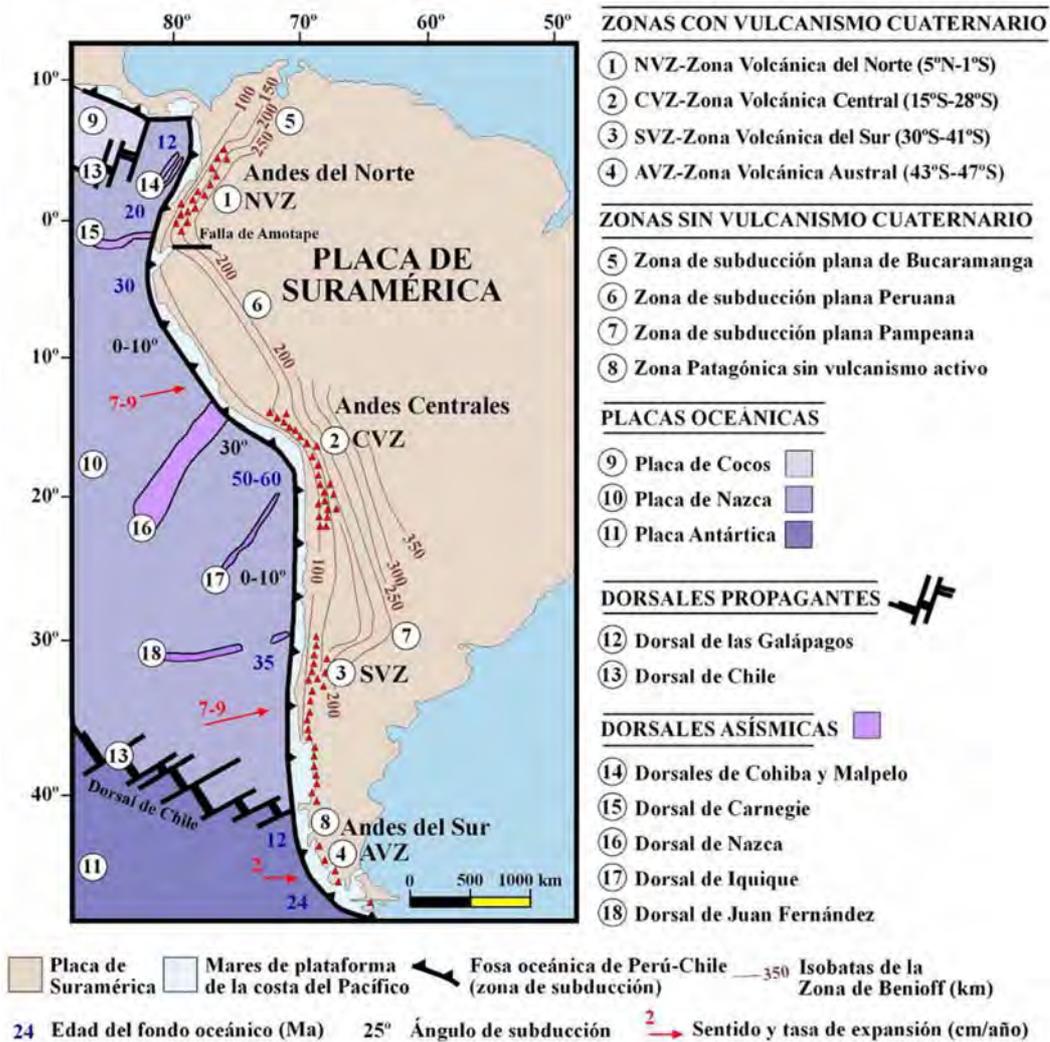


Figura 3.4 Mapa de la distribución del vulcanismo en la cordillera de los Andes (1-8), representando además las placas del océano Pacífico (9-11) las dorsales propagantes, donde se crea la corteza oceánica (12-13) y las cordilleras o dorsales asísmicas (14-18) de la placa de Nazca. También se indican las edades y tasas de expansión del fondo oceánico, el ángulo de subducción y la profundidad de la Zona de Benioff por debajo del margen occidental de Sudamérica. Modificado por Úbeda (2011) de Stern (2004), con datos de Angermann et al. (1999), Engdahl et al. (1995), Gutscher (2002), Norabuena et al. (1998), Ramos & Alemán (2000) y Heezen & Tharp (1977).

### UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

En la región de Lima Metropolitana afloran rocas de diferente naturaleza, cuyas edades van desde el Jurásico superior (154-145 Ma) hasta el presente y fueron clasificadas por Palacios *et al.* (1992) en los siguientes grupos (fig. 3.5):

#### Grupo Puente Piedra

Aparece principalmente al norte de Lima, en el área comprendida entre Ancón, Ventanilla y Puente Piedra (que da nombre a la

unidad). Se trata de una secuencia de rocas volcánicas andesíticas intercaladas con lutitas marinas y areniscas, con un espesor de alrededor de 2000 m y edades desde el Jurásico superior al Cretácico inferior (154-96 Ma). El grupo Puente Piedra incluye las formaciones Volcánico Santa Rosa, Puente Inga, Ventanilla, Volcánico Ancón y Cerro Blanco (fotografías 3.1 y 3.2).

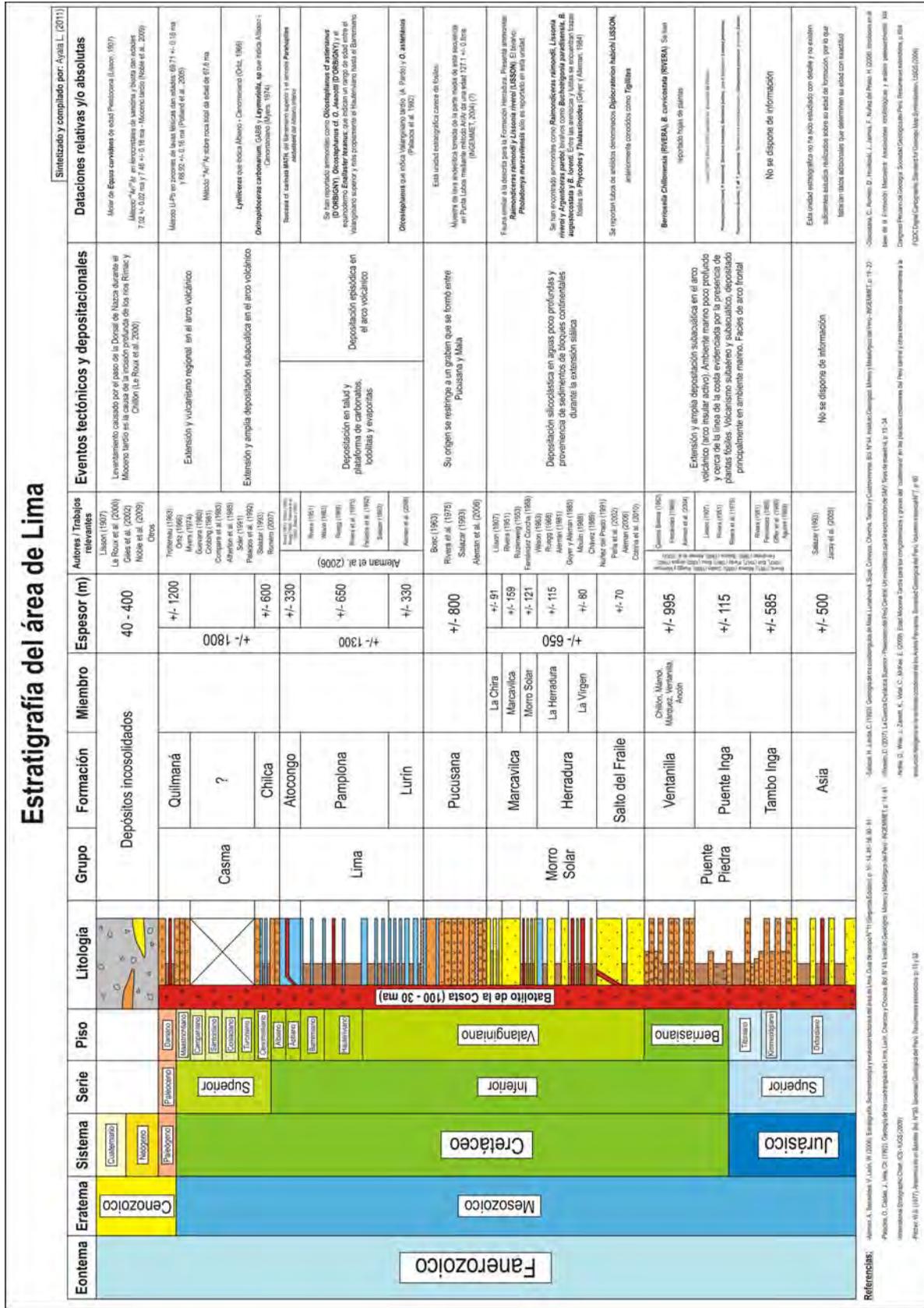
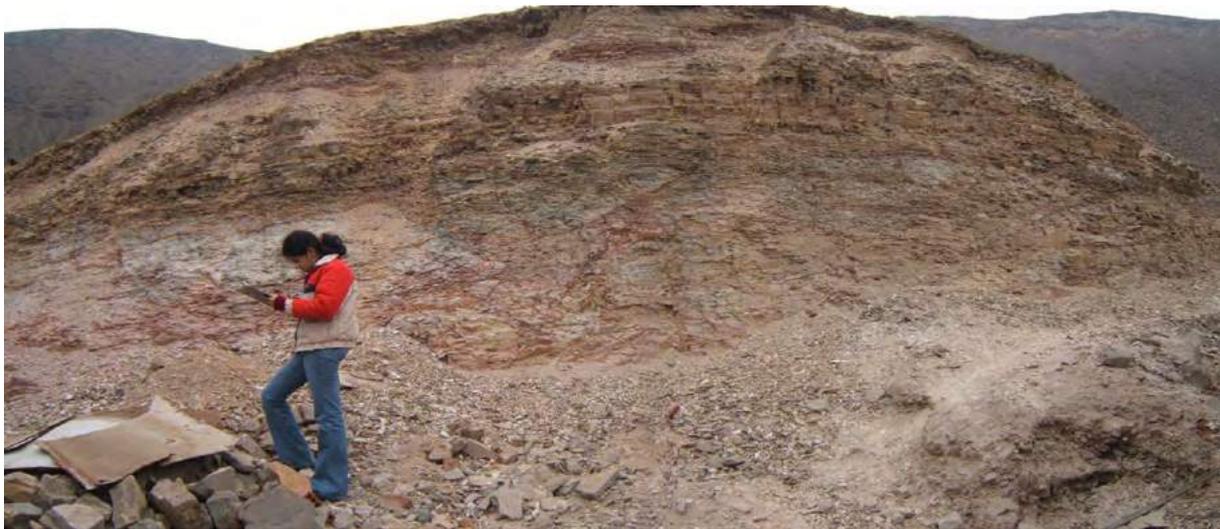


Fig. 3.5 Estratigrafía de Lima Metropolitana y el Callao (Fuente: Ayala, L., 2012).



**Fotografía 3.1** Secuencia volcánica de la Formación Cerro Blanco (Ventanilla), fracturado en bloques de 2 m de diámetro.



**Fotografía 3.2** Secuencia abigarradas de la Formación Puente Inga, en el sector Cerro Blanco (Ventanilla), lutitas craqueladas en fragmentos centimétricas.

### Grupo Morro Solar

Incluye las formaciones Salto del Fraile, Herradura y Marcavilca, que tienen su localidad típica en el Morro Solar (Chorrillos, Lima). Consiste en una secuencia de areniscas cuarzosas con

intercalaciones de limolitas (fotografía 3.3), cuyo espesor medio oscila entre los 200 m y 500 m con edades del Cretácico inferior (145.5-96 Ma).



**Fotografía 3.3** Secuencia de arenisca cuarzosa en bancos subhorizontales y medianamente fracturada; con niveles de lutitas (estrato superior) craquelada, muy fracturadas y alteradas de la formación Marcavilca, en el sector Inty Llacta (Chorrillos).

### Grupo Lima

Aleman *et al.* (2006) lo definen como una secuencia de calizas y lutitas de origen marino que afloran en la parte baja de las cuencas de los ríos Chillón y Lurín. También en la zona de Las Casuarinas,

Pamplona Alta y Atocongo. La secuencia tiene cerca de 1500 m de espesor, con edades comprendidas dentro del Cretácico inferior (135-96 Ma) e incluye las formaciones Lurín, Pamplona y Atocongo, (fotografía 3.4).



**Fotografía 3.4** Secuencia de limolitas abigarradas con intercalaciones de margas de la Formación Pamplona (sector Las Palmas-Lurín) muy fracturada y meteorizada.

## Grupo Casma

Consiste principalmente en materiales volcánicos de erupciones depositados en el mar, que engloban fragmentos rocosos de lutitas y areniscas y lavas andesíticas almohadilladas típicamente submarinas. Afloran en las partes bajas de las cuencas de los ríos

Lurín, Rímac y Chillón, donde alcanzan espesores que bordean los 2000 m. La secuencia tiene edades del Cretácico superior (96-65 Ma) e incluye las formaciones de Quilmaná, Huarangal y Chilca (fotografías 3.5 y 3.6).



**Fotografía 3.5** Secuencia de lavas andesíticas de la formación Huarangal (sector Progreso-Carabaylo), constituida por rocas muy fracturadas y alteradas.



**Fotografía 3.6** Brechas piroclásticas de la Formación Chilca (sector Miramar-Punta Hermosa), que incluye rocas muy fracturadas.

### **Rocas Intrusivas**

Las rocas intrusivas de la región de Lima Metropolitana forman parte de la unidad litoestratigráfica denominada Batolito de la Costa, que incluye dioritas, tonalitas, granodioritas y granitos (fotografías 3.7 a 3.9). El afloramiento se extiende desde las áreas periféricas

de la ciudad, como Atocongo, Villa María, La Molina, El Agustino, Vitarte, La Atarjea, el Cerro San Cristóbal o Amancaes, hasta la serranía de Lima. Suele aparecer como un manto de alteración que incluye bloques esferoidales o núcleos resistentes inscritos en roca alterada fácilmente disgregable.



**Fotografía 3.7** Rocas intrusivas muy fracturadas y meteorizadas en el sector de San Martín-Huaycán (Ate-Vitarte).



**Fotografía 3.8** Afloramiento de rocas intrusivas en el sector de Santa Clara (Ate-Vitarte), presentando un fracturamiento en bloques.



Fotografía 3.9 Rocas intrusivas intensamente fracturadas y medianamente alteradas del sector de Santa Rosa-Quebrada Canto Grande (Jicamarca-San Juan de Lurigancho).

### Depósitos Fluvio-Auviales (Parafluviales) Plio-Cuaternarios

Las rocas más recientes del área de estudio son los depósitos del sistema de abanicos fluviales, de edades plio-cuaternarias (desde hace 5.3 Ma) sobre el que se asienta la mayor parte de Lima y el Callao.

Los depósitos de los abanicos son un conglomerado constituido por una matriz de arenas y arcillas que engloban gravas, cantos y bloques. Su disposición en capas indica una evolución cíclica en la disponibilidad hídrica de las cabeceras fluviales. En algunos lugares, estos depósitos aparecen parcialmente recubiertos por tobas calcáreas asociadas a surgencias, que probablemente estuvieron vinculadas con infiltraciones desde antiguas lagunas superficiales. Estudios de resistividad eléctrica han determinado que el abanico tiene espesores que alcanzan los 400 m en el valle del río Rímac y 600 m en la parte distal, junto a la línea de costa actual (fotografía 3.10).

El origen del abanico es parafluvial, es decir, debido a la alternancia de periodos sin actividad interrumpidos por episodios de grandes

avenidas y aluvionamiento con una recurrencia variable. Su estratigrafía debe de ser un reflejo de la evolución de la red de drenaje, en respuesta a la tectónica, cambios en el nivel del mar y los ciclos glaciales (Le Roux *et al.*, 2000).

Aunque no existen dataciones que permitan conocer las edades de los niveles que pueden diferenciarse en los acantilados de la Costa Verde, las evidencias geomorfológicas de la sierra indican que las montañas y el Altiplano estuvieron cubiertos por capas de hielo durante el Pleistoceno final. Por lo tanto, el deshielo debe haber alimentado los caudales de los ríos durante decenas o cientos de miles de años y estar relacionado con la excavación previa y la sedimentación posterior que explican la presencia de los depósitos que recubren el área de Lima Metropolitana. En ese recubrimiento pueden diferenciarse glaciales, en el piedemonte de los cerros y alineaciones montañosas, y abanicos fluviales en la salida de las quebradas que cortan la vertiente occidental de los Andes. La mayor parte de Lima Metropolitana y el Callao se asienta sobre depósitos de glaciales y abanicos, que alcanzan centenares de metros de espesor (figura 3.5), coincidiendo con los cauces y la desembocadura de los principales colectores fluviales (Chillón, Rímac y Lurín).



Fotografía 3.10 Vista hacia el SE de los acantilados de la Costa Verde en el distrito de Barranco, con indicación de sucesivos episodios deposicionales granocrecientes hacia el techo de la serie (tomado de: Le Roux et al., 2000).

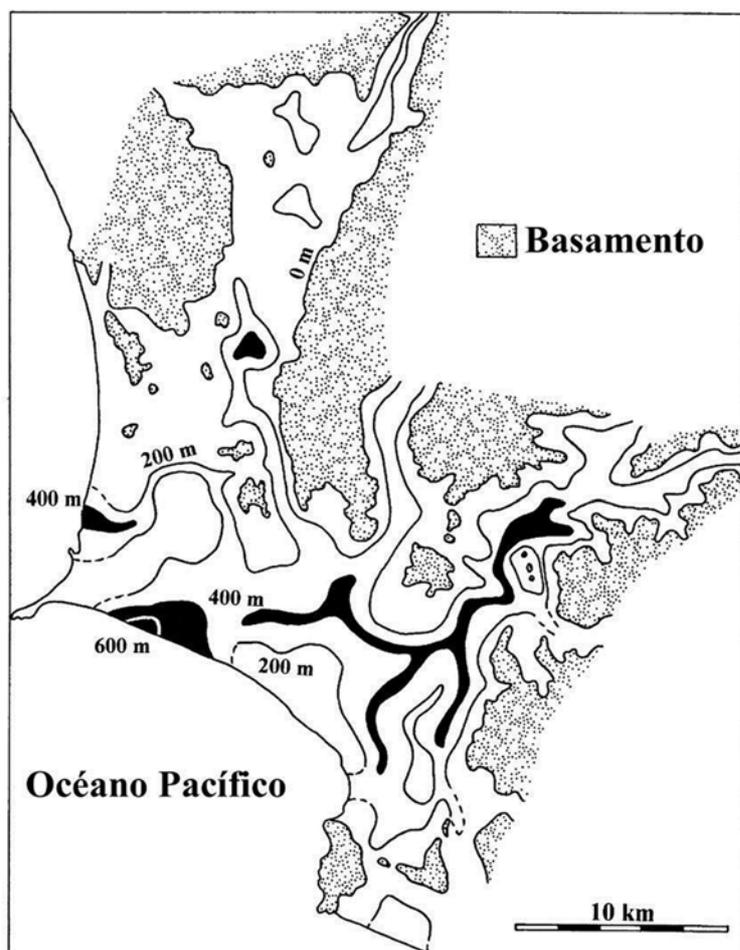


Figura 3.6 Mapa de isobatas (líneas de igual profundidad) de los depósitos del abanico de Lima, deducidas del análisis de la conductividad eléctrica del terreno (tomado de: Arce, 1984).

Los acantilados de la Costa Verde son una sección transversal excavada por el mar en los depósitos de los abanicos fluviales. La erosión ha generado un perfil longitudinal en el que pueden reconocerse paleocauces, aluviones y tobas calcáreas. Esas evidencias podrían analizarse, datarse y correlacionarse con datos de la sierra, registrados en sedimentos de lagos y morrenas y lagunas de origen glaciar. Su investigación proporcionaría información de gran interés para conocer la evolución del clima y sus efectos en esta región de Sudamérica. En la rampa que desciende desde la cordillera hacia el Pacífico y la costa, la aridez debe haber sido la principal característica climática desde hace mucho tiempo, como consecuencia del levantamiento de los Andes y la influencia de la corriente de Humboldt. La sequía permanente se pone de manifiesto en la abundante representación de depósitos de arenas finas, cuya removilización por acción del viento (eólica) requiere condiciones extremadamente secas como las actuales.

### Depósitos Eólicos Holocenos

Los depósitos generados por la redistribución de arenas finas y limos realizada por el viento son muy abundantes en la región de Lima Metropolitana, aunque sólo se conservan donde el desarrollo urbanístico y la construcción de infraestructuras han permitido su

conservación. Son la expresión geomorfológica de las condiciones extremadamente secas que caracterizan el clima regional actual. En algunos casos se trata de formas activas, que se desplazan sobre el territorio. Un ejemplo excelente son las dunas que periódicamente obligan a realizar trabajos de mantenimiento en carreteras y otras estructuras antrópicas (p.ej. en Ancón o Pasamayo). En otros casos, las arenas eólicas pueden estar fosilizadas debajo de depósitos más recientes, que permitieron su conservación a pesar de la gran movilidad y dinamismo que caracteriza a los procesos activados por el viento.

En el Cono Sur de Lima (Villa El Salvador y San Juan de Miraflores) se han encontrado depósitos activos e inactivos. En la paleoduna de Lomo de Corvina (Villa el Salvador), las arenas finas son extraídas para su aprovechamiento como material de construcción y se han instalado numerosos asentamientos humanos (fotografía 3.11). Al mismo tiempo, algunas viviendas aparecen invadidas por dunas activas que sobreyacen a las anteriores. La solución de ese problema debe abordarse mediante una ordenación más eficiente del crecimiento urbano, es decir, mejor adaptada a la actividad de los procesos geomorfológicos. También existen depósitos eólicos similares en el Cono Norte (Ventanilla y Ancón) que ocupan gran parte de los sectores de Pachacútec y Mi Perú en Ancón (fotografía 3.12).



**Fotografía 3.11** Depósitos eólicos del Lomo de Corvina (Villa El Salvador). Obsérvese la estratificación cruzada, producto de los diversos ángulos de deposición de las arenas que forman la duna.



Fotografía 3.12 Depósitos eólicos frente al Peaje de Ancón.

## ESTRUCTURAS TECTÓNICAS

Se denominan de esta manera a las estructuras generadas por la deformación y fracturación de las rocas a causa del levantamiento de la cordillera, como consecuencia del proceso de subducción. La deformación depende de las características de los materiales y la intensidad del levantamiento. Ambos parámetros evolucionan con el paso del tiempo. Si los materiales son suficientemente blandos y/o el levantamiento es moderado, las rocas responden a los esfuerzos tectónicos plegándose. Existen muchos tipos de pliegues y pueden ocurrir en diferentes escalas. En el mapa de estructuras tectónicas de la región de Lima Metropolitana (figura 3.6) se han cartografiado los ejes de pliegues con formas convexas (anticlinales) y pliegues con formas cóncavas (sinclinales). También se han representado las fallas definidas por la fracturación de los materiales cuando son demasiado rígidos o el levantamiento tectónico es intenso. Esas discontinuidades separan los niveles superiores de la corteza en bloques que responden a los esfuerzos y se desplazan con movimientos verticales y horizontales, en escalas de cientos de miles de años.

Como resultado del levantamiento tectónico, el territorio de la vertiente del Pacífico de la cordillera de los Andes está intensamente deformado. La estructura interna de la corteza, hasta decenas de kilómetros de profundidad, consiste en un entramado de plegamientos fracturado por una densa red de fallas. Salvo que se realicen sondeos o campañas de sismica de reflexión, sólo es posible reconocer la parte más superficial de esa estructura donde ha sido expuesta por la erosión y no está recubierta por los depósitos más recientes, de los abanicos aluviales y glaciares plio-cuaternarios.

La estructura de deformación plástica más grande que se ha representado en el mapa de la figura 3.6 es el eje de un anticlinal inferido paralelo a la costa, con una dirección NO-SE. Aflora en Ancón y se dirige hacia el sur, entre el Callao y el eje Comas-Los Olivos-Rímac, y Chorrillos y Surco, todavía más hacia el sur, desapareciendo debajo del mar en Villa El Salvador. Los ejes de otros anticlinales que se han reconocido tienen dimensiones mucho menores, destacando dos alineaciones paralelas NO-SE al este de Villa El Salvador y entre Pachacamac y Manchay. Sólo se puede reconocer un esbozo superficial de esas estructuras plegadas, que en su mayor parte están ocultas por sedimentos más recientes y la densidad del fracturamiento.

La falla más importante que se ha cartografiado es un lineamiento regional con dirección NE-SO, que penetra en la ciudad al este de Comas. El resto de estas estructuras de deformación frágil que aparecen en el mapa tienen menores dimensiones. Se han identificado en las áreas de cumbres de las estribaciones de la sierra, sobre todo en los lugares más accesibles, como las áreas de mayor densidad definidas entre Ancón y Lima, entre Pachacamac y Lurín y en San Bartolo, con direcciones predominantes NO-SE, E-O y N-S.

En la región no hay evidencias directas ni visuales de fallas con movimientos en el Cuaternario, ni de fallas activas (con movimientos en los últimos 15 000 años) susceptibles a generar sismos. Dicha información ha sido corroborada con el Mapa Neotectónico del Perú (Macharé *et al.*, 2009).

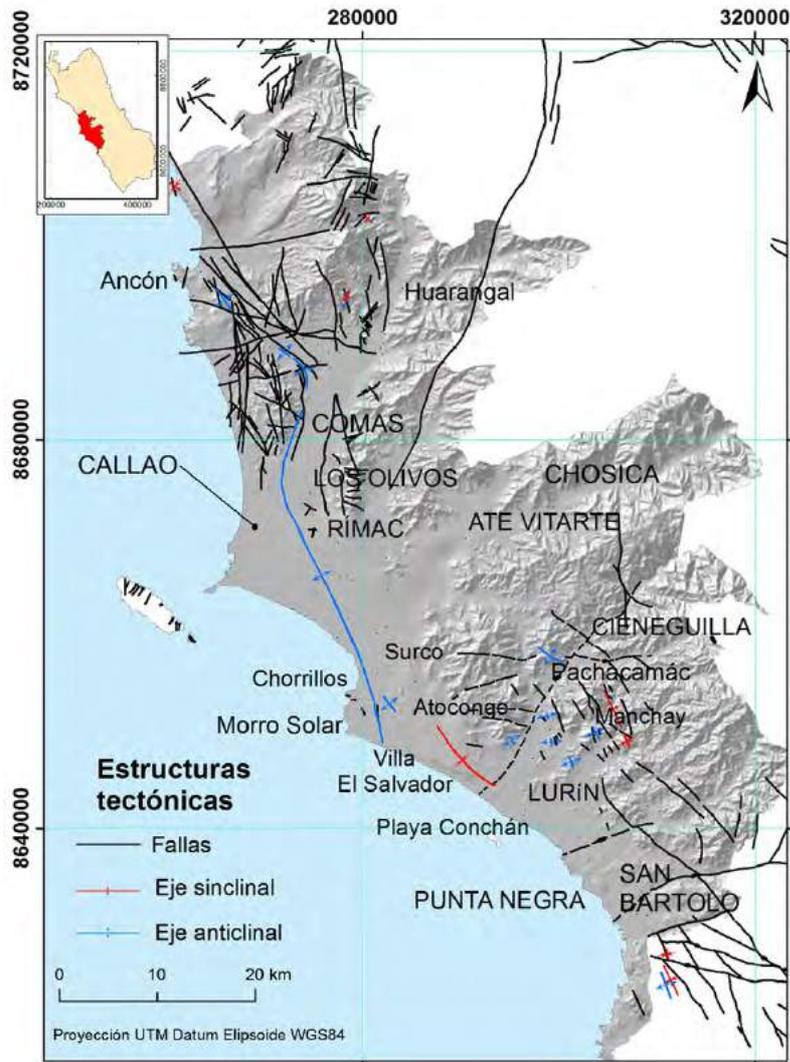


Figura 3.7 Principales estructuras geológicas en Lima Metropolitana (tomado de: Le Roux et al., 2000; Macharé et al., 2009).

## FUNDAMENTOS DE GEOMORFOLOGÍA

Procesos geomorfológicos como los huaycos o las acciones protagonizadas por el viento emplean la fuerza de la gravedad y la energía eólica para modificar el paisaje. El periodo de recurrencia y la competencia para realizar ese trabajo varían enormemente dependiendo de las condiciones climáticas y la preparación previa de las rocas que conforman la superficie terrestre. El hielo de los glaciares, el agua de los ríos y el viento son fluidos de diferente densidad que actúan como agentes de modelado del relieve (agentes morfogenéticos). Su densidad controla su capacidad para erosionar, transportar y sedimentar las partículas de diferente tamaño que encuentran a su paso, como resultado de la desagregación previa de las rocas debida a la meteorización química o física, que también depende del clima. En áreas tectónicamente activas como los Andes Centrales, la preparación previa del material también

puede deberse a una causa endógena: la alteración hidrotermal. El enfoque que mejor permite comprender el origen de las formas del relieve de la región de Lima Metropolitana fue sintetizado por Muñoz (1995) a partir de los trabajos anteriores de Chorley *et al.* (1984) y Tricart & Cailleaux (1972).

Se denomina sistema morfogenético a la especial combinación de los procesos de modelado que ocurre en un espacio determinado como consecuencia de las condiciones bioclimáticas, que incluyen el clima y la presencia o ausencia de vegetación. Las áreas de actuación de los sistemas morfogenéticos se conocen como dominios morfoclimáticos, aunque en sectores caracterizados por un desnivel tan fuerte como la vertiente del Pacífico de los Andes Centrales también pueden denominarse pisos morfoclimáticos. Para poder explicar pormenorizadamente los agentes y procesos que modelan el relieve, Muñoz (1995) distinguió tres subsistemas en

los sistemas morfogénéticos: meteorización, dinámica de vertientes y evacuación.

- El subsistema meteorización incluye los agentes y procesos de modelado que realizan la preparación previa de las rocas, por ejemplo la rotura debida al congelamiento del agua infiltrada (gelifracción).
- El subsistema dinámica de vertientes agrupa los agentes y procesos que efectúan el transporte de partículas a corta distancia, como la especial combinación de gelifracción y caída gravitatoria que en muchos escarpes de la sierra origina taludes de derrubios.
- El subsistema evacuación engloba los agentes y procesos que realizan el transporte de partículas a una distancia mayor, incluso fuera del ámbito espacial en el que se desarrolla el sistema morfogénético. Es el caso de los ríos Chillón, Rímac y Lurín. Son agentes morfogénéticos que durante centenares de miles de años han empleado procesos de suspensión, saltación, rodamiento o arrastre para acarrear arenas, gravas, cantos y bloques desde las partes más altas de la sierra, depositándolos en los abanicos aluviales sobre los que se asientan gran parte de Lima Metropolitana y el Callao.

## EL MODELADO DEL RELIEVE EN LIMA METROPOLITANA Y EL CALLAO

La vertiente del Pacífico de los Andes Centrales es una estrecha rampa que alcanza algo más de 5000 m de desnivel en poco más de 100 km de distancia, donde las precipitaciones se reducen progresivamente hacia la costa, a medida que se incrementa la influencia climática de la temperatura de la superficie del mar. Basándose en la síntesis de Muñoz (1995) y evidencias geomorfológicas encontradas en campo, Úbeda (2011) propuso cinco pisos morfoclimáticos: glaciar, periglaciar, templado-forestal, semiárido e hiperárido en el intervalo de latitud afectado por la influencia climática de la corriente de Humboldt (0-33°S). Dicha clasificación explica cómo se distribuyen los agentes y procesos morfogénéticos desde las cumbres más altas de la sierra hasta la costa del Pacífico. En este apartado se explicarán las directrices que rigen el modelado del relieve en Lima Metropolitana y el Callao, deducidas de sus características climáticas y observaciones realizadas sobre el terreno.

Los paisajes geomorfológicos en este territorio sugieren importantes oscilaciones de humedad durante el Pleistoceno (desde hace ~2 Ma). Indican una alternancia entre condiciones morfogénéticas semiáridas e hiperáridas. De un lado, la presencia de montañas aisladas topográficamente de las estribaciones de la cordillera por la excavación fluvial (por ejemplo el cerro San Cristóbal) es típica de dominios semiáridos como el SE de África, donde los investigadores alemanes las denominaron *inselberg* (monte isla).

De otro lado, el recubrimiento de gran parte del paisaje no antropizado por dunas y otras formas de acumulación eólica de arenas sólo puede ocurrir en el dominio hiperárido, porque la movilización de esas partículas requiere condiciones climáticas extremadamente secas. Esas evidencias revelan cambios en la precipitación en una escala de miles de años, coherentes con datos de los salares del Altiplano boliviano anteriormente ocupados por lagos (Blard *et al.*, 2011) y la gran expansión observada en los glaciares de la cordillera (Zech *et al.*, 2009).

La escasez de precipitaciones es la principal característica actual de la región de Lima Metropolitana y el Callao, comprendida, por tanto, dentro del dominio o piso morfoclimático hiperárido. Desde un punto de vista geomorfológico, su consecuencia principal es la paralización de todos los procesos excepto los eólicos. La meteorización es reducida y sólo se manifiesta mediante procesos de termoclastia y oxidación. Se denomina termoclastia a la rotura de las rocas como consecuencia del calentamiento diferencial de los minerales hasta un umbral de fatiga. Es un proceso muy lento y sólo afecta a algunas litologías. La oxidación es un tipo de alteración química de los minerales cuyas consecuencias se limitan a generar una fina capa en la superficie de las rocas que recibe el nombre de pátina de los desiertos. Sus efectos pueden observarse en las planicies que rodean carreteras y caminos fuera de la ciudad. La dinámica de vertientes se limita a caídas por simple gravedad, un proceso que en el territorio de Lima Metropolitana está muy relacionado con la actividad sísmica. El subsistema evacuación también tiene una competencia escasa, si se compara con otros dominios o pisos morfoclimáticos. Sólo ocurren procesos de erosión, transporte y sedimentación eólica que afectan exclusivamente al intervalo de las arenas finas.

Aunque este es el panorama geomorfológico actual en Lima Metropolitana y el Callao, existen evidencias que indican que, hasta hace algunos miles de años, episodios de precipitaciones intensas fueron más frecuentes que hoy en día. La concentración de la precipitación en episodios esporádicos es la principal característica del dominio morfoclimático semiárido, que parece haber sido el responsable de la mayor parte del modelado del relieve en este territorio. En contraposición con el sistema hiperárido, el sistema semiárido es la asociación de procesos que tiene mayor capacidad de transporte de partículas y, por lo tanto, también de modificar el paisaje. En realidad, la influencia del sistema hiperárido sólo ha consistido en el recubrimiento de algunos sectores por dunas y otras formas de acumulación eólica y, a pesar de que esas formas son relativamente abundantes en el área de estudio, su aportación es claramente menos importante. En el dominio morfoclimático semiárido la meteorización mecánica es intensa y se produce principalmente a través de procesos de hidroclastia y haloclastia. La hidroclastia genera grietas de retracción (*mud cracks*) en la superficie de depósitos de materiales detríticos finos,

como consecuencia de los ciclos de humectación y desecación del suelo, y la haloclastía genera roturas debidas al crecimiento de cristales en el interior de las discontinuidades de las rocas.

La meteorización química también sucede en los medios semiáridos, aunque limitada a procesos de disolución y precipitación. En esos espacios la dinámica de vertientes puede ser relativamente intensa y se manifiesta en forma de flujos de detritos (huaycos) cuando la parte superior de las laderas se satura en agua. En otros casos también pueden ocurrir procesos de caída libre, partícula a partícula, por simple gravedad. En el caso de Lima Metropolitana y el Callao la saturación del suelo puede suceder rápidamente, a causa de la nula presencia de vegetación, y los desprendimientos gravitacionales suelen concentrarse durante los sismos, que son relativamente frecuentes en esta región. Aunque la arroyada en manto (flujos de lodo) sucede muy de vez en cuando, después de largos periodos de recurrencia, tiene una gran capacidad para modificar el paisaje porque se trata de uno de los agentes morfogénicos más agresivos.

Además es necesario destacar el importante papel que parece haber desempeñado la red de drenaje, por lo menos durante el Cuaternario (desde hace ~2 Ma): excavó profundamente el territorio generando una depresión que posteriormente rellenó con abanicos aluviales. Esa actividad ha estado relacionada directamente con las fases de expansión y retracción de los glaciares de la cordillera. Aunque en la actualidad su presencia está restringida a algunas cumbres de la sierra, las evidencias

geomorfológicas que se conservan en las vertientes de las montañas y en el Altiplano, en forma de morrenas, indican que las masas de hielo tuvieron una extensión mucho mayor en el pasado.

## UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

### Formas del relieve generadas por el modelado de las estribaciones de la cordillera

En los mapas se ha denominado estribaciones de la cordillera a las líneas de cumbres que descienden desde los Andes Centrales occidentales hacia la costa del océano Pacífico. Aunque sus vertientes son el resultado de la erosión de la cordillera durante el Cuaternario (desde hace ~2 Ma), la geomorfología del territorio indica que las condiciones morfoclimáticas semiáridas deben haber sido predominantes a lo largo de ese periodo. Como se trata de la asociación de agentes y procesos morfogénicos con mayor capacidad erosiva, cabe suponer que los relieves actuales tan sólo deben de reflejar el modelado durante las últimas dos o tres decenas de miles de años.

Las estribaciones de la cordillera se han clasificado en dos grandes tipos, por encima y por debajo de los 300 m de altitud: montañas (>300 m) y colinas y lomas (<300 m, fotografía 3.13). Dichas unidades se han dividido atendiendo a su litología en ocho subunidades: montañas intrusivas, montañas sedimentarias, montañas volcánicas y volcánico-sedimentarias, colinas y lomas intrusivas, colinas y lomas sedimentarias, colinas y lomas volcánicas y colinas y lomas volcánico-sedimentarias.



Fotografía 3.13 Colinas modeladas en rocas intrusivas en el sector de Horacio Zevallos (Ate-Vitarte).

La geomorfología fluvial está escasamente desarrollada en el fondo de los valles de los ríos Chillón, Rímac y Lurín, a pesar de que el contexto regional parece idóneo para los ciclos de aluvionamiento y encajamiento que construyen en otros dominios morfoclimáticos amplias llanuras aluviales y después las disectan. En esos ámbitos, el paisaje registra una sucesión de condiciones periglaciares y atlántico-húmedas en otros tantos niveles de terrazas fluviales, correspondientes a llanuras aluviales cada vez más viejas que quedaron colgadas topográficamente con respecto al nivel de base a medida que ocurrió el encajamiento del río.

En la región de Lima Metropolitana, sin embargo, apenas se han diferenciado niveles de terrazas, cuya extensión está limitada a un estrecho borde entorno a los lechos fluviales. En su lugar, la mayor parte del piedemonte de las estribaciones andinas está ocupado por abanicos aluviales y glaciais.

### Abanicos aluviales

Los abanicos aluviales son formas del relieve de origen deposicional que se acumulan en el contacto de relieves destacados con superficies llanas, donde los cauces se ensanchan y la pendiente se atenúa, siempre que no exista un agente de evacuación

suficientemente competente para impedir su conservación. En planta se asemejan a un segmento cónico que se irradia pendiente abajo (figura 3.7).

En el mapa geomorfológico de Lima Metropolitana y el Callao se han cartografiado sistemas de abanicos aluviales de grandes dimensiones vinculados con los ríos Chillón, Rímac y Lurín, cuyas cabeceras se encuentran en las cumbres más altas de la sierra de la región de Lima. Se trata de las unidades que han sido disectadas por la erosión marina generando los acantilados de la Costa Verde, y deben de reflejar fluctuaciones en el caudal relacionadas con las oscilaciones en el tamaño de los glaciares de la cordillera.

También se han cartografiado otros abanicos de menores dimensiones en los afluentes de los ríos Chillón, Rímac y Lurín. En este caso, probablemente reflejen variaciones de caudal debidas a los cambios en las precipitaciones, porque las cabeceras de esas quebradas están en las estribaciones de la cordillera que nunca estuvieron ocupadas por masas de hielo. Por esa razón, el tramo final del río Lurín se desarrolla entre glaciais y no ha generado grandes sistemas de abanicos, a diferencia de lo que sucede en los ríos Chillón y Rímac, procedentes de los sectores más elevados de la cordillera.

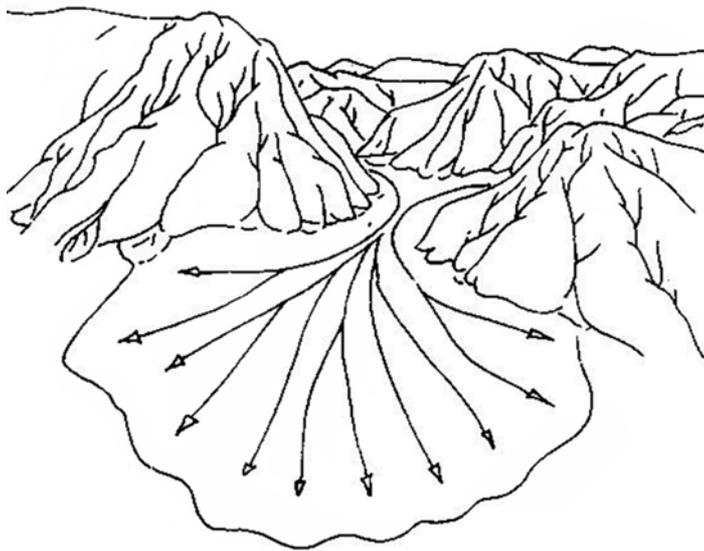


Figura 3.8 Esquema idealizado del funcionamiento de un abanico aluvial en la salida de una quebrada, con indicación de las direcciones de flujo (tomado de: Pedraza, 1996).

## Glacis

Los glacis (figura 3.8 A) son superficies suavemente inclinadas generadas por la arroyada en manto, alimentada desde un relieve destacado (impluvium) que actúa como área de captación de precipitaciones relativamente abundantes pero muy concentradas en el tiempo. La clave para que se desarrollen glacis es que los periodos de recurrencia sean suficientemente prolongados para impedir la conservación de los surcos generados por la arroyada en el episodio anterior. De ese modo, en el episodio siguiente la arroyada no se concentra y las precipitaciones se transforman en flujos turbulentos con gran poder erosivo. Si las mismas condiciones se mantienen durante suficiente tiempo pueden provocar la coalescencia de los glacis, la desaparición de los impluviums y la

aparición de los relieves aislados denominados inselberg (figura 3.8 B).

Se han cartografiado glacis en la base de la mayor parte de las estribaciones de la cordillera, en torno al cauce principal de los ríos Chillón y Rímac donde aparecen disectados por la erosión fluvial. También en los márgenes del río Lurín (fotografía 3.14), donde la menor competencia de la erosión fluvial ha permitido su conservación. En los demás sectores, donde se ha detectado su presencia, los glacis identificados están parcialmente recubiertos por depósitos eólicos o abanicos aluviales, lo cual muestra la alternancia de condiciones morfoclimáticas más favorables o menos propicias para su desarrollo.

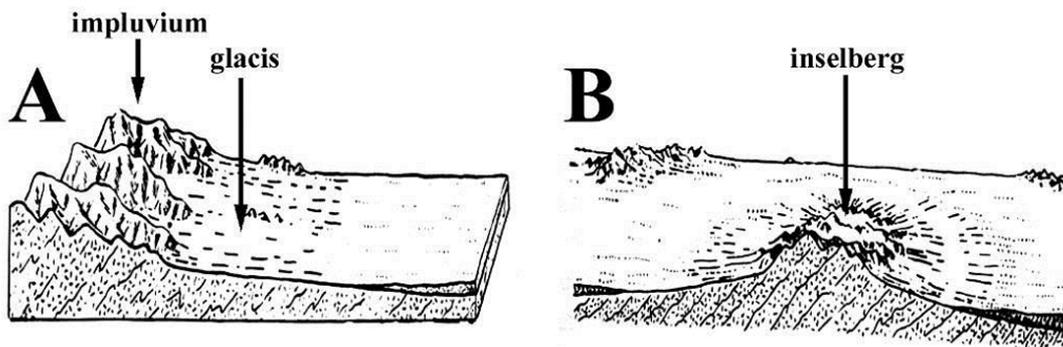


Figura 3.9 Representación idealizada del impluvium de un glacis (A) y un inselberg (B), según se explica en el texto (modificado de: Tricart, 1981).



Fotografía 3.14 Relieves con impluvium y glacis en Pachacamac, en el valle del río Lurín.

### Cárcavas

Cuando se incrementa la frecuencia de los episodios de precipitación, los procesos de meteorización no disponen de tiempo suficiente para erosionar o rellenar los surcos generados por la escorrentía. En esas condiciones, la arroyada tiende a concentrarse, generando redes dendríticas de quebradas que confluyen en un colector principal y reciben la denominación de cárcavas (figura 3.9). La formación de cárcavas implica una

ampliación notable del área de captación y los episodios de precipitación se traducen en cuantiosos caudales esporádicos que frecuentemente generan un abanico en la desembocadura de las quebradas en el colector principal. En el área de estudio se han detectado muchas cárcavas, pero su amplitud espacial es tan reducida (fotografía 3.15) que no se diferencian porque la escala de los mapas es demasiado grande. Sin embargo, pueden identificarse en la versión digital, que se encuentra a disposición de los usuarios.

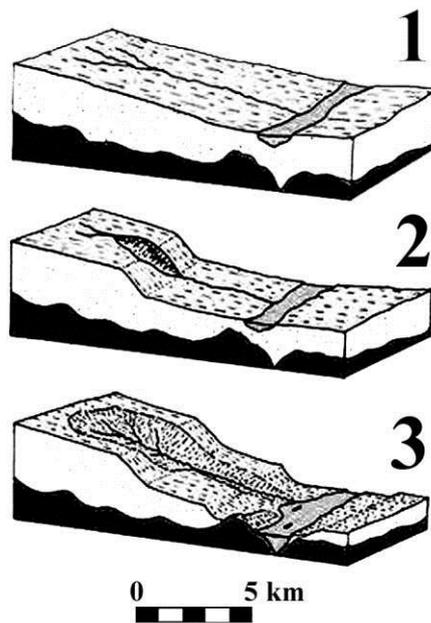


Figura 3.10 Representación idealizada de la génesis y desarrollo de una cárcava (tomado de: Santiago, 2009).



Fotografía 3.15 Cárcavas y surcos en laderas de cerros en Ate-Vitarte.

### Dunas y otras formas de acumulación eólica

La capacidad del viento para incorporar partículas al flujo y transportarlas hacia otro lugar afecta exclusivamente a las arenas finas y requiere condiciones de absoluta aridez. La deposición suele suceder a sotavento de relieves u obstáculos como consecuencia de la disminución de la turbulencia del fluido, pero las formas de origen eólico pueden adoptar una variada tipología dependiendo de las variaciones en el sentido del flujo (figura 3.10). En los mapas geomorfológicos, las unidades de origen eólico están

extensamente cartografiadas al norte y al sur de Lima Metropolitana (fotografía 3.16). Aparecen recubriendo los abanicos aluviales y glaciares que se encuentran al pie de los relieves de las estribaciones de la cordillera. Esa disposición confirma que el clima regional ha tendido a ser más árido durante los últimos miles de años, porque las formas infrayacentes corresponden al dominio morfoclimático semiárido, en tanto que su recubrimiento es claramente hiperárido. La ausencia de formas de acumulación eólica en el sector central-occidental del mapa puede atribuirse a su desaparición como consecuencia de la expansión urbana durante los últimos siglos.

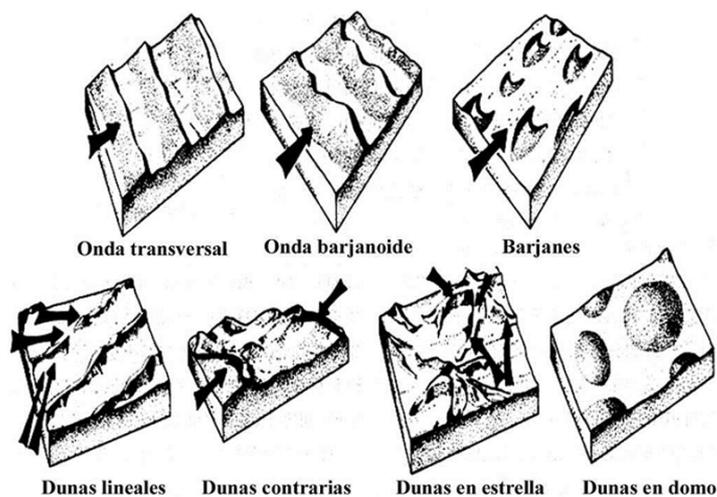


Figura 3.11 Tipos de dunas según el sentido del viento, que se indica con flechas de color negro (modificado de: McKee, 1979).



Fotografía 3.16 Duna aislada en Pachacútec, Ventanilla.

### Taludes y conos de detritos

Los conos de detritos son las acumulaciones discontinuas de materiales generados al pie de algunos escarpes como consecuencia de procesos de caída libre por simple gravedad, y los taludes de detritos son las formas generadas por la coalescencia de conos en el mismo lugar (figura 3.11). En algunas regiones, por

ejemplo en áreas de alta montaña, los desprendimientos suelen ser favorecidos por otros procesos, como la gelifracción. Sin embargo, en Lima Metropolitana, donde la extrema aridez es la principal característica del clima, los procesos ligados a la presencia de agua son bastante escasos (fotografía 3.17) y los episodios de caída libre deben de estar relacionados en mayor medida con lluvias excepcionales y sismos.



Figura 3.12 Taludes y conos de derrubios (modificado de: Selby, 1982).



Fotografía 3.17 Talud de detritos en el asentamiento humano Hacia el Progreso (San Juan de Lurigancho).

## Formas de origen marino

En los mapas geomorfológicos se han cartografiado tres tipos de unidades causadas por acciones erosivas o deposicionales de origen marino: borde litoral y playa, acantilados y terrazas marinas.

El borde litoral actual se debe al nivel que tiene el nivel del mar hoy en día. No obstante, debe tenerse en cuenta que esa configuración depende de otros factores, no sólo del levantamiento tectónico propiciado por el proceso de subducción, sino también de la cantidad de agua retenida en los continentes en forma de masas de hielo. Por esa razón, en una escala de miles o decenas de miles de años, el borde litoral puede haber experimentado considerables variaciones. A modo de ejemplo puede señalarse que entre los 26

y 19 mil años (Ma) los océanos alcanzaron su nivel medio mínimo de los últimos 50 Ma, con un descenso de ~130 m con respecto al presente, deducido por separado por tres modelos independientes (Clark *et al.*, 2009; Lambeck & Chappell, 2001; Yokoyama *et al.*, 2000). Las playas y bahías (fotografía 3.18) son el resultado de la deposición de material detrítico transportado por el mar. Aunque la fracción predominante suelen ser las arenas finas, en el caso de Lima Metropolitana también son especialmente abundantes las partículas de mayor tamaño (gravas, cantos y bloques) procedentes en parte de desprendimientos de los acantilados de la Costa Verde, constituidos por los depósitos de los abanicos aluviales de los ríos Chillón y Rímac.



Fotografía 3.18 Bahía de Ancón mirando al sur.

Las terrazas marinas son superficies suavemente tendidas hacia el mar que en otras regiones del planeta se han denominado rasas (Muñoz, 1995). Su origen tiene que ver con la elevación de plataformas de abrasión, anteriormente submarinas, causada por movimientos en la vertical durante el periodo Cuaternario (desde hace ~2 Ma).

## Otras unidades cartografiadas

El resto de formas representadas en el mapa geomorfológico corresponde al desarrollo de otros procesos naturales, es el caso de los humedales (por ejemplo los de Ventanilla, fotografía 3.19). También se presentan procesos antrópicos como las actividades económicas humanas, en el caso de las canteras (fotografía 3.20).



**Fotografía 3.19** Humedales de Ventanilla.



**Fotografía 3.20** Cantera abandonada, rellena con desmote y basura, sobre ella se han asentado viviendas (sector Las Américas-Ate Vitarte).



# CAPÍTULO IV

## PELIGROS GEOLÓGICOS Y GEOHIDROLÓGICOS

POR: SANDRA VILLACORTA, LUCILE TATARD, SEGUNDO NÚÑEZ & WALTER PARI

Se consideran peligros naturales a todos los fenómenos terrestres que debido a su ubicación, severidad y frecuencia, pueden afectar de manera adversa a los seres humanos, sus actividades o infraestructura (UNISDR, 2009).

Por las características de su territorio, Lima Metropolitana y el Callao están expuestos a diversos tipos de peligros geológicos y geohidrológicos (hidrometeorológicos) que de no ser considerados en las acciones de prevención de desastres afectarían considerablemente a la gran población que alberga. El peligro geológico que causaría mayor afectación está relacionado a la alta actividad sísmica derivada de la interacción de las placas tectónicas (Nazca y Sudamericana), a la que se asocian los tsunamis; además de eventos detonados por éstos, como derrumbes, desprendimientos de rocas, licuación de suelos, flujos secos, entre otros. Sin embargo, existen otros procesos con recurrencia en la ciudad capital como los movimientos en masa y las inundaciones. Procesos menos frecuentes, pero no menos importantes por su grado de afectación, son los arenamientos y los procesos de erosión (de laderas y fluvial).

En este capítulo se analizarán cómo ocurren estos procesos con ejemplos ilustrativos; asimismo, por ser los procesos de movimientos en masa un peligro constante en Lima Metropolitana y el Callao, se evaluará la susceptibilidad por movimientos en masa; y, como complemento, la susceptibilidad a la erosión fluvial, inundaciones y arenamientos.

### CAUSAS DE OCURRENCIA

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

### Factores naturales

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

- **Parámetros intrínsecos:** a) **Condiciones de suelo y roca:** la presencia de depósitos superficiales sueltos, suelos saturados de agua por antiguos sistemas de saneamiento (por ejemplo, en Chosica), discontinuidades y zonas de alteración en las rocas en los cerros que rodean Lima (por ejemplo, en Ate-Vitarte y San Juan de Lurigancho), etc. favorecen la generación de peligros geológicos. b) **Pendiente:** para el caso de los movimientos en masa, a mayor pendiente mayor es el peligro, lo observamos en los asentamientos humanos que se ubican en los conos de Lima Metropolitana, por ejemplo en San Juan de Miraflores (fotografía 4.1). Sin embargo, para el caso de las inundaciones y los tsunamis, los eventos están asociados a pendientes muy bajas.
- **Parámetros externos:** a) **Precipitaciones pluviales:** la cantidad y duración de la lluvia ocasionan la movilización de material suelto e inestable como ocurrió en las quebradas de Pedregal, Quirio (1983, 1994 y 2012), Huaycoloro (1998 y 2002), Collique (2010), etc., que fueron eventos asociados a lluvias excepcionales como las del fenómeno ENSO (capítulo 2). En el caso de las inundaciones, las lluvias son una de las causas principales de su ocurrencia. b) **Actividad sísmica:** un sismo genera vibraciones que pueden desestabilizar las laderas. A mayor intensidad, duración y frecuencia de la actividad sísmica, mayor es el peligro; por ejemplo, los sismos de 1966 y 1974 provocaron fuertes caídas de rocas y derrumbes en las laderas de los cerros de Ate-Vitarte, San Juan de Lurigancho y Comas. Se destaca que los sismos producidos en el mar pueden desencadenar tsunamis.



Fotografía 4.1 Fuerte pendiente de laderas que muestran bloques sueltos removidos por gravedad. Sector La Colina (San Juan de Miraflores).

### Factores antrópicos (actividad humana)

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

- **Actividades que contribuyen a la inestabilidad de las laderas.** Las excavaciones para la construcción de viviendas, edificios, escuelas, puentes, carreteras, entre otros, contribuyen a la inestabilidad de las laderas. Ejemplos de estas actividades los encontramos en los asentamientos humanos que circundan Lima, y en la construcción de edificios en áreas urbanas al borde de acantilados (caso de la Costa Verde). También es el caso de las viviendas ubicadas sobre los acantilados que conforman las terrazas del río Rímac. La construcción de carreteras debilitan los materiales (suelos y rocas), si no se realizan labores de desquinche o perfilado del talud de corte se presentan casos como el de Cerro Partido (fotografía 4.2). Las actividades extractivas que producen socavones y canteras posteriormente rellenas para la construcción de viviendas también han producido desastres, como el caso de las viviendas ubicadas sobre los antiguos socavones del distrito de El Agustino, que produjo asentamientos del terreno y hundimientos en el año 2003 (fotografía 4.3).

• **Prácticas inadecuadas de construcción.** El uso de terraplenes artesanales inestables (pircas, llantas, costalillos de arena, etc.) contribuyen a incrementar el grado de vulnerabilidad de las poblaciones. Muchas viviendas de asentamientos humanos de Lima Metropolitana, como las ubicadas en La Rinconada (San Juan de Miraflores), San Juan de Lurigancho o Chosica han sido levantadas sobre pircas, bases artesanales que son propensas a los derrumbes por sismicidad, sobrecarga o humedecimiento del terreno. Las pircas están constituidas por bloques de roca y gravas apilados sobre una ladera con el fin de nivelar el terreno con respecto a la pendiente (fotografía 4.4). Los costalillos de arena o muros de llantas (fotografía 4.5) no proporcionan ninguna seguridad ya que se revientan o desmoronan. Son sobrecargas debido a construcciones en laderas: rellenos, acumulación de materiales, muros (fotografía 4.6), reservorios de agua, etc. Algunos terraplenes construidos sobre material de relleno donde existían depresiones naturales pueden ser afectados por asentamientos y hundimientos del terreno, constituyen áreas muy inestables en caso de sismos de gran magnitud y representan el mayor peligro en Lima Metropolitana. Debemos recordar que en el sismo de Haití del año 2010, la mayor destrucción y mortandad se produjo en las laderas de los cerros que circundaban la capital de esta isla caribeña (fotografía 4.7).



Fotografía 4.2 Los cortes de talud para la carretera pueden desestabilizar la masa rocosa cuando hay presencia persistente de fracturas. Cerro Partido (Ate).



Fotografía 4.3 Colapso de viviendas del asentamiento humano 09 de Octubre (El Agustino) construidas sobre antiguos socavones de minas. El suceso se produjo en el año 2003.



Fotografía 4.4 Pirca sobre la que se ha levantado una vivienda de madera y calamina en Pedregal Alto (Chosica). A su lado, un bloque de roca de 3.5 m proveniente de la parte alta.



Fotografía 4.5 Viviendas de madera y calamina sobre bases de muros de llantas en La Rinconada (San Juan de Miraflores).



Fotografía 4.6 Muro de contención y fuerte pendiente de talud de corte en el asentamiento humano José Carlos Mariátegui (San Juan de Lurigancho).



Fotografía 4.7 Colapso y hundimiento de viviendas en Haití debido al sismo de 2010 (tomado de: <http://www.noticiassin.com>).

- **Ocupación inadecuada del territorio.** La población se hace más vulnerable cuando se ubica en terrenos susceptibles a sufrir los efectos de los procesos naturales, es decir en cauces de ríos y quebradas (fotografía 4.8), laderas inestables, depósitos de movimientos en masa antiguos, zonas arenosas y dunas; al pie de los acantilados, al pie de los taludes de corte de carreteras, borde de ríos y quebradas; en zonas de antiguos rellenos sanitarios, en canteras de extracción de materiales, entre otros. Esto sucede porque no se consideran los factores geológicos, climáticos, procesos geodinámicos, etc. al momento de elegir un lugar para vivir. Se dan casos en que las autoridades locales, regionales y nacional permiten a los pobladores que se ubiquen en estas zonas, inclusive proporcionándoles servicios básicos (luz, agua y desagüe).

En Lima Metropolitana existen muchos ejemplos de estas malas prácticas de uso del territorio, como en asentamientos humanos de la duna Lomo de Corvina, la Variante de Pasamayo, las dunas y mantos de arena en Ventanilla; antiguos rellenos sanitarios como Susana Higuchi (Chorrillos), Shangrila (Puente Piedra); el cauce de antiguas quebradas como Canto Grande y Media Luna en San Juan de Lurigancho; así como en las viviendas ubicadas al pie de acantilados y laderas del Morro Solar, cerro San Cristóbal y las urbanizaciones en ambas márgenes de los ríos Chillón, Rímac y Lurín; en el borde de los acantilados del río Rímac en San Martín de Porres; así como en los edificios y viviendas construidos en el borde del acantilado de la Costa Verde; en terrenos arenosos como La Molina, Ventanilla, Villa El Salvador, Nueva Esperanza, entre otros.



Fotografía 4.8 Quebrada seca en Huaycán, las líneas de color amarillo muestran el sentido del flujo de detritos, las de color rojo (A) indican las viviendas construidas en pleno lecho de la quebrada.

## INVENTARIO DE PELIGROS GEOLÓGICOS Y GEOHIDROLÓGICOS

Desde la década de 1980 se acentuó la migración de población proveniente de las provincias del interior del país hacia Lima Metropolitana y el Callao, con lo cual se incrementó la ocupación de terrenos no necesariamente aptos para levantar viviendas; y, en consecuencia, aumentó el número de damnificados y pérdidas a causa de peligros geológicos y geohidrológicos.

A continuación, se muestra una estadística de los procesos inventariados y evaluados dentro del área de estudio.

### Estadística de los procesos inventariados

A la fecha se han inventariado un total de 848 procesos geológicos en la zona estudiada (figura 4.1). De dicho inventario se obtuvo una estadística, resumida en el gráfico 4.1, donde es notoria una mayor frecuencia de caídas (caídas de rocas y derrumbes) con un porcentaje de 47 %, y flujos (flujos de detritos o huaycos, y de

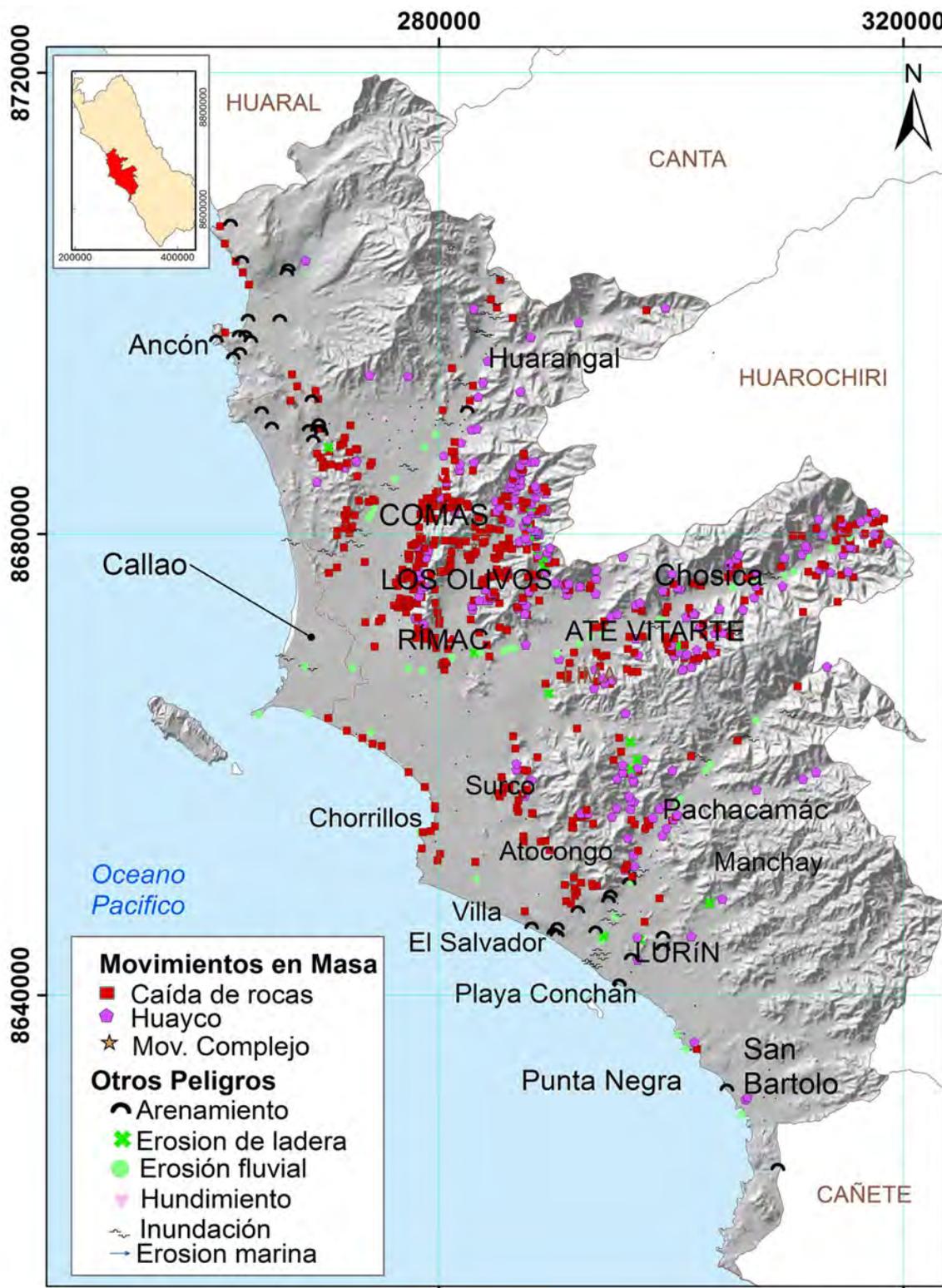


Figura 4.1 Inventario de peligros geológicos en Lima Metropolitana y el Callao al año 2012.

lodo) con el 36 % del total de los procesos inventariados. En menor porcentaje, pero no menos importantes por los daños ocasionados, se encuentran los procesos de inundación, arenamiento, hundimientos y erosión (en conjunto 16 %). Sin embargo, los procesos que ocasionarían más daños en función a

la población y área afectada y gravedad de los daños, en Lima Metropolitana y el Callao, son los sismos, que además son causantes de otros procesos como tsunamis y licuefacción de suelos. Ambos procesos se describen más adelante.

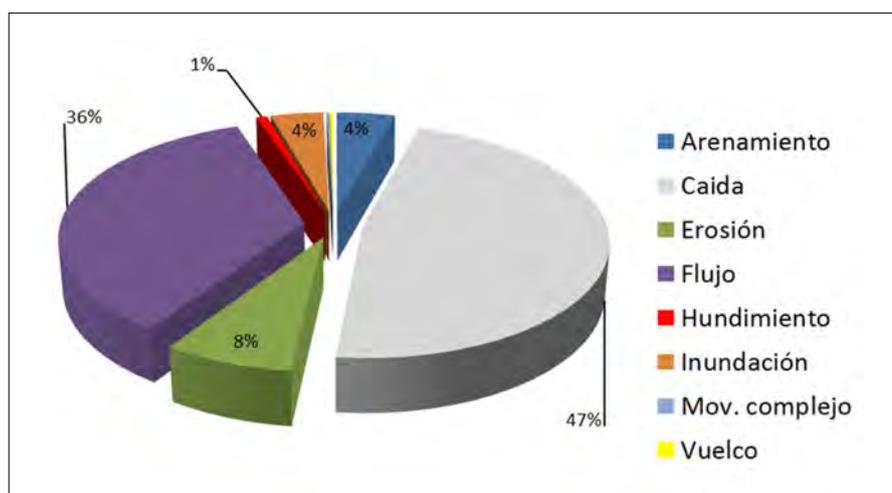


Gráfico 4.1 Porcentaje de peligros geológicos registrados en Lima Metropolitana y El Callao.

## PELIGROS GEOLÓGICOS Y GEOHIDROLÓGICOS REGISTRADOS EN LIMA METROPOLITANA Y EL CALLAO

A continuación, se describen los diferentes peligros geológicos y geohidrológicos registrados en Lima Metropolitana y el Callao.

### Movimientos en masa

Los movimientos en masa son procesos activados principalmente por la gravedad. En el área considerada para su estudio, los movimientos en masa más frecuentes son el desprendimiento de rocas, los derrumbes, los flujos (huaycos) y los hundimientos. La tipología empleada es la señalada en el documento *Movimientos en masa en la región andina: Una guía para la evaluación de amenazas* (PMA: GCA, 2007).

**Desprendimiento de rocas.** Es la separación de una masa rocosa de un talud. Puede ocurrir en caída libre, a través de saltos, rodando, etc. Se produce en macizos rocosos considerablemente fracturados y alterados que producen numerosos bloques libres e inestables (fotografía 4.9). Aunque la cantidad de material desprendido puede ser escasa, la velocidad del movimiento se incrementa con la pendiente.

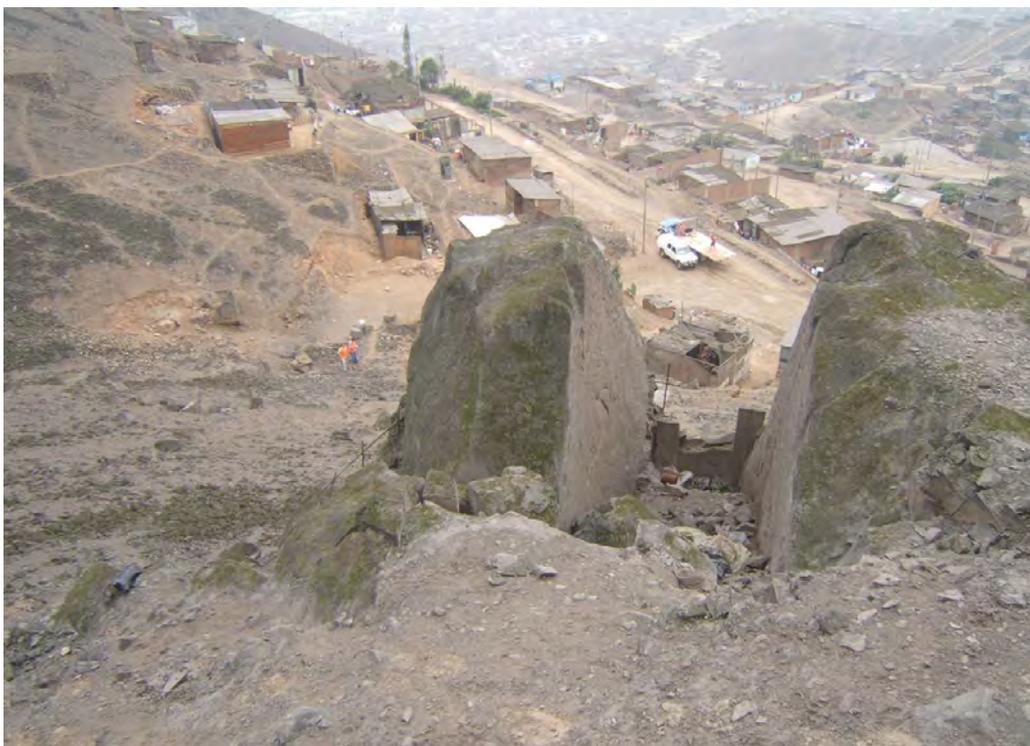
Estos fenómenos se presentan en los distritos que tienen laderas de moderada y fuerte pendiente donde los bloques sueltos caen

por gravedad (fotografía 4.10) o por vibraciones sísmicas. También están asociados a los cortes de talud para la construcción o mejora de carreteras, viviendas u otras edificaciones; esto se observa en Comas, Independencia, San Juan de Lurigancho, San Juan de Miraflores, Villa María del Triunfo, entre otros.

**Derrumbe.** Es el desplome de material a partir de una superficie de rotura irregular (fracturas de las rocas, terrenos sueltos, corte de carreteras). Son muy repentinos y extremadamente rápidos. Ejemplos de este tipo de procesos se pueden observar en las laderas de los asentamientos humanos que circundan Lima Metropolitana, en la Costa Verde, entre otros.

En el caso específico de la Costa Verde, los problemas de desprendimientos de rocas y derrumbes de los taludes tendrían varias causas, entre las que se pueden mencionar las siguientes (modificado de los estudios de Guzmán *et al.*, 1997 y Carrillo, 1989, sobre la estabilidad del acantilado de la Costa Verde):

- La fuerte pendiente de los taludes naturales y de corte que algunas veces sobrepasan los 80°.
- Un estado de compacidad bajo combinado con humedad importante en el material que conforman los acantilados. Ante movimientos sísmicos, los bloques sueltos de este material pueden ceder y afectar a los vehículos que recorren la avenida Costanera.



Fotografía 4.9 Bloque de roca suelto, que podría afectar a las viviendas ubicadas en la parte baja, sector de Nuevo Progreso-Sector 39 (Carabayllo).



Fotografía 4.10 Asentamiento humano Villa Progreso, asentado sobre el depósito de antiguas caídas de rocas (San Juan de Miraflores).

- El flujo incontrolado de agua debido a filtraciones provenientes de la rotura de los sistemas de agua y desagüe en mal estado.
- La presencia de materiales finos poco consolidados o sueltos en forma de lentes intercalados en el conglomerado.
- La presencia de conos de escombros y rellenos en la coronación o pie de taludes, o forman parte de ellos.
- Los efectos de vibración del suelo debido al tránsito de vehículos, cargas repetidas o sismos severos.
- Las labores de excavación de sótanos profundos con efectos de sobrecarga de las edificaciones vecinas, etc.
- La presencia de horizontes interestratificados de material arenolimoso que, al humedecerse por efecto de la brisa marina, pierden su cohesión y ángulo de reposo.
- El efecto del retroceso del litoral debido a la erosión marina.

**Flujos.** Se llama así al proceso que involucra el movimiento de material rocoso o suelo a manera de un fluido. Puede ser rápido o lento, saturado o seco. De acuerdo al tipo y propiedades del material movilizado, humedad y velocidad, puede clasificarse en flujo de detritos, flujos de lodo, avalancha de detritos, entre otros (PMA: GCA, 2007).

Los flujos de detritos o huaycos pueden ser masivos o canalizados y pueden trasladar fragmentos rocosos de grandes dimensiones. Frecuentemente los flujos ocurren por efecto combinado de la gravedad y la precipitación que ocasiona la pérdida de cohesión interna del suelo, lo cual hace que se desplace y deposite en la parte baja de las laderas o cauces de quebradas. Los más rápidos son los más peligrosos.

Los flujos de lodo se caracterizan por poseer una mayor fracción arcillosa con agua suficiente para permitir fluir el material. Algunos ejemplos se pueden observar en las quebradas tributarias a la quebrada Tinajas (Pachacamac) y Collique (Comas).

La mayoría de lugares donde se producen flujos de detritos o de lodo en Lima Metropolitana corresponden a quebradas secas que se activan, en su cuenca alta, por lluvias de carácter excepcional o las producidas durante el fenómeno ENSO. Por ejemplo, las quebradas Huaycoloro y Media Luna (fotografía 4.11) en San Juan de Lurigancho; las quebradas Huaycán, Quirio, Pedregal y La Cantuta en Chosica (durante los años 1982, 1983, 1998 y 2012); las quebradas Progreso y Collique (fotografía 4.12) en Comas, entre otras.



Fotografía 4.11 Flujo de detritos en la quebrada Media Luna, que afectó al Anexo 22 de Jicamarca en el año 2000 (fotografía: Asociación de Comunidad Campesina de Jicamarca, 2000).



Fotografía 4.12 Flujo en la quebrada Collique, que el 2 de enero del 2010 afectó a viviendas en el distrito de Comas (tomado de: [www.rpp.com.pe](http://www.rpp.com.pe)).

**Hundimiento.** Es el desplazamiento vertical brusco de una masa de suelo o roca. Cuando las velocidades son muy rápidas (m/s) se habla de colapso y cuando son muy lentas (metros o centímetros/año) se habla de subsidencia. Puede ser producido por karstificación, meteorización física o química de una estructura que alberga una cavidad, entre otros (PMA: GCA, 2007). También puede ser inducido por destrucción de una cavidad subterránea producto de actividades mineras como en el caso de El Agustino (fotografía 4.3) o por las variaciones en el nivel freático como consecuencia de la sobreexplotación de acuíferos (Hauser, 2000).

Otros lugares de Lima Metropolitana donde se han registrado hundimientos son Santa Clara, Chorrillos, Morales Duárez (Lima) y Puente Piedra.

### Inundaciones

Una inundación es el anegamiento temporal de zonas normalmente emergidas debido a que los volúmenes de agua sobrepasan la capacidad normal de conducción de ríos o quebradas. Son eventos

recurrentes en la historia dinámica de un río y están asociados a fuertes y continuas precipitaciones pluviales como las registradas durante el fenómeno ENSO.

Ejemplos destacables son las inundaciones en la cuenca baja del río Rímac del año 1982-1983, que afectaron al sector de Carmen de la Legua, o las inundaciones producidas en febrero de 1998 y marzo del 2009 en el río Chillón, que afectaron a la urbanización San Diego en San Martín de Porres. Este último suceso indicaría que, a pesar de que los eventos de ENSO de 1997-98 y 1982-83 desencadenaron procesos de inundación, erosión fluvial y flujos de detritos (huaycos), los mismos también podrían producirse en épocas normales.

Áreas susceptibles a inundaciones en Lima Metropolitana son Chaclacayo, Carapongo (fotografía 4.13), Pariachi (Ate), San Diego y Chuquitanta (San Martín de Porres), Tambo Río (Comas), Manchay (Pachacamac) y Cieneguilla, entre otras. En el Callao, estos procesos se han registrado en Gambeta y Puente del Ejército.



Fotografía 4.13 En agosto del 2011, el aumento del caudal del río Rímac destruyó puentes peatonales en Carapongo (Chosica). Fotografía: MLM, 2013.

## Erosión

El fenómeno de erosión es poco frecuente en las laderas que rodean a Lima Metropolitana; sin embargo, se puede observar erosión en los acantilados de la Costa Verde, o asociado a la acción fluvial de los ríos Chillón, Lurín y Rímac. Se han identificado tres tipos: erosión de laderas, erosión fluvial y erosión marina.

Erosión de laderas. Este fenómeno ocurre por el paso de las aguas sobre las laderas y puede preceder a otros procesos como

los derrumbes. Se encuentra asociada a materiales propensos a desagregarse como rocas meteorizadas, alteradas y muy fracturadas o fragmentos rocosos sueltos desprovistos de vegetación. Puede ser de tipo laminar, en surcos o cárcavas.

Si se habla de Lima Metropolitana y el Callao, los mejores ejemplos de acarcavamientos se producen en los acantilados de la Costa Verde (fotografía 4.14) donde incluso este proceso ya ha afectado algunas edificaciones construidas en su parte superior.



Fotografía 4.14 Acarcavamiento y derrumbe en los acantilados de la Costa Verde, a la altura de Miraflores.

Erosión fluvial o de riberas. Es el desgaste de las riberas de los ríos asociado mayormente a la velocidad de circulación, forma y resistencia de las rocas o depósitos aledaños al curso de agua. También está relacionado con descargas o avenidas máximas de lluvias en la parte superior de las cuencas.

Ejemplos de este fenómeno se observan en el río Rímac, a la altura del Puente del Ejército, donde los pobladores construyen sus precarias viviendas al borde del acantilado formado por la profundización del río Rímac (fotografía 4.15). Otro ejemplo es el sector de Carapongo (fotografía 4.16) donde la erosión fluvial del río ha afectado la carretera de acceso al poblado.



Fotografía 4.15 Viviendas a punto de colapsar por la erosión fluvial del río Rímac a la altura del Puente del Ejército.



Fotografía 4.16 Sector de Carapongo afectado por la erosión fluvial del río Rímac.

Erosión marina. La acción de desgaste que produce el oleaje y la corriente marina sobre el borde litoral ha dado lugar a la formación de acantilados. En este proceso influye el grado de resistencia de las rocas o materiales que conforman la franja costera. Problemas de erosión marina se tiene a lo largo del borde litoral de la Gran

Lima desde Pucusana hasta Ancón, en donde actualmente hay una gran tendencia a desarrollar proyectos habitacionales (fotografía 4.17). Otro caso emblemático es el del edificio Las Gaviotas en la playa La Herradura, las bases quedaron expuestas a la erosión luego de la caída de uno de los muros que servía de protección ante el fuerte oleaje (fotografía 4.18).



Fotografía 4.17 Viviendas levantadas muy cerca de terraza marina afectada por la erosión marina en el balneario de Punta Hermosa.



Fotografía 4.18 La erosión marina afectó las bases del edificio Las Gaviotas en la playa La Herradura (tomado de: <http://elcomercio.pe/>).

## Arenamientos

Fenómeno producido por la migración y acumulación de arenas. Está asociado a pampas, colinas bajas y planicies costaneras aledañas al litoral donde ha existido una dinámica eólica importante. En algunos casos, mantos eólicos producidos por meteorización de intrusivos se encuentran cubriendo las laderas de lomas y colinas, e incluso rellenando quebradas como se observa en El Agustino. La dirección, la velocidad del viento y la geomorfología del entorno favorecen este tipo de fenómenos.

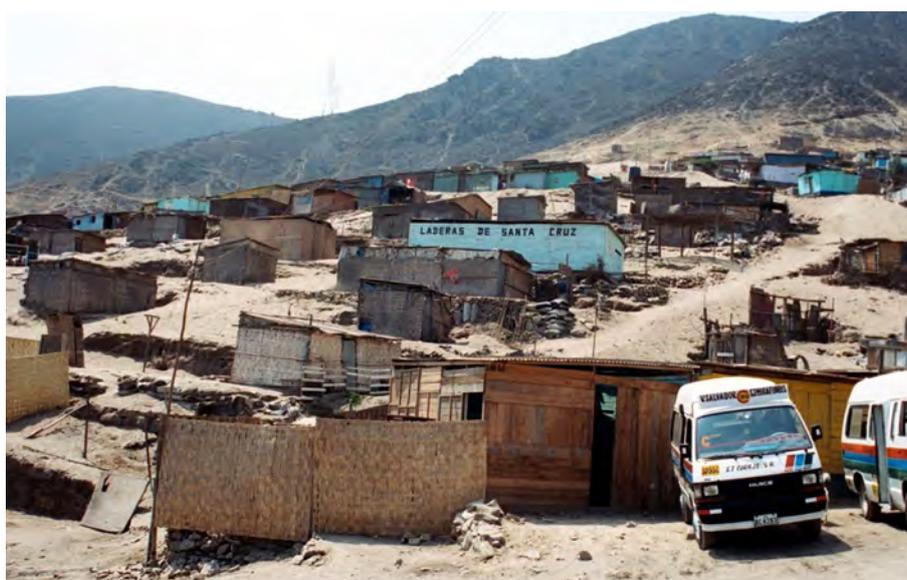
Ejemplos de este proceso se pueden observar en las pampas costaneras y en las dunas aisladas, como la duna fósil denominada

Lomo de Corvina (fotografía 4.19) en el distrito de Villa El Salvador. Esta duna posee una altura de 250 m y pendientes entre 25° a 30° sobre la que se han construido viviendas de todo tipo de material (desde estera hasta ladrillo).

También se pueden observar ejemplos de arenamientos en Ventanilla, Puente Piedra, las pampas de Lurín, San Bartolo, Ancón, San Juan de Miraflores, Villa María del Triunfo, entre otros, donde depósitos eólicos han cubierto las laderas de lomas y colinas e incluso rellenado quebradas (fotografías 4.20 y 4.21).



Fotografía 4.19 Vista de los asentamientos humanos Héroes del Cenepa y Santa Rosa en el sector Lomo de Corvina, constituye uno de los sectores críticos en Lima Metropolitana donde no debería permitirse la expansión urbana.



Fotografía 4.20 Asentamiento humano Laderas de Santa Cruz, sector de Nueva Rinconada (San Juan de Miraflores), construido sobre un depósito eólico.



Fotografía 4.21 Vista detalle de los materiales (arenas) sobre los que se encuentra ubicado el asentamiento humano Laderas de Santa Cruz, sector de Nueva Rinconada (San Juan de Miraflores).

## Sismos

Lima Metropolitana y el Callao muestran un índice alto de pérdidas asociadas a sismos en el periodo reciente, como lo muestran los registros históricos 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 el anexo 3 se describen los sismos más importantes por los daños producidos en distintos puntos de la capital (IGP, 2005).

Licuefacción de suelos. Esta denominación se refiere al comportamiento de ciertos tipos de suelos que bajo la acción de una fuerza externa (carga) pierden su resistencia y se comportan temporalmente como un líquido pesado (Bard, 1992).

La licuefacción puede considerarse una consecuencia de los terremotos. Cuando se produce el terremoto, la pérdida de resistencia del suelo hace que las estructuras pierdan rápidamente su estabilidad y empiecen a flotar en un suelo saturado en agua, se hundan o sumerjan como si fuesen tragados literalmente por la tierra. Otras veces, ocurre lo contrario, estructuras como buzones o tuberías, al ser de menor peso que el suelo licuado, comienzan a flotar y salir a la superficie (fotografía 4.22).

Los suelos más susceptibles a la licuefacción son aquellos formados por depósitos jóvenes «producidos durante el Holoceno (últimos 10 000 años)» de arenas y sedimentos granulados de tamaño similar, sueltos, saturados o moderadamente saturados, con drenaje pobre; tales como arenas finas sueltas, arenas y limos saturados o con nivel freático alto, y suelos granulares con Standard Penetration Test - SPT < 20. Por lo general, tales depósitos se presentan en los lechos de ríos, playas, dunas y áreas donde se han acumulado arenas y sedimentos arrastrados por el viento o cursos de agua. Son evidencias de licuefacción la arena movediza, corrientes de turbidez, los grandes agrietamientos y sentamientos y la formación de volcanes de arena (González de Vallejo *et al.*, 2002; Galli & Ferrel, 2000; figura 4.2, fotografía 4.23).



Fotografía 4.22 La licuefacción asociada al sismo del 15 de agosto de 2007 produjo en Tambo de Mora (Ica) que las casas flotaran y se hundieran bajo la superficie (fotografía: Bilberto Zavala, 2007).

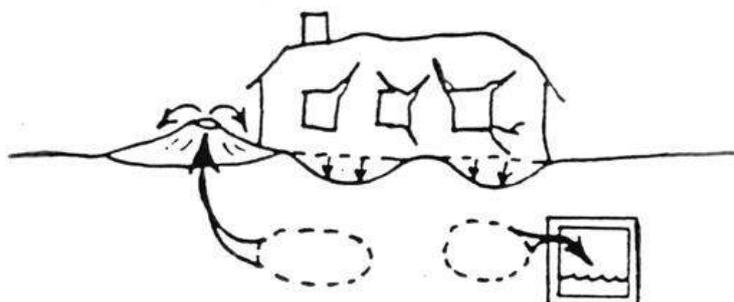


Figura 4.2 Modelo esquemático sobre la formación de volcanes de arena durante el fenómeno de licuación de suelos (tomado de: Seed et al., 2003).



Fotografía 4.23 Volcanes de arena producidos durante el sismo de Pisco del año 2007 (fotografía: Bilberto Zavala, 2007).

En el caso de Lima Metropolitana y el Callao se han registrado evidencias de licuefacción de suelos durante la generación de los sismos de octubre de 1746, mayo de 1940, octubre de 1966 y octubre de 1974 (IGP, 2005).

Algunos sectores susceptibles a licuefacción son Lomo de Corvina en Villa El Salvador, algunos de La Molina y donde haya depósitos antropógenos mal compactados.

Tsunami. También denominado maremoto. La palabra tsunami se utiliza para denominar a las olas gigantes que llegan a la costa por efecto de un sismo originado en el fondo marino. Se producen cuando la falla activada por el sismo desplaza verticalmente una gran masa de agua. Cuando la ola entra en aguas poco profundas, se ralentiza y aumenta su amplitud (altura). Todas las áreas con una altura igual al nivel del mar (por ejemplo La Punta, en el Callao) están expuestas a esa ola que puede alcanzar más de 20 metros de altura.

Considerando que entre Chorrillos y La Punta se ubican varios centros de esparcimiento, centros comerciales y edificios que ocupan playas de la zona litoral, es necesario considerar la alta peligrosidad a la que están expuestos por efecto de los tsunamis.

Dentro de los tsunamis que han afectado las costas de Lima Metropolitana y el Callao, cabe destacar:

- 1586 julio 9, a las 19:00 horas. Terremoto destructor en Lima, el Callao y valles cercanos. Tsunami anegó gran parte de la costa; en el Callao el mar subió como dos brazas (3.30 m aprox.) e inundó el pueblo, ingresando a más o menos 250 m de la orilla.
- 1604 noviembre 24, a las 13:30 horas. En el puerto del Callao, el mar no salió con tanta furia como en otras partes, hubo un golpe de agua que sin entrar en el puerto lo dejó hecho isla, de manera que por algunos días no se podía pasar de Lima al Callao sin atravesar un gran charco.
- 1687 octubre 20, a las 13:00 horas. Dos terremotos destructores en Lima-el Callao y Chancay-Cañete. El tsunami se produjo durante el segundo temblor. Los estragos del tsunami fueron grandes a lo largo de la costa entre Chancay y Arequipa. En el Callao el mar se retiró y luego regresó, precipitando una ola de hasta 10 m, dejó un saldo de 300 muertos.
- 1746 octubre 28, a las 22:30 horas. Terremoto azotó Lima y pueblos vecinos, tsunami devastó gran parte del litoral. En el Callao el mar avanzó hasta una legua (5 km), de 4000 habitantes solo se salvaron 200. Efectos del tsunami se sintieron en los pueblos de Huaura, Huacho, Callao, Pisco, las caletas de Guañape, Caballos y otros. Después de 6 horas y 30 minutos de la inundación en el Callao, la ola marina de 24 m

irrumpió con fuerza en el puerto de Concepción (Chile) y en el puerto de Acapulco (México).

- 1806 diciembre 01, a las 18:00 horas. Fortísimo temblor y el 2 de diciembre una ola de 6 m en el Callao averió el puerto.
- 1840 enero 28, a las 03:00 horas. Una hora más tarde del temblor en Lima y Chorrillos se advirtieron fuertes olas en el mar.

## MAPAS DE SUSCEPTIBILIDAD

La susceptibilidad es la posibilidad de que se genere en un territorio un determinado proceso. Su evaluación consiste en analizar los factores que contribuyen con su generación. El propósito de los mapas de susceptibilidad es dividir el área de interés en unidades homogéneas en las cuales el grado de susceptibilidad es semejante. La elaboración de estos mapas recae en profesionales con suficiente experiencia y conocimiento del tema, a fin de seleccionar el método y las variables de predicción que sean más adecuadas para el área de estudio (PMA: GCA, 2007). Permiten priorizar y definir dónde se deben realizar investigaciones en escalas mayores y proporciona instrumentos de análisis a las instituciones encargadas del ordenamiento territorial, la planificación urbanística y la gestión de los riesgos que afectan a la población y sus actividades económicas. Sin embargo, cabe recalcar que la categorización de la susceptibilidad presentada aquí es una generalización a la escala 1/50 000 de diferentes fuentes y escalas;

por lo tanto, se debe considerar preliminar y debe ser evaluada a escalas más detalladas para la toma de decisiones y/o medidas de mitigación.

A continuación, se presentan los mapas de susceptibilidad por movimientos en masa, a erosión de laderas, inundaciones y erosión fluvial, y arenamientos en Lima Metropolitana y el Callao.

### Por movimientos en masa

A pesar de que Lima ha sido afectada por cientos de caídas de rocas y flujos de detritos desde 1970, no se contaba con un mapa de susceptibilidad por movimientos en masa para Lima Metropolitana y el Callao a una escala que permitiese una gestión efectiva de estos procesos (Tatard *et al.*, 2012). Es por ello que este proyecto se propuso establecer una primera aproximación a la escala 1/50 000, para lo cual se contó con la colaboración del IRD y la Universidad de Grenoble, Francia.

Para evaluar la susceptibilidad por movimientos en masa se utilizó el método estadístico multivariante, que es una aproximación semicuantitativa para estimar la posibilidad de ocurrencia de movimientos en masa en un territorio (Carrara *et al.*, 1995). Los factores o variables empleados han sido (cuadro 4.1): pendiente, litología, cartografía de deslizamientos, cobertura y uso de suelo e hidrogeología. Estos parámetros se han ponderado por comparación estadística con el área ocupada por los movimientos en masa y luego han sido sumados con ayuda del software ArGIS en su versión 10.0

**Cuadro 4.1**  
Criterios espaciales utilizados en el modelo de susceptibilidad por movimientos en masa para Lima Metropolitana y el Callao

Parámetro	Fuente	Escala	Resolución	Clases (**)
Pendiente (a partir de base topográfica)	IGN	1:25 000	25x25m	5
Litología	Ingemmet	1:50 000	Vector	14
Cartografía de deslizamientos (*)	Ingemmet (2008-2012)	1:25 000	Vector	4
Uso de suelo y cobertura vegetal	Inrena (1995)	1:50 000	Vector	5
Hidrogeología (litopermeabilidades)	Ingemmet	1:50 000	Vector	6

le la zona de arranque hasta el máximo alcance de los depósitos.

(\*\*) El número de clases es resultado de la reclasificación

El resultado de la suma se reclasificó en 5 rangos, que representan la susceptibilidad relativa a los movimientos en masa, desde muy baja hasta muy alta (figura 4.3). En síntesis, el mapa indica que al este de Lima Metropolitana, principalmente en las laderas de los cerros del Batolito de la Costa, es más probable que ocurran movimientos en masa (caídas de rocas, huaycos, etc.). En términos del área, el 35 % del territorio de Lima Metropolitana se encuentra

ubicado en zonas de alta y muy alta susceptibilidad por movimientos en masa, especialmente los asentamientos humanos y urbanizaciones que se ubican en las laderas de los cerros en los distritos de Carabaylo, Comas, San Juan de Lurigancho-Chosica, Chaclacayo, Villa María del Triunfo, Rímac e Independencia. Las zonas con mayor susceptibilidad por estos fenómenos se muestran en el cuadro 4.2.

**Cuadro 4.2**  
**Sectores con más alta susceptibilidad por movimientos en masa en Lima**  
**Metropolitana y el Callao (Figura 4.3, Mapa 5)**

Distrito	Sector
Pachacamac	A.H. Fujimori
	Guayabo-Picapedra
	Quebrada Tambo-Inga-Pampa Flores
	Quebrada Golondrina
	Manchay, margen izquierda.
	Manchay, margen derecha.
	Pachacamac
Villa María del Triunfo	A.H. Héroes del Cenepa
	Cerro El Arbolito-A.H. 12 de Junio
	Quebrada Progreso
	La Rinconada
	El Mirador-San Francisco
	A: H. Fujimori
	A: H. Jose Gálvez
Ate Vitarte	Santa Clara
	Huaycán
	Pariachi-Gloria
Lurigancho - Chosica	Qdas: La Trinchera, Buenos Aires, Mariscal Castilla
	Quebrada Caraponguillo
	Quebrada Tensómetro
	Qdas: Quirio - Pedregal
	Quebrada Huay coloro
	Qdas: Santo Domingo - La Cantuta - Moyopampa
	Qdas: Libertad, Carossio, Rayos del Sol
	Quebrada La Ronda
	Quebrada Santa María
	Quebrada California
El Agustino	Cerro San Pedro
	Cerro El Agustino
Lima Cercado	Morales Duárez
Rímac	Cerro San Cristóbal
	A.H. Víctor Raúl Haya de La Torre
	A.H. San Juan de Amancaes
	A.H. Chachi Dibós, Mariscal Castilla
	A.H. Santa Rosa, El Altílo
El Callao	Ciudad Satélite (Calle 14)
	Pantanos de Ventanilla
Chaclacayo	Quebrada Las Cumbres
	Huampaní Alto
	Quebrada Los Cóndores

**Cuadro 4.2 (continuación ...)**  
**Sectores con más alta susceptibilidad por movimientos en masa en Lima Metropolitana y el Callao (Figura 4.3, Mapa 5)**

Distrito	Sector
San Juan de Lurigancho	Valle El Triunfo
	Anexo 8 Jicamarca
	A.H. Unión Juventud Pachacútec / Tul
	Quebrada Media Luna
	Quebrada Canto Grande-Sector Jicamarca
	A.H. Nuevo Amanecer
	A.H. Pedregal Alto
	A.H. Mariscal Cáceres / Las Vegas
	A.H. Juan Pablo II / Nuevo Amanecer
	Nuevo Jerusalén
	Saúl Cantoral / Santa Rosa de Lima
	4ª etapa Mariátegui
	A.H. Huanta
	Villa Los Ángeles
Comas	A.H. Ampliación La Merced
	A.H. 2 de Mayo
	Cerro Sinaí
	Proyecto Integral 2000
	A.H. Cristo Rey
	A.H. Nueva Unión
	Comité 78 / Virgen de Fátima
	Comité 39 - Sector Progreso
	3er Sector El Progreso
	Sector Paraíso
	Cerro Amauta
	Collique 7ª / 8ª Zona
Carabaylo	A.H. Los Ángeles de Carabaylo / Ampliación
	Quebrada Progreso
	Torre Blanca
	Torre Blanca-Punchauca
	Chocas
Caballero / Quebrada Caballero	
Magdalena del Mar, Barranco, Miraflores, San Isidro, Chorrillos, San Miguel	Acantilados de La Costa Verde

Cabe resaltar que en laderas altas de los distritos de Ancón, Cieneguilla, La Molina, Pachacamac, Punta Hermosa y Punta Negra también se han observado altos valores de susceptibilidad

por movimientos en masa; sin embargo, estos sectores no se encuentran habitados en la actualidad.

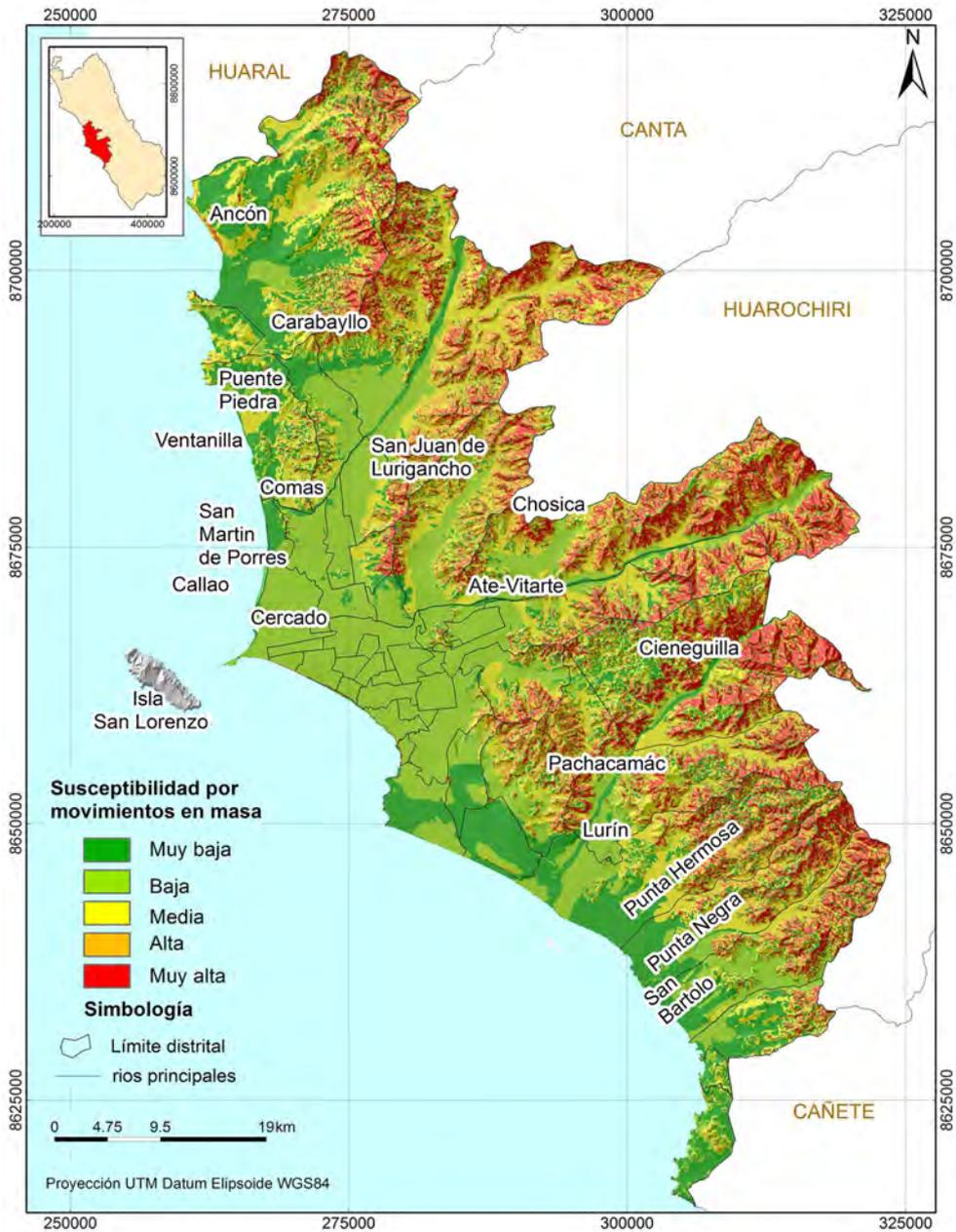


Figura 4.3 Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa en Lima Metropolitana y el Callao.

### Por erosión de laderas

El mapa de susceptibilidad a la erosión de laderas (figura 4.4) indica las áreas con altas posibilidades de ser afectadas por erosión por cárcavas y lineal. En Lima Metropolitana y el Callao predominan zonas con moderada a baja erosión de laderas. Las áreas más propensas se asocian a los materiales sueltos e inestables y

afloramientos de materiales (depósitos superficiales y rocas) de baja competencia geomecánica circundantes a Lima Metropolitana. Destacan, en primer lugar el acantilado de la Costa Verde donde incluso este proceso ya ha afectado algunas edificaciones construidas en su parte superior; y los sectores de Carabaylo, San Juan de Lurigancho, Chosica, Pachacamac, Lurín y Punta Hermosa.

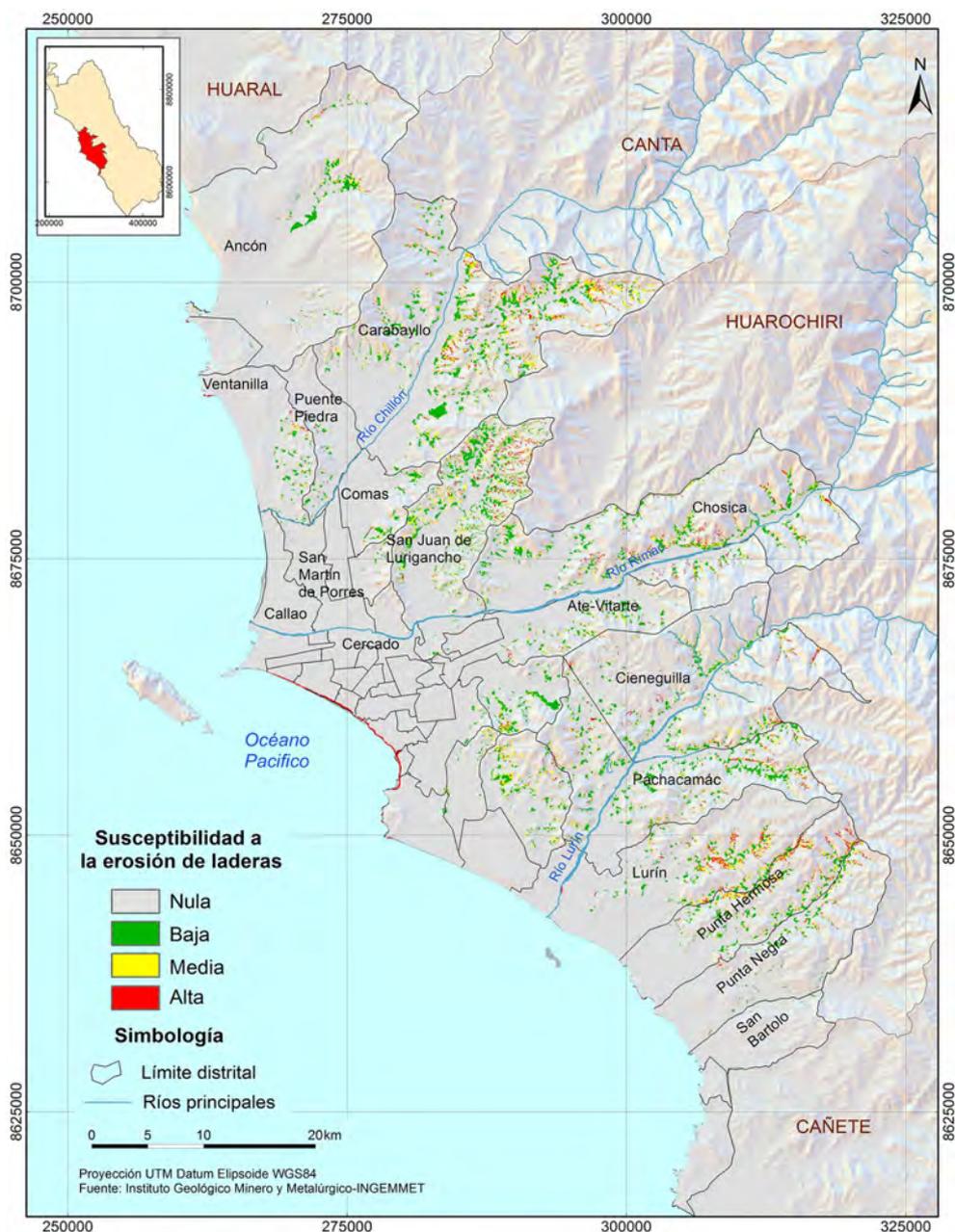


Figura 4.4 Mapa de susceptibilidad a la erosión de laderas.

### Inundación y erosión fluvial o de riberas

El mapa de susceptibilidad a las inundaciones y erosión fluvial (figura 4.5) muestra que la más alta susceptibilidad a estos procesos se distribuye a lo largo de los ríos principales que drenan en la gran Lima: Chillón, Rímac y Lurín. Dichos fenómenos, para el caso de Lima Metropolitana y alrededores, están relacionados principalmente con sus llanuras de inundación invadidas por terrenos de cultivo, urbanizaciones y asentamientos humanos. Las áreas señaladas en el mapa con color rojo corresponden a zonas

con mayor posibilidad de que se produzcan inundaciones y erosión fluvial.

De acuerdo al análisis de susceptibilidad por inundaciones, el 3 % del territorio de Lima Metropolitana se localiza en áreas con una alta susceptibilidad a dichos procesos, distribuidas en los distritos de Lurigancho-Chosica, Chaclacayo, Carabaylo, Rímac, Cercado de Lima, Los Olivos, San Martín, Ate, Lurín, Pachacamac y Cieneguilla; mientras que en el Callao, el área relacionada con alto potencial de inundaciones es del 5 % de su territorio, y se

distribuye en los distritos de Ventanilla, Callao y Bellavista. Zonas críticas por inundación son:

- En el río Chillón: Tambo Río (Comas), Puente Piedra y urbanización San Diego y Chuquitanta (San Martín de Porres).
- En el río Lurín: Manchay (Cieneguilla).
- En el río Rímac: Carabaylo, Huachipa, Ñaña, Gambeta, Ate-Vitarte, Pariachi, Mariscal Castilla, Dulanto, Morales Duárez, Chaclacayo, Carapongo.

- En el Callao estos procesos se han registrado en Gambeta y Puente del Ejército.

Entre los sectores comprometidos con erosión fluvial se tiene, en el río Rímac: Zárate, alrededores del Puente del Ejército «donde los pobladores construyen sus precarias viviendas al borde del acantilado del río Rímac» y Carapongo; en el río Chillón: San Diego y Puente Piedra; y en el río Lurín: Cieneguilla.

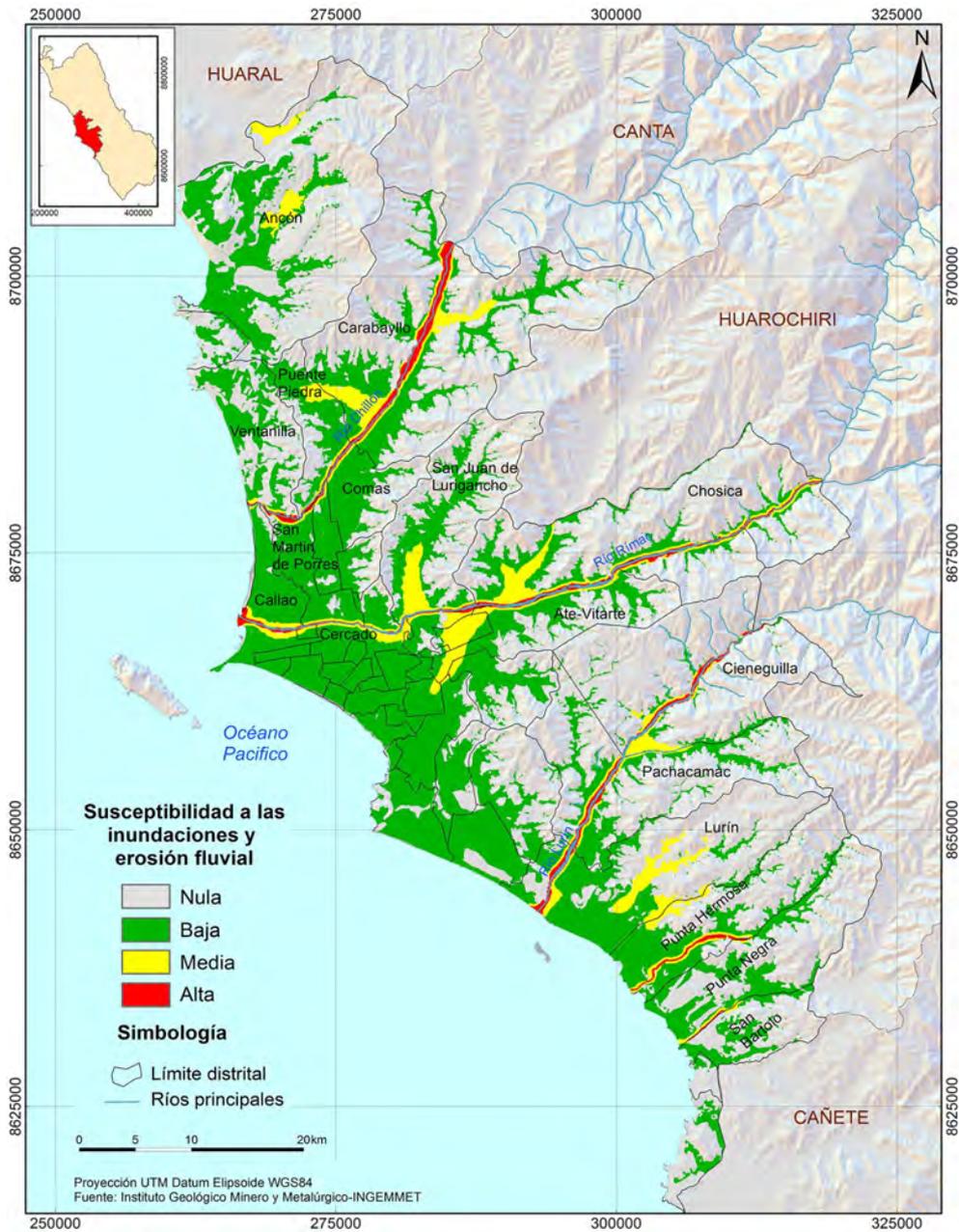


Figura 4.5 Mapa de susceptibilidad a las inundaciones y erosión fluvial.

### Por arenamiento

El mapa de susceptibilidad a los arenamientos (figura 4.6) muestra que las áreas susceptibles a estos fenómenos en el área de Lima Metropolitana y el Callao se localizan en las zonas cercanas al mar donde hay arenas sueltas, así como en las cercanías de dunas y mantos de arena. En menor grado se pueden encontrar en mantos de arenas que cubren colinas bajas de las estribaciones andinas. Se han identificado dunas de arena en Loma de Ancón, Pampa de Tomayca y Lomo de Corvina, en Villa El Salvador; entre otras

zonas de Lima. También se observan mantos de arena en San Bartolo, Punta Hermosa, Santa María, Pampas de Bello Horizonte, Piedras Gordas, Pampas del Canario y Pasamayo, Ventanilla, Puente Piedra, las Pampas de Lurín y San Bartolo. Zonas de arenamientos de menor magnitud se han localizado en San Juan de Miraflores y Villa Maria del Triunfo donde depósitos eólicos han cubierto las laderas de lomas y colinas, e incluso han rellenado quebradas.

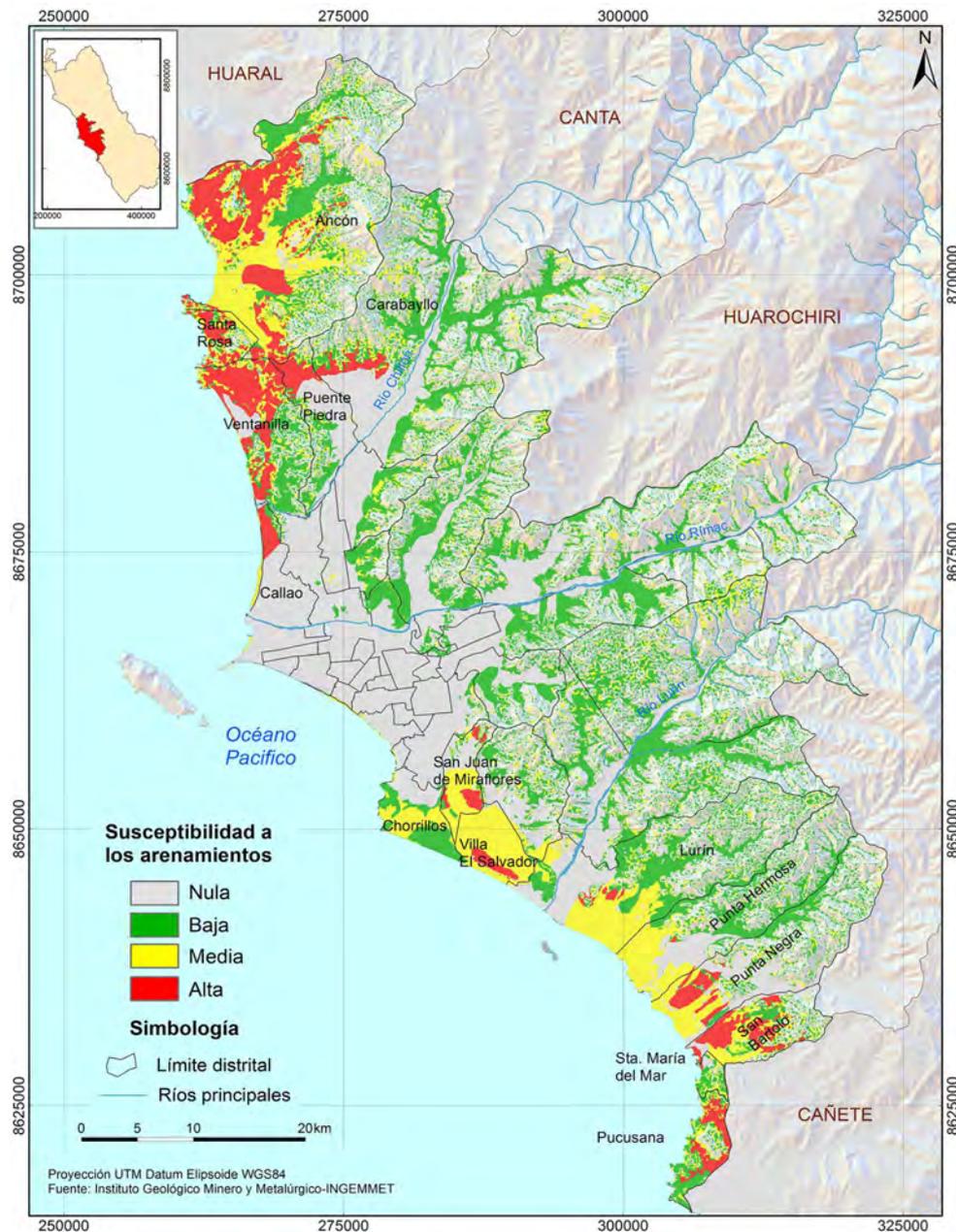


Figura 4.6 Mapa de susceptibilidad a los arenamientos.

## PELIGRO SÍSMICO

A fin de conocer las aceleraciones máximas producidas por un sismo de gran magnitud en el área de Lima Metropolitana y el Callao, se ha evaluado el peligro sísmico empleando la base de datos sísmicos del IGP, la ley de atenuación de Casaverde & Vargas (1980) y las fuentes sísmogénicas definidas por Zamudio & Tavera (2004). Para el cálculo de las aceleraciones máximas se ha hecho uso del programa RISK III (McGuire, 1976).

Como resultado se han obtenido los mapas de aceleraciones máximas para 20, 50 y 100 años, con un 10 % de excedencia, en los cuales se observa que las mayores aceleraciones se presentan

a lo largo del borde oeste de Lima Metropolitana y el Callao. Es decir, las áreas más propensas a soportar aceleraciones importantes se encuentran en el sector oeste cerca de la línea de costa, siendo coherente con el importante número de sismos registrados por el Instituto Geofísico del Perú en dicha área.

Para un periodo de retorno de 20 años las aceleraciones oscilan entre 311 a 320 gals (figura 4.7), mientras que para 50 años de 367 a 380 gals (figura 4.8) y para 100 años de 417 a 428 gals (figura 4.9). Hacia el este, las aceleraciones disminuyen moderada y gradualmente por la presencia de la cordillera de los Andes, como un elemento atenuador de la energía liberada por los sismos que ocurren en la zona de subducción.

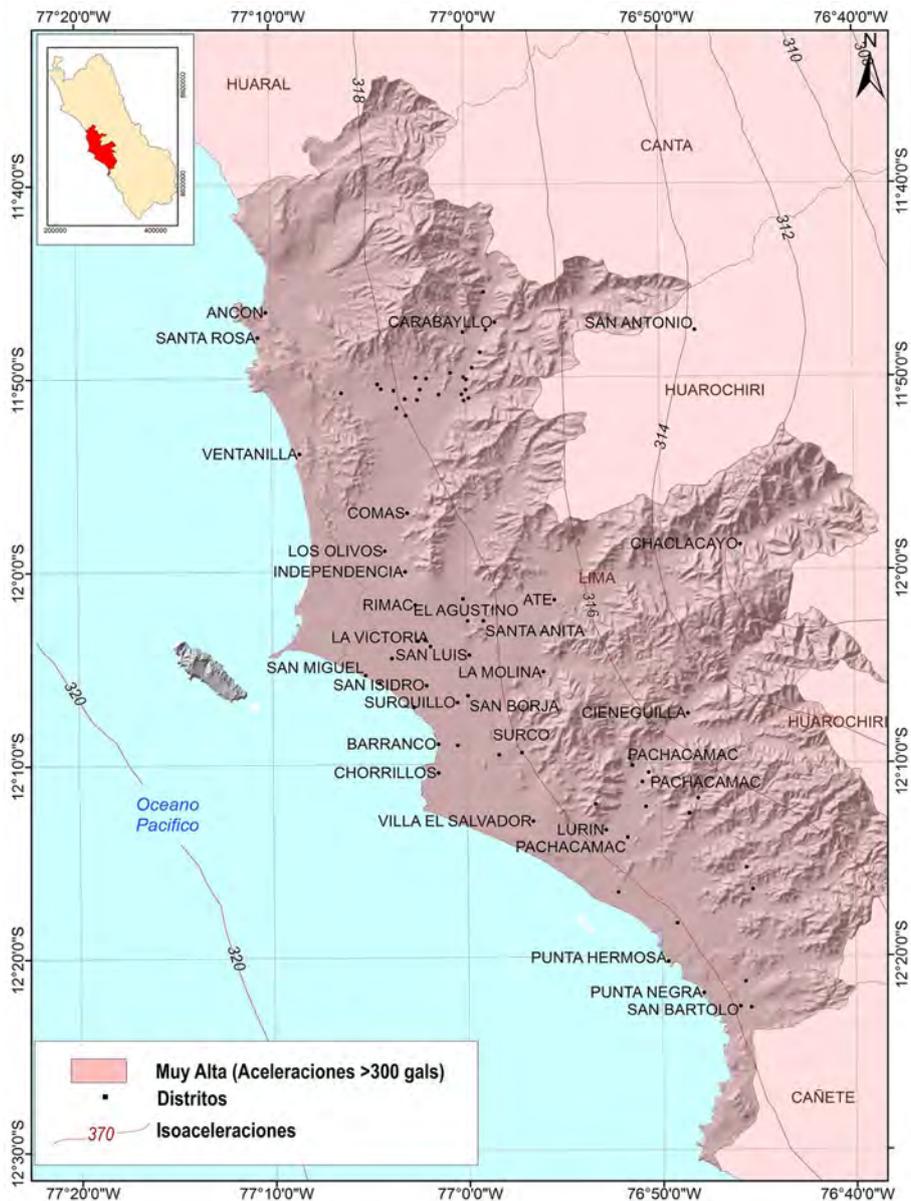


Figura 4.7 Mapa de aceleraciones máximas para un periodo de retorno de 20 años.

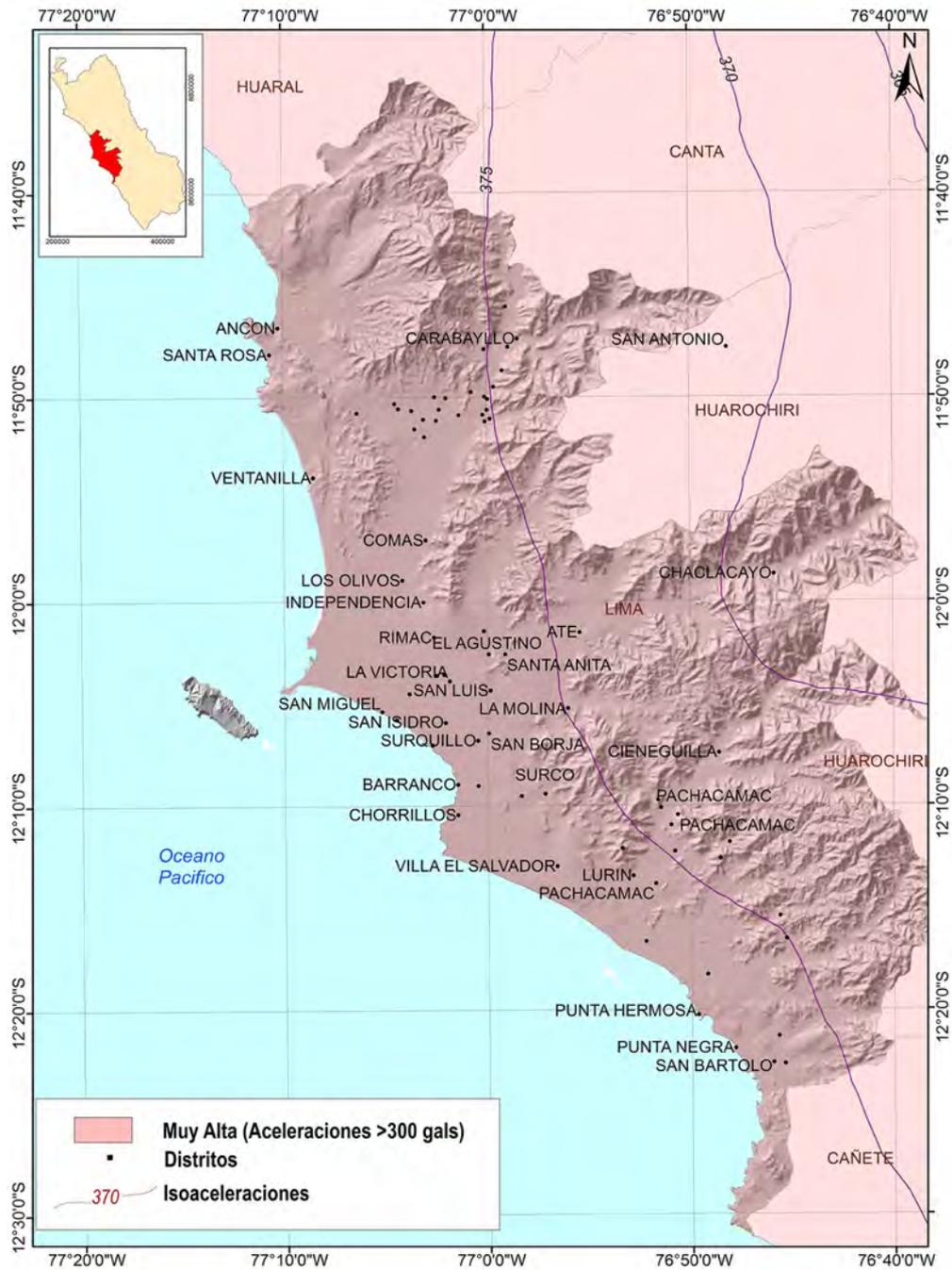


Figura 4.8 Mapa de aceleraciones máximas para un periodo de retorno de 50 años.



Figura 4.9 Mapa de aceleraciones máximas para un periodo de retorno de 100 años.

## **Zonificación sísmica de Lima Metropolitana y el Callao**

Los estudios de microzonificación sísmica del Centro Peruano-Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (Aguilar et al., 2012), elaborados para la Asociación Peruana de Empresas de Seguros, identifican las siguientes zonas sísmicas en Lima Metropolitana (figura 4.10).

**Zona I (peligro bajo):** Zona conformada por grava aluvial y sustrato rocoso. La constituye la mayor parte de Lima. Suelo rígido.

**Zona II (peligro medio):** Zona donde se presenta suelo arcilloso o areno-limoso, medianamente rígido, que no permite la disipación intersticial (organización mineral en la corteza) por la carga constante o aplicada, se esperan amplificaciones o desprendimientos superficiales moderados en periodos bajos e intermedios.

**Zona III (peligro alto):** Depósitos de suelos finos y arenas de gran espesor. Se presentan en algunos sectores de los distritos de Puente Piedra, La Molina y Lurín, y en los depósitos de arenas eólicas que cubren parte de los distritos de Ventanilla y Villa El Salvador.

**Zona IV (peligro muy alto):** Áreas puntuales de depósitos eólicos como los observados en Villa El Salvador y las canteras de Pachacamac. Se incluyen las áreas de laderas de cerros. Corresponde a material susceptible a licuefacción de suelos, derrumbes y flujos. Se requieren tomar medidas de prevención específicas.

**Zona V (zonas puntuales):** Se refiere a depósitos de rellenos sueltos de desmontes heterogéneos que han sido colocados en

depressiones naturales o excavaciones realizadas en el pasado, con profundidades entre 5 y 15 m. En esta zona se incluyen también a los rellenos sanitarios que en el pasado se encontraban fuera del área urbana y en la actualidad han sido urbanizados. Se mencionan las áreas que han sido identificadas en el presente estudio, las cuales se encuentran ubicadas en los distritos del Rímac, Surquillo, Bellavista, La Perla, San Juan de Miraflores y San Juan de Lurigancho, no se descarta la existencia de otras similares. El comportamiento dinámico de estos rellenos es incierto por lo que no es recomendable su uso para edificaciones.

Por otro lado, de acuerdo al Mapa de Zonificación Sísmica para el Perú, el mismo que actualmente es utilizado en el Reglamento Nacional de Edificaciones con la norma técnica de edificación E-30 Diseño Sismorresistente (Peru.Reglamentos, 2003), el territorio nacional se ha dividido en tres zonas, ubicándose a Lima Metropolitana y el Callao dentro de la zona 3 de sismicidad alta. Por consiguiente, se espera para nuestra ciudad capital intensidades máximas de VI hasta IX (MM) y aceleraciones máximas en un periodo de 50 años entre 367 y 380 gals. Sin embargo, para una mayor aproximación se presenta la curva anual de probabilidad de ocurrencia de aceleraciones máximas y sismos de gran magnitud para San Juan de Lurigancho, el núcleo más poblado de Lima Metropolitana (gráfico 4.2), de donde se deduce que en esta zona se produciría una aceleración máxima de 553 gals con una probabilidad de 0.002 %, siendo el periodo medio de retorno del sismo que produce dicha aceleración de 900 años. Aceleraciones del orden de 317 gals se producirían con un porcentaje de probabilidad de 0.05 % con periodos de tiempo de 60 años en promedio.

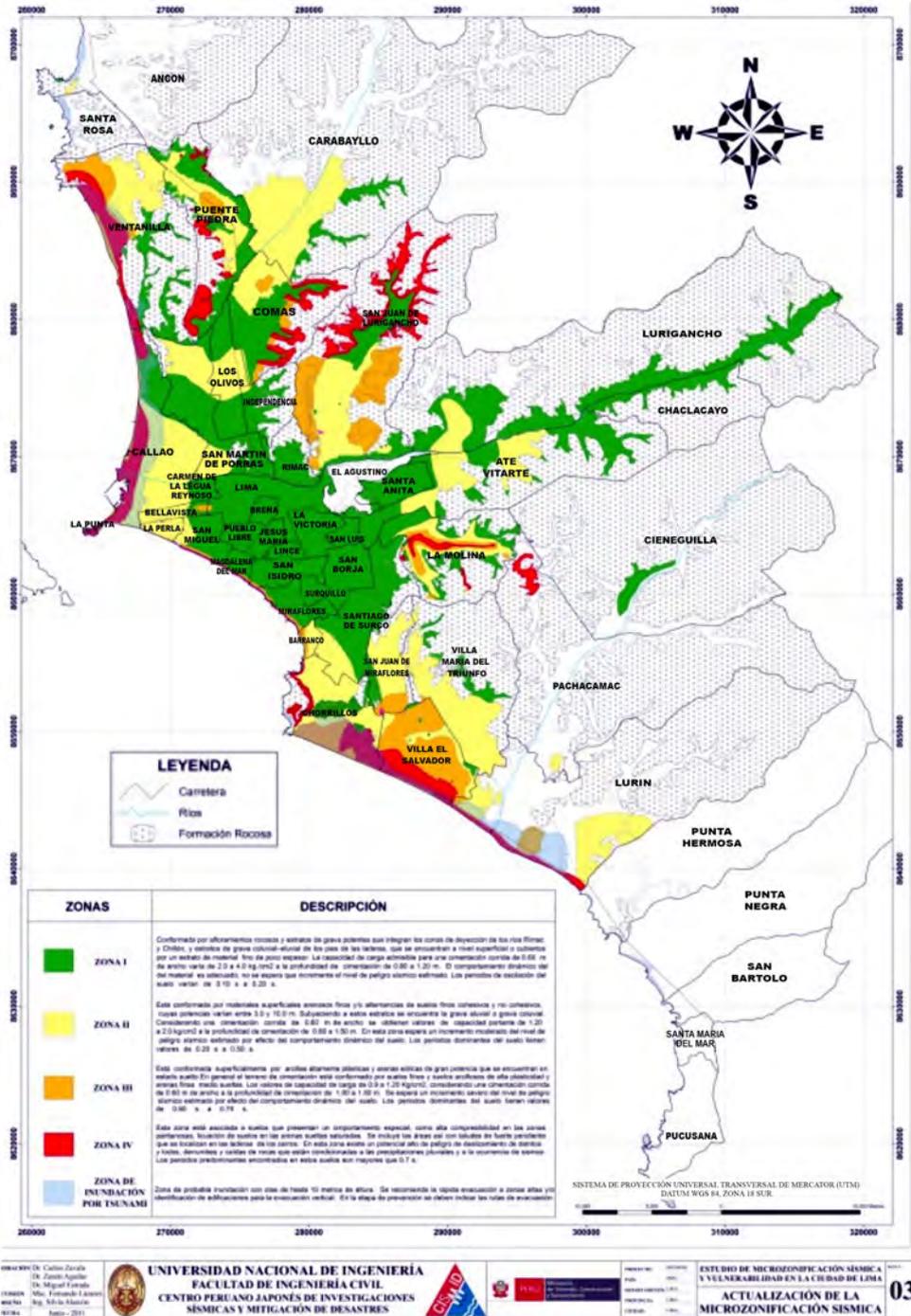


Figura 4.10 Mapa de zonificación sísmica a nivel de Lima Metropolitana y el Callao y tipo de suelo por sectores (tomado de: Aguilar et al., 2012).

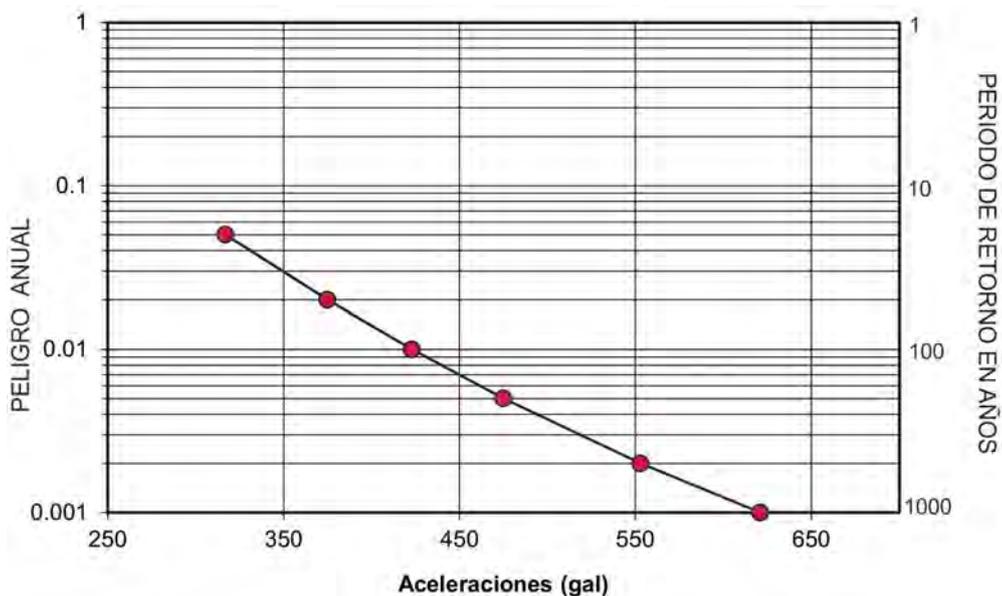


Gráfico 4.2 Curva de Peligro Sísmico Anual calculado para el distrito de San Juan de Lurigancho.

### CARTAS DE INUNDACIÓN EN CASO DE TSUNAMIS

Para prever futuras inundaciones por tsunamis, el Cismid elaboró en el año 2004 el Mapa de zonificación por peligro de tsunami en Lima Metropolitana y el Callao (figura 4.11). De otro lado, la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú elaboró con el apoyo del Departamento de Asuntos Humanitarios de las Naciones Unidas (UNDHA), entre 1981 y

1994, cartas de inundaciones por tsunamis para los puertos y balnearios de Ancón (figura 4.12), La Punta-Callao (figura 4.13), Miraflores (figura 4.14), Chorrillos (figura 4.15), Santa Rosa (figura 4.16) y playa Punta Hermosa (figura 4.17) que contribuyen a definir las zonas de inundación, vías de evacuación y zonas de refugio en caso de la ocurrencia de estos eventos (UNDHA, 1994). Esta información debe ser usada para acciones de prevención y/o mitigación.

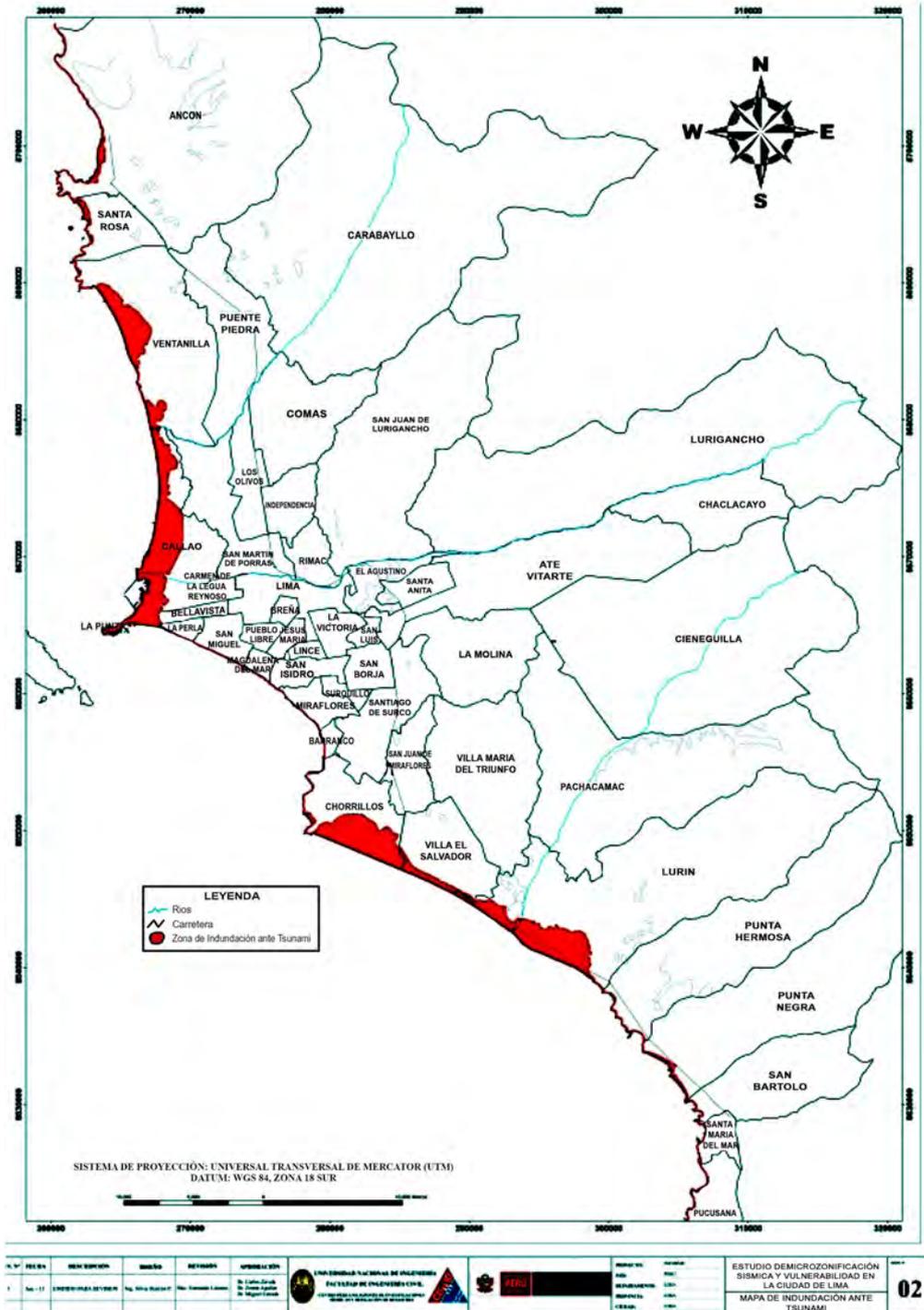


Figura 4.11 Mapa de peligro por tsunami a nivel de Lima Metropolitana y el Callao (tomado de: Aguilar et al., 2012).



Figura 4.12 Carta de inundación en caso de tsunami en Ancón (tomado de: Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú, 2001a).

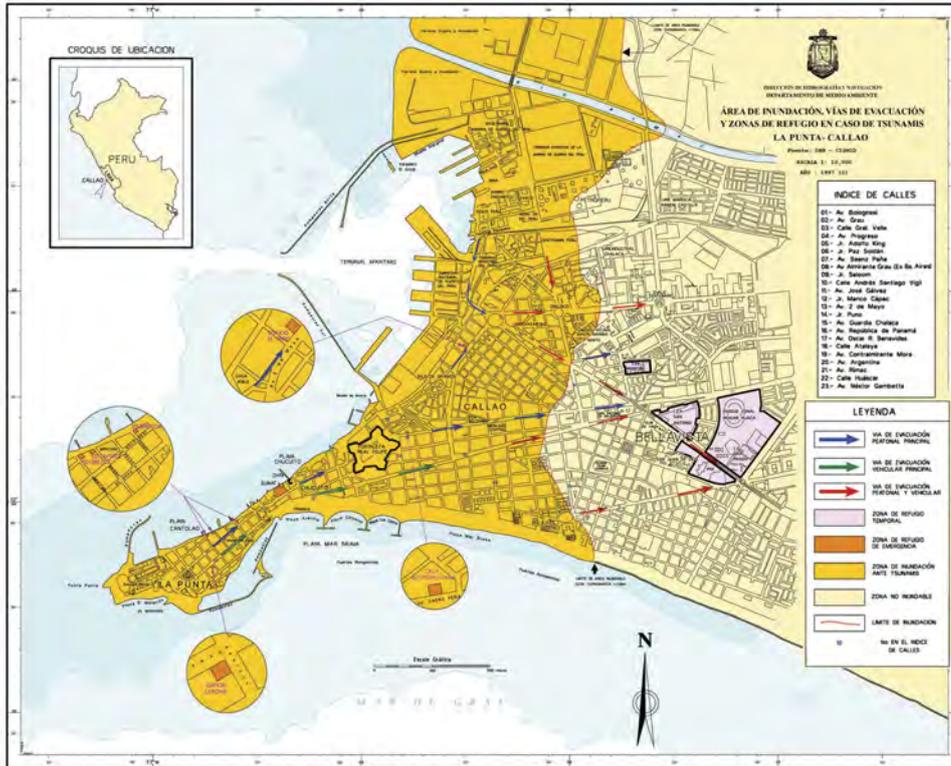


Figura 4.13 Carta de inundación en caso de tsunami en puerto La Punta-Callao (tomado de: Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú, 2013).



Figura 4.14 Carta de inundación en caso de tsunami en distrito de Miraflores, Lima (tomado de: Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú, 2002).

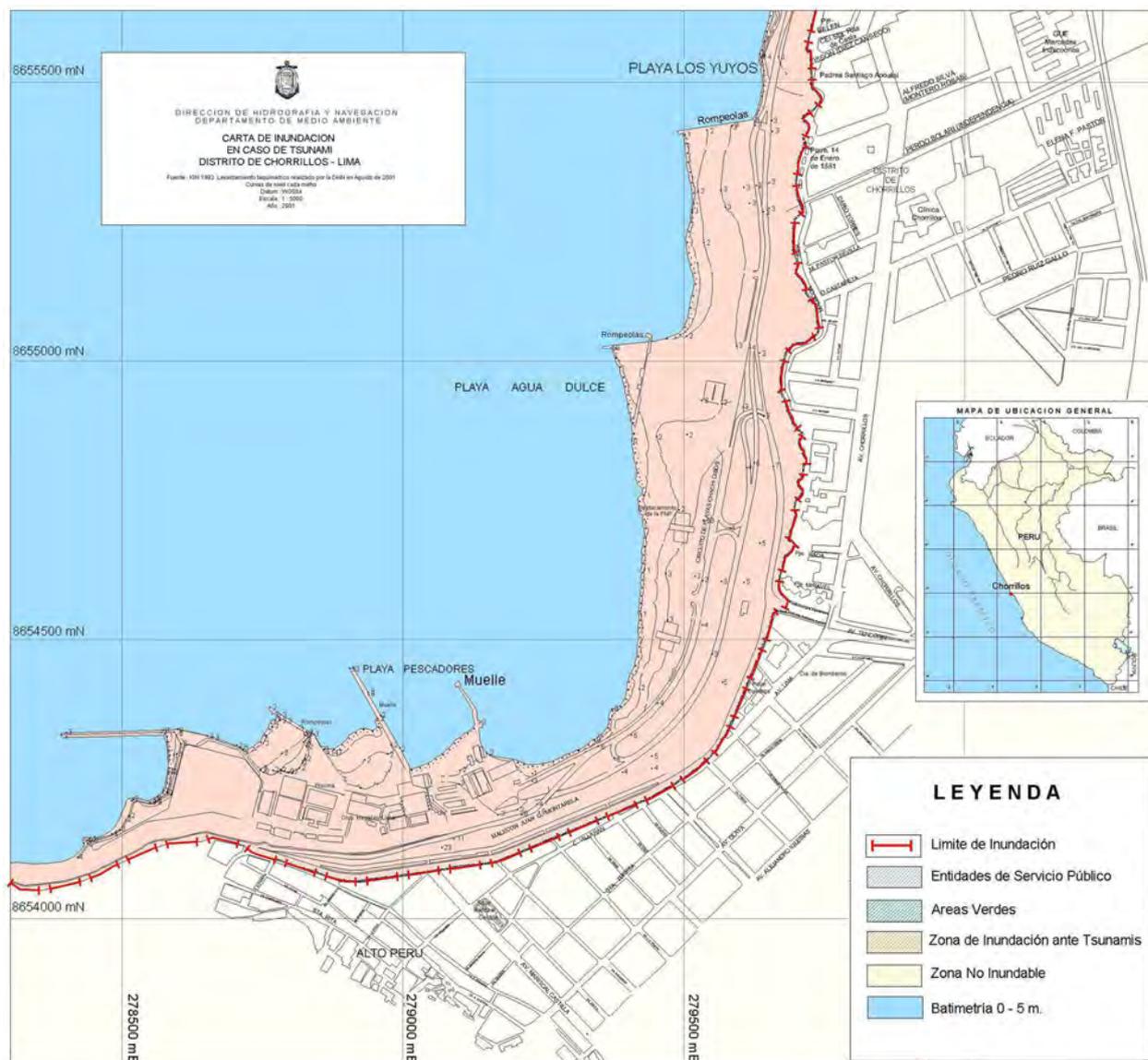


Figura 4.15 Carta de inundación en caso de tsunami en el distrito de Chorrillos, Lima (tomado de: Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú, 2001b).



Figura 4.16 Carta de inundación en caso de tsunami en Santa Rosa (tomado de: Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú, 2001c).



Figura 4.17 Carta de inundación en caso de tsunami en la playa Punta Hermosa (tomado de: Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú, 2008).



# CAPÍTULO V

## CARACTERÍSTICAS INGENIERO-GEOLÓGICAS

POR: SANDRA VILLACORTA, SEGUNDO NÚÑEZ & LIONEL FIDEL

Lima Metropolitana y el Callao se asientan sobre diferentes tipos de suelos y rocas, desde los más resistentes y compactos hasta los más blandos o suaves. Para la delimitación de las diferentes unidades litológicas se consideró el material predominante en el área de estudio, agrupándolos por el grado de homogeneidad de sus propiedades geotécnicas, su grado de fracturamiento, meteorización, resistencia a la erosión y en función a su mayor o menor propensión a producir movimientos en masa y otros peligros geológicos. De acuerdo a lo antes mencionado, los principales grupos de materiales (suelos y rocas) se han clasificado en las siguientes unidades litológicas: depósitos superficiales (unidad I), rocas intrusivas (unidad II), rocas volcánicas (unidad III), vulcanosedimentarias (IV) y sedimentarias (unidad V). De acuerdo a los datos del inventario de peligros geológicos la mayoría de procesos están asociados principalmente a la presencia de materiales inconsolidados (por ejemplo los materiales que constituyen las dunas eólicas de Villa El Salvador, dada su elevada inconsistencia) y a las rocas intrusivas del Batolito de la Costa debido a su alto índice de fracturación y el tipo de meteorización que experimentan. El manto de alteración de estas rocas está constituido por partículas esféricas inscritas en una matriz arenosa, lo que forma un depósito inestable y susceptible de caer por simple gravedad o deslizarse a consecuencia de la intervención de otros procesos precursores, como los sismos y lluvias intensas.

### UNIDADES LITOLÓGICAS

Los materiales (suelos y rocas) existentes en el área de Lima Metropolitana y el Callao son de diferente naturaleza y edad, con características físicas y geomecánicas diferentes. Se han agrupado según tales características en cinco unidades litológicas. La mayoría de los afloramientos rocosos corresponden a rocas intrusivas básicas como granodioritas y dioritas, seguidas por rocas volcánicas; y en menor proporción rocas sedimentarias tipo calcáreas, lutitas y areniscas. La mayoría de los depósitos superficiales (suelos) que cubren estas rocas son de origen fluvial, coluvial, proluvial y aluvial.

### Unidad I: Depósitos superficiales

En Lima Metropolitana y el Callao existen diferentes tipos de materiales superficiales, desde depósitos fluviales (I-1) hasta los de tipo antropógeno (I-8) correspondiente a material de relleno o desechos, que son habitualmente los que tienen mayores problemas desde el punto de vista geomecánico. Además se tienen los depósitos aluviales (I-2), proluviales (I-3), coluviales (I-4), lacustrinos y de humedales (I-5), marinos (I-6) y eólicos (I-7).

**I-1 Depósitos fluviales:** Estos sedimentos conforman el cauce actual de los ríos Chillón, Rímac y Lurín; están constituidos por depósitos inconsolidados formados por una mezcla de gravas, cantos y algunos bolos, subredondeados a redondeados, en una matriz areno-limosa y de alta permeabilidad. Constituyen, en muchos casos, las áreas de inundación de estos ríos (fotografía 5.1). Generalmente se presentan sueltos (inconsolidados) con espesores que no pasan los 2 m. Para su excavación es suficiente el uso de medios manuales o mecánicos.

**I-2 Depósitos aluviales:** Estos depósitos se encuentran formando los conos de deyección de los tres ríos que atraviesan la ciudad de Lima: Chillón, Rímac y Lurín. Corresponden a una mezcla heterogénea de cantos y gravas en una matriz areno-limosa (fotografía 5.2). El comportamiento geotécnico de estos depósitos puede variar y depende mucho de la compactación de estos materiales.

Así, en los aluviales de alta compactación, las vibraciones sísmicas se transmiten a la superficie con un grado de amplificación o amortiguamiento sin pérdida de resistencia o deformaciones locales significativas, los efectos sobre las cimentaciones de las estructuras son menores; como se ha podido observar en el Cercado de Lima Metropolitana y alrededores. Los problemas en ese sector derivan mayormente del material rústico con el que han sido elaboradas las casonas de la época colonial aún habitadas en la actualidad. Para su excavación es apropiado el uso de medios mecánicos tales como bulldozers, retroexcavadoras y cargadores frontales.



Fotografía 5.1 Depósitos fluviales del río Chillón a la altura del asentamiento Víctor Raúl Haya de la Torre (Ventanilla, Callao). Es un sector afectado por inundaciones.

Otros problemas de estos materiales son la presencia de lentes arcillosos o limo-arcillosos que los hacen susceptibles a fenómenos de asentamientos diferenciales, y de lentes y/o capas arenosas susceptibles a licuefacción de suelos como se registró en algunas zonas de el Callao y La Campiña.

En el sector de La Punta (Callao) predominan en superficie gravas arenosas, y en profundidad los materiales limoso-arcillosos, y esporádicamente limos saturados, de entre 1.0 y 2.5 m de potencia.

La capacidad portante de este tipo de depósitos es en promedio de  $0.5 \text{ kg/cm}^2$  (Cismid, 2004).

Respecto al espesor de los depósitos aluviales en Lima Metropolitana y el Callao, se tiene por ejemplo para el cono aluvial del río Rímac un promedio de 400 metros en las zonas centrales profundas, con un espesor máximo de 600 metros en la zona de La Perla, Callao (Guzmán *et al.*, 1997).



Fotografía 5.2 Depósito fluvial (parte inferior) y aluvial (parte superior) con presencia de cantos y gravas de formas subredondeadas en una terraza del río Chillón (fotografía: Luis Ayala, 2012).

**I-3 Depósitos proluviales:** Se originan a partir de torrentes de agua que bajan de manera súbita por quebradas formando abanicos y terrazas. El material que las constituye es heterométrico y mal clasificado (fotografía 5.3); por lo general, son angulosos a subangulosos, en matriz fina, permeables, medianamente consolidados a consolidados y susceptibles a erosión pluvial (lluvias). Suelen ser los depósitos que dejan los flujos hídricos (huaycos o flujos de detritos, flujos de lodo, etc.). Estos depósitos se hallan formados principalmente por gravas arcillosas (GC) y arenas arcillosas (SC), compactas (medianamente consolidadas), de baja a mediana plasticidad, generalmente impermeables a semipermeables. Se pueden presentar asentamientos con problemas de capacidad de carga por asentamientos diferenciales debido a la presencia de grandes bloques. Para su excavación es apropiado el uso de medios mecánicos.

Estos materiales suelen presentarse en los pisos de las quebradas al este de Lima Metropolitana donde en la actualidad se asientan poblados como El Ermitaño, parte de Independencia (Pampa de Cueva), Túpac Amaru, parte de Comas (Zona II), El Carmen y Víctor Andrés Belaunde; o los asentamientos y urbanizaciones asentadas en el piso de las quebradas Canto Grande, Jicamarca; así como los núcleos y urbanizaciones ubicadas en las quebradas Quiro, Pedregal (margen derecha del río Rímac); y Los Cóndores, California, La Cantuta, La Ronda, entre otras (margen izquierda del río Rímac), en Chosica.

Por su origen, las zonas asentadas en este tipo de materiales pueden verse afectadas por huaycos y flujos de lodo en casos de precipitaciones excepcionales.



Fotografía 5.3 Depósitos proluviales conformados por bloques y gravas en una matriz areno-limosa. Quebrada Media Luna (San Juan de Lurigancho).

**I-4 Depósitos coluviales:** Estos depósitos se han originado por meteorización y destrucción mecánica de rocas preexistentes, así como por transporte y deposición gravitacional (caídas de rocas y derrumbes), lo que ha producido acumulaciones en la base de las laderas de los cerros y en pequeñas quebradas. Están constituidos por gravas y cantos angulosos pobremente graduados, con bloques de hasta 3 m de diámetro en algunos sectores, en su mayoría con poca matriz o con ausencia de esta (la matriz suele ser arenosa, algo arcillosa), generalmente sueltas a medianamente densas.

Se pueden observar en las zonas cercanas a los cerros (fotografía 5.4) que circundan a Lima Metropolitana, como se registró en La

Planicie (La Molina), los asentamientos de San Juan de Lurigancho, Chaclacayo, Huaycán (Ate-Vitarte), entre otros. Los espesores de estos materiales son variables, entre menos de un metro hasta casi 10 m, su capacidad portante es baja e igualmente es baja su compacidad (Guzmán *et al.*, 1998).

Por su compacidad estos materiales pueden traer problemas en los taludes de corte. Se excavan fácilmente mediante el empleo de herramientas manuales y mecánicas.



Fotografía 5.4 Depósitos coluviales esparcidos sobre laderas de fuertes pendientes en Santa Clara (Ate-Vitarte).

**I-5 Depósitos lacustrinos y de humedales:** Corresponden a depósitos de lagunas, humedales, pantanos, etc. La granulometría de estos materiales es fina y está constituida por suelos limoso-arenosos medianamente densos, intercalados con arcillas limosas de mediana a baja plasticidad en superficie. Pueden estar conformados localmente por materiales compresibles, de naturaleza orgánica (turberas). Estos materiales tienen baja compacidad, lo que influye en su comportamiento negativo frente a los sismos.

Debido a la baja capacidad de carga de estos materiales, se les considera desfavorables para la estabilidad de cualquier obra civil, esperándose asentamientos de suelos. Otro factor negativo es su asociación con las napas freáticas superficiales y la presencia de sales (Guzmán *et al.*, 1997).

En el caso de los humedales, los superficiales se presentan totalmente saturados, debido a que el nivel freático alcanza la superficie.

Se puede observar este tipo de materiales en los sectores circundantes a los Pantanos de Villa (Chorrillos), en Los Laureles y en la avenida Huaylas (Chorrillos), como también en la zona donde se ubican las lagunas de La Molina, en algunas zonas de La Perla (el Callao), en los humedales de Ventanilla y en las

inmediaciones del sector de Caja de Agua (San Juan de Lurigancho).

**I-6 Depósitos marinos:** Este tipo de materiales se encuentra distribuido en la zona litoral de Lima Metropolitana y el Callao y están constituidos por acumulaciones de arenas sueltas mal graduadas (SP) con restos de pelecípodos (conchas). Son originados por la deposición de material por acción de las corrientes marinas (fotografía 5.5).

Los espesores de los depósitos marinos son mínimos, alcanzando menos de tres metros en las zonas más potentes, como se observó en las playas de Chorrillos. Se ubican formando playas, y en algunos sectores se encuentran cubiertos por depósitos eólicos. Su mayor extensión se observa en las playas de Villa, Conchán, Chorrillos y La Punta, manifestándose en menor proporción en el resto de la línea costera limeña.

Las construcciones sobre estos depósitos pueden presentar problemas de asentamientos por ser sedimentos inconsolidados y por su baja capacidad portante. Otro problema es la presencia de sales que provoca la corrosión de las estructuras metálicas. A esto se suma que en caso de sismos son susceptibles a licuefacción por

ser suelos saturados de agua (Guzmán *et al.*, 1998).



Fotografía 5.5 Depósito marino en la playa de Supe-Barranca (fotografía Luis Ayala, 2012).

I-7 Depósitos eólicos: Se ubican próximos al litoral cubriendo formaciones rocosas y llanuras aluviales, están ubicadas según la dirección preferencial de los vientos formando cordones y dunas; estos depósitos están constituidos generalmente por arenas finas a medias mal graduadas (SP). Su potencia es variable. Superficialmente se encuentran en estado suelto y su compactación aumenta con la profundidad. Son materiales inconsolidados, poco cohesivos, altamente compresibles y de baja densidad que presentan una buena permeabilidad. La compactación en ellos sigue rápidamente a la aplicación de la carga, sin embargo, la saturación de agua provocaría el debilitamiento o destrucción de los enlaces de su estructura, con su consiguiente colapso (González de Vallejo *et al.*, 2003). Puede suceder la ruptura de tuberías de agua y desagüe en casos de sismos de gran magnitud.

Este tipo de suelos plantea graves inconvenientes derivados no solo de su carácter colapsable en taludes de corte o en laderas al

aplicarse sobre ellos carga (muros de contención, tanques de agua, paso de vehículos pesados), sino también de las sales que contienen, que producen la corrosión de las estructuras metálicas. Las sales se presentan en muchos casos como «costras» que unen los granos de arena (fotografía 5.6) haciendo a estos materiales aparentemente más resistentes; sin embargo, en caso de sufrir contacto con el agua por ruptura de tuberías de agua o desagüe, riego u otro, estos materiales pierden su capacidad portante.

Pueden encontrarse depósitos eólicos en diversos sectores de Lima Metropolitana y el Callao, como por ejemplo en la urbanización El Sol de La Molina (Guzmán *et al.*, 1997). Otros sectores representativos de estos materiales son los distritos de Ancón y Ventanilla, al norte; Villa María del Triunfo, San Juan de Miraflores, Villa El Salvador (Lomo de Corvina), Lurín y Pachacamac, al sur de la ciudad.



Fotografía 5.6 Concentraciones de sales a manera de costras (A), sector Héroes del Cenepa (Lomo de Corvina, Villa El Salvador).

**I-8 Depósitos antropógenos (canteras y rellenos sanitarios):** Depósitos generados por el hombre en su interacción con el medio ambiente. Corresponde a la acumulación artificial de fragmentos de roca removidos artificialmente, materiales de desecho o una mezcla de ellos. Se encuentran acumulados en rellenos de basura, desmontes, relaves, desechos industriales, escorias, canchas de minerales, etc.

En este grupo se incluyen aquellos depósitos de escombros que han sido utilizados por el hombre, para rellenar algunas depresiones, ganar espacio a los ríos y playas, o tapar zonas húmedas para poder realizar sus construcciones (Villa, Ventanilla). Este material poco compacto y de composición variable, desde arcillas gravosas o arenas hasta basura, es de muy mala calidad geomecánica ya que durante un sismo es el que suele presentar más daño, como lo ocurrido en las ciudades de Moquegua (sismo en el año 2002) o Pisco e Ica (sismo del año 2007).

Los depósitos antropógenos corresponden también a acumulaciones de materiales, tales como terraplenes (pircas), basura, materiales de demolición de construcciones antiguas, etc. Son depósitos heterogéneos sin selección, constituidos por diversos elementos que van desde gravas, arenas, finos hasta escombros, maderas y desechos. Estos presentan mal comportamiento frente a sollicitaciones sísmicas y se agrava en sectores con presencia de agua subterránea superficial, se recomienda su remoción total. Se puede excavar fácilmente con herramientas manuales de excavación.

En resumen, los depósitos antropógenos son los que tienen peor calidad que todos los materiales superficiales. Los frentes de ondas sísmicas en estos materiales sufren amplificaciones, así como también inducen efectos de densificación o licuefacción que pueden afectar a las viviendas, carreteras u otras estructuras construidas sobre estos materiales (fotografía 5.7a, 5.7b, y 5.7c).



Fotografía 5.7a, 5.7b y 5.7c Antigua cantera que está siendo rellenada y ocupada por viviendas en Manchay (Lurín). Algunas viviendas presentan grietas y asentamientos.

## Unidad II: Rocas intrusivas

Esta unidad litológica abarca principalmente a los afloramientos intrusivos del Batolito de la Costa. Desde el punto de vista mecánico, estas rocas son duras y resistentes excepto cuando están fracturadas, alteradas o meteorizadas, lo que produce caídas de rocas o derrumbes. Estos procesos también se asocian a las laderas cortadas en forma inadecuada.

Las características físico-mecánicas de estas rocas, por lo general, son buenas; su capacidad portante para cimentar obras de ingeniería es alta, se debe eliminar, para estos fines, la capa superior alterada o cimentar a mayor profundidad (Guzman *et al.*, 1998).

Está subdividida a su vez en las unidades de intrusivos ácidos e intermedios (II.1) y los básicos (II.2).

**II.1. Monzogranito a Adamelita.** Son rocas de composición ácida a intermedia. Se caracterizan por estar mediana a intensamente

fracturados. Pueden observarse, por ejemplo, en los alrededores de Atocongo, Pachacamac, entre Ate y Chosica y en el valle del río Chillón. Se presentan formando laderas con pendientes medias a abruptas.

**II.2. Diorita y gabro.** Son rocas de composición básica. Es característico de estos materiales la formación de cavernas y la disyunción esferoidal debido a la intensa meteorización física a la que fueron sometidos en el pasado geológico (fotografía 5.9). Esto ha dado lugar a que se generen bloques redondeados y sueltos que pueden desprenderse con facilidad de las laderas, así como suelos arenosos. Lugares donde se puede observar este tipo de rocas son La Molina, El Agustino, San Juan de Luigancho, entre otros. Se presentan formando laderas con pendientes suaves a medias.



Fotografía 5.8 Granodiorita intensamente fracturada. Sector Pariachi (Ate-Vitarte).



Fotografía 5.9 Bloques sueltos con formas subredondeadas y subangulosas, producto de los procesos de meteorización en un afloramiento de diorita, ubicado en las nacientes de la quebrada Canto Grande (San Juan de Lurigancho).

### **Unidad III: Rocas volcánicas**

Conformada por lavas de composición andesítica y textura porfírica. Es característico de estas rocas el aspecto masivo y geoformas locales a manera de amígdalas y almohadillas (fotografía 5.10) que se formaron cuando no eran materiales sólidos. Por estar afectadas por fracturamiento y fallamiento local producen

bloques y fragmentos sueltos que se movilizan fácilmente con la gravedad, lo cual genera desprendimientos de rocas, derrumbes y forma materiales que pueden ser acarreados por flujos de detritos. Ocupan una franja orientada al NW-SE que se puede notar en el Cono Norte, a la altura de Comas, y en el Cono Sur entre Manchay y Punta Negra.



Fotografía 5.10 Afloramiento de lavas andesíticas en las nacientes de la quebrada Collique (Comas).

### **Unidad IV: Rocas vulcanosedimentarias**

Esta unidad litológica comprende los afloramientos de lavas andesíticas y depósitos piroclásticos (tobas, brechas y areniscas conglomerádicas) intercalados con calizas, areniscas, limolitas y lutitas (fotografía 5.11). Se pueden observar algunos ejemplos de esta unidad al sur de Lima: en el cerro La Milla (Condevilla Señor) y Año Nuevo en el distrito de Comas; en los cerros La Regla, Oquendo y Los Perros de donde se extienden hasta la refinería

La Pampilla en el distrito de Ventanilla (Callao); La Rinconada (San Juan de Miraflores), llegando hasta Villa Esperanza y Progreso en el distrito de Carabayllo. También se observan algunos afloramientos de estas litologías en Lurín, San Bartolo y Punta Hermosa.

Desde el punto de vista geomecánico, estas rocas tienen resistencia variable sobre todo cuando están fracturadas, alteradas o meteorizadas.



Fotografía 5.11 Derrames lávicos andesíticos intercalados con areniscas y lutitas. Sector de Miramar (Punta Hermosa).

## Unidad V: Rocas sedimentarias

Esta unidad litológica abarca los afloramientos de rocas sedimentarias de edades jurásico-cretácicas del área de Lima Metropolitana y el Callao. Está conformada por las subunidades de limolitas, lutitas, calizas y margas (V.1), areniscas y lutitas (V.2) y calizas compactas (V.3).

Desde el punto de vista geomecánico, estas rocas tienen resistencias variables, así las areniscas y calizas son de mayor resistencia que las limolitas y lutitas. Por su estratificación e intenso fracturamiento son susceptibles a caídas, derrumbes y desprendimiento de rocas.

**V-1. Limolitas, lutitas y calizas delgadas:** Esta asociación de rocas se encuentra al sur de Lima, por ejemplo en los cerros de Collique (Comas), Carabaylo, en el cerro El Agustino, en el cerro Cascajal en Monterrico (Surco) o en San Juan de Miraflores (fotografía 5.12). Debido a su intenso fracturamiento y baja calidad geomecánica, son susceptibles a la generación de caídas de rocas cuando se modifica la pendiente natural de sus laderas rocosas.

**V-2 Areniscas y lutitas:** Esta unidad litológica tiene su mejor exposición en el Morro Solar, loma ubicada en el distrito de Chorrillos desde donde se prolonga hacia el noreste de Lima, por las islas San Lorenzo y El Frontón hasta el valle del río Chillón. Está compuesta por areniscas intercaladas con delgados niveles de lutitas (fotografía 5.13). Las areniscas tienen una elevada resistencia mecánica, mientras que las lutitas son de baja calidad geomecánica y presentan resistencia mecánica y estabilidad bajas, lo que disminuye la calidad del macizo rocoso en su conjunto. Este tipo de litología genera pendientes moderadas a fuertes, siendo susceptibles a generar caídas de rocas y derrumbes.

**V-3 Calizas compactas:** Compuesta por calizas gris oscuro a negras. Su mejor desarrollo se encuentra en la cantera Atocongo en el distrito de Villa María del Triunfo, pero también puede observarse en los cerros San Francisco y Pamplona (San Juan de Miraflores), al norte de Carabaylo (fotografía 5.14) y en las partes altas de Comas. Este tipo de litología genera pendientes moderadas y se presentan escasamente movimientos en masa, solo genera caída de rocas cuando se han realizado cortes de talud en forma inadecuada.



Fotografía 5.12 Secuencia de limolitas, lutitas intercaladas con calizas. Nueva Rinconada (San Juan de Miraflores).



Fotografía 5.13 Areniscas cuarzosas intercaladas con delgados niveles de lutitas. Inty Llacta (Chorrillos).



Fotografía 5.14 Limolitas y lutitas intercaladas con estratos de caliza en Carabayllo.

## NAPA FREÁTICA SUPERFICIAL Y COMPORTAMIENTO DEL SUELO ANTE UN SISMO

La elevación del nivel freático en un territorio incrementa la probabilidad de mayores daños a estructuras durante un sismo de gran magnitud. Esto depende fundamentalmente de la permeabilidad de los materiales por encima del nivel freático (figura 5.1). Una baja permeabilidad de estos implicará una alta presión porosa de agua, produciendo a su vez un decrecimiento de los esfuerzos efectivos entre los granos sólidos (ver: licuefacción de suelos en el capítulo 4).

La licuefacción implica una reducción sustancial de la capacidad portante del suelo, en especial si se trata de:

- arenas finas y sueltas,
- arenas mal graduadas,
- arenas y limos mal graduados,
- arenas y limos saturados o con nivel freático alto,
- suelos granulares con  $SPT < 20$  (SPT: Standard Penetration Test).

Es importante mencionar que esto es más probable cuando los terrenos están saturados y son sometidos a vibraciones, ya que el

agua es capaz de transmitir las ondas sísmicas a mayor velocidad en un suelo saturado; mientras que en arenas secas se produce la densificación de las mismas. Se debe considerar además que el efecto puede producirse hasta 300 km de distancia del epicentro de un terremoto. Los efectos de la licuefacción incluyen los agrietamientos y dislocación de las coberturas superiores a la napa freática (figura 5.2).

Las fluctuaciones del nivel freático pueden deberse a causas naturales en su recarga, como cambio de curso de un río, escorrentía superficial, entre otros (Guzmán *et al.*, 1997).

Este fenómeno se ha producido en diversos sectores de Lima Metropolitana y el Callao donde, por razones de descarga, la masa de agua se encuentra más cerca de la superficie. Son ejemplos los sectores situados en las zonas bajas cerca al litoral como los Pantanos de Villa (Chorrillos); zonas donde existen suelos blandos y napa freática elevada que han producido saturación del terreno, como el área ocupada por la Universidad Agraria La Molina; zonas aledañas a las riberas del río Rímac (con profundidades de la napa de alrededor de un metro); y en algunos sectores del Callao, Puente Piedra, Los Olivos, San Juan de Lurigancho y Comas, entre otros, donde existen suelos blandos, sueltos y hasta rellenos artificiales; como se ha verificado gracias a los estudios del Cismid (2011a, 2011b, 2011c, 2011d, 2011e y 2011f).

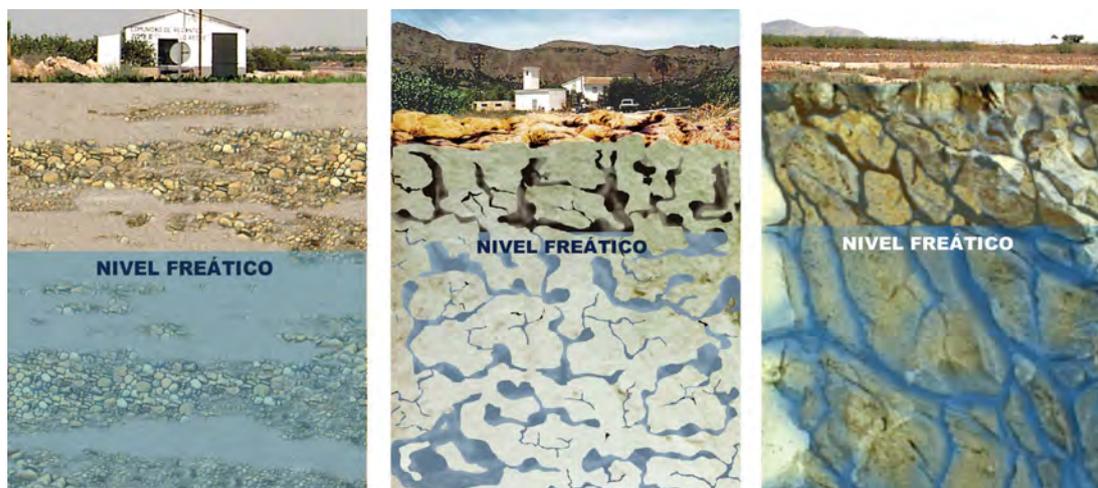


Figura 5.1 Nivel freático dependiendo de la litología y permeabilidad (tomado de: <http://www.villarejodemontalban.com/>).

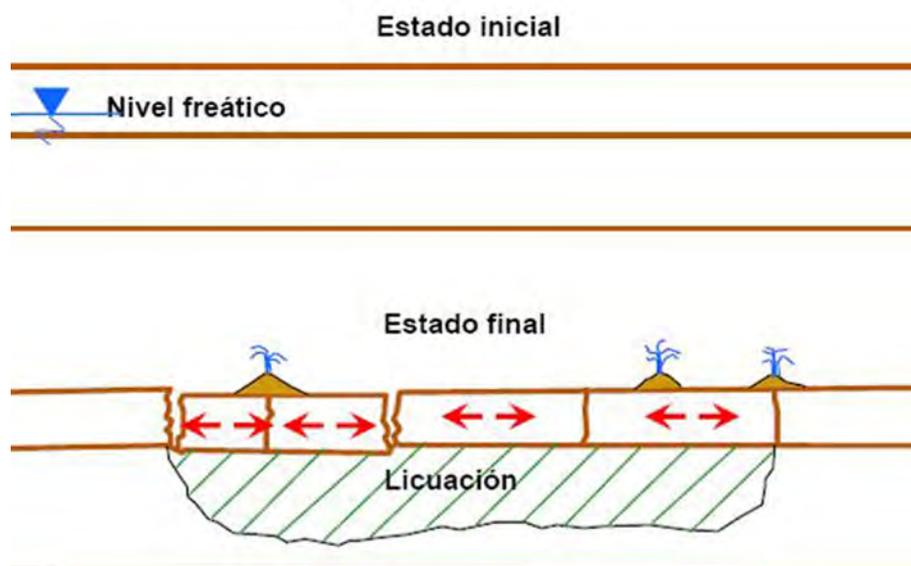


Figura 5.2 La licuefacción de terrenos arenosos y limo arcillosos ocasiona agrietamientos y dislocación en el terreno (tomado de: Youd, 1992).

## ESTABILIDAD Y CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

El tipo de suelo determina su comportamiento futuro a los esfuerzos y deformaciones que puedan originarse durante la vida útil de las estructuras que se cimentan sobre ellos. Sin embargo, no sólo del suelo depende la capacidad portante de un terreno, sino también de las características geométricas de las bases de las cimentaciones y de la profundidad a que se encuentren los materiales aptos para apoyarlas, que se revelan en el perfil estratigráfico del suelo.

El suelo de Lima Metropolitana y el Callao se puede considerar, en general, de características geotécnicas buenas por presentar una buena cohesión. Esto hace posible que en algunos sectores, como en el Cercado de Lima, se puedan efectuar cimentaciones superficiales porque el material de apoyo (gravas) es poco profundo. Además, permite realizar excavaciones verticales de hasta 15 m de profundidad, sin entubamiento. En el centro de Lima, por lo general, se admiten presiones de 4 kg/cm<sup>2</sup> y los

resultados a los ensayos de carga directa de algunos sectores han sido muy favorables, por ejemplo en los alrededores del Paseo de La República (Centro Cívico) donde se obtuvo hasta 15 kg/cm<sup>2</sup> (Cismid, 2004).

En los depósitos que forman los acantilados de la Costa Verde es posible observar taludes entre 60° y 90° con alturas de hasta 65 m, debido a las diferentes resistencias y cohesiones relativamente elevadas de las capas aluviales que muestran un buen encaje entre sí (fotografías 5.15 y 5.16). En algunos sectores del acantilado, como se observó entre Miraflores y Barranco, debido a la cementación de estos materiales con carbonato de calcio mezclado con aglomerantes limosos y arcillosos, es posible encontrar una relativa estabilidad; sin embargo, no se debe descartar que el comportamiento de éstos falle de producirse en Lima sismos de gran magnitud, sobre todo por la presencia de lentes arcillosos y limoso-arcillosos en algunos sectores del acantilado como en Chorrillos.



Fotografías 5.15 y 5.16 Taludes del acantilado de la Costa Verde en (A) Chorrillos (izquierda) y (B) Miraflores (derecha).

Ante un sismo de gran magnitud la respuesta dinámica de los suelos está condicionada por:

- Litología: a) en suelos blandos los periodos dominantes son más largos ya que las ondas viajan más tiempo; las aceleraciones son más bajas y las intensidades más altas; b) en rocas, los periodos son más cortos y las aceleraciones más altas.
- Espesor de los sedimentos.
- Topografía: los efectos se acentúan en laderas de pendiente media a alta.

Lo que se traduce en dos niveles de afección:

- Mayor afección en suelos blandos, con grandes potencias y/o en relieves altos.
- Menor afección para el caso de rocas, en cercanía al sustrato (suelos de poca potencia) y/o zonas llanas.

Son los sectores con presencia de arenas, limos y arcillas, o la combinación de estos materiales, los que van a presentar mayores problemas de construcción. Así, en La Perla (Callao), donde se han encontrado aglomerantes finos (limos y arcillas) entre las partículas gravosas, la presión admisible del terreno para las cargas estructurales disminuye hasta  $0.5 \text{ kg/cm}^2$ . Igual caso se da en la zona central del Callao donde las capas cercanas a la superficie están compuestas por arenas, limos y arcillas con componentes parcialmente orgánicos, que en su conjunto son de casi 10 m de espesor (Guzmán *et al.*, 1997). Otro lugar con presencia de lentes limo arcillosos es Chorrillos donde se han observado asentamientos originados por sismos, pero allí se admiten presiones sobre el terreno de hasta  $2 \text{ kg/cm}^2$ .

Otros terrenos susceptibles a asentamientos y licuefacción de suelos se localizarían en las riberas del río Rímac, al sureste de La Molina, en San Juan de Miraflores y Villa El Salvador (Cismid, 2004).

En el distrito de La Molina, donde el Cismid ha registrado presencia de arenas finas de baja compacidad (como en algunas urbanizaciones de La Molina Vieja, los interiores de la Universidad Agraria La Molina y los sectores El Haras y Las Lagunas), los valores de capacidad portante del terreno son bajos. Así, por ejemplo, para una cimentación corrida de 0.6 m varía de  $0.6 \text{ kg/cm}^2$  a  $0.8 \text{ kg/cm}^2$ , a profundidades de cimentación entre 1.8 m y 2.5 m (Cismid, 2011d). En El Remanso, Las Viñas, El Sol de La Molina, La Estancia y Los Portales, la capacidad de carga admisible para una cimentación corrida de 0.6 m varía de  $0.8 \text{ kg/cm}^2$  a  $1 \text{ kg/cm}^2$ , a profundidades de cimentación entre 1.5 m y 2 m. (Cismid, 2011d).

Otro sector comprometido es el Lomo de Corvina en Villa El Salvador donde la capacidad portante del terreno es baja. Así, por ejemplo, se obtienen valores de carga admisible entre  $0.65$  a  $0.87 \text{ kg/cm}^2$ , con cimentaciones corridas de 0.6 m de ancho y profundidades de cimentación entre 1.8 m y 2.5 m. De otro lado, en la playa de Villa El Salvador, el nivel freático es muy bajo, de aproximadamente 2 m (Cismid, 2011f).

Los valores de las presiones admisibles expuestos aquí son referenciales y no se brindan para fines de diseño. No es adecuado deducir la resistencia y comportamiento de un suelo a partir de las características de otro, aun cuando estén próximos entre sí, por la elevada variabilidad de estos parámetros en cada caso en particular. Para el caso de estructuras importantes siempre será necesario establecer la capacidad portante en base a estudios de suelos que contemplen una evaluación geológica del lugar, niveles de cimentación y presiones admisibles de carga, establecidas tanto en función de la seguridad como de las deformaciones permisibles para el sistema estructural de que se trata.

Los estudios de suelos son obligatorios, tal como lo establece el Reglamento Nacional de Edificaciones vigente (DS N° 011-2006-VIVIENDA, Peru.Reglamentos, 2006) e incluyen (Carrillo, 1989):

- Trabajos de campo para establecer la estratigrafía y ensayos para determinar los parámetros reales de la resistencia y deformación del suelo.
- Extracción de muestras inalteradas del suelo para verificar en el laboratorio los datos obtenidos en el campo.
- Cálculos y aplicación de métodos y teorías de la mecánica de suelos para establecer las condiciones de estabilidad, la capacidad portante, el factor de seguridad, etc.
- Recomendaciones constructivas para la cimentación tomando en cuenta la sismicidad del área y en ciertos casos de solución a los problemas de sales agresivas en el agua o en el suelo de fundación.
- Consideraciones acerca de la estabilidad de taludes o de otro tipo que pudieran afectar a la obra de ingeniería durante su vida útil.

Tanto el reglamento como las directivas que establecen los requisitos mínimos que deben cumplirse para realizar construcciones en nuestro país han sido emitidos para disminuir las múltiples fallas y daños en las obras proyectadas.

## CONSIDERACIONES PARA LA EXPANSIÓN EN LIMA METROPOLITANA Y EL CALLAO

Una de las problemáticas principales en el Perú es la concentración poblacional en las grandes ciudades de la costa, con la consiguiente disminución y deterioro de las áreas cultivadas. La expansión urbana, a nivel nacional en los últimos 50 años, ha originado la disminución de la calidad de vida de la población, la elevación del costo de los productos alimenticios y la creciente dependencia al consumo de productos de importación. Todo ello por la falta de planificación en el uso de la tierra, lo que ha originado la invasión de terrenos agrícolas para proyectos de urbanización, sin medir las consecuencias futuras y su implicancia en el desarrollo socioeconómico de la población peruana (Guzmán *et al.*, 1998).

La deficiencia en el planeamiento urbanístico y en la generación de políticas de ordenamiento urbano, junto a la escasez de viviendas en Lima Metropolitana y el Callao, habría promovido su ocupación desordenada y las condiciones económicas y sociales de marginalidad en las que viven varios sectores de la población, que han tenido que ocupar los terrenos más expuestos a la acción de eventos peligrosos de diversa índole, y es allí donde las condiciones de informalidad y delincuencia abundan. Por ello, se cree que existiría un paralelismo entre marginalidad, pobreza y exposición frente al peligro, por lo que el factor riesgo constituye un nuevo indicador del estado de bienestar o de pobreza de una población (Capel, 1999).

Ante la escasez de terrenos en espacios más cercanos a Lima Metropolitana, las inmobiliarias apuntan a construir «ciudades satélites» en las áreas alejadas del centro como en Pachacamac, Lurín y Punta Hermosa. Estos proyectos permitirán el uso de terrenos desiertos para proyectos de urbanización, planificando además su crecimiento ordenado. Las necesidades de servicios básicos que se tienen que cubrir para el emplazamiento de estas urbanizaciones se analizaron en el «Estudio Geotécnico de Futuras Áreas de Expansión Urbana entre Lima y Cañete» (Guzmán *et al.*, 1998). Estas se pueden resumir en:

- Agua potable: Se podrá cubrir mediante la explotación de los recursos hídricos subterráneos del área donde se ubicará la ciudad o de áreas aledañas; o del agua que se podría captar del río Cañete transportado a través de un canal que suministre

agua a toda la zona sur de Lima, para lo cual es necesario efectuar estudios de la disponibilidad de las aguas del río Cañete y de afianzamiento en su cuenca alta.

- Energía eléctrica: Sería conveniente la ubicación de una subestación eléctrica en la zona de Mala-Asia, así como la instalación de una central térmica (a diesel o gas) en la zona litoral del distrito de San Antonio (Mala). Se sugiere el lugar denominado La Bomba (ubicado al norte de León Dormido y al sur del cerro La Virgen) que permita cubrir la demanda eléctrica de la zona.
- Sistema de transporte masivo: Es necesaria la construcción de accesos de la ciudad satélite a la autopista de la carretera Panamericana Sur, y transporte mediante vehículos de amplia capacidad (tipo El Metropolitano); así como la ampliación de la línea del tren eléctrico desde su terminal en Villa El Salvador hacia el sur.
- Sistema de recreación: Se deben explotar para la recreación las numerosas playas, que en su mayoría han sido urbanizadas y ocupadas por clubes privados (Asia, Mala); así mismo, es necesario que sean protegidas las reservas ecológicas de Chilca-Puerto Viejo y Cerro Azul donde se destacan lagunas, juncales, fauna típica, etc., para el disfrute de todos los que deseen visitarlas, evitando su depredación; igualmente se pueden desarrollar los siguientes deportes: ski en arena, ski acuático a lo largo de las diferentes playas del litoral, motocross a lo largo de las planicies y colinas que destacan en el sector, vuelo con ala delta considerando la dirección de los vientos y la altura de las colinas y acantilados.
- Proyectos agroforestales y de reciclaje: Teniendo en cuenta la aridez de la zona y con la finalidad de controlar el avance de los depósitos eólicos, es necesario desarrollar proyectos de desarrollo agroforestal como el proyecto metropolitano del reuso de aguas servidas para irrigar las pampas de San Bartolo. El caudal a utilizar es de 5 m<sup>3</sup>/seg de aguas servidas en base a un módulo de 1 l/seg/ha. El proyecto ha merecido el estudio de varias misiones, la última ha sido la Misión Japonesa que trabajó en convenio con Sedapal. El reciclaje de las aguas que se utilizarían en las ciudades satélites, para desarrollo agroforestal de su entorno y riego de parques y jardines, deberá ser ejecutado a la vez que el de la habilitación urbana.

# CAPÍTULO VI

## ZONAS CRÍTICAS Y PREVENCIÓN DE DESASTRES

POR: SEGUNDO NÚÑEZ & SANDRA VILLACORTA

La ciudad de Lima es, por sus condiciones geológicas, geográficas y climáticas, una de las zonas más propensas a sufrir cuantiosos daños por procesos geológicos como los terremotos, huaycos, derrumbes y otros. A pesar de que año tras año los medios de comunicación alertan sobre la ocurrencia de desastres, dando a conocer las pérdidas de vidas humanas y materiales en el país, no se han hecho aún los esfuerzos necesarios que permitan prevenir los efectos provocados por peligros geológicos y geohidrológicos. Así, la población persiste en ocupar lugares con alta susceptibilidad a procesos como huaycos e inundaciones. Ejemplos de este tipo de actuaciones son la ocupación de las quebradas La Ronda, Los Cóndores y La Cantuta (Chosica), afectadas en 1998 y 2012 por flujos de detritos (Zavala *et al.*, 2012), contrariamente a las recomendaciones técnicas hechas por expertos (Ingemmet, Indeci, Sismid, IRD, etc.).

En el presente capítulo se señalan breves alcances para la realización de un análisis de riesgo en Lima Metropolitana y el Callao, así como se dan algunas recomendaciones generales que pueden ayudar a evitar los problemas asociados a peligros geológicos o que las poblaciones sean gravemente afectadas.

### ALCANCES PARA EL ANÁLISIS DEL RIESGO

El análisis del riesgo es una tarea multidisciplinaria y compleja e implica una evaluación completa de todas las variables involucradas en la fórmula del riesgo:  $R = P * E * V$ , donde: R es el riesgo, P es la peligrosidad, E la exposición y V la vulnerabilidad.

La metodología más empleada en este tipo de análisis es la *Evaluación multicriterio*, un conjunto de técnicas utilizadas en la decisión multidimensional dentro del campo de la toma de decisiones (Barredo, 1996; Barba & Polmerol, 1997). Esta técnica es empleada frecuentemente en los estudios territoriales de índole ambiental (estudios de impacto ambiental, etc.) y, sobre todo, en proyectos del ámbito de los sistemas de información geográfica (Barredo, 1996; Barredo & Bosque, 1999; Malczewski, 1999). Plantea la posibilidad de evaluar determinadas variables (en este

caso las componentes del riesgo) en función de múltiples criterios (factores o restricciones).

El éxito de un análisis de este tipo depende mucho de la calidad de la información que se consigue. Hay que considerar además que se debe analizar de manera independiente cada fenómeno (por ejemplo: riesgo ante flujos de detritos, riesgo volcánico, riesgo sísmico, etc.) y que es necesario un trabajo exhaustivo de búsqueda y análisis de la información por parte de cada experto en las variables consideradas, para que sea válido el análisis.

### Vulnerabilidad

La vulnerabilidad ha sido definida por la UNISDR (2009) como «las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza». Para efectuar el análisis de la vulnerabilidad es preciso identificar los elementos en riesgo: población, servicios, infraestructuras, etc., los cuales se deben valorar según el grado de vulnerabilidad. Por ejemplo, en el análisis de la vulnerabilidad de las viviendas se deben considerar el número de plantas, el material que las constituye (cuadro 6.1), etc.

Si se considera la posible interrupción de las vías de comunicación durante la ocurrencia de desastres, es preciso identificar el nivel de accesibilidad de los lugares evaluados. Una mala accesibilidad representa una forma de vulnerabilidad: el difícil acceso reduce la posibilidad de socorrer a la población o de movilizar los recursos para el manejo de una emergencia (bomberos, protección civil, médicos, etc.). Este análisis se hace tomando en cuenta, por ejemplo, el número de intersecciones vías-cauces de quebradas, pendiente del terreno, distancia a los cauces y a vías de comunicación, etc. Como un ejemplo, en el cuadro 6.2 se señalan las variables consideradas en el Estudio «Recursos de respuesta inmediata y de recuperación temprana ante la ocurrencia de un sismo y/o tsunami en Lima Metropolitana y Callao» (D'Ercole *et al.*, 2011) para hallar el nivel de accesibilidad en Lima Metropolitana y el Callao.

Cuadro 6.1

Material de construcción predominante en Lima Metropolitana y el Callao (tomado de: Cismid, 2004)

Ladrillo o bloque de cemento	Es el material predominante en la ciudad de Lima, en los sistemas constructivos de albañilería confinada, albañilería por muro portante y edificaciones con losas y vigas de concreto armado con cerramiento de ladrillos. Lamentablemente, en las zonas en proceso de consolidación o consolidadas recientemente en la periferia de la ciudad, este material ha sido usado en edificaciones hechas por autoconstrucción, sin asesoramiento técnico, por lo que su nivel de vulnerabilidad es medio.
Adobe	Material predominante de las viviendas antiguas. Se caracteriza por su alta rigidez estructural, pero es de poca resistencia en caso de un sismo, puede llegar a colapsar de manera súbita.
Madera	Material liviano predominante en zonas de expansión urbana en proceso de consolidación, especialmente en áreas de pendiente alta o en arenales. No es muy vulnerable en caso de sismo por ser de un piso, salvo en caso de colapso de la terraza donde se asienta.
Quincha / estera	Materiales livianos, existentes en menor medida en la ciudad de Lima. Encontramos quincha en los segundos pisos de edificaciones antiguas cuyo primer piso es de adobe, y esteras en ocupaciones incipientes.

Cuadro 6.2

Variables consideradas para caracterizar la accesibilidad de las zonas en Lima Metropolitana (tomado de: D'Ercole et al., 2011).

Accesibilidad de noche	
Caracterización interior de la zona	Permeabilidad de la zona: cálculos en relación al perímetro de la zona
Densidad de la red vial (km/superficie)	Número de entradas y salidas de la zona
Densidad de la red principal (km/superficie)	Indicador de permeabilidad del perímetro de la zona considerando: % del perímetro con obstáculos totales: cerro, mar, espacios cerrados. % del perímetro con obstáculos parciales: río y vías a desnivel (función del número de puentes/km). % del perímetro sin obstáculos.
% superficie a más de 500 m de la red principal	
% superficie de cerros	
Ancho promedio de las vías	
Accesibilidad de día	
Las variables anteriores más el número de puntos de congestión vehicular por kilómetro de vías principales.	

## Exposición

El grado de exposición ha sido definido por la UNISDR (2009) como «la población, las propiedades, los sistemas u otros elementos presentes en las zonas donde existen amenazas y, por consiguiente, están expuestos a experimentar pérdidas potenciales». Para estimar la exposición se deben identificar todas

las variables que tienen influencia en ella, para cada elemento expuesto. Por ejemplo, para el análisis de exposición social por inundaciones en España, en el estudio «Análisis del riesgo de inundación para planes autonómicos de protección civil: RICAM» (Díez *et al.*, 2008) se tomaron en cuenta las variables señaladas en el cuadro 6.3.

**Cuadro 6.3**  
Variables consideradas para evaluar la exposición social por efecto de inundaciones en España (tomado de: Díez *et al.*, 2008)

Exposición social	Observaciones
Exposición total	Población total expuesta (nº habitantes censados)
Permanencia espacial de la población	Densidad de población
Permanencia temporal de la población	Por sectores de edad. Por índice de desempleo. Por existencia de instituciones educativas. Por existencia de campamentos turísticos ( <i>campings</i> ). Por existencia de residencias de ancianos. Por existencia de centros hospitalarios. Por existencia de polígonos industriales. Por grado de ocupación de la vivienda. Por la tipología de vivienda (nº de plantas).

Para el caso de Lima Metropolitana y el Callao, las poblaciones e infraestructura están expuestas principalmente a desprendimientos de rocas, derrumbes y huaycos, como también a los peligros geohidrológicos (inundaciones y erosión fluvial en los tres valles principales). Además hay otros procesos a tomar en cuenta en el análisis de exposición como son los sismos o hundimiento y licuefacción de suelos (capítulo 4) por los grandes daños que ocasionarían en la ciudad capital.

## Riesgo

Según la UNISDR (2009), el riesgo es «la combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas». Asimismo señala que, en un contexto técnico, el análisis del riesgo debe hacer énfasis en el cálculo de «pérdidas posibles relativas a cierta causa, lugar y momento en particular».

Los mapas de riesgo ayudan a calcular las pérdidas producidas por un determinado evento, recalándose que los límites diferenciados solo se refieren a un escenario determinado, por lo que variarán a medida que pase el tiempo en función al crecimiento de la población.

## ZONAS CRÍTICAS POR PELIGROS GEOLÓGICOS Y GEOHIDROLÓGICOS EN LIMA METROPOLITANA Y EL CALLAO

Como una contribución a la realización de futuros análisis de riesgos en Lima Metropolitana y el Callao, se presentan las zonas críticas por peligros geológicos y geohidrológicos. Los mapas de susceptibilidad se han contrastado con otros de la distribución de las viviendas e infraestructura para hallar áreas pobladas con recurrencia periódica de peligros geológicos y geohidrológicos y alta susceptibilidad a procesos geológicos que pueden causar desastres. En Lima Metropolitana y el Callao se han identificado un total de 107 zonas críticas por peligros geológicos y geohidrológicos (figura 6.2), las cuales se describen en el anexo II. Dichos sectores tienen alto potencial de generar desastres y se necesita estudiarlos al detalle, incluyendo análisis de frecuencias, especialmente los periodos de retorno de los peligros geológicos detonados por lluvias intensas y fuertes sismos. El desarrollar investigaciones de detalle permitiría diseñar y ejecutar obras de prevención y/o mitigación; o mejorar las medidas anteriormente adoptadas, si las hubiera. De no poderse realizar las obras de prevención y/o mitigación para prevenir las consecuencias de posibles desastres es necesario considerar la reubicación de las viviendas. Por tanto,

las zonas críticas deben ser consideradas dentro de los planes o políticas regionales y locales sobre prevención y atención de desastres (Fidel *et al.*, 2006). Además sería necesario monitorear las zonas que indicaron valores de susceptibilidad de alta a muy alta y los movimientos en masa activos, principalmente en las zonas más vulnerables como las áreas de las quebradas La Cantuta y Quirio (Chosica), Huaycoloro (San Juan de Lurigancho), el sector La Rinconada (Villa María del Triunfo), la duna Loma de Corvina, entre otros.

Es importante destacar que la población ha invadido gran parte de las laderas de los cerros (36 % de la población de Lima Metropolitana viviría en laderas según MCLCP, 2007) y que existe un importante factor de vulnerabilidad: el material empleado para la construcción de viviendas en esos lugares (en muchos casos madera y esteras, y en menor cantidad quincha y adobe). Por ese motivo las construcciones son débiles y es probable que se derrumben ante precipitaciones diarias de 10-15 mm, como algunos de los episodios con lluvia excepcional causados por el fenómeno ENSO (Capel, 1999); esos valores de precipitación son relativamente bajos. En otros dominios, precipitaciones diez veces más cuantiosas son retenidas por la vegetación y los suelos. Sin embargo, Lima Metropolitana y el Callao corresponden a un dominio geomorfológico hiperárido, cuya principal característica es la escasez de precipitaciones y, por lo tanto, también la total ausencia de vegetación en las vertientes. Bajo esas condiciones, precipitaciones moderadas pueden generar elevados caudales en la escorrentía, que fluye por las laderas sin encauzarse, y alimentar un flujo turbulento con alta capacidad de erosión y transporte (los huaycos). De este modo, la litología, el clima (en escalas de decenas de años) y la meteorología (precipitación en

un solo día) pueden desencadenar desastres que, a pesar de tener un periodo de recurrencia tan largo, quedan registrados en las hemerotecas por los daños que pueden causar.

Los ejemplos de procesos notables que han producido o podrían causar pérdidas humanas y materiales en Lima Metropolitana y el Callao (capítulo 4) demuestran una vez más que muchas viviendas fueron construidas sin que la población considere las posibles condiciones adversas que los rodean.

A continuación, se alcanzan una serie de recomendaciones generales y específicas para cada zona crítica. Sin embargo, es necesario evaluar al detalle estos sectores para el correcto diseño de las obras de mitigación sugeridas.

## MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

Las siguientes recomendaciones son medidas generales para el tratamiento de zonas con peligros geológicos y geohidrológicos. Se han dividido de acuerdo al tipo de proceso.

### Para zonas con caídas

La aplicación de medidas correctivas en zonas con caídas se puede realizar sobre taludes que tienen pendientes más fuertes que las necesarias para su estabilización; para tener un factor de seguridad predeterminado y estabilizar fenómenos de rotura. A continuación, se muestran algunos de los diferentes tipos de solución empleados en la corrección y tratamiento de zonas con caídas:

- Corrección por modificación de la geometría del talud. Consiste en estabilizar el ángulo del talud ya sea por corte del talud, escalonamiento de taludes en terrazas (figura 6.1), etc.

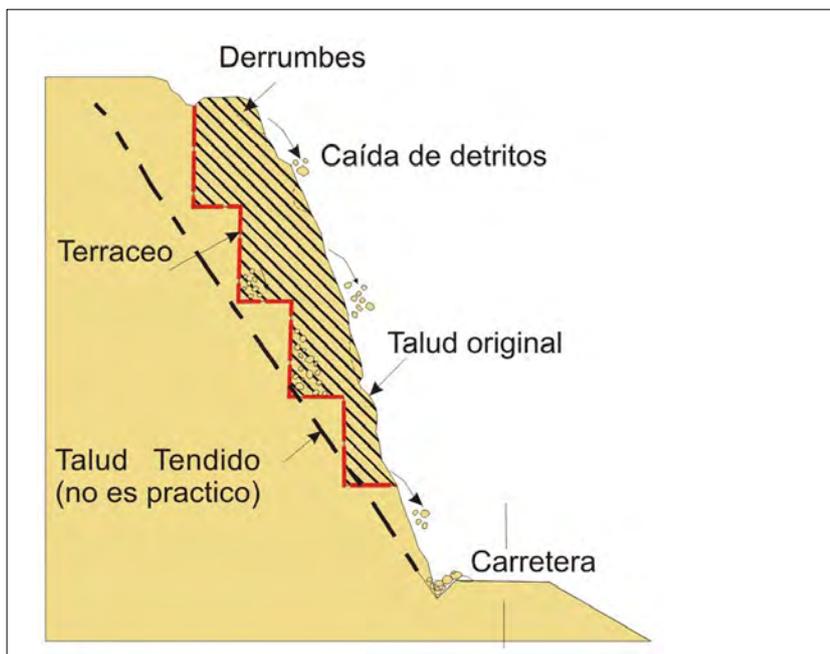
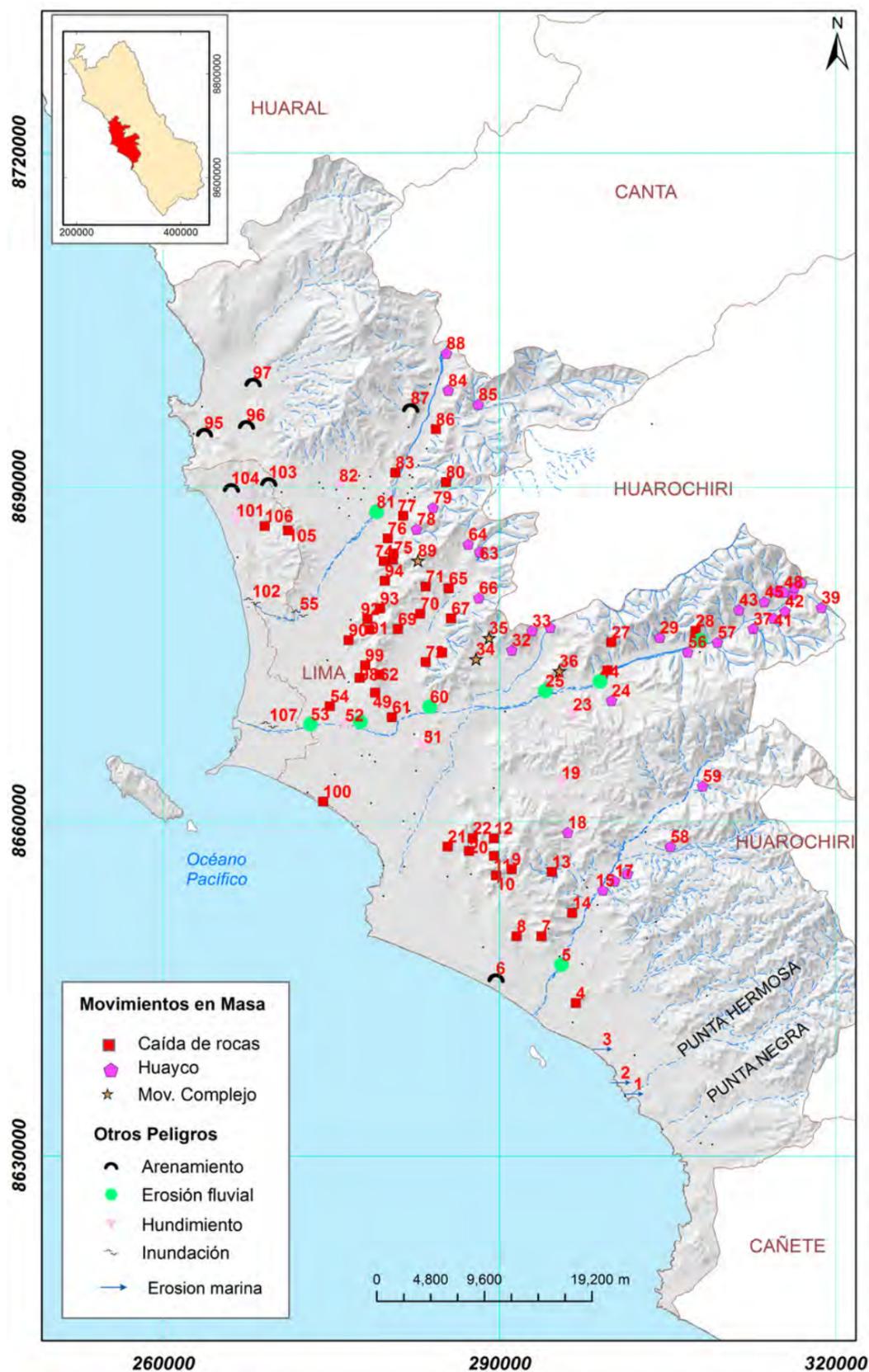


Figura 6.1 Escalonamiento de taludes en terrazas para corregir un talud inestable (tomado de: Ingemmet, 2003).



### Lima Metropolitana

#### Punta Hermosa

- 1, Punta Hermosa. Erosión marina
- 2, Playa Rincón. Erosión marina

#### Lurín

- 3, Playa Jaguay. Erosión marina
- 4, Pampa Mamay. Derrumbes
- 5, Sector Oasis. Erosión fluvial

#### Villa El Salvador

- 6, Lomo de Corvina-Santa Rosa. Arenamiento, licuefacción, flujo de arena

#### Villa María del Triunfo

- 7, A.H. Fujimori. Derrumbes
- 8, Cerro Conchita, AH Jose Gálvez. Caída de rocas
- 9, A.H. Heroes del Cenepa. Caída de rocas y huaycos
- 10, Cerro El Arbolito-A.H. 12 de Junio. Caída de rocas
- 11, Quebrada Progreso. Caída de rocas y huaycos
- 12, Quebrada Rinconada. Caída de rocas
- 13, Manchay Bajo. Caída de rocas y huaycos

#### Pachacamac

- 14, Guayabo-Picapedra. Caída de rocas
- 15, Quebrada Tambo-Inga-Pampa Flores, Huayco
- 16, Quebrada Golondrina. Huayco
- 17, Pampa las Flores. Huayco
- 18, Pedregal. Huayco
- 19, Las lomas. Hundimiento

#### San Juan de Miraflores

- 20, El Mirador-San Francisco. Caída de rocas
- 21, Villa Los Ángeles. Caída de rocas
- 22, Nueva Rinconada. Caída de rocas

#### Ate-Vitarte

- 23, Las Americas-Santa Clara. Hundimiento
- 24, Huaycán-Pariachi-Gloria. Huaycos

#### Lurigancho-Chosica

- 25, Ramiro Priale-Puente Santa Clara. Erosión fluvial
- 26, Quebrada Huaycoloro. Huayco
- 27, A.H. Victor Raul Haya de La Torre. Caída de rocas
- 28, Huampani Alto. Caída de rocas
- 29, Quebrada Vizcachera. Huaycos
- 30, Huampani. Erosión fluvial
- 31, Carapungillo. Huaycos y caída de rocas
- 32, Qda Tensometro. Huaycos
- 33, Saracoto. Huaycos
- 34, Valle el Triunfo. Caída de rocas, huaycos
- 35, Anexo 8 Jicamarca. Caída de rocas y huaycos
- 36, AA.HH. Unión Juventud-Pachacutec. Caída de rocas y huaycos

- 37, Qda California. Huayco

- 38, Quebrada Mariscal Castilla, Flujo de detritos

- 39, Qda La Ronda, Flujo de detritos

- 40, Qda Pedregal, Flujo de detritos

- 41, Qda La Cantuta, Flujo de detritos

- 42, Quebrada Santo Domingo, Flujo de detritos

- 43, Qda Santa Maria, Flujo de detritos

- 44, Carapongo, Erosion Fluvial

- 45, Qda. Quirio, Flujo de detritos

- 46, Qda Rayitos de Sol, Flujo de detritos

- 47, Qda. Carossio, Flujo de detritos

- 48, Qda Libertad, Flujo de detritos

#### El Rímac

- 49, Flor de Amancaes-Horacio Zevallos. Caída de rocas y huaycos

- 50, Puente del Ejército-Morales Duarez. Erosión fluvial

#### El Agustino

- 51, Cerros El Agustino y San Pedro. Hundimiento

#### San Martín de Porres

- 52, Morales Duarez. Hundimiento
- 53, Puente Universitaria-Carmen de La Legua. Erosión fluvial
- 54, AH Victor Raul Haya-Cerro La Milla. Caída de rocas
- 55, San Diego. Inundación

#### Chaclacayo

- 56, Quebrada Las Cumbres. Huaycos
- 57, Quebrada Los Cóndores. Huaycos

#### Cieneguilla

- 58, Qda Tinajas. Huayco e inundación
- 59, Huaycan de Cieneguilla. Huayco

#### San Juan de Lurigancho

- 60, Zarate-Margomarca. Erosión fluvial
- 61, Cerro San Cristobal-Caja de Agua. Caída de rocas
- 62, Cerro Canto Chico. Caída de rocas
- 63, Quebrada Media Luna. Huaycos
- 64, Jicamarca, AH Los Portales. Huaycos y caídas de rocas
- 65, A.H. Nuevo Amanecer. Caída de rocas
- 66, A.H. Pedregal Alto. Huaycos
- 67, AA.HH. Mariscal Ceres-Las Vegas. Caída de rocas
- 68, AA.HH. Juan Pablo II -Nuevo Amanecer. Caída de rocas
- 69, Nuevo Jerusalem. Caída de rocas
- 70 Saúl Cantoral / Santa Rosa de Lima. Caída de rocas

- 71, 4ta Etapa Mariategui. Caída de rocas

- 72 A.H. Huanta. Caída de rocas

#### Carabaylo

- 73, A.H. Nueva Unión. Caída de rocas
- 74, A.H. Los Ángeles de Carabaylo, Caída de rocas
- 75, Comit, 78 / Virgen de F tima. Caída de rocas
- 76, Comit, 39 - Sector Progreso. Caída de rocas
- 77, 3er. Sector El Progreso. Caída de rocas
- 78, Quebrada Progreso. Huayco y caída de rocas
- 79, Torre Blanca, Carabaylo. Huayco
- 80, Torre Blanca - Punchauca. Huaycos y caída de rocas
- 81, Camino Real / Chaperito. Erosión fluvial
- 82, Sector Paraíso. Hundimiento
- 83, Cerro Amauta. Caída de rocas
- 84, Chocas. Huayco
- 85, Caballero / Quebrada Caballero. Huaycos
- 86, El Rosario-Caballero. Huayco y caída de rocas
- 87, Pampa de Huarangal. Arenamiento
- 88, Qda. Trapiche. Huayco

#### Comas

- 89, Collique 8va. / 7ma. Zona. Caída de rocas y huaycos
- 90, AA.HH. Ampliación La Merced. Caída de rocas
- 91, AH. 2 De Mayo. Caída de rocas
- 92, Cerro Sinai. Caída de rocas
- 93, Proyecto Integral 2000. Caída de rocas
- 94, A.H. Cristo Rey. Caída de rocas

#### Ancón

- 95, Cerro La Cruz. Arenamiento
- 96, Piedras Gordas-Vanguar. Arenamiento
- 97, Pampa Ancón. Arenamiento

#### Independencia

- 98, Ermitaño-Sta Rosa de Lima. Caída de rocas
- 99, Paraiso-Vista Alegre. Caída de rocas

#### Magdalena del Mar, Miraflores, Barranco, San Isidro, Chorrillos

- 100, Acantilados de la Costa verde. Caída de rocas, derrumbes, erosión de laderas

#### Provincia Constitucional del Callao

##### Ventanilla

- 101, Pantanos de Ventanilla, Hundimiento
- 102, A.H. Victor Raul Haya de la Torre. Inundación
- 103, Loma Larga. Arenamiento
- 104, La Victoria / Cerro Cachito. Arenamiento
- 105, A.H. Cesar Vallejo. Caída de rocas
- 106, Ciudad Satelite (Calle 14). Caída de rocas

##### El Callao

- 107, Gambeta Baja. Inundación

Figura 6.2 Zonas críticas en Lima Metropolitana (modificado de: Núñez & Vásquez, 2010).



- Corrección por drenaje. Las medidas de corrección por drenaje son de dos tipos: *drenaje superficial* por medio de zanjas de drenaje, impermeabilizadas o no; y *drenaje profundo*, que tiene como finalidad deprimir el nivel freático del afloramiento. En ambos casos es necesario la participación de un hidrogeólogo para el diseño de los drenes.
- Corrección por elementos resistentes como anclajes, muros (de gaviones o de concreto), bandas de refuerzo, etc.
- Correcciones superficiales. Consiste en técnicas ligeras y se usan cuando el problema no es tan crítico. En esta categoría se tiene por ejemplo el uso de mallas metálicas, capa de hormigón que cubra el talud inestable (gunitado), sembrado de cobertura vegetal y el dejar un margen de seguridad al pie del talud frente a caídas y vuelcos de rocas con el fin de no destruir infraestructuras cercanas a ella.

### Para erosión de laderas

En zonas donde la erosión de laderas es aguda con presencia de cárcavas de gran amplitud, se deben aplicar prácticas de conservación y manejo agrícola como:

- Regeneración de la cobertura vegetal, de preferencia con flora nativa, a lo largo de la cárcava y en las zonas circundantes a ellas, para asegurar su estabilidad.
- Empleo de zanjas de infiltración y desviación de las aguas, para evitar su entrada al sistema y avance del acaravamiento.
- Construcción de diques o trinchos transversales constituidos con materiales propios de la región, como troncos, ramas, etc. (figura 6.3).
- Zanjas de infiltración articuladas.
- Realizar prácticas de conservación y regeneración de la cobertura vegetal conformada por pastos, malezas y arbustos con fines de estabilizar el terreno y controlar la erosión. En la selección de árboles a utilizarse debe contemplarse las características de las raíces, las exigencias respecto al tipo de suelos y portes que alcanzarán versus la pendiente y profundidad de los suelos. Se recomienda además que las plantaciones forestales se ubiquen al lado de las zanjas de infiltración construidas paralelas a las curvas de nivel.

### Para huaycos

Es preciso tomar medidas en quebradas de régimen temporal donde se producen huaycos periódicos a excepcionales que pueden alcanzar grandes extensiones y pueden transportar grandes volúmenes de sedimentos gruesos y finos.

Para el caso de Lima Metropolitana, donde existen muchas quebradas secas que han sido ocupadas por asentamientos humanos y sin dejar un drenaje alguno, obturando su desfogue natural, es necesario hacer un ordenamiento en las calles que están dentro del cauce de la quebrada.

Hay que realizar una fijación de los sedimentos en tránsito y minimizar el transporte fluvial, y también es preciso aplicar, en los casos que sean posibles, las medidas que se proponen a continuación:

- Encauzar el cauce principal de los lechos aluviales secos, retirando los bloques rocosos en el lecho y seleccionando los que pueden ser utilizados para la construcción de enrocados, espigones o diques transversales artesanales, siempre y cuando dichos materiales sean de buenas características geotécnicas. Considerar siempre que estos lechos aluviales secos se pueden activar durante periodos de lluvia excepcional, caso del fenómeno ENSO.
- Propiciar la formación y desarrollo de bosques ribereños con especies nativas para estabilizar los lechos.
- Las obras de infraestructuras que atraviesen estos cauces secos deben construirse con diseños que tengan en cuenta las máximas crecidas registradas con estudios estadístico-probabilísticos, que permitan el libre discurrir de crecidas violentas provenientes de la cuenca media y alta, evitándose obstrucciones y represamientos violentos.
- Para el caso de cauces estrechos (anchuras de hasta 15 metros y profundidades de hasta 6 metros) se recomienda el uso de mallas de retención de detritos (por ejemplo las mallas VX, figura 6.4). En pequeños arroyos tumultuosos, las barreras de retención de detritos se fijan sin apoyos en los flancos del canal mediante anclajes de cable espiral o bulones autoperforantes con cabeza flexible. Este sistema de retención ha sido probado en ensayos del Instituto Federal Suizo de Investigación de Bosques, Nieve y Paisaje WSL.

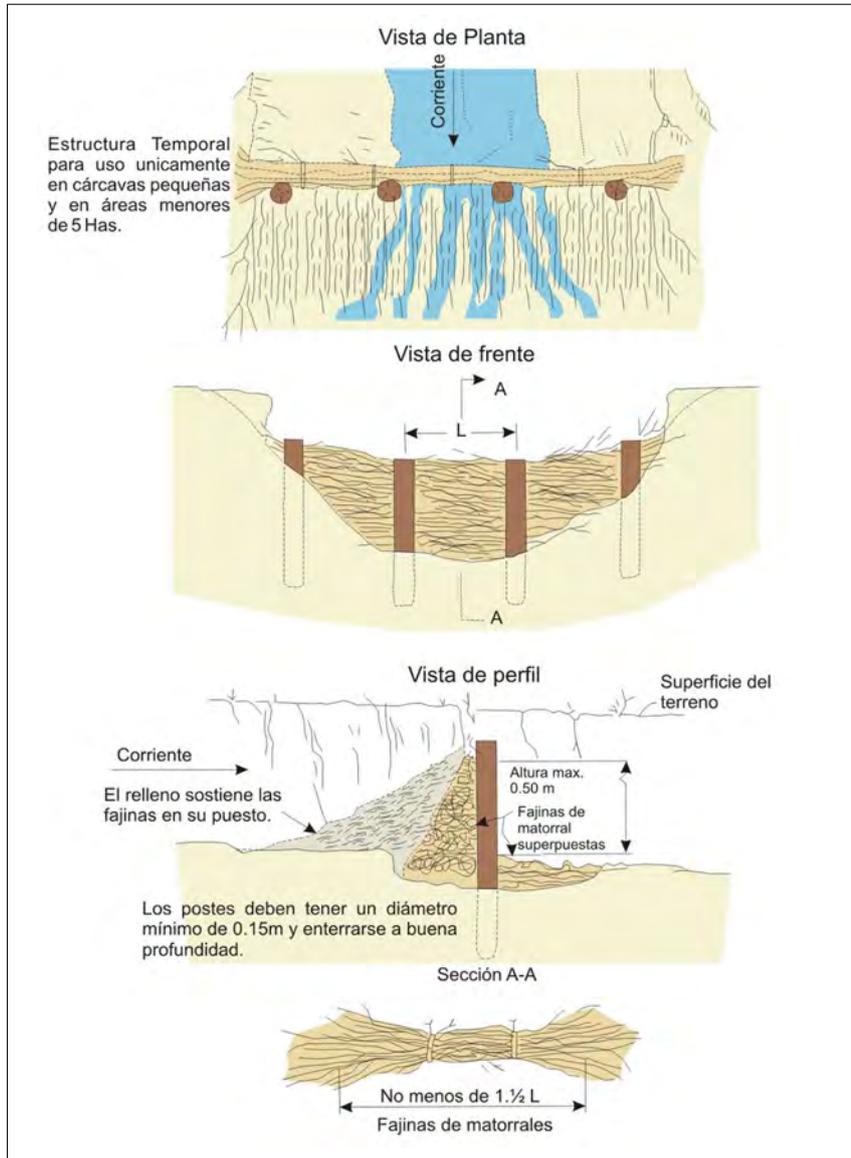


Figura 6.3 Trinchos transversales de troncos y fajinas de matorrales para proteger áreas de la erosión de laderas (modificado de: Valderrama et al., 1964).

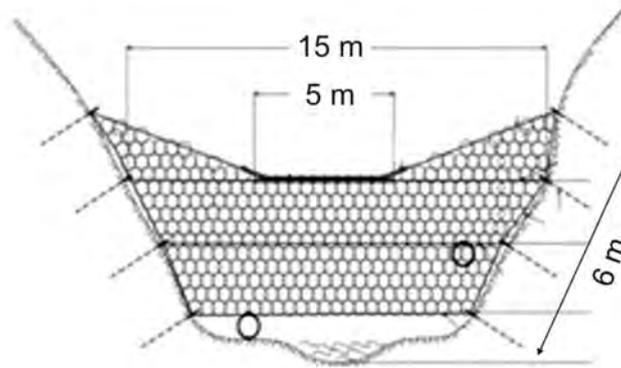


Figura 6.4 Malla de retención de detritos tipo VX (tomado de: BGC Engineering, 2011).

### Para inundaciones y erosión fluvial

Para disminuir los daños por inundaciones en la zona de estudio, se hace necesario aplicar las siguientes medidas:

- Encauzamiento del lecho principal, ríos y quebradas afluentes, para aumentar la capacidad de tránsito de la carga sólida y líquida durante las crecidas; limpiar el cauce, además de evitar socavamientos laterales de las terrazas aledañas. Para ello se deben construir espigones laterales, enrocado o gaviones (figura 6.5)
- Protección de las terrazas fluviales de los procesos de erosión fluvial por medio de diques de defensa o espigones (figura 6.6), que ayudan a disminuir el proceso de arranque y desestabilización.
- Realizar trabajos que propicien el crecimiento de bosques ribereños con especies nativas (molle, sauce, carrizos, caña brava) y evitar la implantación de cultivos en el lecho fluvial para que no interrumpa el libre discurrir de los flujos hídricos.

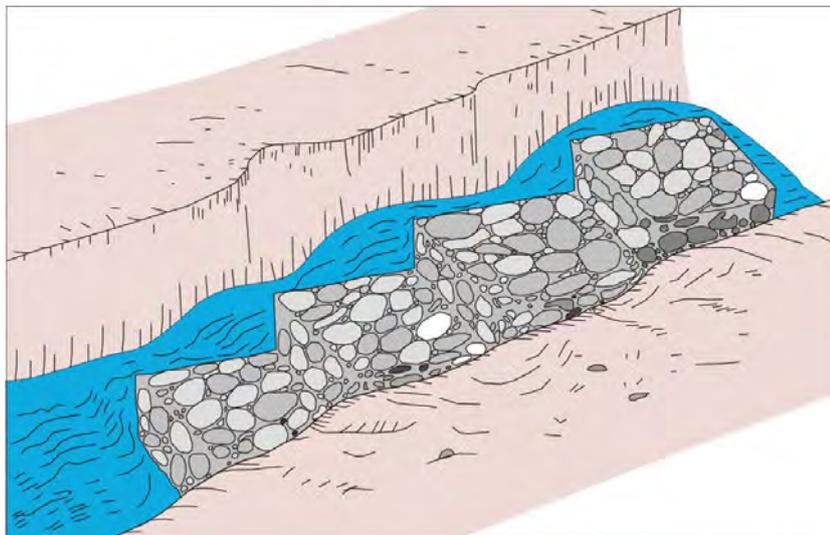


Figura 6.5 Gaviones para encauzar el lecho del río (tomado de: INGEMMET, 2003).

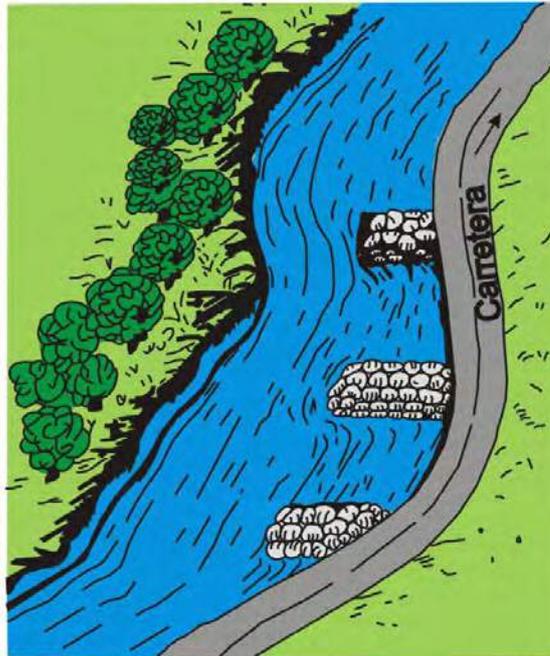


Figura 6.6 Espigones para proteger las terrazas fluviales (tomado de: INGEMMET, 2003).

### Para arenamientos

Para detener el avance de los depósitos eólicos hacia terrenos agrícolas, obras de infraestructura y poblados, es necesario diseñar cortinas rompevientos y barreras de fijación de dunas integradas a plantaciones forestales (figura 6.7), las cuales, después de un proceso gradual de reemplazo, irán dejando paso al bosque denso sobre los depósitos eólicos ya fijados.

En el anexo 1 se muestran, de manera resumida, las recomendaciones específicas sugeridas para aminorar los efectos de los peligros geológicos en cada una de las zonas críticas identificadas en Lima Metropolitana y el Callao (mapa 3).

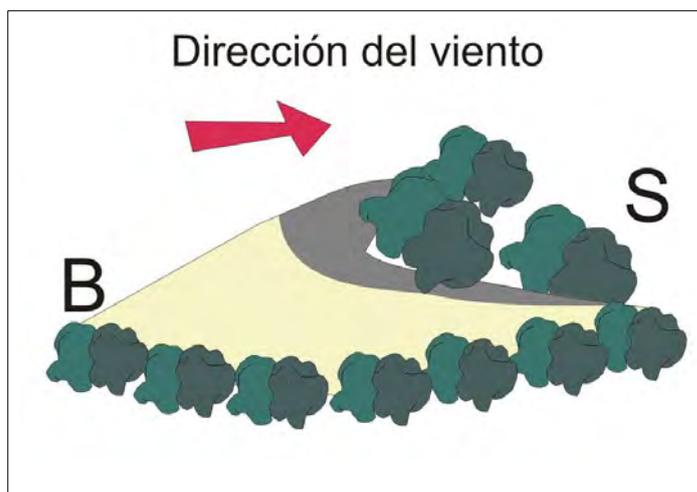


Figura 6.7 Fijación de dunas a través de plantaciones forestales (tomado de: Ingemmet, 2003).

## CONCLUSIONES

1. En Lima Metropolitana y el Callao se han inventariado, a la fecha, 848 peligros y se han identificado 107 zonas críticas con alta susceptibilidad a tales procesos.
2. Entre los movimientos en masa predominan las caídas de rocas y derrumbes con un 47 %; procesos asociados a la pendiente del terreno y al fuerte fracturamiento y/o diaclasamiento de la roca (rocas sueltas en la ladera); también flujos (huaycos, flujos de lodo, etc.) con 36 %, detonados por lluvias excepcionales, afectan viviendas e infraestructura ubicadas en el cauce de las quebradas.
3. Se registraron también procesos asociados a lluvias periódicas y excepcionales como inundaciones y erosión fluvial, con un 11 %. Así como también arenamientos, hundimientos y licuefacción de suelos con un 6 %.
4. Los eventos que pueden generar a futuro los escenarios de riesgo más críticos en Lima Metropolitana y el Callao son los terremotos o episodios del fenómeno ENSO.
5. Los terremotos, si bien son eventos poco frecuentes, tienen el potencial de causar un mayor impacto. El silencio sísmico en Lima Metropolitana y el Callao aumenta la probabilidad de que en un futuro cercano ocurra un sismo de gran magnitud que afectaría a la capital del Perú. De ocurrir un evento de ese tipo, colocaría a nuestro país en una situación crítica, ya que el manejo económico y político se realiza desde la capital de la república.
6. Una significativa afectación a viviendas, transporte, entre otros, sobre todo en los sectores de la periferia de Lima Metropolitana (en los asentamientos humanos y urbanizaciones que ocupan los cauces de ríos y quebradas), puede ser generada por lluvias intensas como las asociadas al fenómeno ENSO, debido a flujos de lodo y huaycos, inundación y desborde de ríos y quebradas.
7. En relación a la susceptibilidad por movimientos en masa, el 35 % del territorio de Lima Metropolitana se encuentra ubicado en zonas de alta y muy alta susceptibilidad a estos fenómenos, especialmente los asentamientos humanos y urbanizaciones que se ubican en las laderas de los cerros en los distritos de Carabaylo, Comas, San Juan de Lurigancho-Chosica, Chaclacayo, Villa María del Triunfo, Rímac e Independencia.
8. Respecto a las inundaciones, el 3 % del territorio de Lima Metropolitana se localiza en áreas con una alta susceptibilidad a dichos procesos, distribuidas en los distritos de Lurigancho-Chosica, Chaclacayo, Carabaylo, Rímac, Cercado de Lima, Los Olivos, San Martín, Ate, Lurín, Pachacamac y Cieneguilla; mientras que en el Callao el área relacionada con alto potencial de inundaciones es del 5 % de su territorio y se distribuye en los distritos de Ventanilla, Callao y Bellavista.
9. El riesgo de desastre en Lima Metropolitana y el Callao se está incrementando debido a una inadecuada gestión territorial y a la falta de políticas e instrumentos de ordenamiento municipal; más que por factores externos como el cambio climático, sismos o movimientos en masa.
10. Es importante mencionar que en la mayoría de los asentamientos humanos de Lima Metropolitana y el Callao, el factor de riesgo principal es el tipo de material empleado para construir viviendas, que podrían derrumbarse cuando sucedan precipitaciones excepcionales (por ejemplo durante el evento ENSO) o de producirse un sismo de gran magnitud.
11. Es notorio que el crecimiento urbano de manera informal, debido al incumplimiento de estándares de diseño y de construcción sumado a la localización de viviendas en zonas de alto y muy alto peligro por sismos, flujos, caídas de rocas, entre otros procesos, como laderas de fuerte pendiente, rellenos sanitarios, depósitos eólicos, cauce o cercanía a ríos y quebradas, etc., es el mayor problema a solucionar por las autoridades competentes para disminuir las condiciones de riesgo existentes.
12. Es inexistente la cultura de prevención en algunos distritos de Lima Metropolitana y el Callao donde la organización para temas de gestión de desastres de origen geológico es prácticamente nula, y no se cuenta con brigadas y equipo para atender a la población en casos de desastre.
13. Lima Metropolitana y el Callao no cuentan con infraestructura de drenaje adecuada para soportar y evacuar lluvias superiores a las soportadas con regularidad (5 a 7 mm de precipitación total anual).
14. Los efectos del cambio climático agudizarán la escasez de agua en Lima Metropolitana en los próximos 25 años.



## RECOMENDACIONES

1. Para realizar una buena planificación urbana, se debe tener en cuenta los mapas de susceptibilidad a diferentes procesos. Antes de elegir la ubicación, diseño, método constructivo, tecnología, materiales, seguros financieros y planes de contingencia de nuevas urbanizaciones proyectadas en Lima Metropolitana y el Callao, es necesario considerar las condiciones geológicas y el comportamiento local del suelo frente a un sismo severo, así como las precipitaciones probables y los procesos que originarían; el fin es prevenir futuros desastres.
2. Después de efectuarse un estudio de factibilidad, en las zonas que indicaron valores de susceptibilidad alta a muy alta, es necesario investigar a mayor detalle las zonas críticas por peligros geológicos y geohidrológicos, para poder elegir la mejor solución posible (ya sea obras de mitigación, sistema de alerta temprana o reubicación de las viviendas)
3. Es preciso convertir la gestión del riesgo en una política de Estado y superar los desequilibrios existentes en el actual sistema, a través de la actualización del marco normativo e institucional (en base a sustentos técnico-científicos adecuados), elaboración de planes de gestión sectoriales y la articulación de los diferentes agentes responsables de la gestión del riesgo de desastres. Además, se requiere acotar las responsabilidades públicas y privadas en gestión del riesgo y profundizar las políticas de reducción de la vulnerabilidad ante desastres.
4. Para fortalecer la capacidad local es muy importante educar a la población, por ejemplo a los habitantes del Callao, La Punta, Ventanilla y balnearios del sur limeño, a fin de que sepan cómo actuar ante eventos catastróficos como sismos y tsunamis; o a los pobladores de San Juan de Miraflores, Chosica, San Juan de Lurigancho y Comas frente a las caídas de rocas y huaycos. El fin es minimizar las pérdidas de vidas humanas y económicas a causa de estos desastres.
5. Es recomendable actualizar y ampliar la microzonificación sísmica en toda el área de Lima Metropolitana y el Callao. La microzonificación sísmica podría reducir significativamente los niveles de riesgo por sismos, junto con una adecuada planificación y gestión urbana donde se incluya: la adecuación estructural, la renovación urbana, el seguimiento y control de la aplicación de las normas para edificaciones sismorresistentes y el asesoramiento técnico.
6. La disposición de los asentamientos humanos ubicados en zonas de riesgo debe considerarse como prioridad en un plan de prevención de desastres en Lima Metropolitana y el Callao. Dicho plan debe respaldarse con estudios de detalle donde se formulen las medidas necesarias de prevención y mitigación de desastres.
7. La mejora de la calidad de vida de la población debe ser incorporada como meta en los planes de desarrollo e inversión que formulen e impulsen los municipios, las regiones y el gobierno central.
8. Los planes de prevención local no deben ser copiados de otras realidades, deben considerar los procesos ocurrentes y la realidad del sitio evaluado. Por ejemplo, es muy diferente el plan empleado en una zona con huaycos a los planes para riesgos de tsunamis.
9. Es necesario contar en Lima Metropolitana y el Callao con un sistema de evacuación y drenaje de agua de lluvias. El diseño del drenaje superficial debe considerar precipitaciones excepcionales como las generadas por el fenómeno ENSO. La evacuación del agua de lluvia debe permitir la conducción de las mismas a los sistemas de alcantarillado, con unas condiciones suficientes de seguridad y comodidad para los peatones.
10. Debido a la intensiva explotación de los acuíferos, la desaparición progresiva de las fuentes de recarga, ocasionada principalmente por el cambio de uso de las tierras de agrícola a urbana, las predicciones de futura escasez de agua y aumento de la población, es necesaria la realización de estudios de detalle acerca de las características de nuevos acuíferos con el fin de lograr un aprovechamiento sostenible de dicho recurso. Los efectos actuales y futuros de la escasez de agua en Lima Metropolitana y el Callao, a causa del cambio climático en los siguientes 25 años, pueden reducirse con la ejecución oportuna de obras de captación y almacenamiento hídrico en base al resultado de dichos estudios.



## BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, Z.; Lázares, F.; Alarcón, S.; Quispe, S.; Uriarte, R. & Calderón, D. (2012) - Actualización de la microzonificación sísmica de la ciudad de Lima. The International Symposium for CISMID 25th Anniversary, Lima, 2012, technological advances and learned lessons from last great earthquakes and tsunamis in the world. *Paper No. TS-6-1*, 8 p. (consulta: 17 marzo 2014). Disponible en: <[http://ares.tu.chiba-u.jp/peru/pdf/meeting/120817/TS6\\_1\\_Aguilar.pdf](http://ares.tu.chiba-u.jp/peru/pdf/meeting/120817/TS6_1_Aguilar.pdf)>
- Alemán, A.; Benavides, V. & León, W. (2006) - *Estratigrafía, sedimentología y evolución tectónica del área de Lima*. 2a. ed. Lima: Sociedad Geológica del Perú, 149 p. Guía de Campo, 11.
- Allende, T. (1998) - *Evaluación de los peligros naturales y zonificación geodinámica para la prevención de desastres naturales en el valle del río Lurín, provincias Lima - Huarochirí, departamento de Lima*. Tesis Maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, 174 p.
- Angermann, D.; Klotz, J. & Reigber, C., (1999) - Space-geodetic estimation of the Nazca-South America Euler vector. *Earth and Planetary Science Letters*, 171(3): 329-334.
- Arce, J. (1984) - Estructura geoelectrica del subsuelo Rimac-Chillón. En: Sociedad Geológica del Perú, *Volumen jubilar LX Aniversario, homenaje al Dr. Georg Petersen G*. Lima: Sociedad Geológica del Perú, fasc.1, 12 p.
- Arellano, R. (2010) - *Al medio hay sitio: El crecimiento social según los estilos de vida*. Lima: Editorial Planeta 190 p.
- Ayala, L. (2012) - Análisis sin y postdeposición de una secuencia estratigráfica silicoclástica, Pasamayo-Lima, Perú. En: Congreso Peruano de Geología, 16, Lima, 2012. *Resúmenes extendidos*. Lima: Sociedad Geológica del Perú 2012, 6 p
- Barba Romero, S. & Pomerol, J. (1997) - *Decisiones multicriterio: fundamentos teóricos y utilización práctica*. Madrid: Universidad de Alcalá, 420 p.
- Barredo, J. (1996) - *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. Madrid: Editorial RA-MA, 304 p.
- Barredo, J. & Bosque, J. (1999) - Multi-criteria evaluation methods for ordinal data in a GIS environment. *Geographical Systems*, 5(4): 313-327.
- Benavides, V. (1999) - Orogenic evolution of the Peruvian Andes: The andean cycle. En: Skinner, B.J., ed. *Geology and ore deposits of the Central Andes*. Littleton, CO: Society of Economic Geologists, Special Publication, n. 7, p. 61-107.
- Berner, R.A. (2004) - *The Phanerozoic carbon cycle: CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub>*. New York: Oxford University Press, 159 p.
- BGC Engineering (2011) - *Mosquito Creek Debris flood quantitative risk and mitigation option assessment*. Final report. North Vancouver: BGC Engineering, 57 p. Project N°0404-033.
- Blard, P.H.; Lavé, J.; Farley, K.A.; Fornari, M.; Jiménez, N. & Ramírez, V. (2009) - Late local glacial maximum in the Central Altiplano triggered by cold and locally-wet conditions during the paleolake Tauca episode (17–15 ka, Heinrich 1). *Quaternary Science Reviews*, 28 (27-28): 3414-3427.
- Blard, P.H.; Sylvestre, F.; Tripathi, A.K.; Claude, C.; Causse, C., et al. (2011) - Lake highstands on the Altiplano (Tropical Andes) contemporaneous with Heinrich 1 and the Younger Dryas: new insights from <sup>14</sup>C, U-Th dating and <sup>18</sup>O of carbonates. *Quaternary Science Reviews*, 30(27-28): 3973-3989.
- Bond, G. & Lotti, R. (1995) - Icebergs discharges into the Nord Atlantic on millenian time scales during the last glaciation. *Science*, 267(5200): 1005-1010.
- Capel, J. (1999) - Lima, un clima de desierto litoral. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 19: 25-45.
- Carrara, A.; Cardinali, M.; Guzzetti, F. & Reichenbach, P. (1995) - GIS technology in mapping landslide hazard. En:

- Carrara, A. & Guzzetti, F., eds. *Geographical information systems in assessing natural hazards*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 135-175.
- Carrillo, A. (1989) - Geotecnia de los suelos peruanos: Los suelos de Lima y la cimentación de viviendas. *Revista ½ de Construcción*, (31): 11-13.
- Casaverde, L. & Vargas, J. (1980) - *Zonificación sísmica del Perú*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 32 p., PUC Serie Difusión. Trabajo presentado en el II Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sismo Resistente, Lima, 1980
- Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (2011a) - *Características geotécnicas del distrito de Puente Piedra*. Lima: CISMID-UNI, 22 p. Convenio específico de cooperación interinstitucional, Apéndice B. (consulta: 17 marzo 2014). Disponible en: <[http://www.vivienda.gob.pe/pnc/DISTRITOS%20BID/PUENTE%20PIEDRA/01\\_MICROZONIFICACION%20SISMICA/APENDICE\\_B/INFORME\\_APENDICE%20B-PUENTE%20PIEDRA.pdf](http://www.vivienda.gob.pe/pnc/DISTRITOS%20BID/PUENTE%20PIEDRA/01_MICROZONIFICACION%20SISMICA/APENDICE_B/INFORME_APENDICE%20B-PUENTE%20PIEDRA.pdf)>
- Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (2011b) - *Características geotécnicas del distrito de Chorrillos*. Lima: CISMID-UNI, 21 p. Convenio específico de cooperación interinstitucional, Apéndice B. (consulta: 17 marzo 2014). Disponible en: <[http://www.vivienda.gob.pe/pnc/DISTRITOS%20BID/CHORRILLOS/01\\_MICROZONIFICACION%20SISMICA/APENDICE\\_B/APENDICE\\_B-GEOTECNIA.pdf](http://www.vivienda.gob.pe/pnc/DISTRITOS%20BID/CHORRILLOS/01_MICROZONIFICACION%20SISMICA/APENDICE_B/APENDICE_B-GEOTECNIA.pdf)>
- Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (2011c) - *Características geotécnicas del distrito de Comas*. Lima: CISMID-UNI, 39 p. Convenio específico de cooperación interinstitucional, Apéndice B. (consulta: 10 abril 2013). Disponible en: <[http://www.vivienda.gob.pe/pnc/DISTRITOS%20BID/COMAS/01\\_MICROZONIFICACION%20SISMICA/APENDICE\\_B/INFORME\\_APENDICE%20B-COMAS.pdf](http://www.vivienda.gob.pe/pnc/DISTRITOS%20BID/COMAS/01_MICROZONIFICACION%20SISMICA/APENDICE_B/INFORME_APENDICE%20B-COMAS.pdf)>
- Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (2011d) - *Características geotécnicas del distrito de La Molina*. Lima: CISMID-UNI, 13 p. Convenio específico de cooperación interinstitucional, Apéndice B. (consulta: 17 marzo 2014). Disponible en: <[http://www.vivienda.gob.pe/pnc/DISTRITOS%20BID/LA%20MOLINA/01\\_MICROZONIFICACION%20SISMICA/APENDICE\\_B/APENDICE\\_B-GEOTECNIA.pdf](http://www.vivienda.gob.pe/pnc/DISTRITOS%20BID/LA%20MOLINA/01_MICROZONIFICACION%20SISMICA/APENDICE_B/APENDICE_B-GEOTECNIA.pdf)>
- Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (2011e) - *Características geotécnicas del distrito de San Juan de Lurigancho*. Lima: CISMID-UNI, 26 p. Convenio específico de cooperación interinstitucional, Apéndice B. (consulta: 10 abril 2013). Disponible en: <[http://www.vivienda.gob.pe/pnc/DISTRITOS%20BID/SAN%20JUAN%20DE%20LURIGANCHO/01\\_MICROZONIFICACION%20SISMICA/APENDICE\\_B/INFORME\\_APENDICE%20B-SJL.pdf](http://www.vivienda.gob.pe/pnc/DISTRITOS%20BID/SAN%20JUAN%20DE%20LURIGANCHO/01_MICROZONIFICACION%20SISMICA/APENDICE_B/INFORME_APENDICE%20B-SJL.pdf)>
- Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (2011f) - *Características geotécnicas del distrito de Villa El Salvador*. Lima: CISMID-UNI, 15 p. Cooperación específico de cooperación interinstitucional, Apéndice B. (consulta: 17 marzo 2014). Disponible en: <[http://www.vivienda.gob.pe/pnc/DISTRITOS%20BID/VILLA%20EL%20SALVADOR/01\\_MICROZONIFICACION%20SISMICA/APENDICE\\_B/INFORME\\_APENDICE%20B.pdf](http://www.vivienda.gob.pe/pnc/DISTRITOS%20BID/VILLA%20EL%20SALVADOR/01_MICROZONIFICACION%20SISMICA/APENDICE_B/INFORME_APENDICE%20B.pdf)>
- Chiang, J.C.H. & Bitz, C.M. (2005) - Influence of high latitude ice cover on the marine Intertropical Convergence Zone. *Climate Dynamics*, 25(5): 477-496.
- Chorley, R.J.; Schumm, S.A. & Sugden, D.E. (1985) - *Geomorphology*. London and New York: Methuen, 605 p.
- Dávila, S. & Valenzuela, G. (1996) - Estudio geodinámico de la cuenca del río Lurín. *INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, 14C, 92 p.
- Dávila, S & Valenzuela, G. (1998) - *Inspección de Riesgos geológicos en prevención a los efectos del fenómeno de El Niño en los asentamientos humanos comprendidos entre el río Chillón y la quebrada Jicamarca (dists.: Carabayllo, Comas, Independencia, Rímac, San Juan de Lurigancho – Provincia de Lima – Departamento de Lima)*, informe inédito. Lima: INGEMMET, Dirección General de Geología, 50 p. (disponible A.T. Ingemmet A6249).
- D'ercole, R.; Metzger, P.; Robert, J.; Hardy, S.; Gluski-Chraibi, P., et al. (2011) – *Recursos de respuesta inmediata y de recuperación temprana ante la ocurrencia de un sismo y/o tsunami en Lima Metropolitana y Callao*. Lima: INDECI, PNUD, 189 p.

- Díez, A.; Garrote, J.; Baillo, R.; Laín, L.; Mancebo, M.J. & Pérez, F. (2008) - Análisis del riesgo de inundación para planes autonómicos de protección civil: RICAM. En: Galindo, I.; Laín, L. & Llorente, M., eds. *El estudio y la gestión de los riesgos geológicos*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, Medio Ambiente. Riesgos Geológicos, 12, p. 53-70.
- Engdahl, E.R.; Van Der Hilst, R.D. & Berrocal, J. (1995) - Imaging of subducted lithosphere beneath South America. *Geophysical Research Letters*, 22(16): 2317-2320.
- Fidel, L.; Zavala, B.; Núñez, S. & Valenzuela, G. (2006) - Estudio de riesgos geológicos del Perú, Franja No. 4. *INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, 29. 383 p
- Galli, P. (2000) - New empirical relationships between magnitude and distance for liquefaction. *Tectonophysics*, 324(3): 169-187.
- González de Vallejo, L.; Ferrer, M.; Ortuño, L. & Oteo, C. (2002) - *Ingeniería geológica*. Madrid: Pearson Educación, 715 p
- Gutscher, M.A. (2002) - Andean subduction styles and their effect on thermal structure and interplate coupling. *Journal of South American Earth Sciences*, 15(1): 3-10.
- Guzmán, A.; Zavala, B. & Valenzuela, G. (1997) - Estudio de la seguridad física de los acantilados de la Costa Verde. *INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, 18, 101 p.
- Guzmán, A.; Fidel, L.; Aniya, R. & Zavala, B. (1998) - Estudio geotécnico de futuras áreas de expansión urbana entre Lima y Cañete. *INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, 20, 260 p.
- Guzmán, A. & Vilchez, M. (2003) - *Inspección Ingeniero-geológica al área de viviendas afectadas por hundimientos en el A.A.H.H. 09 de Octubre. Dist. El Agustino, Prov. y Dpto. de Lima, informe inédito*. Lima: INGGEMMET, Dirección de Geología Ambiental, 17 p. (disponible A.T. Ingemmet A6305).
- Hall, S.R.; Farber, D.L.; Ramage, J.M.; Rodbell, D.T.; Finkel, R.C., et al. (2009) - Geochronology of Quaternary glaciations from the tropical Cordillera Huayhuash, Peru. *Quaternary Science Reviews*, 28(25-26): 2991-3009.
- Hauser, A. (2000) - Remociones en masa en Chile (versión actualizada). *Boletín Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile*, 59, 89 p.
- Instituto Geofísico del Perú (2005) - *Datos de intensidades sísmicas del Perú entre los años 1500 y 2005*. Lima: IGP, Centro Nacional de Datos Geofísicos.
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental (2003) - *Estudio de riesgos geológicos del Perú. Franja N° 3. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, 28, 373 p.
- Instituto Metropolitano de Planificación (2008) - *Atlas Ambiental de Lima*. Lima: IMP e ITC, 160 p.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2008) - *Perfil Sociodemográfico del departamento de Lima y la provincia constitucional del Callao*. Lima: INEI, Dirección Técnica de Demografía e Indicadores Sociales, 366 p.
- Lambeck, K. & Chappell, J. (2001) - Sea Level Change Through the Last Glacial Cycle. *Science*, 292(5517): 679-686.
- Le Roux, J.P.; Tavares, C. & Alayza, F. (2000) - Sedimentology of the Rimac-Chillón alluvial fan at Lima, Peru, as related to Plio-Pleistocene sea-level changes, glacial cycles and tectonics. *Journal of South American Earth Sciences*, 13(6): 499-510.
- Macharé, J., Benavente, C. & Audin, L. (2009) - Síntesis descriptiva del mapa neotectónico 2008. *INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, 40, 103 p.
- Malczewski, J. (1999). *GIS and multicriteria decision analysis*. New York: John Wiley & Sons, 392 p.
- McGuire, R.K. (1976) - Fortran computer program for seismic risk analysis. *U.S. Geological Survey, Open-File Report 76-0067*, 90 p. Disponible en: <<http://pubs.er.usgs.gov/usgspubs/ofr/ofr7667>>
- McKee, E.D. (1979) - Introduction to the study of global sand seas. *U.S. Geological Survey Professional Paper*, 1052, p. 1-19.
- Mégard, F. (1979) - Estudio geológico de los Andes del Perú Central. *INGEMMET, Boletín, Serie D: Estudios Especiales*, 8, 227 p.
- Mesa de Concertación para la lucha contra la Pobreza (2007) - *Lima Metropolitana: Balance de la lucha contra la pobreza: el rol de la Mesa de Concertación*. Lima: MCLCP, 40 p.
- Milankovitch, M.M. (1969) - *Canon of insolation and the ice-age problem*. Washington, D.C.: U.S. Department of Commerce and the National Science Foundation, 643 p.

- Muñoz, J. (1992) - *Geomorfología General*. Madrid: Síntesis, 352 p.
- Naciones Unidas. Departamento de Asuntos Humanitarios (1994) - *Tsunamis: Evacuación de la población y planes de uso del suelo para mitigar sus efectos. Localidades estudiadas en el Perú entre 1981 – 1994*. Lima: UNDHA, INDECI y Marina de Guerra del Perú, 46 p.
- Naciones Unidas. Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (2009) - *Terminología sobre reducción del riesgo de desastres*. Ginebra: UNISDR, 43 p.
- Norabuena, E.; Leffler-Griffin, L.; Mao, A.; Dixon, T.H.; Stein, S., et al. (1998) - Space geodetic observations of Nazca–South America convergence across the Central Andes. *Science*, 279(5349): 358–362.
- Núñez, S.; Vásquez, J. (2009) - *Primer reporte de zonas críticas por peligros geológicos en el área de Lima Metropolitana*, informe inédito (en línea). Lima: INGEMMET, Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, 38 p. (consulta: 4 mayo 2013) Disponible en: <[http://www.ingemmet.gob.pe/Documentos/Geologia/ZonasCriticas/Regiones/ZONAS\\_CRITICAS\\_LIMA.pdf](http://www.ingemmet.gob.pe/Documentos/Geologia/ZonasCriticas/Regiones/ZONAS_CRITICAS_LIMA.pdf)>
- Palacios, O.; Caldas, J. & Vela, Ch. (1992) - Geología de los Cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 43, 163 p.
- Pedraza, J. (1996) - *Geomorfología: principios, métodos y aplicaciones*. Madrid: Editorial Rueda, 414 p.
- Pérez, G. (1978) - *Estudio geodinámico-geotécnico de la cuenca del río Chillón, prov. y departamento de Lima*. Lima: Instituto de Geología y Minería, 74 p.
- Perú. Ministerio de Energía y Minas. Dirección General de Electricidad (2012) – *Perú: Subsector eléctrico - documento promotor 2012*. Lima: MINEM, 111 p.
- Perú. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2012) - *Mapa vial del Perú*. (en línea). Lima: MTC. (consulta: 05 junio 2013). Disponible en: <<http://mtcgeo.mtc.gob.pe/website/vial1/viewer.htm>>
- Perú. Reglamentos (2003) - *Reglamento nacional de construcciones. Norma técnica de edificación E. 030. Diseño sísmo resistente*. Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 34 p.
- Perú. Reglamentos (2006) *Reglamento nacional de edificaciones*, DS N° 011-2006-VIVIENDA. Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 156 p.
- Placzek, C.J.; Quade, J. & Patchett, P.J. (2006) - Geochronology and stratigraphy of late Pleistocene lake cycles on the southern Bolivian Altiplano: implications for causes of tropical climate change. *Geological Society of America Bulletin*, 118(5-6): 515-532.
- 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.
- Ramos, V. & Alemán, A. (2000) - Tectonic evolution of the Andes. En: Cordani, U.G.; Milani, E.J.; Thomaz, A. & Campos, D.A., eds. *Tectonic evolution of South America*. Rio de Janeiro: 31st International Geological Congress, p. 635-685.
- Santiago, J. (2009) - El control de los eventos geomorfológicos catastróficos. *Geomias*, 37(50): 199-
- Seed, R.B.; Cetin, K.O.; Moss, R.E.S.; Kammerer, A.M.; Wu, J., et al. (2003) - *Recent advances in soil liquefaction engineering: a unified and consistent framework*. Berkeley, CA: University of California, Earthquake Engineering Research Center, 72 p. Report EERC 2003-06. 26th Annual ASCE Los Angeles Geotechnical Spring Seminar, Long Beach, California, April 30, 2003.
- Selby, M.J. (1982) - *Hillslope materials and processes*. New York: Oxford University Press, 264 p.
- Smith, C.A.; Lowell, T.V. & Caffee, M.W. (2009) – Lateglacial and Holocene cosmogenic surface exposure age glacial chronology and geomorphological evidence for the presence of cold-based glaciers at Nevado Sajama, Bolivia. *Journal of Quaternary Science*, 24(4): 360–372.
- Smith, J.A.; Mark, B.G. & Rodbell, D.T. (2008). The timing and magnitude of mountain glaciation in the tropical Andes. *Journal of Quaternary Science*, 23(6-7): 609-634.
- Stern, C.R (2004) - Active Andean volcanism: its geologic and tectonic setting. *Revista Geológica de Chile*, 31(2): 161-206.
- Sylvestre, F. (2009) - Moisture pattern during the last glacial maximum in South America. En: Vimeux, F.; Sylvestre, F. & Khodri, M., eds. *Past climate variability in South*

- America and surrounding regions: from the last glacial maximum to the Holocene.* Dordrecht: Springer, Developments in Paleoenvironmental Research, 14, p. 3-27.
- Tatard, L.; Villacorta, S.; Metzger, P. & Berthelot, P. (2012) - *Análisis de la susceptibilidad por movimientos en masa en Lima Metropolitana: un desafío metodológico* (cd-rom). En: Congreso Peruano de Geología, 16, Lima, 2012. *Resúmenes extendidos.* Lima: Sociedad Geológica del Perú, 6 p.
- Thompson, L.G., Mosley-Thompson, E. & Morales, B. (1984) - El Niño-Southern Oscillation events recorded in the stratigraphy of the tropical Quelccaya Ice Cap, Peru. *Science*, 226(4670): 50-53.
- Tricart, J. (1981) - *Précis de Géomorphologie. Tome 3: Géomorphologie climatique.* Paris: SEDES, 313 p.
- Tricart, J. & Cailleux, A. (1972) - *Introduction to climatic geomorphology.* London: Longman, 295 p.
- Úbeda, J. (2011) - *El impacto del cambio climático en los glaciares del complejo volcánico Nevado Coropuna (Cordillera Occidental de los Andes Centrales).* Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 583 p.
- Úbeda, J.; Palacios, D. & Vázquez-Selém, L. (2012a) - Glacial and volcanic evolution on Nevado Coropuna (Tropical Andes) based on cosmogenic <sup>36</sup>Cl surface exposure dating. *Geophysical Research Abstracts*, 14. EGU General Assembly 2012, held 22-27 April, 2012 in Vienna, Austria., p. 3683
- Úbeda, J.; Palacios, D. & Vázquez-Selém, L. (2012b) - La evolución glaciovolcánica del Nevado Coropuna desde la transición del Pleistoceno al Holoceno (cd-rom). En: Congreso Peruano de Geología, 16, Lima, 2012. *Resúmenes extendidos.* Lima: Sociedad Geológica del Perú, 5 p.
- Valderrama, L.; Montenegro, E. & Galindo, J. (1964) - *Reconocimiento forestal del departamento de Cundinamarca.* Bogotá: I.G.A.C., 86 p.
- Yokoyama, Y.; Lambeck, K.; De Deckker, P.; Johnston, P. & Fifield, L.K. (2000) - Timing of the Last Glacial Maximum from observed sea-level minima. *Nature*, 406(6797): 713-716.
- Youd, T.L. (1993) - Liquefaction, ground failure, and consequent damage during the 22 April 1991 Costa Rica earthquake. En: Leon, R.; Youd, T.L. & Santana, G., eds. *Proceedings [of the] NSF/UCR US-Costa Rica Workshop on the Costa Rica Earthquakes of 1990-1991: Effects on soil and Structures; University of Costa Rica, San Pedro, April 2-4, 1992.* Oakland, CA: Earthquake Engineering Research Institute, Report EERI-93-A, p. 73-95.
- Zavala, B.; Vilchez, M. & Núñez, S. (2011) - *Flujos de detritos del 05/04/2012 entre las quebradas La Ronda y Los Cóndores, margen izquierda del río Rimac. Características geodinámicas y evaluación de Peligro. Distritos: Chosica, Chaclacayo y Ricardo Palma, provincia: Lurigancho, región: Lima, informe inédito.* Lima: INGEMMET, 50 p. (Disponible A.T. Ingemmet A6608).
- Zech, R.; Smith, J. & Kaplan, M.R. (2009) - Chronologies of the Last Glacial Maximum and its termination in the Andes (~10-55°S) based on surface exposure dating. En: Vimeux, F.; Sylvestre, F. & Khodri, M., eds. *Past climate variability in South America and surrounding regions: from the last glacial maximum to the Holocene.* Dordrecht: Springer, Developments in Paleoenvironmental Research, 14, p. 61-87.
- Zhang, R. & Delworth, T.L. (2005) - Simulated tropical response to a substantial weakening of the Atlantic thermohaline circulation. *Journal of Climate*, 18(12): 1853-1860.



# **ANEXOS**

## **I. GLOSARIO**

### **II. ZONAS CRÍTICAS POR PELIGROS GEOLÓGICOS Y GEOHIDROLÓGICOS EN LIMA METROPOLITANA**

### **III. ZONAS CRÍTICAS POR PELIGROS GEOLÓGICOS Y GEOHIDROLÓGICOS EN LA PROVINCIA CONSTITUCIONAL DEL CALLAO**

### **IV. FUENTES MACROSÍSMICAS DE LAS ÁREAS DEL ESTUDIO**



## I. GLOSARIO



## GLOSARIO

**ACANTILADO.** Pendiente escarpada casi vertical que ha sido modelada por la acción de la erosión marina sobre afloramientos costeros.

**ACUÍFERO.** Formación geológica porosa (acuífero primario) o fisurada (acuífero secundario) que permite almacenar en sus huecos una cantidad de agua que fluye en su interior. Este flujo se produce entre los poros y oquedades que se intercomunican, es de velocidad variable y obedece a las condiciones hidrológicas.

**AFLORAMIENTO.** Lugar de la superficie terrestre en el que se puede observar todo tipo de roca, mineral, agua, etc.

**AFLUENTE.** Curso de agua cuyo volumen o descarga contribuye a aumentar el caudal del río en el cual desemboca. Puede tratarse también de un lago o laguna.

**ALUVIAL.** Tiene referencia con el material depositado por los ríos (p. ej. abanico aluvial).

**ANTICLINAL.** Pliegue de la corteza terrestre con forma inversa, cuyos flancos se inclinan en sentidos opuestos, dejando los materiales más antiguos hacia su interior.

**ARCILLAS.** Son partículas finas, generalmente de silicatos, de dimensiones menores a 1/256 mm, provenientes de la alteración física y química de rocas y minerales.

**ARCO VOLCÁNICO.** Alineamiento de volcanes que ocurren en los límites de dos placas tectónicas convergentes de corteza oceánica cuando una subduce por debajo de la otra.

**ARENAS.** Fragmentos de minerales y rocas comprendidos entre 1/16 y 2 mm.

**ARENISCAS.** Roca sedimentaria clástica resultado de la consolidación de las arenas.

**BASALTO.** Roca volcánica de color oscuro formada principalmente por minerales negros (piroxenos) y en menor medida por minerales claros (plagioclasas, cuarzo u olivino).

**BATOLITO.** Estructura maciza de roca plutónica, generalmente granítica, formada a grandes profundidades (5 km), cuyo afloramiento en la superficie supera los 100 km de largo y 20 km de ancho.

**CALIZAS.** Roca sedimentaria formada por la precipitación del carbonato de calcio.

**CAMBIO CLIMÁTICO.** Variaciones observadas en el clima en diferentes escalas espacio-temporales, por ejemplo: global, regional o subregional, o siglos, miles o millones de años.

**CANTOS RODADOS.** Fragmentos rocosos redondeados por acción fluvial y dimensiones comprendidas entre 6 y 25 cm de longitud.

**CAÑÓN.** Valle de paredes abruptas bastante profundo debido a una erosión fluvial muy incisiva.

**CÁRCAVA.** Sistema dendrítico de cauces generados por la arroyada concentrada en materiales no consolidados.

**CIMENTACIÓN PROFUNDA.** Aquella en la que la relación entre la profundidad y el ancho de la cimentación es mayor a 4. Normalmente el término se aplica a las cimentaciones en pilas y pilotes.

**CIMENTACIÓN SOMERA.** Sistema de cimentación en el que la relación entre la profundidad y el ancho de la cimentación es menor de 4. Normalmente el término se aplica a las losas, vigas de cimentación y zapatas.

**CORTEZA TERRESTRE.** Envoltura sólida y externa del globo terrestre, donde se registran los mayores procesos geológicos y geodinámicos. Se subdivide en corteza continental (menos densa y de mayor espesor) y corteza oceánica (más densa). En los continentes, el espesor de la corteza varía entre 25 y 30 km. En el caso de los Andes y otros cinturones montañosos, este espesor alcanza hasta 70 km. En el fondo marino, este espesor varía entre 5 y 15 km.

**CICLO GEODINÁMICO.** Es la sucesión periódica de eventos sobre la superficie terrestre.

**CRESTA.** Línea de cumbres de una determinada estructura.

**CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.** Capacidad de cualquier material para conducir la corriente eléctrica. Para el caso del agua, depende de la cantidad de iones disueltos, de sus cargas y sus movillidades. Se mide en microsiemens/centímetro ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

**CONGLOMERADO.** Roca sedimentaria compuesta de fragmentos redondeados o subangulares mayores de 2 mm (gravas o cantos), embebidos en una matriz de arena y limo. Normalmente cementado por carbonatos de calcio y magnesio, óxidos de hierro, sílice y/o arcilla endurecida. Es el equivalente consolidado de la grava en términos de rango de tamaños, de angularidad y gradación de sus partículas.

**DATACIÓN.** Determinación de la edad de una roca o mineral. Se puede realizar en función de los fósiles presentes o de las relaciones isótopos radiactivos de ciertos átomos que aparecen en los minerales constitutivos de dicha roca, hablándose en este caso de **DATAACIONES RADIOMÉTRICAS** o **ISOTÓPICAS**.

**DERIVA CONTINENTAL.** Es el desplazamiento de las masas continentales unas respecto a otras.

**EDAD GEOLÓGICA.** Antigüedad de las rocas y/o minerales. Se determinan mediante los métodos de datación.

**ENSO.** El Niño-Oscilación del Sur: episodios de calentamiento anormal de las aguas superficiales del Pacífico oriental en la costa de Ecuador, Perú y Chile.

**ESCORRENTÍA.** Movimiento de las aguas continentales por efecto de la gravedad que tiene lugar en las vertientes de la superficie terrestre.

**ESTRATOCÚMULO.** Tipo de nube caracterizada por su amplitud y extensión horizontal.

**FALLA.** Es una discontinuidad que se forma por fractura de las rocas, a lo largo de la cual ha habido movimiento de uno de los lados respecto del otro. Las fallas se forman por esfuerzos tectónicos actuantes en la corteza. La zona de ruptura tiene una superficie generalmente bien definida denominada plano de falla.

**FORMACIÓN GEOLÓGICA.** Conjunto de estratos que se caracterizan por su homogeneidad litológica, de forma más o menos tabular, cartografiables en superficie o que pueden seguirse en el subsuelo.

**GRAVAS.** Fragmentos minerales o rocosos, redondeados por acción fluvial, con dimensiones entre 2 m y 2 cm de diámetro.

**GRADO DE METEORIZACIÓN.** Escala para caracterizar la alteración de las rocas, una de las clasificaciones más empleadas es la del ISRM: fresco, ligeramente meteorizado, moderadamente meteorizado, altamente meteorizado, completamente meteorizado, suelo residual.

**GRUPO.** Conjunto de dos o más formaciones geológicas contiguas o asociadas que tienen en común propiedades litológicas significativas.

**INFILTRACIÓN.** Penetración del agua en el suelo, procedente de la lluvia, cursos superficiales o recarga artificial.

**ISOBATAS.** Líneas de igual profundidad.

**MAGMA.** Roca fundida que existe en el interior de la Tierra que al enfriarse da lugar a las rocas ígneas. Si cristaliza y solidifica en profundidad da lugar a las rocas plutónicas. Por el contrario, cuando asciende hacia la superficie se le pasa a denominar lava, y una vez que se enfría y consolida, se convierte en una roca volcánica.

**MANTO.** Región del interior de la Tierra, localizada bajo la corteza, con un espesor aproximado de 2900 km. Probablemente constituido por  $\text{MgO}$  y  $\text{SiO}_2$ , de roca caliente y material viscoso que asciende para desplazar a otras rocas menos calientes, las cuales a su vez se hunden y calientan para ascender nuevamente en un estado similar al de una ebullición muy lenta; libera cerca del 80 % del calor que irradia la Tierra.

**MORRENA.** Forma de relieve generada por la sedimentación glaciar. El material que constituye la morrena se denomina *till* y es heterométrico y no clasificado. Cuando está litificado se le llama *tillita*. Puede ser lateral y frontal (depositada por el avance de los glaciares) o de fondo (generada por la ablación del glaciar).

**PARAFLUVIAL.** Término que se refiere a la actividad de los cursos de agua con amplios periodos de recurrencia.

**PLACAS TECTÓNICAS.** Fragmentos del globo terrestre, ensamblados a modo de las fichas de un puzzle, formados por la corteza y el manto superior, con un espesor aproximado de 100 km. Según sea la corteza, continental u oceánica, así se clasifican las placas tectónicas. Las placas están en continuo movimiento, separándose, colisionando entre sí o actuando lateralmente. Dicho movimiento está inducido por la alta diferencia de temperatura entre las zonas profundas del manto y las capas cercanas a la superficie.

**PERIODO GEOLÓGICO.** Subdivisión de la era geológica que comprende todas las rocas formadas en ese tiempo. Se subdivide en épocas.

**PISO MORFOCLIMÁTICO.** Área o dominio de actuación de los sistemas morfogenéticos.

**PLATAFORMA CONTINENTAL.** Borde sumergido de la placa continental.

**PLUVIÓMETRO.** Instrumento que se emplea en las estaciones meteorológicas para la recogida y medición de la precipitación.

**PLIEGUE.** Deformación de las rocas, generalmente sedimentarias, en la que los elementos de carácter horizontal, como los estratos, quedan curvados formando ondulaciones alargadas y más o menos paralelas entre sí. Se originan por esfuerzos de compresión sobre las rocas en estado plástico sin llegar a romperlas. Cuando lo hacen, se forman las fallas.

**RESISTIVIDAD ELÉCTRICA.** Es la propiedad de los materiales a oponerse al paso de una corriente eléctrica. Se designa por la letra griega Rho minúscula ( $\rho$ ) y se mide en ohmios ( $\Omega$ ). Los materiales se pueden clasificar por su RESISTIVIDAD ESPECÍFICA, que mide su resistencia por unidad de longitud y se mide en ohmios metro ( $\Omega/m$ ).

**SEQUÍA.** Ausencia de precipitaciones que afecta principalmente a la agricultura. Se pueden definir diferentes grados de severidad de sequía, en función a criterios de cantidad de precipitación y días sin precipitación. Se considera una sequía absoluta, para un lugar o una región, cuando en un periodo de 15 días se ha registrado una precipitación inferior a 1 mm. Una sequía parcial se define cuando en un periodo de 29 días consecutivos la precipitación media diaria no excede 0.5 mm.

**SILÍCEA.** Composición caracterizada por la abundancia de sílice o cuarzo.

**SINCLINAL.** Pliegue de la corteza terrestre cuyos flancos se inclinan en sentidos opuestos y de forma cóncava. Los materiales más jóvenes se encuentran hacia el núcleo.

**SISTEMA MORFOGENÉTICO.** Conjunto de los procesos de modelado que ocurren en un espacio determinado como consecuencia de las condiciones bioclimáticas, que incluyen el clima y la presencia o ausencia de vegetación.

**SUBDUCCIÓN.** Fenómeno restringido a las zonas de colisión entre las placas tectónicas, cuando una de ellas se desliza por debajo de la otra por la diferencia de densidad, produciendo esfuerzos en las rocas de ambas, con la subsecuente ruptura y descarga súbita de energía en forma de sismos. Además, a medida que una se introduce bajo la otra, aumenta la temperatura provocando la fusión de las rocas, que ascienden a la superficie dando lugar a los volcanes, como es el caso de los Andes.

**SURGENCIA.** Aquel punto o área de emanación natural de agua, procedente de un acuífero. Actúa como un aliviadero natural de las aguas subterráneas.

**UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA.** Cuerpo rocoso definido y reconocido en base a sus características litológicas y sus relaciones estratigráficas. Una unidad litoestratigráfica puede estar formada por rocas sedimentarias, ígneas o metamórficas. Las unidades litoestratigráficas se definen y reconocen por sus rasgos físicos observables y no por su edad inferida, ni por el lapso de tiempo que representan, ni por su historia geológica, ni por la manera cómo se formaron. La extensión geográfica de una unidad litoestratigráfica está controlada exclusivamente por la continuidad de sus rasgos litológicos.

**VERTIENTE.** Ladera.



**II ZONAS CRÍTICAS POR PELIGROS GEOLÓGICOS Y GEOHIDROLÓGICOS  
EN LIMA METROPOLITANA**



Distrito	Paraje Sector	Descripción	Vulnerabilidad y/o daño ocasionados	Recomendaciones
Punta Hermosa	1. Punta Hermosa	La erosión marina se produce por las olas y corrientes que modelan la costa, removiendo material y dan forma de acantilados.	Este fenómeno afecta especialmente a los espigones y carreteras afirmadas, zonas urbanas ubicadas cerca de la línea de playa.	Reforzar la construcción de espigones, mejorar los taludes de las autopistas, carreteras cercanas a las playas.
	2. Playa Rincón	Área susceptible a erosión marina.	Son afectadas las viviendas ubicadas cerca de la línea de playa.	Reforzar la construcción de espigones en este sector.
	3. Playa Jahuay	Ambas márgenes del río Lurín son afectadas por erosión fluvial. Se observan materiales arrimados a manera de muro de contención que resultan ser insuficientes cuando el caudal del río aumenta en periodo lluvioso. Se observaron además acumulaciones de basura en ambas márgenes del río.	Mejorar el enrocado existente y reconstruir la parte destruida. Después de la temporada de lluvias realizar limpieza respectiva del cauce. El sector de Oasis debería ser reubicado.	
Lurín	4. Pampa Mamay 5. Sector Oasis	El sector de Oasis se encuentra sobre un antiguo relleno de desmonte que le ha ganado terreno al cauce del río	Viviendas precarias ubicadas en la ladera oeste. Para construir sus viviendas se han realizado cortes en el talud en forma indebida. La carretera que une Villa El Salvador con la Panamericana Sur está sufriendo derrumbes por corte de talud.	Las viviendas construidas en las laderas deben ser reubicadas. Evitar la construcción de viviendas en las laderas que presenten arenamientos. En zonas de arenamientos de superficie plana se pueden construir viviendas de materiales ligeros y no mayores a un piso (previo estudio de suelos).
Villa El Salvador	6. Lomo de Corvina-Santa Rosa	Duna fósil con altura hasta de 250 m, con pendiente entre 25° a 30° Asentamientos Humanos ubicados en la ladera del "Lomo de Corvina", como Héroes del Cenepa, Las Palmeras, Edilberto Ramos, Valle de Jesús, entre otros.	En el año 2007 colapsaron viviendas de material noble y rústico. Se apreciaron viviendas ubicadas en la zona inestable. En caso de un sismo las viviendas situadas en laderas van a colapsar.	Realizar un estudio de suelos para determinar las variaciones de la potencia del suelo y su capacidad portante. Educar a los lugareños, mediante campañas de difusión, para hacerles ver el peligro en que viven. Mejorar el sistema de eliminación de las aguas servidas. Evitar la expansión urbana en esta zona. En las viviendas construidas reforzar con muros de contención.
Villa María del Triunfo	7. Asentamiento Humano Fujimori	Roca intrusiva de mala calidad, muy alterada (meteorizada). Presenta una pendiente fuerte (25° -35°). Tiene un suelo de hasta 3 m de espesor. Cortes de talud indebidos, realizados para la construcción de viviendas. Humedecimiento del terreno por tuberías de agua en mal estado y eliminación de aguas servidas a la ladera. También se incrementó por la intensa llovizna que se registró en la zona.		

Distrito	Paraje Sector	Descripción	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
Villa María del Triunfo	8. Cerro Conchita/José Gálvez	Caída de rocas en laderas de fuerte pendiente.	En caso de sismo de gran magnitud afectaría directamente a las viviendas. Muchos de los bloques sueltos en la ladera pueden colapsar.	Mejorar las bases de las viviendas (pircas), desatar los bloques sueltos.
	9. A. H. Héroe del Cenepa	Caída de rocas. Bloques sueltos en la ladera que llegan a tener más de un metro.	En caso de sismo afectarían directamente a los asentamientos humanos ubicados en las laderas de los cerros.	Desatar bloques sueltos.
	10. Cerro El Arbolito-A. H. "12 de Junio"	Área sujeta a caída de rocas. Por versiones de los lugareños, a raíz del terremoto del 15 de agosto del 2007 se desprendieron varios bloques de roca y rodaron por la ladera del cerro.	Asentamientos humanos están ubicados sobre antiguas caídas de rocas. En la parte superior se encuentran bloques sueltos que pueden ceder. Se observan muros de contención que han colapsado, además de otras estructuras (pircas o terraplenes mal contruidos) que pueden ceder y afectar a las viviendas ubicadas en la parte inferior.	Mejorar la construcción de los muros de contención. Desatar los bloques que se ubican en las laderas con pendiente fuerte. No construir más viviendas en las laderas.
	11. Sector La Candelaria / Quebrada Progreso	Área sujeta a caída de rocas.	Asentamientos humanos están ubicados sobre antiguas caídas de rocas. En la parte superior se encuentran bloques sueltos que pueden ceder.	Mejorar la construcción de los muros de contención. Desatar los bloques que se ubican en las laderas con pendiente fuerte. No construir más viviendas en las laderas.
	12. Quebrada Rinconada			
	13. Manchay Bajo	Área sujeta a caídas de rocas, se observan bloques sueltos en la ladera de los cerros. En el cauce de la quebrada se observa material suelto que en caso de lluvias excepcionales puede generar flujos de detritos.	Actualmente, el cauce de la quebrada está siendo poblado. Se ha observado también que las laderas inestables de los cerros están siendo ocupadas por la población.	Desatar bloques sueltos. No construir viviendas en el cauce.
	14. El Guayabo- Picapietra	Rocas con erosión esferoidal que han generado bloques sueltos con diámetros de hasta 2 m, los cuales están suspendidos.	En caso de sismo de gran magnitud los bloques de roca pueden desprenderse y caer cuesta abajo, esto afectaría a las viviendas ubicadas en las faldas de los cerros.	Desatar bloques sueltos. Para el diseño de medidas correctivas específicas (pernos de anclaje, mallas, etc.) se recomienda realizar estudios geotécnicos de detalle.

Distrito	Paraje Sector	Descripción	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
Pachacamac	15. Quebrada Tambo Inga, Pampa Flores	Flujo de défitos, la quebrada se activó por lluvias excepcionales durante el fenómeno El Niño de 1998.	Afectó a viviendas, terrenos de cultivo y carretera de acceso a Pampa Flores. En el cauce de la quebrada se observan materiales sueltos. Actualmente puede afectar severamente a las viviendas que se ubican en el cauce.	No construir viviendas en el cauce de la quebrada. Construir muros transversales a lo largo de la quebrada para atenuar los efectos de los huaycos.
	16. Quebrada Golondrina	Se pueden generar flujos de défitos (huaycos) ante lluvias excepcionales. Las quebradas se caracterizan por tener abundante material suelto en su cauce.	Las viviendas ubicadas en el cauce de estas quebradas son vulnerables, en caso de que los flujos se activen colapsarían en poco tiempo.	Desatar los bloques sueltos. Realizar estudios geotécnicos de detalle. Reubicar las viviendas que están en el cauce.
	17. Pampa Las Flores	Los depósitos que han generado estos flujos terminan en forma de abanico, con recorridos de hasta dos kilómetros.	Las laderas que ocupan estas quebradas son de fuerte pendiente y ante un sismo de gran magnitud puede generar caída de rocas.	Construir muros transversales en las quebradas, a fin de atenuar sus efectos ante lluvias de tipo excepcional.
	18. Pedregal			
San Juan de Miraflores	19. Las Lomas	Área propensa a hundimientos. Esta zona fue una antigua cantera de unos 20 m de profundidad que fue rellenada con desmonte. Actualmente está siendo ocupada por asentamientos humanos.	Viviendas de madera y ladrillos. Las paredes de algunas viviendas ubicadas en los taludes de la antigua cantera han colapsado. Se observan otras viviendas con agrietamientos, que en caso de un sismo de fuerte magnitud colapsarían.	Se recomienda reubicar todas las viviendas y no permitir el crecimiento urbano en la zona de relleno.
	20. El Mirador-San Francisco (San Juan de Miraflores)	Área sujeta a caída de rocas. También pueden generarse derrumbes.	Asentamientos humanos están ubicados sobre antiguas caídas de rocas. En la parte superior se encuentran bloques sueltos que pueden ceder.	Mejorar la construcción de los muros de contención.
San Juan de Miraflores	21. Villa Los Ángeles (Villa María del Triunfo) 18A. Villa Los Ángeles	Muchas de estas caídas de rocas son antiguas. La roca presenta una meteorización esferoidal y genera bloques sueltos (de forma redondeada), los cuales pueden ceder ante un movimiento sísmico.	Se observan muros de contención que han colapsado, otras estructuras (pircas o terraplenes mal construidos) pueden ceder y afectar a las viviendas ubicadas en la parte inferior.	Desatar los bloques que se ubican en las laderas con pendiente fuerte. No construir más viviendas en las laderas.
	22. Nueva Rinconada	Área sujeta a caída de rocas. Asentamientos ubicados sobre antiguas caídas de rocas. También pueden generar derrumbes por los cortes de talud del cerro para construcción de viviendas. Pircas inestables de hasta 2.5 m de alto.	Se observan pircas que han colapsado.	Construcción de los muros de contención. No construir más viviendas en las laderas. Reubicar las que están en cauces de quebradas secas.

Distrito	Paraje Sector	Descripción	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
Ate-Vitarte	23. Las Américas-Santa Clara	Antigua cantera, con un desnivel de 20 m (aprox.), posteriormente fue rellena con desmonte. Actualmente esta área está siendo ocupada por asentamientos humanos. Las viviendas son de material rústico (madera).	Viviendas ubicadas sobre terrenos inestables. En caso de un sismo de fuerte magnitud las viviendas colapsarían.	Se recomienda reubicar todas las viviendas.
	24. Huaycán-Pariachi-Gloria.	Huaycos excepcionales. En el cauce de las quebradas se encuentran bloques sueltos, hasta de un metro. En las laderas se observan bloques sueltos producto de la erosión esferoidal, que ante un fuerte movimiento sísmico pueden desprenderse. En el año 1983, 1998, 2002, se generaron flujos de lodo que afectaron a viviendas. En años anteriores se han presentado caídas de rocas que han afectado a viviendas.	En caso de lluvias excepcionales, serían afectadas las viviendas ubicadas en los cauces de quebradas. En Huaycán corresponde a las zonas: R, V, M y Z. Hacia las laderas se observan bloques sueltos que pueden ceder ante un movimiento sísmico y afectarían a las viviendas ubicadas en los piedemontes.	Reubicar las viviendas que se encuentran en el cauce de las quebradas. Desatar bloques sueltos inestables que se encuentran en la ladera de la quebrada.
Lurigancho-Chosica	25. Ramiro Priale-Puente Santa Clara	Erosión fluvial que se intensifica en tiempos de crecida, el río tiende a erosionar ambas márgenes.	Este fenómeno puede afectar a viviendas ubicadas en la margen derecha del río.	No construir viviendas en las márgenes que limitan con el río, construir muros de contención. Limpiar el desmonte y la basura.
	26. Quebrada Huaycoloro	Flujo de detritos (huayco) que se activa solamente con lluvias de tipo excepcional, como las del fenómeno El Niño. Esta quebrada es receptora de caídas de rocas y material suelto proveniente de las laderas.	En esta quebrada se ubican una serie de asentamientos humanos. De producirse lluvias excepcionales, se generaría un flujo de lodo o detritos (huayco) que afectaría a viviendas ubicadas en el cauce. El ancho del cauce de la quebrada se ve reducido por la expansión urbana descontrolada.	Reubicar las viviendas ubicadas en el cauce de la quebrada. Canalizar la quebrada. Construir muros transversales en el cauce de la quebrada a fin de atenuar los efectos de los flujos. Para la zona de laderas, es necesario mejorar la construcción de pircas. Y en las laderas inestables que muestran bloques sueltos, desatarlos.
	27. A.H. Víctor Raúl Haya de la Torre	Caída de rocas	Al ceder los bloques, van a caer cuesta abajo y afectar a viviendas ubicadas en las laderas.	Los bloques de roca ubicados de manera inestable deben ser desatados en forma artesanal. Utilizar otros sistemas de sostenimiento como mallas, pernos de anclaje, concreto lanzado, etc. No ubicar viviendas en las laderas.

Distrito	Paraje Sector	Descripción	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
	28. Huampaní Alto (Huampaní)	Caída de rocas	Pueden ser afectadas viviendas ubicadas en la parte inferior de los cerros.	Los bloques dispuestos de manera inestable deben desatarse en forma artesanal. Realizar estudios de detalle para el diseño de mallas, pernos de anclaje, concreto lanzado, etc. No ubicar viviendas en las laderas.
	29. Quebrada Vizcachera	Huayco de tipo excepcional. En el cauce de la quebrada se muestran bloques mayores a un metro que pueden ser movilizados en caso de lluvias extraordinarias.	En caso de lluvias excepcionales, las viviendas ubicadas en el cauce de la quebrada serían afectadas.	No invadir el cauce de la quebrada. Construir muros de atenuación de flujos a lo largo de la quebrada.
	30. Huampaní	Erosión fluvial en ambas márgenes del río Rimac.	Afectaría directamente a viviendas, centros recreativos y terrenos de cultivo.	Mejorar las defensas ribereñas. No ubicar viviendas al borde del cauce del río.
	31. Caraponguillo	Flujos de detritos de tipo excepcional y caídas de rocas.	En el año 1998, se activó la quebrada Caraponguillo. En las laderas se muestran bloques que pueden ceder ante movimientos sísmicos o intensas lluvias.	Construir muros de atenuación de flujos a lo largo de la quebrada. No invadir el cauce de la quebrada. Realizar estudios de detalles para el diseño de sistemas de sostenimiento como mallas, pernos de anclaje, concreto lanzado, etc. No ubicar viviendas en las laderas.
	32. Quebrada Tensómetro	Flujos de detritos de tipo excepcional. El año 1998 se presentó un flujo de lodo. En el cauce de la quebrada se observa material suelto en una matriz gravo-areno-limoso. En las laderas han construido viviendas de material rústico (bases de pircas o terraplenes). Los cerros tienen pendientes de 25° a 30°. En las partes altas se observan bloques sueltos (hasta de 0.50 cm.) que pueden ceder ante un sismo fuerte.	Los flujos de detritos afectarían a las viviendas ubicadas en el cauce de la quebrada. Un sismo de fuerte magnitud produciría el colapso de los terraplenes de las viviendas ubicadas en las laderas. De la parte de la cima es muy probable que se generen caídas de rocas.	No construir viviendas en el cauce de la quebrada. Desatar bloques sueltos ubicados en las laderas. Construir muros de contención.
	33. Saracoto	Sector sujeto a caídas de rocas, se pueden generar también derrumbes. Roca intrusiva con fracturas de espaciamiento amplio no mayor a un metro. La inestabilidad se ha dado por el corte de talud de carretera. En la parte inferior del talud de corte se aprecian pequeños bloques de roca sueltos, producto de las caídas de rocas.	Las caídas de rocas que podrían afectar a tramo de carretera Ñaña-Carapongo en un tramo de 50 m, vía muy fluida, por donde transitan autos particulares, transporte público.	Desatar bloques sueltos. Realizar estudios geotécnicos de detalle para reubicar las viviendas en laderas inestables.

Distrito	Paraje Sector	Descripción	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
	34. Valle El Triunfo 35. Anexo 8 Jicamarca 36. A. H. Unión Juventud Pachacútec/ Tulipanes 37. Qda. California 38. Qda. Libertad 39. Qda. La Ronda 40. Qda. Pedregal 41. Qda. La Cantuta. 42. Qda. Santa María	Huaycos excepcionales. En las terrazas aluviales de las quebradas se pueden observar gravas con matrices limo-arenosas y bloques de hasta 2 m. Estas características muestran que existieron en el pasado huaycos de grandes dimensiones. Los bloques sueltos dispuestos en los cauces de las quebradas pueden ser transportados con facilidad durante lluvias excepcionales. Los depósitos de estos flujos tienen formas de abanico, generalmente con recorridos entre los 500 m y 800 m. Se encuentran canalizados y presentan material muy heterogéneo.	La mayoría de viviendas ubicadas en los cauces de las quebradas principales y secundarias del distrito de Lurigancho-Chosica están en áreas de muy alta susceptibilidad a este tipo de eventos. En 1983, 1998 y 2012 se produjeron huaycos en las quebradas: Libertad, Pedregal, La Ronda, Santa María y California. Ante un sismo de gran magnitud se podrían generar caídas de rocas que afectarían a las viviendas ubicadas en las faldas de los cerros, y los terraplenes de las viviendas colapsarían.	Mejorar el sistema constructivo de las pircas. Realizar estudios detallados de suelo y de estabilidad de taludes. Para las zonas que presenten caídas de rocas, desatar los bloques sueltos. En los cauces de quebradas, especialmente de la cuenca alta y donde se encuentren poblaciones se deben construir muros transversales, a fin de atenuar los efectos del flujo. Se debe contar con planes de evacuación.
	43. Carapongo	Erosión fluvial	Crecida del río Rímac afecta a la Carretera Central.	Mejorar las defensas ribereñas. No ubicar viviendas al borde del cauce del río y reubicar las ubicadas en el espigón (defensa ribereña).
Rímac	44. Flor de Amancaes	Sector sujeto a caídas de rocas y huaycos excepcionales.	Puede afectar AA. HH. Flor de Amancaes (Comité 13) y Horacio Zevallos (2ª etapa).	No se debe permitir la expansión urbana en las laderas de fuerte pendiente. En los cauces de quebradas, especialmente de la cuenca alta y donde se encuentren poblaciones, se deben construir muros transversales, a fin de atenuar los efectos de los huaycos.
	45. Puente del Ejército-Morales Duárez	El río Rímac está discurriendo, en este sector, sobre un depósito de conglomerados inconsolidados, formando una pequeña catarata. Se presenta erosión fluvial. Se ha formado un valle encajonado que tiene alturas que van desde 10 m a 20 m. Por sectores, en ambas márgenes, se observa entrocado como defensa ribereña.	Afecta la defensa ribereña que protegen las bases del Puente del Ejército. En el verano del año 2007 se originó un derrumbe de una parte del acantilado (sector de Morales Duárez) que afectó a una vivienda.	Restaurar los muros que protegen el Puente del Ejército. Reconstruir las defensas ribereñas destruidas. No construir viviendas en las zonas cercanas al acantilado. Reubicar las viviendas que se encuentran al borde del acantilado.
El Agustino	46. Cerros El Agustino y San Pedro	Los hundimientos registrados en esta zona están relacionados a excavaciones subterráneas de minas antiguas. Las primeras manifestaciones se dieron en el año 1996. Se aprecian tuberías de agua y desagüe que han colapsado y están humedeciendo el terreno.	Los hundimientos han afectado las viviendas, colegio y mercado de abastos. En la actualidad, aún se mantiene dicha infraestructura.	Reubicar las viviendas que presentan fisuras en las paredes.

Distrito	Paraje Sector	Descripción	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
San Martín de Porres	47. Morales Duárez	Viviendas ubicadas sobre un antiguo botadero de basura. En algunos cortes del talud se observan los restos de plásticos y desmonte, que confirman el tipo de suelo. Los suelos conformados por los rellenos sanitarios son de mala calidad, por lo tanto no sirven para construcciones.	Viviendas en mal estado (paredes agrietadas), ante un movimiento sísmico de fuerte intensidad es muy probable que estas viviendas colapsen.	Reubicar las viviendas en situación crítica. Hacer charlas de sensibilización para evitar más construcciones en la zona inestable.
	48 Puente Universitaria - Puente Faucett	Erosión fluvial que afecta a ambas márgenes, erosionando los taludes naturales y defensas ribereñas. Por la margen derecha se aprecian viviendas al borde del talud. Se observan depósitos de basura y desmonte en los bordes de la ribera.	En el año 1982 y 1983, en este sector se produjeron inundaciones que afectaron a viviendas ubicadas en ambas márgenes. Por ello se construyeron defensas ribereñas.	Limpiar el cauce del río después de cada época lluviosa, forestar y evitar el arrojado de desperdicios y desmonte.
	49. A.H. Víctor Raúl Haya, cerro La Milla	Caídas de rocas y derrumbes. Las laderas presentan pendientes comprendidas entre 25° a 30°. En las cimas de los cerros se presentan bloques sueltos que pueden ceder ante un movimiento sísmico. Los bloques de roca sueltos son de formas irregulares y hasta de 30 cm de diámetro. Las bases de las viviendas están construidas sobre terraplenes o pircas. Según versiones de lugareños, en el sismo del 15 de agosto del 2007 se desprendieron algunos bloques de roca.	Las viviendas ubicadas en las laderas de los cerros son las vulnerables, porque pueden ser afectadas por caída de rocas o colapso de sus pircas, ante un sismo de gran magnitud.	Desatar los bloques sueltos que están en las laderas. Es necesario reubicar las viviendas expuestas a los bloques sueltos y a los canchales (acumulaciones de detritos producto de caídas de rocas).
Chaclacayo	50 San Diego	Área sujeta a inundaciones. En el año 2000, en la cuenca alta del río Chillón se presentaron lluvias que causaron desborde e inundación de la zona urbana de San Diego. Otras de las causas fueron las defensas ribereñas inadecuadas, la colmatación del cauce del río y, además, las viviendas se ubican a un nivel más bajo que el río.	Afecto a zonas urbanizadas. La inundación alcanzó alturas hasta de 2 metros. Se produjeron muchos daños materiales.	Reconstruir defensas ribereñas. Hacer constantemente limpieza del cauce del río. No arrojarse desmonte y basura al cauce del río. Reforzar y construir un puente peatonal.
	51. Quebrada Las Cumbres	Flujos de detritos de tipo excepcional y caída de rocas. En la zona se observa material suelto en una matriz gravosa arenosa. En el cauce de la quebrada se aprecian bloques sueltos englobados en una matriz arenolimoso. La zona es plana y susceptible a ser afectada por huaycos en caso de lluvias excepcionales.	Los flujos de detritos afectarían a las viviendas ubicadas en el cauce de la quebrada. Un sismo de fuerte magnitud produciría el colapso de los terraplenes de las viviendas ubicadas en las laderas.	No construir viviendas en el cauce de la quebrada. Desatar bloques sueltos ubicados en las laderas. Construir muros de contención. Mejorar el sistema constructivo de sus viviendas.

Distrito	Paraje Sector	Descripción	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
	52. Quebrada Los Cóndores	Flujos de detritos o lodo de tipo excepcional y caída de rocas. En el cauce de la quebrada se aprecian bloques sueltos englobados en una matriz areno-limosa.	Se reactivó en 1983, 1998 y 2012.	No construir viviendas en el cauce de la quebrada. Desatar bloques sueltos ubicados en las laderas. Construir muros de contención. Mejorar el sistema constructivo de sus viviendas. Construir muros disipadores a lo largo del cauce de la quebrada.
	53. Quebrada Tinajas	Quebrada seca que se puede activar ante lluvias de tipo excepcional. Se caracteriza por tener material suelto en su cauce.	Las viviendas ubicadas en el cauce de estas quebradas son vulnerables, en caso de que los flujos se activen colapsarían en poco tiempo.	Las viviendas construidas en su cauce deben ser reubicadas.
Cieneguilla	54. Huaycán	Quebradas secas se pueden activar ante lluvias de tipo excepcional.	Los flujos de detritos afectarían a las viviendas ubicadas en el cauce de la quebrada.	No construir viviendas en el cauce de las quebradas. Realizar estudios geotécnicos de detalle para implementar obras de prevención.
	55. Zárate-Mangamarca	Erosión fluvial en el tramo del río Rimac que limita con la quebrada Canto Grande. Afecta a la margen derecha. En ambas márgenes del río se observan desmonte y basurales que están cubriendo el enrocado.	La erosión fluvial puede afectar los terraplenes, hechos de desmonte, ubicados en el cauce.	Mejorar los terraplenes. Se debe impedir el arrojamiento de desmonte y basura al cauce del río. Campañas de sensibilización a los moradores de las riberas, para evitar que arrojen sus desperdicios al cauce del río.
San Juan de Lurigancho	56. Caja de Agua-Cerro San Cristóbal	Se observan bloques erráticos subredondeados de hasta 2 m de diámetro en la ladera originados por el intenso fracturamiento de la roca. Ladera con fuerte pendiente. Estos bloques ante un sismo pueden ceder. Material suelto en las laderas, generados por acción antrópica (construcción de vías de acceso y de viviendas).	Al ceder los bloques, van a caer cuesta abajo y afectar a viviendas ubicadas en la parte baja de las laderas.	Desatar bloques sueltos en forma artesanal. Utilizar otros sistemas de sostenimiento como mallas, pernos de anclaje, concreto lanzado, etc. No ubicar viviendas en las laderas.

Distrito	Paraje Sector	Descripción	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
	57. Cerro Canto Chico 58. Quebrada Media Luna 59. Jicamarca-A. H. Los Portales 60. A. H. Nuevo Amanecer 61. A. H. Pedregal Alto	Huaycos y flujos de lodo de tipo excepcional, que se han presentado en la quebrada Canto Grande. Los flujos se caracterizan por presentar bloques intrusivos y volcano-sedimentarios de diferentes tamaños. En las terrazas se pueden observar gravas con matrices limo-arenosas y clastos de diversos diámetros, evidencias de que existieron en el pasado huaycos de grandes dimensiones. Los depósitos de estos flujos tienen formas de abanico, generalmente con recorridos entre los 500 m y 800 m. Estos flujos generalmente están alimentados por caídas de rocas. En los cerros aledaños se tiene material suelto (bloques y canchales) producido por la meteorización esteroideal. Ante un fuerte movimiento sísmico o lluvias de fuerte intensidad, los bloques inestables pueden ceder cuesta abajo y afectar a las viviendas ubicadas en la parte inferior.	La mayoría de viviendas ubicadas en los cauces de las quebradas principales y secundarias serían afectadas. La cuenca alta de la quebrada está en un proceso de expansión urbana, cuyos moradores se están asentando sobre los cauces antiguos de las quebradas. Hay que mencionar que en el año 2002 se activó la quebrada Media Luna (naciente de la quebrada Canto Grande), afectó a viviendas y caminos de acceso. Ante un sismo de gran magnitud se podrían generar caídas de rocas que afectarían a las viviendas ubicadas en las faldas de los cerros, y los terraplenes de las viviendas colapsarían.	Se debe tener en cuenta que la Quebrada Media Luna y la Quebrada Canto Grande están expuestas a este tipo de fenómenos, por su litología y pendiente. No se debe permitir la expansión urbana en las laderas de fuerte pendiente. Se debe contar con planes de evacuación. Mejorar el sistema constructivo de las pircas. Realizar estudios detallados de suelo y de estabilidad de taludes. Para las zonas que presenten caídas de rocas, desatar los bloques sueltos. En los cauces de quebradas, especialmente de la cuenca alta y donde se encuentren poblaciones, se deben construir muros transversales, a fin de atenuar los efectos del flujo.
	62. AA. HH. Mariscal Cáceres / Las Vegas / Unidos al Desarrollo 63. AA. HH. Juan Pablo II / Nuevo Amanecer 64. Nuevo Jerusalén 65. Saúl Cantoral / Santa Rosa de Lima 66. 4a Etapa Mariátegui 67. A. H. Huanta	La construcción inadecuada de las bases de las viviendas (pircas) son estructuras inestables. En caso de colapsar una vivienda se produce el efecto "domino", es decir que el derrumbe de una vivienda también afectaría a la que se encuentra cuesta abajo. Las caídas de rocas, presenta zonas de arranque con longitudes que van entre los 20 y 50 metros de largo y altura de hasta 30 m en promedio. La pendiente de los cerros está entre los 30° y 40°. En el sector hay afloramientos de rocas intrusivas de tipo tonalitas que presentan meteorización esteroideal, los cuales generan bloques de formas redondeadas y sueltos en las laderas. El humedecimiento del suelo, los cortes inadecuados de los taludes y la pendiente del terreno son condiciones como para que se generen derrumbes o caídas de rocas.	La cuenca alta de la quebrada está en un proceso de expansión urbana, cuyos moradores se están asentando sobre los cauces antiguos de las quebradas. Hay que mencionar que en el año 2002 se activó la quebrada Media Luna (naciente de la quebrada Canto Grande), afectó a viviendas y caminos de acceso. Un sismo de gran magnitud podría generar caídas de rocas y las viviendas ubicadas sobre terraplenes colapsarían. Las viviendas se ubican en los cauces de las quebradas principales y secundarias.	Desatar los bloques sueltos en las laderas, esto implica un bajo costo y puede prevenir accidentes. Algunas de las estructuras construidas son insuficientes en el caso de caídas de rocas. En los AA. HH. se deben señalizar vías de evacuación en caso de sismo. No construir más viviendas en las laderas de los cerros sin previo tratamiento de ellas. Hacer programas de sensibilización a las personas con la finalidad de hacerles tomar conciencia del peligro al que están expuestos.

Distrito	Paraje Sector	Descripción	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
Carabaylo	68. A. H. Nueva Unión 69. AA. HH. Los Ángeles de Carabaylo / Ampliación Ramiro Prialé.	Pueden generar caída de rocas. En la ladera se observan bloques sueltos de hasta 1.50 m aprox. La pendiente de la ladera es de 35°.	De generarse un sismo de gran magnitud, los bloques suspendidos en las laderas se desprenderían y caerían sobre las viviendas.	Desatar bloques sueltos. Medidas de sostenimiento como sistema de pernos de anclaje. Para las rocas de menor tamaño, desatarlas por medios artesanales (dilatación y contracción).
	70. Comité 78 / Virgen de Fátima Norte	Rocas intrusivas con fracturamiento amplio que originan bloques sueltos, los cuales pueden generar caída de rocas. En la ladera se observan bloques sueltos de hasta 1.50 m aproximadamente. La pendiente de la ladera es de 35°.	De generarse un sismo de gran magnitud, los bloques suspendidos en las laderas generarían caídas de rocas.	Desatar bloques sueltos. Medidas de sostenimiento como sistema de pernos de anclaje. Para las rocas de menor tamaño, desatarlas por medios artesanales (dilatación y contracción).
	71 Comité 39- Sector Progreso	Zona sujeta a hundimientos. Las viviendas se encuentran ubicadas ante un antiguo relleno (desmonte). Se han observado algunas paredes de las viviendas que han sufrido asentamientos y otras han colapsado.	Las viviendas han registrado asentamientos paulatinos, si no se reubicarían podrían colapsar.	Reubicar y no permitir la construcción de viviendas en esta zona.
	72. 3 <sup>er</sup> Sector El Progreso	Roca fracturada, presenta erosión esterooidal generando bloques sueltos. Las laderas presentan pendientes no mayores a los 35°. Geomorfológicamente el área se encuentra sobre una montaña. Los bloques sueltos presentan diámetros de hasta de 2 m.	Al encontrarse en condiciones inestables los bloques pueden colapsar y afectar las viviendas que se encuentran en la parte baja.	Desatar bloques sueltos. Dilatación de la roca por medios artesanales. También se pueden aplicar medidas de sostenimiento como mallas.
	73. Quebrada Progreso 74. Torre Blanca 75. Torre Blanca- Punchauca	Flujos de déritos (huaycos) con recorridos no mayores a 700 m. Se observa material suelto en el cauce de la quebrada. Los bloques de roca sueltos están dispuestos en forma aislada, las laderas presentan pendientes no mayores a 30°. Estos flujos son de tipo excepcional.	En el cauce de la quebrada existen zonas de cultivo y viviendas. En caso de lluvias excepcionales pueden activar las quebradas.	No ubicar viviendas en el cauce de la quebrada. Canalizarla y construir estructuras disipadoras para atenuar los efectos del flujo. Desatar los bloques sueltos ubicados en las laderas.

Distrito	Paraje Sector	Descripción	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
	76. Camino Real / Chaperito	Erosión fluvial que se acentúa por la acumulación de desmonte. Afecta a ambas márgenes y es mayor a 300 metros de extensión.	Afecta a zonas agrícolas.	Remover el desmonte. Reforzar los terraplenes.
	77. Sector Paraíso	Viviendas y colegio edificados sobre terrenos conformados por rellenos (desmonte). Según versiones de los lugareños el colegio colapsó con el sismo del 15 de agosto de 2007. Las viviendas construidas en la parte inferior del talud pueden ser afectadas por derrumbes del material suelto que se encuentra en el corte del talud.	De producirse un sismo, los asentamientos humanos ubicados en esta zona se verían afectados por derrumbe.	Limpiar el material suelto, construir muros de contención. Las edificaciones que se encuentran sobre el desmonte deben ser reconstruidas
	78. Cerro Amauta	Se observó déritos y rocas dispuestos en la ladera en forma de canchales. La caída de rocas presenta una zona de arranque irregular y los fragmentos de roca miden hasta 60 cm. La pendiente del terreno se encuentra entre los 25° a 30°.	De producirse un sismo de gran magnitud, las caídas de rocas y déritos afectarían a las viviendas que se encuentran en las laderas del cerro.	No edificar viviendas ni realizar cortes de talud en la zona de canchales porque se inestabilizan las laderas del cerro. Desatar bloques sueltos que se encuentra en las laderas de los cerros.
	79. Chocas 80. Caballero / Quebrada Caballero	Flujos de déritos de tipo excepcional. Presentan trayectorias mayores a los 500 m. En su cauce se encuentra abundante material suelto de tipo arenolimoso. La parte más distal tiene forma de abanico. En las laderas se presentan canchales.	Si se producen lluvias excepcionales se pueden generar huaycos que afectarían seriamente a las viviendas ubicadas en su cauce.	No construir viviendas en el cauce de las quebradas. Desatar bloques sueltos. Efectuar estudios de detalle para el diseño de muros de contención y disipadores de flujos.
	81. El Rosario-Caballero	Caídas de rocas o derrumbes se generarían ante sismos de gran magnitud. Afloramiento de rocas calcáreas, fracturadas y algo alteradas, presentan rotura planar y zona de arranque irregular.	Afectaría a la carretera Lima-Canta entre los sectores de El Rosario y Caballero. Este tramo es muy transitado por vehículos particulares y públicos.	En la vía colocar letreros de posibles caídas de rocas. Construir muros de contención. Desatar bloques sueltos.
	82. Pampa de Huarangal	Ante lluvias excepcionales se podrían generar flujos de déritos o de lodo. Las laderas presentan bloques sueltos que pueden ceder ante un movimiento sísmico de fuerte magnitud o ante lluvias de tipo excepcional.	De generarse lluvias de tipo excepcional, es muy probable que se generen flujos.	Canalizar la quebrada, construir muros disipadores de flujos, reforzar las laderas. No permitir las construcciones de viviendas en el cauce de la quebrada.
	83. Quebrada Trapiche	Flujo de déritos (huayco) excepcional. En el cauce se aprecia material suelto conformado por arenas y gravas. Presenta un recorrido de 300 m.	En caso de lluvias excepcionales afectaría al asentamiento humano ubicado en el cauce de la quebrada.	Reubicar las viviendas posicionadas en el cauce, en la zona de nacimiento.

Distrito	Paraje Sector	Descripción	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
Comas	84. Collique 8ª / 7ª Zona 85. A. H. Ampliación La Merced 86. A. H. 2 de Mayo 87. Cerro Sinai 88. Proyecto Integral 2000 89. A. H. Cristo Rey	Caídas de rocas. Se aprecian bloques sueltos dispuestos de manera inestable en las laderas de los cerros. Los tamaños alcanzan hasta 1.5 m. Se pueden presentar como bloques aislados o talud de detritos conocidos como canchales. La mayoría presenta zonas de arranque entre los 50 y 100 m de largo y una altura de 50 m en promedio. En estas localidades también se observan caídas de rocas muy antiguas, algunas por sus dimensiones pueden ser calificadas como avalanchas de rocas. Las zonas de arranque están en laderas que van de los 25° a 45°, presentan un tipo de rotura planar. La litología que predomina es intrusiva. En el 2010 se presentó un flujo de lodo que discurrió a lo largo de la quebrada Collique.	Las viviendas ubicadas en las laderas son las más vulnerables. Una cantidad considerable de asentamientos humanos están expuestos a las caídas de rocas. Hubo desprendimientos de rocas que han afectado a viviendas. En el año 1962 se generó un huayco que afectó a las viviendas ubicadas en el cauce de la quebrada Collique (1a, 2a zona de Collique). En el 2010, por la generación del flujo de lodo de la quebrada Collique, fueron afectadas las viviendas ubicadas en su cauce. El flujo llegó hasta las inmediaciones de la Av. Tinac Amarú.	Desatar bloques sueltos. No construir más casas en las laderas. Es necesario que las municipalidades hagan programas de sensibilización para impedir que siga la propagación de asentamientos humanos hacia las laderas de los cerros; esto debe comenzar desde el nivel educativo. En las laderas de los cerros se debe señalar la zona inestable y vías de evacuación en caso de sismos. Se recomienda realizar estudios geotécnicos para el diseño de muros de contención, muros dissipadores de flujos, canalización de la quebrada y reordenamiento del sector.
Ancón	90. Cerro La Cruz 91. Piedras Gordas 92. Pampa de Ancón-Vanguar	Arenamiento antiguo que cubre laderas con pendientes de hasta 30°. Las arenas son sueltas, grano mediano a fino, con espesores mayores a 3.5 m. Como suelos para cimentación, son de muy mala calidad	Afecta directamente a los asentamientos humanos. En caso de un sismo las tuberías de agua y desagüe colapsarían, el humedecimiento del terreno bajaría más aun su capacidad portante, esto podría hacer que las viviendas colapsen.	Deben realizar estudios detallados de suelos para determinar su capacidad portante y qué tipo de construcción deben hacer. Evitar el humedecimiento del terreno.
Independencia	93. Sector Ermitaño/ Santa Rosa de Lima / Villa Canta 94. Sector Independencia / Paraiso / Vista Alegre	Caídas de rocas y derrumbes. Las laderas presentan pendientes entre 30° a 35°. En las cimas de los cerros se observan bloques sueltos que pueden ceder ante un movimiento sísmico en forma de canchales. Los bloques de roca son bastante irregulares, de diversos tamaños (0.10 a 0.50 cm.). Las caídas de rocas antiguas han alimentado la quebrada. Las bases de las viviendas están construidas sobre terraplenes o pircas, estas no son adecuadas. En el sismo del 15 de agosto del 2007, algunas colapsaron. El paso del camión cisterna puede generar el colapso de la pirca. Eliminación de las aguas servidas hacia las laderas, va a saturar el suelo y hace que pierda su capacidad portante. Inadecuadas construcciones de las vías de acceso (terraplenes).	Las viviendas ubicadas en las laderas de los cerros son las vulnerables, porque pueden ser afectadas por caída de rocas que pueden generarse ante un sismo de gran magnitud. Se han registrado algunas zonas donde los taludes han colapsado. El colapso de las pircas o de la vía de acceso puede afectar a las viviendas alejadas.	Se recomienda desatar los bloques sueltos que están en las laderas y canalizar las quebradas. Es necesario reubicar las viviendas expuestas a los bloques sueltos y los canchales. Realizar estudios geotécnicos para el diseño de refuerzos en zonas donde han realizado cortes de talud. No realizar cortes de talud que puedan desestabilizar. Evitar las filtraciones del agua hacia el subsuelo, para evitar la pérdida de capacidad portante.

Distrito	Paraje Sector	Descripción	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
<p>Magdalena del Mar, Barranco, Miraflores, San Isidro, Chorrillos, San Miguel</p>	<p>95. Acantilados de La Costa Verde</p>	<p>Caídas de rocas, derrumbes, erosión de laderas y tsunami. Las laderas presentan pendientes abruptas entre 60° y 90°. Las alturas de los acantilados de la Costa Verde oscilan entre los 30 y los 80 metros. El material que conforma el acantilado es aluvial y presenta baja compactación. La estabilidad de los taludes de la costa Verde es variable por la presencia de lentes arcillosos y limoso-arcillosos en algunos sectores como en Chorrillos y Barranco. Ante sismos de fuerte magnitud, se han registrado caídas de rocas o pequeños derrumbes que han afectado a la vía Costanera. Por ejemplo, en el sismo del año 1974 se produjeron derrumbes y caídas de rocas que obstaculizaron la vía de la Costa Verde. Las construcciones que están ubicadas al lado del litoral se verían gravemente afectadas en caso de tsunamis.</p>	<p>Los desprendimientos de rocas del talud del acantilado pueden impactar sobre vehículos y transeúntes. Se tienen registrados los siguientes eventos desde 1995 a la fecha):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 21/6/1995: muerte de un peatón por bloque desprendido tras el temblor que sacudió la costa central del país (Trujillo a Cañete).</li> <li>• 1/3/2002: un desprendimiento de roca de más de 8 kilos que causó la muerte de ocupante de vehículo.</li> <li>• 15/8/2007: tras el sismo de Pisco, se produjeron desprendimientos de rocas en la Costa Verde.</li> <li>• 7/5/2009: desprendimiento de roca destroza el techo y el parabrisas del vehículo hiriendo al pasajero.</li> <li>• 18/6/2009: un bloque impacta sobre un taxista a la altura de la playa Los Yuyos.</li> <li>• 10/12/2010: un deslizamiento de rocas en la Costanera, a la altura de la playa Waikiki en el límite de Miraflores y Barranco, ocasiona la volcadura de un auto.</li> <li>• 13/11/2011: un bloque cae sobre un auto a la altura de la playa La Herradura, en Chorrillos.</li> <li>• 19/6/2012: derrumbe del muro de contención en la Bajada Balta, en Miraflores.</li> <li>• 20/1/2014: niño gravemente herido tras el impacto de un bloque a la altura de playa Waikiki.</li> </ul>	<p>Se recomienda la ejecución de estudios geológicos, geomorfológicos, hidrogeológicos, de microzonificación sísmica (instrumental), así como un estudio de estabilidad de taludes de detalle (que incluya ensayos de mecánica de suelos). Los estudios permitirán la delimitación de los sectores críticos de los acantilados que permita implantar planes de prevención o mitigación de los peligros geológicos observados (desprendimientos, derrumbes, etc.) Se recomienda trabajar en las rutas de evacuación del acantilado, mejorartas, ampliarlas e incrementarlas. No se debería permitir más construcciones sobre el acantilado de la Costa Verde para no seguir incrementado el riesgo en ese sector. . Las soluciones planteadas deben basarse en resultados de ensayos de laboratorio para tener sustento en las soluciones aplicadas.</p>



**III. ZONAS CRÍTICAS POR PELIGROS GEOLÓGICOS Y GEOHIDROLÓGICOS  
EN LA PROVINCIA CONSTITUCIONAL DEL CALLAO**



Distrito	Paraje Sector	Descripción	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
Ventanilla	96. Pantanos de Ventanilla	En esta zona se han registrado hundimientos. Suelo compuesto de grava fina y arena. Napa freática aflorando. Parte rellenada con desmonte. En caso de un sismo se puede producir licuefacción de suelos.	Puede afectar severamente a las viviendas, la mayoría de ellas de material precario.	Reubicar todas las viviendas y el colegio ubicado en los alrededores.
	97 . A. H. Víctor Raúl Haya	Área sujeta a inundaciones y erosión fluvial. Terrazas bajas, con alturas menores a un metro. En tiempos de crecidas extraordinarias, las aguas sobrepasan las terrazas e inundan la zona. No cuenta con adecuadas defensas ribereñas.	Viviendas construidas en el borde y en la terraza inundable del río Chillón.	Reubicar las viviendas que se encuentran en la terraza inundable. Mejorar las defensas ribereñas, cambiarlas por un entrocado y levantar más la defensa ribereña. Descolmar el cauce del río Chillón.
	98. Loma Larga 99. La Victoria / Cerro Cachito.	Los arenamientos están asociados a las planicies costaneras, en donde la dirección, la velocidad del viento y las geoformas favorecen la acumulación de arena. Estos depósitos eólicos de ubican en pendientes mayores a los 30° y ocupan áreas extensas.	En estas acumulaciones eólicas, ubicadas en laderas, son difíciles las construcciones de cimientos para viviendas de material noble. Un recurso utilizado por la población es el uso de sacos llenos de arena en las bases de sus viviendas, lo cual es una práctica constructiva inadecuada.	Evitar la construcción de viviendas en las laderas con arenamientos. En las zonas planas construir viviendas de materiales ligeros y no mayores a un piso. Antes de realizar las construcciones se deben realizar estudios de suelos.
	100. A. H. César Vallejo 101. Ciudad Satélite (Calle 14)	Caída de rocas, en forma de canchales. Se presentan acumulados en la ladera, con una zona de arranque irregular. Se observan bloques de 30– 50 cm. aprox.	En caso de sismos, puede afectar directamente a zonas urbanizadas.	No es recomendable que las viviendas se ubiquen en la zona de canchales para evitar que se desestabilicen las laderas. Se podrían generar caídas de rocas o derrumbes.
	Callao	102. Gambeta Baja	Inundación fluvial y erosión fluvial. Actualmente estos fenómenos no se han dado por la limpieza constante del cauce, mantenimiento de las defensas ribereñas.	En los años 1982 y 1983, el sector de Carmen de la Legua-Reynoso sufrió inundaciones afectando a las viviendas ubicadas en la margen izquierda.



#### **IV. FUENTES MACROSÍSMICAS DE LAS ÁREAS DEL ESTUDIO**



Fecha	Hora	Localidades	Intensidad	Observaciones
1555-11-15		Lima	VII	Ocurrió en Lima un temblor, el más fuerte desde su fundación, que causó muchos desperfectos en sus edificaciones.
1568-04-04		Lima	IX	Por la tarde, se sintió en Lima un fuerte temblor al comenzar la prédica del padre jesuita Jerónimo Ruiz del Portillo, en el convento de Santo Domingo, fue tan fuerte y largo el estremecimiento que todos los fieles allí congregados salieron despavoridamente. No ha quedado registro de daños materiales. Polo anota que el sismo se sintió en Ica y otros puntos.
1581		Lima	X	Según la versión de los antiguos vecinos de Lima, y que recogiera años más tarde el virrey Conde del Villar, hubo por este año un gran temblor que maltrató las casas de la ciudad. La fecha exacta nos es desconocida. En la crónica de Charcas, Fray Diego de Mendoza menciona otro terremoto que hizo hundir con todos sus habitantes al pueblo de Yanaoca, situado a unas 24 leguas del Cuzco.
1582-08-15		Lima	VII	Fuerte temblor, durante la celebración del Concilio Provincial, cuya apertura tuvo lugar el 15-08-1582.
1584-03-17		Lima	VII	Gran temblor en Lima, que averió edificios. En el Callao queda el edificio de Casas Reales dañado. Por espacio de dos días quedó temblando la tierra contándose de 8 a 9 movimientos.
1586-07-09	19:00:00	Lima-Ica- Trujillo	VI-IX	Terremoto que destruyó Lima, con 14 a 22 víctimas. Sus principales edificios se vinieron al suelo y otros quedaron muy maltratados. Movimiento precedido de gran ruido. Hubo derrumbe de peñascos y rocas del cerro San Cristóbal y de otros situados en la parte alta del valle, como agrietamientos del terreno. La destrucción se extendió en los valles cercanos a Lima, y llegó hasta la villa de Valverde de Ica. A este gran sismo le siguió un tsunami, que anegó gran porción de la costa. En el Callao el mar subió como dos brazas e inundó parte del pueblo.
1609-10-19	20:00:00	Lima	VII	Violento temblor que derribó y arruinó muchas de sus edificaciones. La catedral en construcción quedó tan maltratada que hubo necesidad de demoler sus bóvedas de ladrillo y labrar otras de crucería.
1630-11-27	11:30:00	Lima	VII	Cuando la población de Lima estaba congregada en la Plaza de Armas, espectando una corrida de toros, sobrevino un fortísimo movimiento de tierra que causó varios muertos y contusos. El diario de Lima estimaba los daños causados a los edificios en más de un millón de pesos y anotaba "muy pocas son las casas cuyas paredes no han sido abiertas".
1655-11-13	14:38:00	Lima- Callao	VIII-IX	Fuerte movimiento de tierra que derribó muchas casas y edificios en Lima, se abrieron grietas en la Plaza Mayor y cerca del convento de Guadalupe. Graves daños en el presidio de la isla San Lorenzo.
1678-06-17	19:45:00	Lima- Callao	VII	Fortísimo temblor averió muchas edificaciones en Lima, entre ellas el Palacio del Virrey. Reparaciones en el orden de tres millones de pesos. Estragos en el Callao. Nueve muertos en Lima, Callao y Chancay. Ocurrieron dos terremotos en Lima.

Fecha	Hora	Localidades	Intensidad	Observaciones
1687-10-20	4:15:00 y 5:30:00	Lima-Callao Ica-Cañete	VII-VIII- IX	El primer movimiento sacudió y desarticuló los edificios y torres de la ciudad; y el segundo, más prolongado, las acabó de arruinar ocasionando cerca de cien muertos. Los estragos fueron grandes en el puerto del Callao y alrededores, extendiéndose las ruinas hasta setecientos kilómetros al sur de Lima, especialmente en las haciendas de los valles de Cañete, Ica, Palpa, Nazca y Cumaná. Como efectos secundarios de estos sismos, se formaron entre Ica y Cañete grandes grietas de muchos kilómetros de extensión.
1690-11-20	14:30:00	Lima	VI	Gran temblor. Según el escribano Don Diego Fernández Montaña, este movimiento acabó de arruinar los edificios y templos de la ciudad que habían quedado en pie luego del terremoto de 1687. El acuerdo del cabildo fue que se derribasen todas las paredes que amenazaban desplome y se hiciese un reconocimiento de los daños causados.
1699-07-14	04:00:00	Lima	VII	Fuerte temblor en Lima. Derribó algunas casas.
1732-12-02	01:00:00	Lima	VI	Recia sacudida de tierra en Lima, maltrató muchos edificios.
1746-10-28	22:30:00	Lima-Callao	X-XI	Terremoto en Lima, y tsunami en el Callao. En Lima, de las 3000 casas existentes distribuidas en 150 manzanas, sólo 25 quedaron en pie. Cayeron a tierra los principales y más sólidos edificios, la Catedral, monasterios, conventos, hospitales y otros. El movimiento, según Llano y Zapata, fue de tres a cuatro minutos. Según el relato oficial, perecieron en Lima 1141 personas de un total de 60 000, otros cronistas suben estas cifras por diversas causas, y por las epidemias que luego se desataron.
1828-03-30	07:35:00	Lima	VII	Terremoto causó grandes daños en los edificios y viviendas, las pérdidas se calcularon en seis millones de pesos. Hubo 30 muertos y numerosos heridos. Sufrieron el puerto del Callao, Chorrillos y Chancay, Huarochirí y el pueblo de San Jerónimo. Se sintió fuerte en Trujillo y Huancayo. Leve en Arequipa.
1897-09-20	11:25:00	Lima	VII	Fuerte sismo que causó destrucción en Lima y Callao. En el interior sufrieron las edificaciones de Huarochirí y hubo derrumbes de las partes altas. El movimiento se sintió más allá de Ancón por el norte y hasta Pisco por el sur.
1904-03-04	05:17:00	Lima	VII-VIII	Intenso movimiento sísmico sentido en un área de percepción de aproximadamente 230 000 km <sup>2</sup> . En un área epicentral de 4000 km <sup>2</sup> . Dentro de esa área, en Lima cayeron cornisas, paredes antiguas y se agrietaron las torres de la catedral; en el Callao y Chorrillos no quedó casa sin rajadura. Hacia el sur la destrucción se extendió hasta Mala. Otros efectos se apreciaron en el este, o sea en La Molina, y en el fundo Ñaña; en Matucana hubo desprendimiento del material meteorizado de la parte alta de los cerros y agrietamientos en las viviendas, mientras que en la zona costera, en Pasamayo, fueron profusos los deslizamientos en los acantilados de arena. El mismo fue sentido en Casma, Trujillo, Huánuco, Pisco, Ica y Ayacucho.
1907.11.16	05:10	Tarma-Cerro de Pasco	V	Temblor sentido en la costa, entre Lambayeque y Casma; en la región central de Tarma, Cerro de Pasco, Huánuco; y en la selva, entre Masisea y Puerto Bermúdez.
1909.04.12	03:05	Región central del país	VI	Movimiento de tierra que conmovió casi toda la región central del país. A lo largo de la costa fue percibido desde Salaverry a Ica; en la montaña en Puerto Bermúdez. En Lima fue de grado V en la hacienda Andahuasi, Huacho causó averías, en Matucana mayores daños.

Fecha	Hora	Localidades	Intensidad	Observaciones
1928-05-17	05:55	Cerro de Pasco	VI	Fuerte temblor en Cerro de Pasco, Cuzco, Macusani y Paucartambo. En este último lugar se producen derrumbes.
1932-01-19	21:33:00	Lima	V-VII	Violento temblor que hizo caer cornisas, tapias y paredes viejas. En el puerto del Callao el temblor fue tan fuerte como en la capital y ocasionó diversos daños en las edificaciones. Se sintió fuerte en Huacho, ligeramente en Cañete, Chincha, Ica, Pisco, Trujillo y Chiclayo. En la ciudad de Huaraz, en Callejón de Huaylas, el temblor fue recio.
1933-08-05	21:55:00	Lima	VI	Fuerte y prolongado temblor en Lima-Callao e Ica. Se observaron ligeros deterioros en las casas antiguas de la ciudad. Rotura de vidrios en la ciudad de Ica. Fue sentido entre Huacho y Pisco a lo largo de la costa, en Cerro de Pasco y otros pueblos de la cordillera central, y en el puerto Bermúdez situado en la zona oriental.
1937-12-24	01:23	Vertiente oriental cordillera Oriental	X	Terremoto en las vertientes de la cordillera central afectó los pueblos de Huancabamba, en el valle del mismo nombre, y Oxapampa, cerca del río Chuquibamba. Sus efectos destructores fueron muy marcados en las construcciones de adobe o tapial. La ciudad de Lima y poblaciones cercanas fueron sacudidas por un terremoto; se extendió hasta el puerto de Guayaquil-Ecuador al norte, y el puerto de Arica-Chile al sur. Ocasiónó la destrucción de muchas edificaciones en Lima, Callao, Chorrillos, Barranco, Chancay y Lurín.
1940-05-24	11:35:00	Lima	VII-VIII	El sismo dejó un saldo de 179 muertos y 3500 heridos, estimándose los daños materiales en unos 3 600 000 soles oro. Las estadísticas oficiales consignaban que sufrieron daños un 38 % de las viviendas de quincha, 23 % de las de adobe, 20 % de las casas de ladrillo, 9 % las de cemento y 10 % de las casas construidas de diversos materiales.
1945-06-15	04:10:00	Lima	VI	Temblor muy fuerte. Causó cuarteaduras en las construcciones modernas del barrio obrero del Rimac. Fue sentido desde Supe hasta Pisco por la costa; y en Canta, Matucana, Morococha, Casapalca y Huaytará en el interior.
1951-01-31	11:39:00	Lima	VI-VII	Fuerte temblor, comenzó con un ruido sordo, segundos después se sintió un fuerte remezón que hizo crujir paredes. Ocasiónó una fina rajadura vertical en la fachada de un edificio de concreto armado de la Plaza San Martín. El Observatorio de Lima registró aceleraciones máximas de 68 cm/seg <sup>2</sup> , con periodos de 0.1 segundos en las componentes horizontales. El movimiento fue sentido desde el paralelo 10° hasta el 14° de latitud sur. El Observatorio de Huancayo inscribió este movimiento a una distancia de 220 km, el foco posiblemente estuvo localizado en el océano, cerca de la costa.
1952-08-03	08:19:00	Lima-Callao	V-VI	Fuerte sismo sentido en casi todo el departamento de Lima; el área de percepción fue unos 26 000 km <sup>2</sup> . Se registró una aceleración máxima de 21 cm/seg <sup>2</sup> , con período de 0.2 segundos en sus componentes horizontales.
1954-04-21		Lima	VI	Movimiento ligeramente destructor en el sur del departamento de Lima. El área de percepción estuvo confinada entre los paralelos 9° y 5° de latitud sur a lo largo de la costa, y hasta Tarma y Huancayo hacia el interior. En la costa ocurrieron ligeros desperfectos en las antiguas construcciones de adobe de Mala, Cañete y San Antonio. En la ciudad de Lima fue fuerte, registrándose una aceleración máxima de 25 cm/seg <sup>2</sup> , con periodos de 0.1 seg. Derrumbe en el sector Pacasmayo y en el talud de falla de Jahuay (kilómetro 184 de la carretera sur).

Fecha	Hora	Localidades	Intensidad	Observaciones
1955-02-09	11:06:00	Lima	VI	Temblo fuerte, resultaron 10 personas accidentadas. Aceleración promedio 27 cm/seg <sup>2</sup> con periodos de 0.2 seg. Desprendimiento del material suelto en los barrancos de los balnearios y en el sector de Pasamayo, al norte de Lima; ligeramente destructor para los edificios y viviendas de la ciudad de Cañete. Sentido en Huaraz.
1957-02-18	18:50:00	Huarmey-Chincha	IV-V	Movimiento sentido a lo largo de la costa. En las cercanías del pueblo de Sayán, en el río Huaura, los deslizamientos de grandes bloques de piedras rompieron el muro de contención de un canal de irrigación. Derrumbes de arena en los acantilados de Pasamayo. En la ciudad de Canta la intensidad fue ligeramente superior al grado V, lo mismo que en la ciudad de Huacho.
1962-03-03	19:41	Junín	VII	Fuerte sismo en el anexo de Yungui, distrito de Uculmayo, provincia de Junín, situado en una zona boscosa de las vertientes orientales de los andes. Destrucción.
1963-09-24	11:30	Cordillera Negra	V-VI	Sismo destructor en los muelles situados en la Cordillera Negra, en la latitud 10°. Ocasiónó daños en Huayllacayari, Cajacay, Malvar, Carforaco, Cajamarquilla, Ocros Raquia, Congas y Llipa, en el departamento de Áncash. Además, en los canales de Irriga y Caminos, hubo deslizantes de materiales sueltos de los cerros. El desplome de una pared causó una muerte en Malvas. Destrucción de viviendas contiguas de adobe en el puente y ciudad de Huarmey. En Huaraz fueron dañadas varias construcciones, la caída de tejas y cornisas accidentó a varias personas. Hubo algunas rajaduras en inmuebles vetustos situados al norte de la ciudad de Lima. Fue sentido con fuerte intensidad en Chimbote y Salaverry.
1966-10-17	16:41:00	Lima	VIII	Uno de los sismos más intensos desde 1940, dejó un saldo de 100 muertos y daños materiales ascendientes a mil millones de soles oro. El área de percepción cubrió aproximadamente 524 000 km <sup>2</sup> y fue destructor a lo largo de la franja litoral comprendida entre Lima y Supe. La aceleración registrada en Lima estuvo acompañada de periodos dominantes del orden de un décimo de segundo. La amplitud máxima fue de 0.4 g, entre ondas de aceleraciones menores de 0.2 g. Rotura de vidrios por doquier y ruidos intensos. En el centro de Lima y en algunos sectores se veían caídas de cornisas y enlucidos. En la hacienda San Nicolás, a unos 156 km al norte de Lima, aparecieron numerosas grietas y de varias de ellas surgió agua de color amarillo. En el tramo 169 de la carretera Panamericana Norte se observaron otras, especialmente el kilómetro 51 y el kilómetro 22 de la Carretera Central quedaron bloqueadas a consecuencia de los derrumbes. En la costa hubo deslizamientos de material suelto de los acantilados de Chorrillos, Miraflores y Magdalena.
1970-05-31	15:23:00	Costa de Lima-Ica	V-VI	Uno de los más catastróficos terremotos en la historia del Perú, se sintió en casi toda la costa del Perú hasta las cordilleras, con diferentes intensidades. Al sur y ESE fue de grado VI MM en Lima. Fuerte en Pisco e Ica.

Fecha	Hora	Localidades	Intensidad	Observaciones
1972-06-19	10:51:00	Lima	VI	Fuerte temblor que causó ligeros desperfectos en el centro de Lima. Alarma en Mala y Cañete. Por el norte se sintió en Chancay y Huacho. Los remezones en Ica fueron casi imperceptibles.
1974-10-03	09:21:00	Lima	VII-VIII	Lima fue sacudida por un largo y recio temblor que ocasionó 78 muertos, unos 2500 heridos y pérdidas materiales estimadas en unos 2700 millones de soles. Duración del movimiento de más de minuto y medio, contribuyó a acentuar la destrucción de muchas casas antiguas de adobe y quincha en el área litoral comprendida entre 12° y 14° de latitud sur. En Lima Metropolitana, sufrieron daños entre leves a considerables las iglesias y monumentos históricos, los edificios públicos y privados, las viviendas antiguas de adobe de los Barrios Altos, Rimac, el Cercado, Callao, Barranco y Chorrillos. Los efectos destructores del sismo se extendieron a Mala, Chincha, Cañete, Pisco y otras poblaciones con saldo de 13 muertos y numerosos heridos. Se observaron derrumbes de material aluvial en los acantilados situados entre Magdalena y Chorrillos, agrietamientos de la plataforma de la carretera Panamericana en los tramos III. Este evento sísmico coincidió con el sexto año del gobierno de la "Revolución Peruana" encabezada por el general Velazco Alvarado, aun en el poder. Como consecuencia, se suspendió la gran concentración convocada para ese día, a las 6 de la tarde, en la Plaza de Armas. Felizmente fue día no laborable para los escolares. Tuvo un epicentro a 90 kilómetros al suroeste de la capital.
1993-04-18	04:16:00	Lima y alrededores	VI	Lima fue sacudida por un fuerte sismo de 5.8 grados en la escala de Richter, que sacudió la ciudad de Lima y alrededores. El sismo originó daños considerables en las viviendas construidas con materiales inestables en los alrededores de la ciudad y en las zonas altas de Lima. Este sismo se constituye como el último de una serie de cuatro terremotos ocurridos en los últimos 30 años entre 9° S y 13° S a niveles intermedios de profundidad.
1996-11-12	11:59:00	Nazca	VII	Sismo de magnitud 7.7Mw que afectó principalmente a la localidad de Nazca, departamento de Ica. El epicentro del terremoto llamado "Terremoto de Nazca" fue localizado por el Instituto Geofísico del Perú a 135 km al suroeste de la localidad de Nazca. Este terremoto fue acompañado de una serie de 150 réplicas durante las primeras 24 horas, que causaron alarma en las localidades de Nazca, Palpa, Ica, Acari y Llauca, las cuales soportaron intensidades máximas de VII (MM) durante el terremoto principal. El Sistema de Defensa Civil (Indeci) reportó 17 personas muertas, 1500 heridos y 100 000 damnificados. En cuanto a infraestructura, más de 5000 viviendas fueron destruidas, 12 000 afectadas. El costo económico de pérdidas fue del orden de 42 millones de dólares. El terremoto de Nazca produjo un tsunami pequeño que fue registrado en el mareógrafo de San Juan, el mismo que muestra desviaciones del nivel medio del mar del orden de 1.80 m. Este tsunami no produjo mayores daños, debido a que el terremoto ocurrió durante la bajamar.
2001-06-23	15:33:00	Arequipa	VIII	Este terremoto ha sido el más grande ocurrido en la última centuria en la región sur del Perú, afectó a Arequipa, Moquegua y Tacna en el Perú, y a Arica en Chile. La magnitud del sismo fue de Mw =8.2. Hubo 96 muertos, cerca de 11 000 edificaciones destruidas y más de 31 000 damnificados. La ciudad de Camaná fue afectada por un maremoto que provocó la muerte de 39 personas. El 80 % de las viviendas de Moquegua quedó inhabitable y Arequipa se hundió cinco centímetros. La onda sísmica fue sentida en Lima y también en Tumbes, Talara, Sullana y Piura.

Fecha	Hora	Localidades	Intensidad	Observaciones
1972-06-19	10:51:00	Lima	VI	Fuerte temblor que causó ligeros desperfectos en el centro de Lima. Alarma en Mala y Cañete. Por el norte se sintió en Chancay y Huacho. Los remezones en Ica fueron casi imperceptibles.
1974-10-03	09:21:00	Lima	VII-VIII	Lima fue sacudida por un largo y recio temblor que ocasionó 78 muertos, unos 2500 heridos y pérdidas materiales estimadas en unos 2700 millones de soles. Duración del movimiento de más de minuto y medio, contribuyó a acentuar la destrucción de muchas casas antiguas de adobe y quincha en el área litoral comprendida entre 12° y 14° de latitud sur. En Lima Metropolitana, sufrieron daños entre leves a considerables las iglesias y monumentos históricos, los edificios públicos y privados, las viviendas antiguas de adobe de los Barrios Altos, Rímac, el Cercado, Callao, Barranco y Chorrillos. Los efectos destructores del sismo se extendieron a Mala, Chincha, Cañete, Pisco y otras poblaciones con saldo de 13 muertos y numerosos heridos. Se observaron derrumbes de material aluvial en los acantilados situados entre Magdalena y Chorrillos, agrietamientos de la plataforma de la carretera Panamericana en los tramos III. Este evento sísmico coincidió con el sexto año del gobierno de la "Revolución Peruana" encabezada por el general Velazco Alvarado, aun en el poder. Como consecuencia, se suspendió la gran concentración convocada para ese día, a las 6 de la tarde, en la Plaza de Armas. Felizmente fue día no laborable para los escolares. Tuvo un epicentro a 90 kilómetros al suroeste de la capital.
1993-04-18	04:16:00	Lima y alrededores	VI	Lima fue sacudida por un fuerte sismo de 5.8 grados en la escala de Richter, que sacudió la ciudad de Lima y alrededores. El sismo originó daños considerables en las viviendas construidas con materiales inestables en los alrededores de la ciudad y en las zonas altas de Lima. Este sismo se constituye como el último de una serie de cuatro terremotos ocurridos en los últimos 30 años entre 9° S y 13° S a niveles intermedios de profundidad.
1996-11-12	11:59:00	Nazca	VII	Sismo de magnitud 7.7Mw que afectó principalmente a la localidad de Nazca, departamento de Ica. El epicentro del terremoto llamado "Terremoto de Nazca" fue localizado por el Instituto Geofísico del Perú a 135 km al suroeste de la localidad de Nazca. Este terremoto fue acompañado de una serie de 150 réplicas durante las primeras 24 horas, que causaron alarma en las localidades de Nazca, Palpa, Ica, Acari y Llauca, las cuales soportaron intensidades máximas de VII (MM) durante el terremoto principal. El Sistema de Defensa Civil (Indeci) reportó 17 personas muertas, 1500 heridos y 100 000 damnificados. En cuanto a infraestructura, más de 5000 viviendas fueron destruidas, 12 000 afectadas. El costo económico de pérdidas fue del orden de 42 millones de dólares. El terremoto de Nazca produjo un tsunami pequeño que fue registrado en el mareógrafo de San Juan, el mismo que muestra desviaciones del nivel medio del mar del orden de 1.80 m. Este tsunami no produjo mayores daños, debido a que el terremoto ocurrió durante la bajamar.
2001-06-23	15:33:00	Arequipa	VIII	Este terremoto ha sido el más grande ocurrido en la última centuria en la región sur del Perú, afectó a Arequipa, Moquegua y Tacna en el Perú, y a Arica en Chile. La magnitud del sismo fue de Mw =8.2. Hubo 96 muertos, cerca de 11 000 edificaciones destruidas y más de 31 000 damnificados. La ciudad de Camaná fue afectada por un maremoto que provocó la muerte de 39 personas. El 80 % de las viviendas de Moquegua quedó inhabitable y Arequipa se hundió cinco centímetros. La onda sísmica fue sentida en Lima y también en Tumbes, Talara, Sullana y Piura.

Fecha	Hora	Localidades	Intensidad	Observaciones
2007-08-15	18:40:57	Pisco	VIII	<p>Sismo registrado con una duración de 210 segundos (3 minutos 30 segundos). Su epicentro se localizó en las costas del centro del Perú a 40 kilómetros al oeste de Chincha Alta y a 150 km al suroeste de Lima, su hipocentro se ubicó a 39 km de profundidad. Fue uno de los terremotos más violentos ocurridos en el Perú en los últimos años.</p> <p>El siniestro tuvo una magnitud de 7.9 grados en la escala sismológica de magnitud de momento y VIII en la escala de Mercalli, dejó 595 muertos, 1800 de heridos, 76 000 viviendas totalmente destruidas e inhabitables y cientos de miles de damnificados. Las zonas más afectadas fueron las provincias de Pisco, Ica, Chincha y Cañete.</p>



## RELACIÓN DE MAPAS E ILUSTRACIONES

### Mapas a escala 1: 100 000

<b>Mapa 1</b>	Unidades Litológicas
<b>Mapa 2</b>	Unidades Geomorfológicas
<b>Mapa 3</b>	Procesos Geodinámicos Superficiales
<b>Mapa 4</b>	Inventario de Peligros Geológicos y Geohidrológicos
<b>Mapa 5</b>	Susceptibilidad por Movimientos en Masa
<b>Mapa 6</b>	Susceptibilidad por Inundación

### Mapa a escala: 1:200 000

<b>Mapa 7</b>	Zonas Críticas por Peligros Geológicos y Geohidrológicos
---------------	--

### Figuras

<b>Figura 2.1</b>	Mapa de ubicación de Lima Metropolitana y El Callao
<b>Figura 2.2</b>	Infraestructura energética en Lima Metropolitana y el Callao (tomado de: Minam, 2011).
<b>Figura 2.3</b>	Principales vías terrestres en Lima Metropolitana y el Callao (tomado de: <a href="http://mtcgeo.mtc.gob.pe/">http://mtcgeo.mtc.gob.pe/</a> ).
<b>Figura 2.4</b>	Puentes viales en Lima Metropolitana y el Callao (tomado de: <a href="http://mtcgeo.mtc.gob.pe/">http://mtcgeo.mtc.gob.pe/</a> ).
<b>Figura 2.5</b>	Infraestructura aérea en Lima Metropolitana y el Callao (tomado de: <a href="http://mtcgeo.mtc.gob.pe/">http://mtcgeo.mtc.gob.pe/</a> ).
<b>Figura 2.1</b>	Mapa de ubicación de Lima Metropolitana y el Callao.
<b>Figura 2.6</b>	Sistema de Colectores en Lima Metropolitana y el Callao (tomado de: Caretas N° 13 del 25.01.2001, página 50).
<b>Figura 3.1</b>	Diferentes fases de la deriva de los continentes, en millones de años antes del presente (tomado de: <a href="http://cpgeosystems.com">http://cpgeosystems.com</a> ).
<b>Figura 3.2</b>	Paleogeografía del centro de Perú hace ~105 Ma (modificado de: Megard, 1979).
<b>Figura 3.3</b>	Plano de subducción de la placa de Nazca (modificado de: Gutscher, 2002).
<b>Figura 3.4</b>	Mapa de la distribución del vulcanismo en la cordillera de los Andes (1-8), representando además las placas del océano Pacífico (9-11) las dorsales propagantes, donde se crea la corteza oceánica (12-13) y las cordilleras o dorsales asísmicas (14-18) de la placa de Nazca. También se indican las edades y tasas de expansión del fondo oceánico, el ángulo de subducción y la profundidad de la Zona de Benioff por debajo del margen occidental de Sudamérica. Modificado por Úbeda (2011) de Stern (2004), con datos de Angermann et al. (1999), Engdahl et al. (1995), Gutscher (2002), Norabuena et al. (1998), Ramos & Alemán (2000) y Heezen & Tharp (1977).
<b>Figura 3.5</b>	Estratigrafía de Lima Metropolitana y el Callao (Fuente: Ayala, L. 2012).
<b>Figura 3.6</b>	Mapa de isobatas (líneas de igual profundidad) de los depósitos del abanico de Lima, deducidas del análisis de la conductividad eléctrica del terreno (tomado de: Arce, 1984).
<b>Figura 3.7</b>	Principales estructuras geológicas en Lima Metropolitana (tomado de: Le Roux et al., 2000; Macharé et al., 2009).

- Figura 3.8** Esquema idealizado del funcionamiento de un abanico aluvial en la salida de una quebrada, con indicación de las direcciones de flujo (tomado de: Pedraza, 1996).
- Figura 3.9** Representación idealizada del impluvium de un glaciar (A) y un inselberg (B), según se explica en el texto (modificado de: Tricart, 1981).
- Figura 3.10** Representación idealizada de la génesis y desarrollo de una cárcava (tomado de: Santiago, 2009).
- Figura 3.11** Tipos de dunas según el sentido del viento, que se indica con flechas de color negro (modificado de: McKee, 1979).
- Figura 3.12** Taludes y conos de derrubios (modificado de: Selby, 1982).
- Figura 4.1** Inventario de peligros geológicos en Lima Metropolitana y el Callao al año 2012.
- Figura 4.2** Modelo esquemático sobre la formación de volcanes de arena durante el fenómeno de licuación de suelos (tomado de: Seed et al., 2003).
- Figura 4.3** Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa en Lima Metropolitana y el Callao.
- Figura 4.4** Mapa de susceptibilidad a la erosión de laderas.
- Figura 4.5** Mapa de susceptibilidad a las inundaciones y erosión fluvial.
- Figura 4.6** Mapa de susceptibilidad a los arenamientos.
- Figura 4.7** Mapa de aceleraciones máximas para un periodo de retorno de 20 años.
- Figura 4.8** Mapa de aceleraciones máximas para un periodo de retorno de 50 años.
- Figura 4.9** Mapa de aceleraciones máximas para un periodo de retorno de 100 años.
- Figura 4.10** Mapa de zonificación sísmica a nivel de Lima Metropolitana y el Callao y tipo de suelo por sectores (tomado de: Aguilar et al., 2014).
- Figura 4.11** Mapa de peligro por tsunami a nivel de Lima Metropolitana y el Callao (tomado de: Aguilar et al., 2012).
- Figura 4.12** Carta de inundación en caso de tsunami en Ancón (tomado de: Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú, 2001a).
- Figura 4.13** Carta de inundación en caso de tsunami en puerto La Punta-Callao (tomado de: Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú, 2013).
- Figura 4.14** Carta de inundación en caso de tsunami en distrito de Miraflores, Lima (tomado de: Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú, 2002).
- Figura 4.15** Carta de inundación en caso de tsunami en el distrito de Chorrillos, Lima (tomado de: Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú, 2001b).
- Figura 4.16** Carta de inundación en caso de tsunami en Santa Rosa (tomado de: Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú, 2001c).
- Figura 4.17** Carta de inundación en caso de tsunami en la playa Punta Hermosa (tomado de: Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú, 2008).
- Figura 5.1** Nivel freático dependiendo de la litología y permeabilidad (tomado de: <http://www.villarejodemontalban.com/>).
- Figura 5.2** La licuefacción de terrenos arenosos y limo arcillosos ocasiona agrietamientos y dislocación en el terreno (tomado de: Youd, 1992).
- Figura 6.1** Escalonamiento de taludes en terrazas para corregir un talud inestable (tomado de: Ingemmet, 2003).
- Figura 6.2** Zonas críticas en Lima Metropolitana (modificado de: Núñez & Vásquez, 2010).
- Figura 6.3** Trinchos transversales de troncos y fajinas de matorrales para proteger áreas de la erosión de laderas (modificado de: Valderrama et al., 1964).
- Figura 6.4** Malla de retención de detritos tipo VX (tomado de: BGC Engineering, 2011).

- Figura 6.5** Gaviones para encauzar el lecho del río (tomado de: INGEMMET, 2003).
- Figura 6.6** Espigones para proteger las terrazas fluviales (tomado de: INGEMMET, 2003).
- Figura 6.7** Fijación de dunas a través de plantaciones forestales (tomado de: Ingemmet, 2003).

#### Cuadros

- Cuadro 2.1** Clasificación de los distritos de Lima en cuatro sectores y la Provincia Constitucional del Callao
- Cuadro 4.1** Criterios espaciales utilizados en el modelo de susceptibilidad por movimientos en masa para Lima Metropolitana y el Callao
- Cuadro 4.2** Sectores con más alta susceptibilidad por movimientos en masa en Lima Metropolitana y el Callao
- Cuadro 6.1** Material de construcción predominante en Lima Metropolitana y el Callao (tomado de: Cismid, 2004).
- Cuadro 6.2** Variables consideradas para caracterizar la accesibilidad de las zonas en Lima Metropolitana (tomado de: D'Ercole et al., 2011).
- Cuadro 6.3** Variables consideradas para evaluar la exposición social por efecto de inundaciones en España (tomado de: Díez et al., 2008).

#### Gráficos

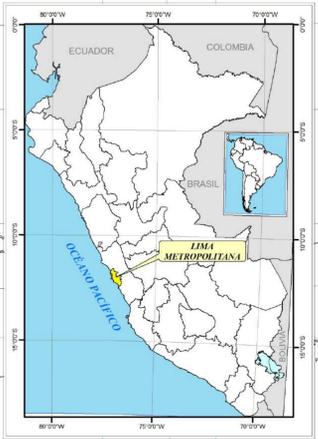
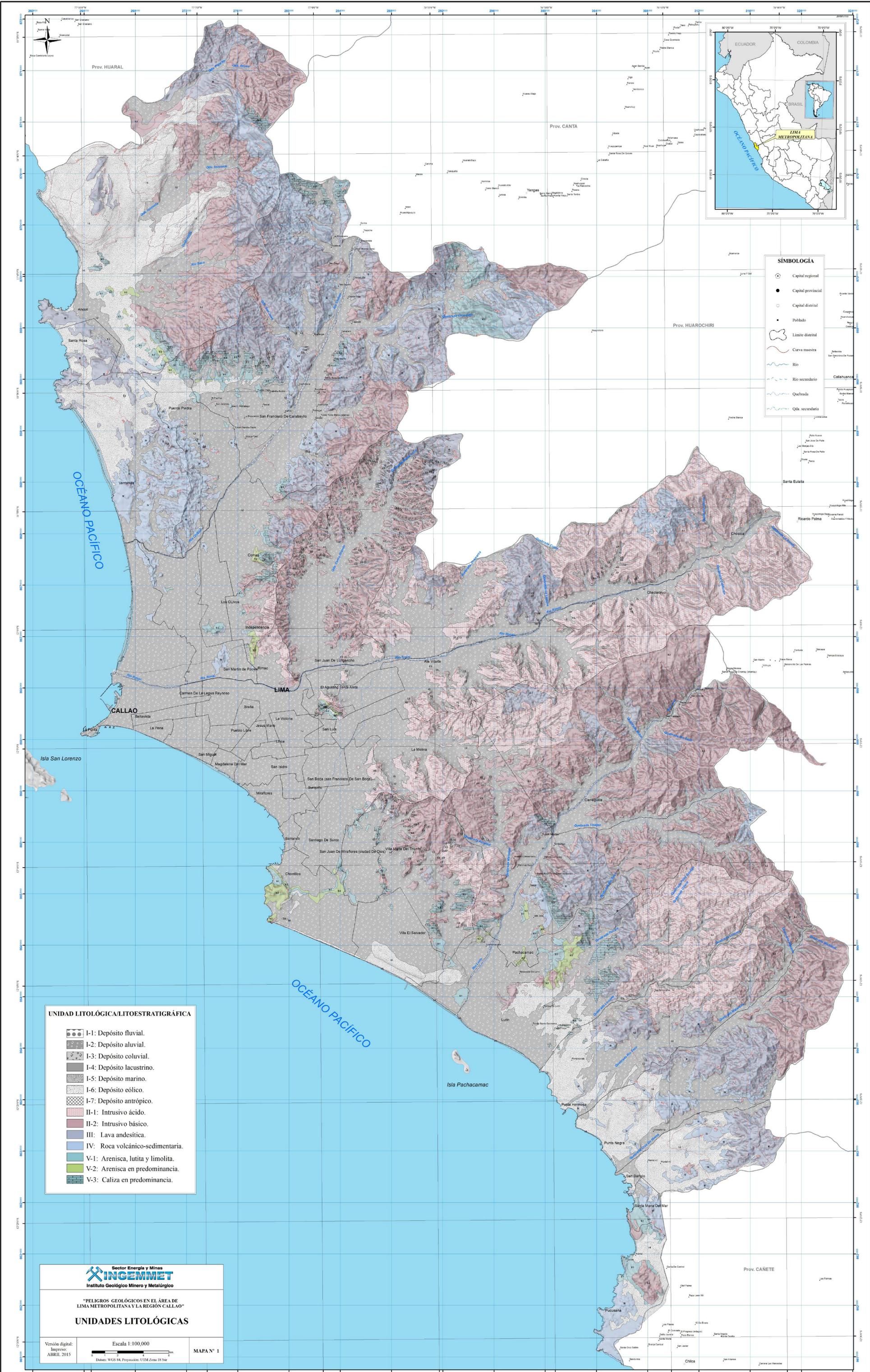
- Gráfico 2.1** Distribución de la población en los conos de Lima Metropolitana y Callao (tomado de: Arellano, 2010).
- Gráfico 4.1** Porcentaje de peligros geológicos registrados en Lima Metropolitana y el Callao.
- Gráfico 4.2** Curva de peligro sísmico anual calculado para el distrito de San Juan de Lurigancho.

#### Fotografías

- Fotografía 2.1** Vía Expresa. Conecta el Centro de Lima Metropolitana con distritos como San Isidro, Surquillo y Miraflores (tomado de: <http://es.encydia.com>).
- Fotografía 2.2** Autopista Costa Verde, circuito de varios kilómetros que bordea el circuito de playas del litoral (tomado de: <http://www.aeronoticias.com.pe>).
- Fotografía 3.1** Secuencia volcánica de la Formación Cerro Blanco (Ventanilla), fracturado en bloques de 2 m de diámetro.
- Fotografía 3.2** Secuencia abigarradas de la Formación Puente Inga, en el sector Cerro Blanco (Ventanilla), lutitas craqueladas en fragmentos centimétricas.
- Fotografía 3.3** Secuencia de arenisca cuarzosa en bancos subhorizontales y medianamente fracturada; con niveles de lutitas estrato superior) craquelada, muy fracturadas y alteradas de la formación Marcavilca, en el sector Inty Llacta (Chorrillos).
- Fotografía 3.4** Secuencia de limolitas abigarradas con intercalaciones de margas de la Formación Pamplona (sector Las Palmas-Lurín) muy fracturada y meteorizada.
- Fotografía 3.5** Secuencia de lavas andesíticas de la formación Huarangal (sector Progreso-Carabayllo), constituida por rocas muy fracturadas y alteradas.
- Fotografía 3.6** Brechas piroclásticas de la Formación Chilca (sector Miramar-Punta Hermosa), que incluye rocas muy fracturadas.
- Fotografía 3.7** Rocas intrusivas muy fracturadas y meteorizadas en el sector de San Martín-Huaycán (Ate-Vitarte).
- Fotografía 3.8** Afloramiento de rocas intrusivas en el sector de Santa Clara (Ate-Vitarte), presentando un fracturamiento en bloques.

- Fotografía 3.9** Rocas intrusivas intensamente fracturadas y medianamente alteradas del sector de Santa Rosa-Quebrada Canto Grande (Jicamarca-San Juan de Lurigancho).
- Fotografía 3.10** Vista hacia el SE de los acantilados de la Costa Verde en el distrito de Barranco, con indicación de sucesivos episodios deposicionales granocrecientes hacia el techo de la serie (tomado de: Le Roux et al., 2000).
- Fotografía 3.11** Depósitos eólicos del Lomo de Corvina (Villa El Salvador). Obsérvese la estratificación cruzada, producto de los diversos ángulos de deposición de las arenas que forman la duna.
- Fotografía 3.12** Depósitos eólicos frente al Peaje de Ancón
- Fotografía 3.13** Colinas modeladas en rocas intrusivas en el sector de Horacio Zevallos (Ate-Vitarte).
- Fotografía 3.14** Relieves con impluvium y glacis en Pachacamac, en el valle del río Lurín.
- Fotografía 3.15** Cárcavas y surcos en laderas de cerros en Ate-Vitarte.
- Fotografía 3.16** Duna aislada en Pachacútec, Ventanilla.
- Fotografía 3.17** Talud de detritos en el asentamiento humano Hacia el Progreso (San Juan de Lurigancho).
- Fotografía 3.18** Bahía de Ancón mirando al sur.
- Fotografía 3.19** Humedales de Ventanilla.
- Fotografía 3.20** Cantera abandonada, rellena con desmonte y basura, sobre ella se han asentado viviendas (sector Las Américas-Ate Vitarte).
- Fotografía 4.1** Fuerte pendiente de laderas que muestran bloques sueltos removidos por gravedad. Sector La Colina (San Juan de Miraflores).
- Fotografía 4.2** Los cortes de talud para la carretera pueden desestabilizar la masa rocosa cuando hay presencia persistente de fracturas. Cerro Partido (Ate).
- Fotografía 4.3** Colapso de viviendas del asentamiento humano 09 de Octubre (El Agustino) construidas sobre antiguos socavones de minas. El suceso se produjo en el año 2003.
- Fotografía 4.4** Pirca sobre la que se ha levantado una vivienda de madera y calamina en Pedregal Alto (Chosica). A su lado, un bloque de roca de 3.5 m proveniente de la parte alta.
- Fotografía 4.5** Viviendas de madera y calamina sobre bases de muros de llantas en La Rinconada (San Juan de Miraflores).
- Fotografía 4.6** Muro de contención y fuerte pendiente de talud de corte en el asentamiento humano José Carlos Mariátegui (San Juan de Lurigancho).
- Fotografía 4.7** Colapso y hundimiento de viviendas en Haití debido al sismo de 2010 (tomado de: <http://www.noticiassin.com>).
- Fotografía 4.8** Quebrada seca en Huaycán, las líneas de color amarillo muestran el sentido del flujo de detritos, las de color rojo (A) indican las viviendas construidas en pleno lecho de la quebrada.
- Fotografía 4.9** Bloque de roca suelto, que podría afectar a las viviendas ubicadas en la parte baja, sector de Nuevo Progreso-Sector 39 (Carabayllo).
- Fotografía 4.10** Asentamiento humano Villa Progreso, asentado sobre el depósito de antiguas caídas de rocas (San Juan de Miraflores).
- Fotografía 4.11** Flujo de detritos en la quebrada Media Luna, que afectó al Anexo 22 de Jicamarca en el año 2000 (fotografía: Asociación de Comunidad Campesina de Jicamarca, 2000).
- Fotografía 4.12** Flujo en la quebrada Collique, que el 2 de enero del 2010 afectó a viviendas en el distrito de Comas (tomado de: [www.rpp.com.pe](http://www.rpp.com.pe)).
- Fotografía 4.13** En agosto del 2011, el aumento del caudal del río Rímac destruyó puentes peatonales en Carapongo (Chosica). Fotografía: MLM, 2013.
- Fotografía 4.14** Acarcavamiento y derrumbe en los acantilados de la Costa Verde, a la altura de Miraflores.
- Fotografía 4.15** Viviendas a punto de colapsar por la erosión fluvial del río Rímac a la altura del Puente del Ejército.

- Fotografía 4.16** Sector de Carapongo afectado por la erosión fluvial del río Rímac.
- Fotografía 4.17** Viviendas levantadas muy cerca de terraza marina afectada por la erosión marina en el balneario de Punta Hermosa.
- Fotografía 4.18** La erosión marina afectó las bases del edificio Las Gaviotas en la playa La Herradura (tomado de: <http://elcomercio.pe/>).
- Fotografía 4.19** Vista de los asentamientos humanos Héroes del Cenepa y Santa Rosa en el sector Lomo de Corvina, constituye uno de los sectores críticos en Lima Metropolitana donde no debería permitirse la expansión urbana.
- Fotografía 4.20** Asentamiento humano Laderas de Santa Cruz, sector de Nueva Rinconada (San Juan de Miraflores), construido sobre un depósito eólico.
- Fotografía 4.21** Vista detalle de los materiales (arenas) sobre los que se encuentra ubicado el asentamiento humano Laderas de Santa Cruz, sector de Nueva Rinconada (San Juan de Miraflores).
- Fotografía 4.22** La licuefacción asociada al sismo del 15 de agosto de 2007 produjo en Tambo de Mora (Ica) que las casas flotarán y se hundieran bajo la superficie (fotografía: Bilberto Zavala, 2007).
- Fotografía 4.23** Volcanes de arena producidos durante el sismo de Pisco del año 2007 (fotografía: Bilberto Zavala, 2007).
- Fotografía 5.1** Depósitos fluviales del río Chillón a la altura del asentamiento Víctor Raúl Haya de la Torre (Ventanilla, Callao). Es un sector afectado por inundaciones.
- Fotografía 5.2** Depósito fluvial (parte inferior) y aluvial (parte superior) con presencia de cantos y gravas de formas subredondeadas en una terraza del río Chillón (fotografía: Luis Ayala, 2012).
- Fotografía 5.3** Depósitos proluviales conformados por bloques y gravas en una matriz areno-limosa. Quebrada Media Luna (San Juan de Lurigancho).
- Fotografía 5.4** Depósitos coluviales esparcidos sobre laderas de fuertes pendientes en Santa Clara (Ate-Vitarte).
- Fotografía 5.5** Depósito marino en la playa de Supe-Barranca (fotografía Luis Ayala, 2012).
- Fotografía 5.6** Concentraciones de sales a manera de costras (A), sector Héroes del Cenepa (Lomo de Corvina, Villa El Salvador).
- Fotografía 5.7a, 5.7b y 5.7c** Antigua cantera que está siendo rellenada y ocupada por viviendas en Manchay (Lurín). Algunas viviendas presentan grietas y asentamientos.
- Fotografía 5.8** Granodiorita intensamente fracturada. Sector Pariachi (Ate-Vitarte).
- Fotografía 5.9** Bloques sueltos con formas subredondeadas y subangulosas, producto de los procesos de meteorización en un afloramiento de diorita, ubicado en las nacientes de la quebrada Canto Grande (San Juan de Lurigancho).
- Fotografía 5.10** Afloramiento de lavas andesíticas en las nacientes de la quebrada Collique (Comas).
- Fotografía 5.11** Derrames lávicos andesíticos intercalados con areniscas y lutitas. Sector de Miramar (Punta Hermosa).
- Fotografía 5.12** Secuencia de limolitas, lutitas intercaladas con calizas. Nueva Rinconada (San Juan de Miraflores).
- Fotografía 5.13** Areniscas cuarzosas intercaladas con delgados niveles de lutitas. Inty Llacta (Chorrillos).
- Fotografía 5.14** Limolitas y lutitas intercaladas con estratos de caliza en Carabayllo.
- Fotografías 5.15 y 5.16** Taludes del acantilado de la Costa Verde en (A) Chorrillos (izquierda) y (B) Miraflores (derecha).



**SIMBOLOGÍA**

- Capital regional
- Capital provincial
- Capital distrital
- Poblado
- Limite distrital
- Curva maestra
- Río
- Río secundario
- Quebrada
- Qta. secundaria

**UNIDAD LITOLÓGICA/LITOSTRATIGRÁFICA**

	I-1: Depósito fluvial.
	I-2: Depósito aluvial.
	I-3: Depósito coluvial.
	I-4: Depósito lacustrino.
	I-5: Depósito marino.
	I-6: Depósito eólico.
	I-7: Depósito antrópico.
	II-1: Intrusivo ácido.
	II-2: Intrusivo básico.
	III: Lava andesítica.
	IV: Roca volcánico-sedimentaria.
	V-1: Arenisca, lutita y limolita.
	V-2: Arenisca en predominancia.
	V-3: Caliza en predominancia.

**INGEMMET**  
Sector Energía y Minas  
Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

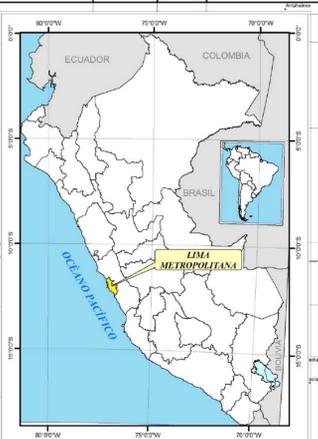
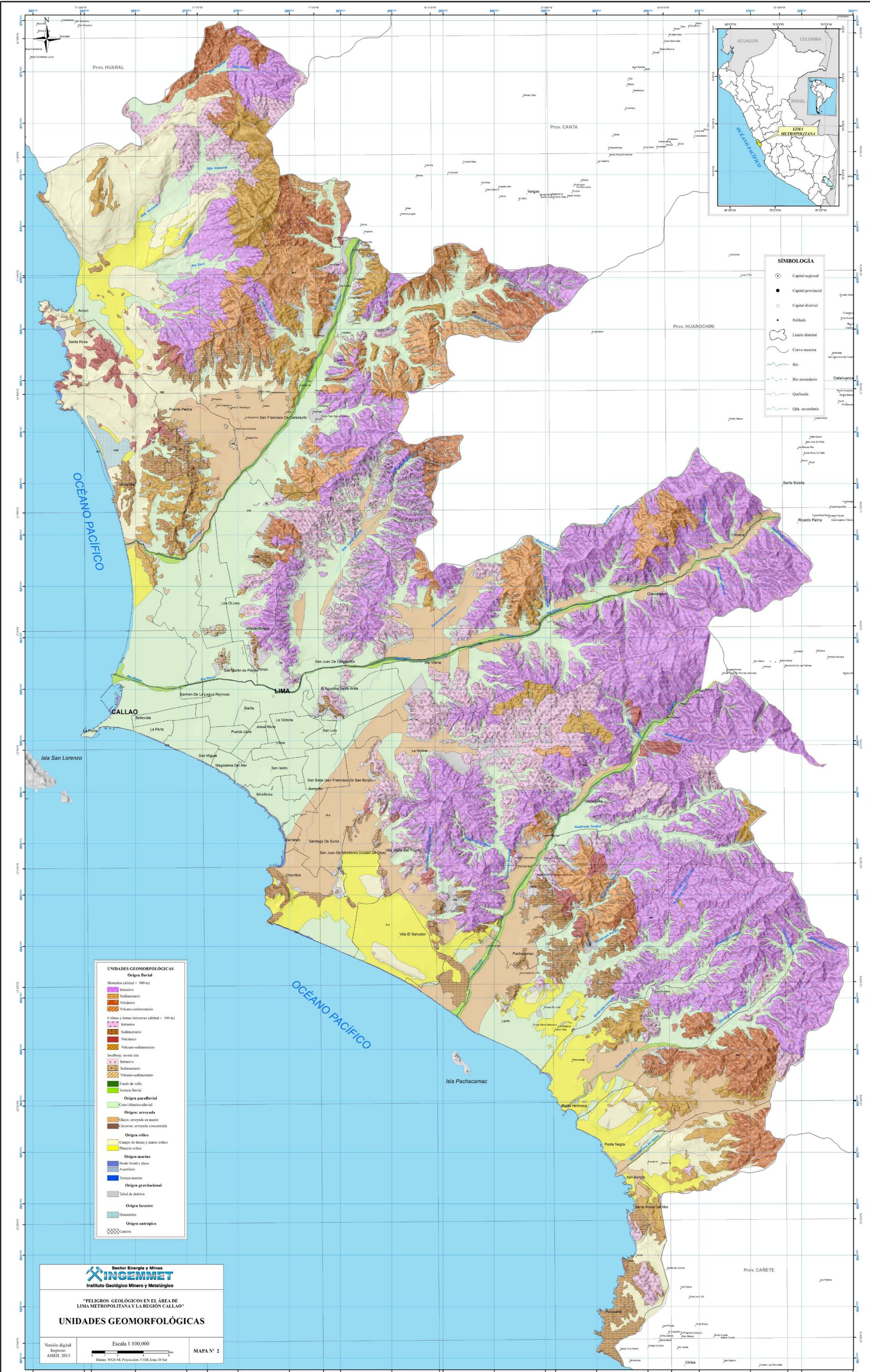
**"PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL ÁREA DE LIMA METROPOLITANA Y LA REGIÓN CALLAO"**  
**UNIDADES LITOLÓGICAS**

Versión digital:  
Impreso:  
ABRIL 2015

Escala 1:100,000

MAPA N° 1

Datos: WGS 84, Proyección: UTM Zona 18 Sur



**SIMBOLOGIA**

- Capital regional
- Capital provincial
- Capital distrital
- Poblado
- Límite distrital
- Curva maestra
- Río
- Río secundario
- Quebrada
- Qta. secundaria

**UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS**

**Origen fluvial**

- Montañas (altura > 300 m)
  - Intrusivo
  - Sedimentario
  - Volcánico
  - Volcano-sedimentario
- Colinas y lomas intrusivas (altura < 300 m)
  - Intrusivo
  - Sedimentario
  - Volcánico
  - Volcano-sedimentario
- Isaberg: monte isla
  - Intrusivo
  - Sedimentario
  - Volcano-sedimentario
- Flecha de valle
- Terraza fluvial

**Origen parafluvial**

- Conos (filosedimentario)

**Origen arroyada**

- Glacis: arroyada de mano
- Cercavías: arroyada concentrada

**Origen eólico**

- Campo de dunas y manto eólico
- Planicie eólica

**Origen marino**

- Dunales: litoral y playa
- Asentado
- Terraza marina

**Origen gravitacional**

- Talud de detritos

**Origen lacustre**

- Humedales

**Origen antrópico**

- Canters

**Sector Energía y Minas**  
**INGEMMET**  
 Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

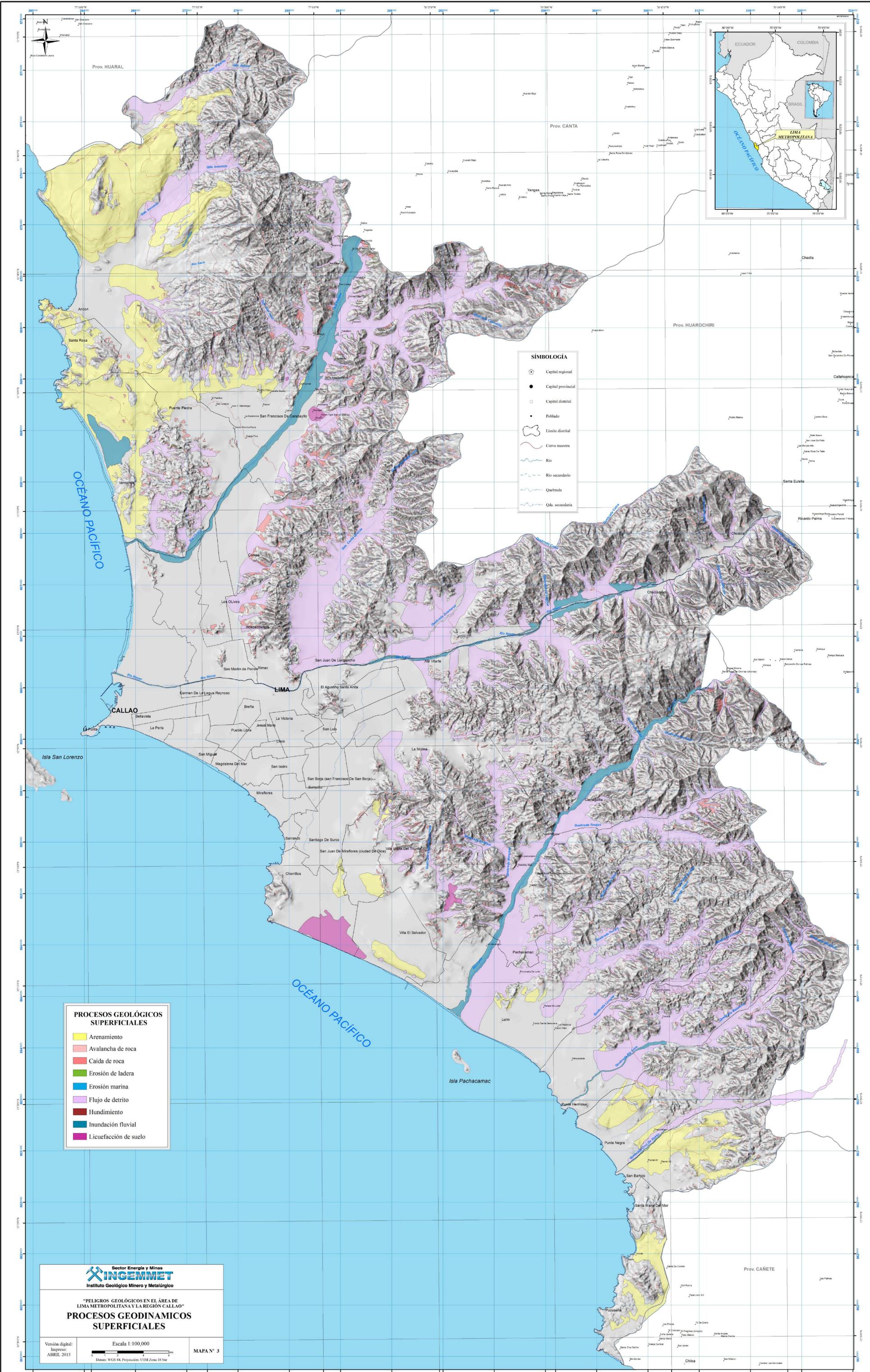
**"PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL ÁREA DE LIMA METROPOLITANA Y LA REGIÓN CALLAO"**  
**UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS**

Versión digital:  
 Impreso:  
 ABRIL 2015

Escala 1:100,000

MAPA N° 2

Datos: WGS 84, Proyección: UTM Zona 18 Sur



**SIMBOLOGÍA**

- Capital regional
- Capital provincial
- Capital distrital
- Poblado
- Límite distrital
- Curva maestra
- Río
- Río secundario
- Quebrada
- Qda. secundaria

**PROCESOS GEOLÓGICOS SUPERFICIALES**

- Arenamiento
- Avalancha de roca
- Caída de roca
- Erosión de ladera
- Erosión marina
- Flujo de detrito
- Hundimiento
- Inundación fluvial
- Licuefacción de suelo

  
**Sector Energía y Minas**  
**INGEMMET**  
 Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

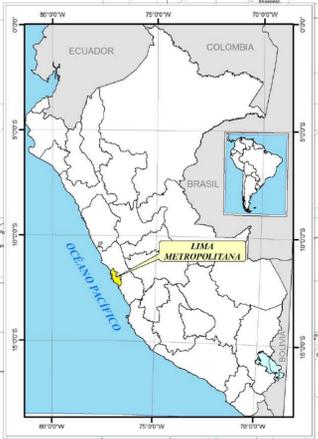
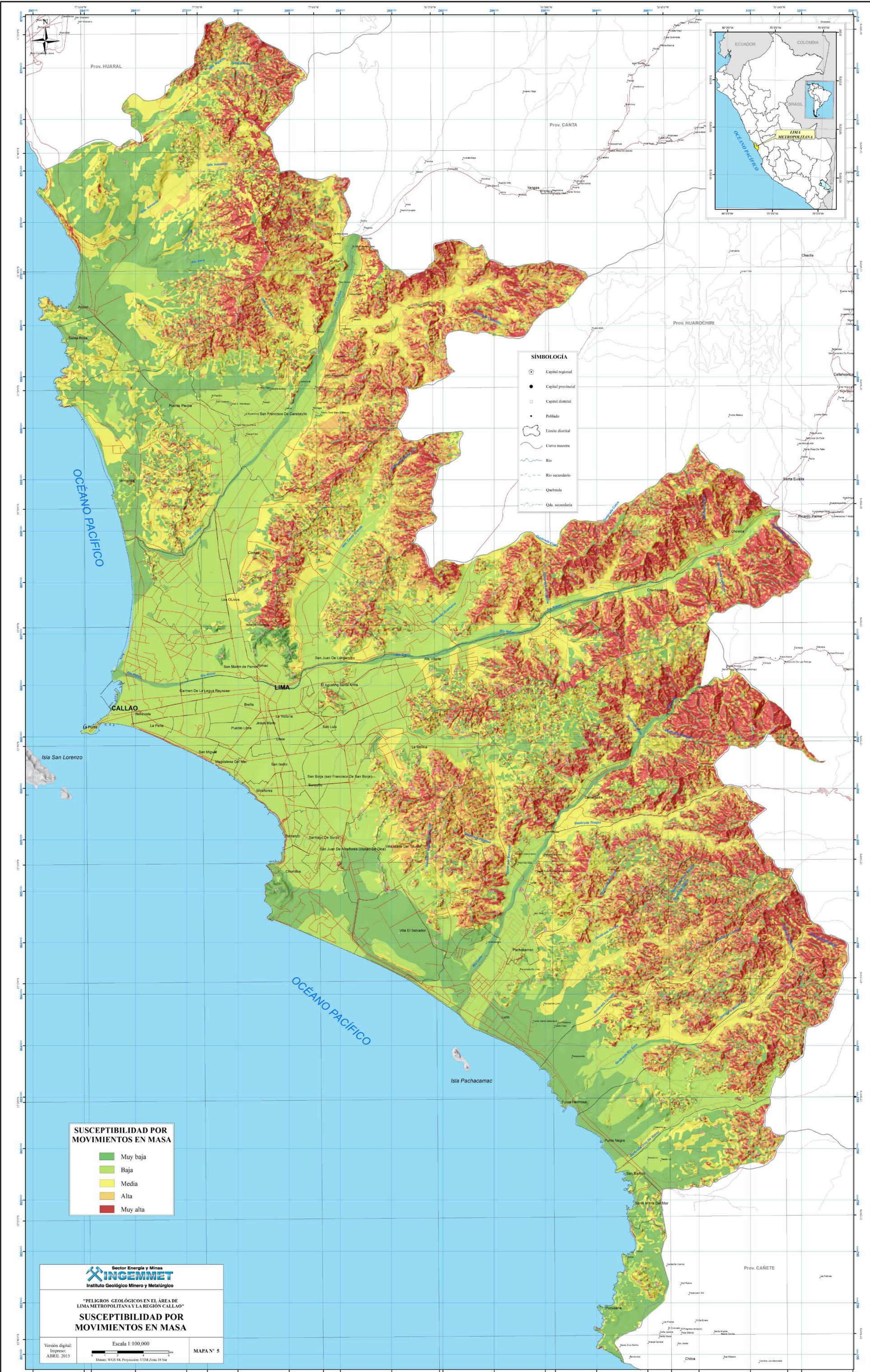
**"FENÓMENOS GEOLÓGICOS EN EL ÁREA DE LIMA METROPOLITANA Y LA REGIÓN CALLAO"**  
**PROCESOS GEODINÁMICOS SUPERFICIALES**

Versión digital: IMPRESOS  
 ABRIL 2015

Escala 1:100,000  
 Datos: WGS 84, Proyección: UTM Zona 18 Sur

**MAPA N° 3**





**SIMBOLOGÍA**

- Capital regional
- Capital provincial
- Capital distrital
- Poblado
- Límite distrital
- Curva maestra
- Río
- Río secundario
- Quebrada
- Qda. secundaria

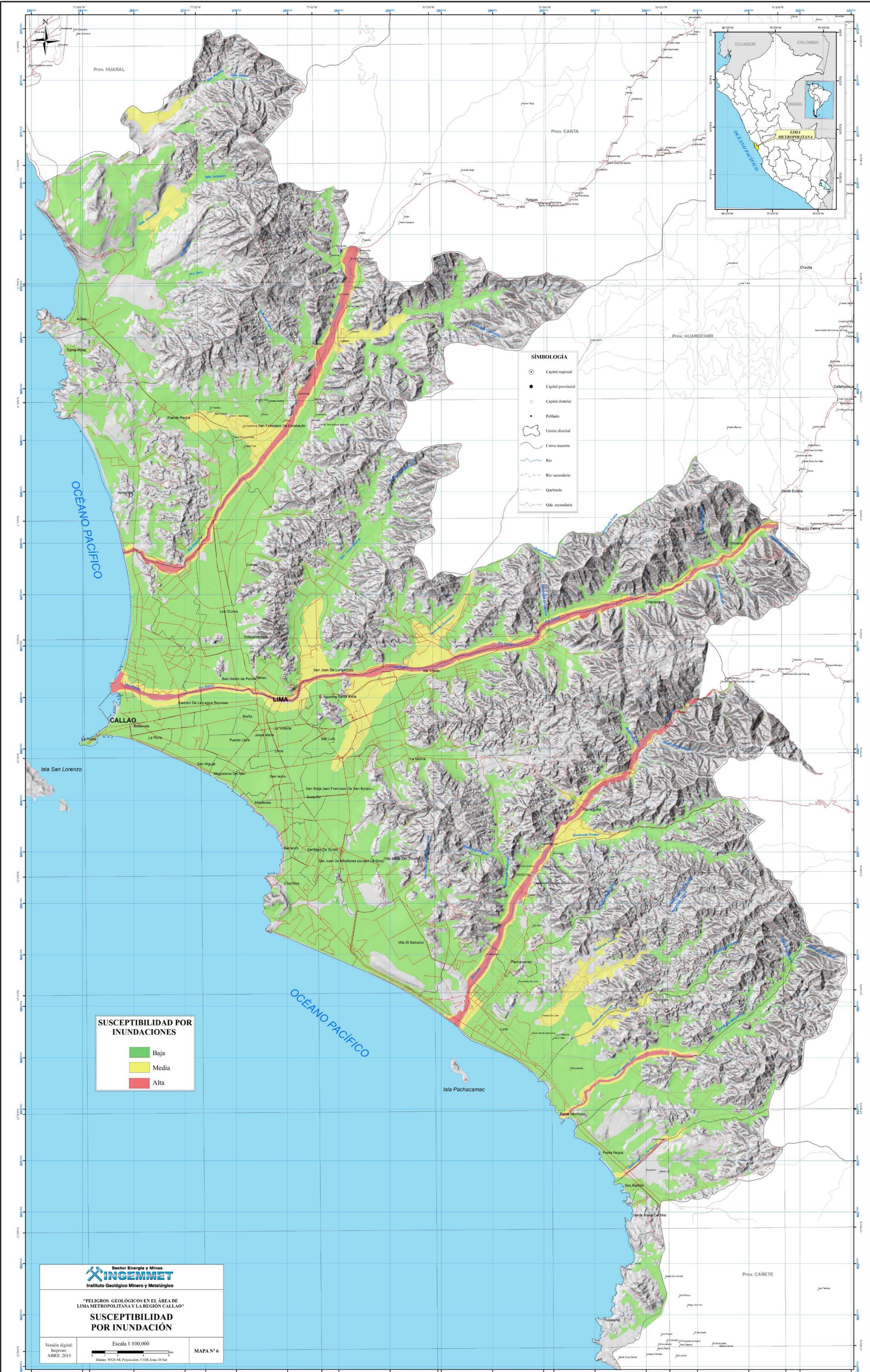
**SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA**

	Muy baja
	Baja
	Media
	Alta
	Muy alta

  
**Sector Energía y Minas**  
**INGEMMET**  
 Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

**"FELIGROS GEOLÓGICOS EN EL ÁREA DE LIMA METROPOLITANA Y LA REGIÓN CALLAO"**  
**SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA**

Versión digital: Escala 1:100,000  
 Impreso: ABRIL 2015  
 Datos: WGS 84, Proyección: UTM Zona 18 Sur  
**MAPA N° 5**



**SIMBOLOGÍA**

- ⊙ Capital regional
- Capital provincial
- Capital distrital
- Poblado
- ⬭ Límite distrital
- Curva maestra
- Río
- Río secundario
- Quebrada
- Qta. secundaria

**SUSCEPTIBILIDAD POR INUNDACIONES**

- Baja
- Media
- Alta


**Sector Energía y Minas**  
**Instituto Geológico Minero y Metalúrgico**

**"FELICROS GEOLÓGICOS EN EL ÁREA DE LIMA METROPOLITANA Y LA REGIÓN CALLAO"**  
**SUSCEPTIBILIDAD POR INUNDACIÓN**

Versión digital: ABRIL 2015  
 Escala 1:100,000  
 Datos: WGS 84, Proyección: UTM Zona 18 Sur  
**MAPA N° 6**