Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

Estudio de peligros geológicos en la microcuenca Huaycán, Cieneguilla-Lima

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Geólogo

AUTOR

Julio César LARA CALDERÓN

ASESOR

Mg. Teófilo ALLENDE CCAHUANA

Lima, Perú

2023



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Lara, J. (2023). *Estudio de peligros geológicos en la microcuenca Huaycán, Cieneguilla-Lima*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Escuela Profesional de Ingeniería Geológica]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Julio César Lara Calderón
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	45924094
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-4173-8741
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Teófilo Allende Ccahuana
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	08343145
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-4273-3769
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Javier Pablo Jacay Huarache
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08085704
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Lourdes Janet Quiñones Lavado
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06798460
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Juan Manuel Elescano Yupanqui
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08633003
Datos de investigación	

Línea de investigación	C.0.2.4. Geodinámica externa e interna
Grupo de investigación	No aplica
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Cieneguilla Microcuenca: Huaycán Latitud: -12.092125° Longitud: -76.746944°
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Octubre 2022
URL de disciplinas OCDE	Geografía física https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.05 Geología https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.06

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO

En el auditorio del primer piso de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, el día viernes 16 de junio del año 2023 siendo las 16:00 horas, en la presencia de los miembros del Jurado Calificador:

Ing. JACAY HUARACHÉ JAVIER PABLO	(Presidente de Jurado)
Ing. QUIÑONES LAVADO LOURDES JANET	(Miembro de Jurado)
Ing. ELESCANO YUPANQUI JUAN MANUEL	(Miembro de Jurado)

Reunidos para el acto académico de la Tesis del Bach. **JULIO CÉSAR LARA CALDERÓN**, quien sustentará la Tesis titulada: **"ESTUDIO DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA MICROCUENCA HUAYCÁN, CIENEGUILLA-LIMA"** su asesor fue el docente **Mg. ALLENDE CCAHUANA TEÓFILO**, para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Geólogo.

Los miembros del Jurado, luego de escuchar la sustentación respectiva, plantearon al graduando las observaciones pertinentes, que fueron absueltas:

A **SATISFACCIÓN DEL JURADO**
El Jurado procedió a la calificación, cuyo resultado fue:
APROBADO POR UNANIMIDAD CON NOTA DE (17 **)** Diecisiete

Habiendo sido aprobada la Sustentación de la Tesis por el Jurado Calificador, el presidente recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, proponga se le otorgue el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO** al Bach. **JULIO CÉSAR LARA CALDERÓN.**
Siendo las 17:00 horas se dio por concluido el acto académico, expidiéndose seis (06) Actas Originales de la Sustentación de la Tesis.

Lima, 16 de junio de 2023

ING. JACAY HUARACHÉ JAVIER PABLO
PRESIDENTE DE JURADO

ING. QUIÑONES LAVADO LOURDES JANET
MIEMBRO DE JURADO

ING. ELESCANO YUPANQUI JUAN MANUEL
MIEMBRO DE JURADO

MG. ALLENDE CCAHUANA TEÓFILO
ASESOR

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Anexo 1

1. **Facultad:**

   Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica

2. **Escuela:**

   Escuela Profesional de Ingeniería Geológica.

3. **Autoridad Académica que emite el informe de originalidad**

   Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica.

4. **Apellidos y nombres de la autoridad académica**

   Dr. Ciro Sergio Bedia Guillen

5. **Operador del programa informático de similitudes**

   Bedia Guillen Ciro Sergio / Cayo Serrano, Alexandra

6. **Documento evaluado**

   Tesis para obtención de título profesional.

7. **Autor del documento**

   Julio César Lara Calderón

8. **Fecha de recepción del documento**

   19/11/2022

9. **Fecha de aplicación del programa informático de similitudes**

   21/11/2022

10. **Software utilizado**

    Turnitin

11. **Configuración del programa detector de similitudes**

    a. Excluye textos entrecomillados

    b. Excluye bibliografía

    c. Excluye cadenas menores a 40 palabras

12. **Porcentaje de similitudes según programa de detector de similitudes**

    Nueve por ciento (9 %) de similitud.

13. Fuentes originales de las similitudes encontradas

Estudio de peligros geológicos en la microcuenca Huaycán, Cieneguilla-Lima

INFORME DE ORIGINALIDAD

9%	10%	1%	1%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.ingemmet.gob.pe Fuente de Internet	4%
2	docplayer.es Fuente de Internet	1%
3	cybertesis.unmsm.edu.pe Fuente de Internet	<1%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1%
5	es.scribd.com Fuente de Internet	<1%
6	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1%
7	www.inei.gob.pe Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
9	qdoc.tips Fuente de Internet	

		<1 %
10	catalogo.escuelaing.edu.co Fuente de Internet	<1 %
11	www.miraflores.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
12	www.munisurco.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
13	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	www.hosteltur.com Fuente de Internet	<1 %
15	www.proteccioncivil.es Fuente de Internet	<1 %
16	portal.ingemmet.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
17	sinat.semarnat.gob.mx Fuente de Internet	<1 %
18	redi.unjbg.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
20	mtnforum.org Fuente de Internet	

		<1 %
21	vdocuments.es Fuente de Internet	<1 %
22	bvpad.indeci.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
23	sigrid.cenepred.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
24	www.itdg.org.pe Fuente de Internet	<1 %

14. Observaciones

Subsanar las similitudes encontradas

15. Calificación de originalidad

Documento cumple criterios de originalidad, con observaciones.

16. Fecha del informe

22/11/2022

Firma del evaluador:

DR. CIRO SERGIO BEDIA GUILLEN
DIRECTOR
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

DEDICATORIA

A Dios por cuidarme y guiarme.

A mi madre, hermana y sobrino por ser mi apoyo incondicional y motivación para superarme día a día.

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor Mg. Teófilo Allende por orientarme y apoyarme en la elaboración de esta investigación.

A los Ing. Lionel Fidel, Segundo Núñez y Dr. Carlos Benavente por su apoyo incondicional y motivación a lo largo de mi formación profesional y la realización del presente estudio.

A mis colegas geólogos del Ingemmet y amigos que siempre me brindaron su ánimo y apoyo.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN 14
ABSTRACT 16
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN 18
1.1. GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN 18
1.1.1. Planteamiento del problema 18
1.1.2. Formulación del problema 19
Problema general 19
Problemas específicos 19
1.1.3. Justificación de la investigación 20
1.1.4. Objetivos del estudio 21
Objetivo general 21
Objetivos específicos 21
1.1.5. Variables 21
Variable independiente 21
Variable dependiente 21
1.1.6. Hipótesis 21
Hipótesis general 21
Hipótesis específicas 22
1.1.7. Operacionalización de variables 22
1.1.8. Matriz de consistencia 24
CAPÍTULO II: GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO 25
2.1. UBICACIÓN 25
2.2. ACCESIBILIDAD 25
2.3. GEOGRAFÍA 28
2.4. CLIMA 28
2.5. POBLACIÓN 31
2.6. VEGETACIÓN 32
2.7. HIDROGRAFÍA 33
2.8. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA 35
CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO 39
3.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN 39

3.2. BASES TEÓRICAS 48
3.2.1. Geodinámica 48
3.2.2. Peligros geológicos 56
3.2.3. Movimientos en masa 59
3.2.4. Flujo 64
3.2.5. Flujo de detritos 67
3.2.6. Caída 70
3.2.7. Caída de rocas 71
3.2.8. Derrumbes 73
3.2.9. Peligros geohidrológicos 74
3.2.10. Inundaciones fluviales 74
3.2.11. Erosión fluvial 75
3.2.12. Otros peligros geológicos 76
3.2.13. Erosión de laderas 77
3.2.14. Factores condicionantes de peligros geológicos 78
3.2.15. Factores desencadenantes de peligros geológicos 82
3.2.16. Factores antrópicos de peligros geológicos 85
3.3. GLOSARIO 87
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DEL ESTUDIO 90
4.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN 90
4.2. ETAPAS DEL ESTUDIO 90
4.2.1. Etapa I: Trabajos de Pre-campo 90
4.2.2. Etapa II: Trabajos de Campo 91
4.2.3. Etapa III: Trabajos de Post-campo 91
4.3. UNIDAD DE ANÁLISIS 93
4.4. POBLACIÓN DE ESTUDIO 93
4.5. TAMAÑO DE MUESTRA 93
4.6. SELECCIÓN DE MUESTRA 93
4.7. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS 93
4.8. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN 93
CAPÍTULO V: ASPECTOS GEOLÓGICOS 94
5.1. GEOLOGÍA REGIONAL 94
5.2. GEOLOGÍA LOCAL 94
5.3. ESTRATIGRAFÍA 94

5.4. ROCAS ÍGNEAS 103
CAPÍTULO VI: ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS 110
6.1. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL 110
6.2. GEOMORFOLOGÍA LOCAL 111
6.2.1. Modelo de altitudes 111
6.2.2. Modelo de sombras 111
6.2.3. Modelo de pendientes 111
6.2.4. Curvas de nivel 112
6.2.5. Red de drenaje 112
6.2.6. Unidades y subunidades geomorfológicas 116
Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional 118
Geoformas de carácter depositacional o agradacional 121
CAPÍTULO VII: PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA MICROCUENCA HUAYCÁN 128
7.1. REGISTRO HISTÓRICO DE PELIGROS GEOLÓGICOS 128
7.2. PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA MICROCUENCA HUAYCÁN 130
7.3. MOVIMIENTOS EN MASA 135
7.3.1. Flujos de detritos 136
7.3.2. Caídas de rocas y derrumbes 154
7.4. PELIGROS GEOHIDROLÓGICOS 166
7.4.1. Inundación fluvial 167
7.4.2. Erosión fluvial 171
7.5. OTROS PELIGROS GEOLÓGICOS 173
7.5.1. Erosión de laderas 174
CAPÍTULO VIII: ELEMENTOS EXPUESTOS ANTE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA MICROCUENCA HUAYCÁN 179
8.1. ZONA URBANA DE HUAYCÁN DE CIENEGUILLA 179
8.2. ZONA ARQUEOLÓGICA HUAYCÁN DE CIENEGUILLA 181
8.3. OBRAS DE INFRAESTRUCTURA 186
CAPÍTULO IX: PROPUESTAS DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y/O PREVENCIÓN ANTE PELIGROS GEOLÓGICOS 189
9.1. MEDIDAS DE PREVENCIÓN EN EL PASADO 189
9.2. MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y/O PREVENCIÓN 191
9.3. MEDIDAS DE PREVENCIÓN EXISTENTES 193
9.4. PROPUESTAS DE MEDIDAS ESTRUCTURALES PARA FLUJOS 196

9.4.1. Diques 197
9.4.2. Muro de contención con gaviones 199
9.4.3. Canal de derivación 200
9.4.4. Espigones 201
9.4.5. Poza de sedimentación 202
9.4.6. Barreras geodinámicas 202
9.5. PROPUESTAS DE MEDIDAS ESTRUCTURALES PARA CAÍDAS DE ROCAS Y DERRUMBES 205
9.5.1. Banquetas 206
9.5.2. Anclajes 206
9.5.3. Muros 207
9.6. PROPUESTAS DE MEDIDAS PARA EROSIÓN DE LADERAS 208
9.7. PROPUESTAS DE MEDIDAS PARA INUNDACIONES Y EROSIONES FLUVIALES 209
9.8. PROPUESTAS DE MEDIDAS NO ESTRUCTURALES 212
CONCLUSIONES 215
RECOMENDACIONES 217
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 219
ANEXOS 230

RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de la microcuenca Huaycán en el distrito de Cieneguilla

Figura 2. Quebrada Huaycán vista desde la quebrada Molle.

Figura 3. Tipos de climas en la microcuenca Huaycán y alrededores. Fuente: Senamhi (2020).

Figura 4. Datos hidrometeorológicos registrados por la Estación Antioquía (tipo convencional). Fuente: SENAMHI (2022)

Figura 5. Vegetación tipo rodal de cactáceas identificada en la microcuenca Huaycán.

Figura 6. Cuenca del río Lurín y microcuenca Huaycán en la margen izquierda del río Lurín.

Figura 7. Microcuenca Huaycán (alta, media y baja) ubicada en la margen izquierda del río Lurín.

Figura 8. Ubicación de la microcuenca Huaycán en la zona sísmica 4. Fuente: El Peruano (2016).

Figura 9. Microzonificación sísmica del distrito de Cieneguilla. Fuente: MVCS (2019).

Figura 10. Zonas afectadas por intensidad mayor a VIII (MM). Fuente: INDECI-DIPRE (2017).

Figura 11. Columna estratigráfica del área entre Lima-Mala. Tomado de León & De la Cruz (2003).

Figura 12. Mapa de peligros geológicos en la quebrada Tinajas. Tomado de Luque (2012).

Figura 13. Mapa de zonas críticas identificadas en Lima Metropolitana. El inventario cuenta con un total de 107 zonas críticas por peligros geológicos. Fuente: Villacorta *et al*. (2015).

Figura 14. Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa en la microcuenca Huaycán. Fuente: Luque *et al*. (2020).

Figura 15. Mapa de susceptibilidad a inundaciones y erosión fluvial en la microcuenca Huaycán. Fuente: Luque *et al*. (2020).

Figura 16. Mapa de zonas críticas correspondiente a la microcuenca Huaycán. Fuente: Luque *et al*. (2020).

Figura 17. Procesos endógenos y exógenos que intervienen en la formación de las rocas. Fuente: Huggett (2007).

Figura 18. Tipos de sismos originados por el proceso de subducción entre las placas de Nazca y Sudamericana. Fuente: IGP (2020).

Figura 19. Origen de los magmas asociado con la dinámica de los bordes de placas. Fuente: Núñez (2017).

Figura 20. Deformaciones de la corteza terrestre producidas por las fuerzas tectónicas y los esfuerzos vinculados con el movimiento de las placas tectónicas. Fuente: Tarbuck *et al*. (2005).

Figura 21. Procesos de erosión, transporte y sedimentación que corresponden a la geodinámica externa. Fuente: Núñez (2017).

Figura 22. Rangos de velocidad para los movimientos en masa de acuerdo con Cruden & Varnes (1996). Fuente: Zangerl *et al*. (2008).

Figura 23. Principales tipos de movimientos en masa. Fuente: USGS (2004).

Figura 24. Clasificación de movimientos en masa. Fuente: BGS (2018).

Figura 25. Diagramas de flujos canalizados y no canalizados (Cruden & Varnes, 1996).

Figura 26. Clasificación de los flujos en base a la velocidad y la concentración de los sedimentos (Modificada de O' Brian, 2000). Fuente: Suárez (2004).

Figura 27. Principales partes de un flujo de detritos, donde se observan el frente con bloques, el cuerpo con partículas en suspensión y la cola con flujos hiperconcentrados. Tomado de Pierson (1986).

Figura 28. Modelo tridimensional donde se observan las principales partes de un flujo de acuerdo con Bateman *et al.* (2006).

Figura 29. Corte longitudinal donde se observan las partes principales de un flujo en base a Bateman *et al.* (2006).

Figura 30. En los movimientos en masa tipo flujos, existe un origen del material, una distancia de recorrido y la zona de depositación. Fuente: Iverson (1997).

Figura 31. Movimientos de materiales caídos desde una ladera, propios de un proceso de caída de rocas.

Figura 32. (a) Esquema de un proceso de caída de rocas (Varnes, 1978). (b) Diagrama de un "colapso" o caída de rocas propuesto por Corominas & Yagué (1997)

Figura 33. Esquemas de derrumbes. La figura de la izquierda muestra un derrumbe en laderas con pendiente muy fuerte. La figura de la derecha muestra discontinuidades que forman una cuña la cual favorece la ocurrencia de derrumbes. Fuente: Luque *et al*. (2020)

Figura 34. Llanura de inundación susceptible a procesos de inundaciones fluviales. Fuente: Tarbuck *et al*. (2005)

Figura 35. Erosión fluvial en un valle maduro con cauce sinuoso a meándrico. Fuente: Luque *et al*. (2020)

Figura 36. Esquema de la formación de las cárcavas de acuerdo con Shruthi *et al.* (2011)

Figura 37. Bosquejo común de una cárcava de acuerdo con Suárez (1998)

Figura 38. Los factores físicos-naturales y la acción humana son los encargados de generar la ocurrencia de movimientos en masa. Fuente: IDIGER (2021)

Figura 39. Tipos de climas en los que se producen movimientos en masa. Tomado de Mergili *et al*. (2015)

Figura 40. Ocupación inadecuada del territorio. Tomado de Mergili *et al*. (2015)

Figura 41. Etapas de pre-campo, campo y post-campo para el desarrollo del trabajo de investigación

Figura 42. Mapa geológico de la microcuenca Huaycán

Figura 43. Afloramientos de andesitas de la Formación Chilca identificados en la parte baja de la microcuenca Huaycán

Figura 44. Andesitas masivas poco estratificadas de textura porfirítica.

Figura 45. Afloramientos de andesitas pertenecientes a la Formación Chilca susceptibles a la ocurrencia de caídas de rocas.

Figura 46. Depósitos aluvio-torrenciales antiguos identificados en la parte alta de la microcuenca Huaycán. Estos depósitos están constituidos por gravas de hasta 50 cm. subangulosas a subredondeadas envueltas por una matriz arenosa.

Figura 47. Depósitos proluviales antiguos y recientes identificados en la microcuenca Huaycán (parte baja de la microcuenca).

Figura 48. Depósitos fluviales cubiertos por depósitos aluviales en la Asociación de Vivienda Las Terrazas.

Figura 49. Depósitos coluviales formados por fragmentos angulosos a subangulosos debido al poco transporte.

Figura 50. Muestra de tonalita con textura equigranular identificada en la parte alta de la quebrada Huaycán.

Figura 51. Tonalitas identificadas en la margen izquierda de la quebrada Huaycán (Cerro Mal Paso). Estos afloramientos presentan un relieve agudo, con presencia de estructuras tabulares debido al fracturamiento de las rocas.

Figura 52. Fracturas identificadas en las tonalitas de la Superunidad Santa Rosa.

Figura 53. Rocas intrusivas tipo tonalitas identificadas en la parte media de la quebrada Huaycán.

Figura 54. Afloramientos de tonalitas identificadas en la parte media de la microcuenca Huaycán.

Figura 55. Rocas intrusivas tipo tonalitas pertenecientes a la Superunidad Santa Rosa con un sistema de fracturamiento que coincide con la dirección del cauce de la quebrada.

Figura 56. Insumos obtenidos a partir del procesamiento de un modelo de elevación digital (DEM) para la zona de estudio.

Figura 57. Mapa de altitudes de la microcuenca Huaycán.

Figura 58. Mapa de pendientes de la microcuenca Huaycán.

Figura 59. Mapa geomorfológico de la microcuenca Huaycán.

Figura 60. Relieves de montañas modeladas en rocas intrusivas e identificadas en la parte alta de la microcuenca Huaycán (cerro Señal Perdida). Estas geoformas presentan pendientes de hasta 45°.

Figura 61. Montañas en rocas intrusivas identificadas en la parte alta del cerro Mal Paso. La pendiente de las laderas de estas elevaciones presenta rangos de entre 25 a 45° (pendiente muy fuerte).

Figura 62. Geoformas de colinas y lomadas identificadas al noreste de la zona arqueológica Huaycán de Cieneguilla.

Figura 63. Colinas y lomadas en rocas intrusivas de tipo tonalita y diorita. Estas geoformas fueron identificadas en la parte media de la quebrada Huaycán.

Figura 64. Piedemontes aluvio-torrenciales identificados en el cauce principal de la microcuenca Huaycán.

Figura 65. Geoformas de piedemontes aluvio-torrenciales identificados en la parte media de la microcuenca Huaycán. Piedemontes antiguos y recientes formados por quebradas tributarias (A y B) y piedemontes provenientes que aportan material a la quebrada Huaycán (C y D).

Figura 66. Vertiente coluvial de detritos formados por procesos de derrumbes identificados en la parte baja de la microcuenca Huaycán.

Figura 67. Geoformas de piedemontes coluviales identificadas en las laderas de montañas y colinas de la microcuenca Huaycán. A). Piedemontes en el cerro Mal Paso, B). Piedemontes que han formado conos coluviales en el cerro Mal Paso, C). Piedemontes coluviales en las laderas del cerro Señal Perdida y D). Piedemontes originados por caídas de rocas en el cerro Mal Paso.

Figura 68. Vista al noroeste de terrazas aluviales identificadas en el valle del río Lurín. En estas zonas se ubican áreas agrícolas propias del valle.

Figura 69. Terrazas fluviales identificadas en ambas márgenes del río Lurín, las cuales alcanzan alturas de entre 2 a 5 metros. Estas geoformas podrían ser afectadas por inundaciones fluviales.

Figura 70. Cauce del río Lurín, se pueden observar gravas, arenas y arcillas que son transportadas por las aguas del río en mención.

Figura 71. Inventario de peligros geológicos en la microcuenca Huaycán.

Figura 72. Mapa de inventario de peligros geológicos en la microcuenca Huaycán.

Figura 73. Ocurrencia de los tipos de peligros geológicos en la microcuenca Huaycán.

Figura 74. Mapa de peligros geológicos de la microcuenca Huaycán.

Figura 75. Quebrada Huaycán: A. Cuenca alta donde nace la quebrada Huaycán, B. Cuenca media donde se han identificado flujos de detritos y C. Cuenca baja donde se ubica población que podría ser afectada por peligros geológicos.

Figura 76. Registro de tipos de movimientos en masa en la microcuenca Huaycán.

Figura 77. Flujos de detritos antiguos y recientes identificados en la microcuenca Huaycán (Cieneguilla).

Figura 78. Flujos de detritos antiguos identificados en la parte alta de la quebrada Huaycán (margen derecha).

Figura 79. Flujos de detritos (huaicos) antiguos identificados en la parte alta de la microcuenca Huaycán (margen izquierda).

Figura 80. Eventos de flujos de detritos antiguos generados por lluvias extraordinarias en la parte alta de la microcuenca Huaycán.

Figura 81. Bloques de hasta 4.5 metros de diámetro transportados por flujos de detritos antiguos (parte alta de la microcuenca Huaycán).

Figura 82. Flujos de detritos recientes identificados en la parte alta de la microcuenca Huaycán.

Figura 83. Flujos de detritos antiguos y recientes identificados en la parte media de la microcuenca Huaycán, canalizados por una quebrada sin nombre, estos depósitos se encuentran conformando abanicos aluviales.

Figura 84. Depósitos formados por flujos de detritos antiguos identificados en la parte media de la microcuenca Huaycán, estos depósitos se encuentran conformando abanicos aluviales.

Figura 85. Flujos de detritos recientes canalizados por el cauce principal de la quebrada Huaycán. Se pueden apreciar, en ambas márgenes, los depósitos de flujos de detritos antiguos.

Figura 86. Flujos de detritos recientes compuestos por gravas subangulosas a angulosas envueltos en una matriz arenolimosa. También se observan flujos de detritos antiguos.

Figura 87. Zonas urbanas asentadas sobre huaicos antiguos: A) Asociación de Vivienda Las Terrazas; B) Centro Poblado Rural Autogestionario Huaycán de Cieneguilla, así como la C) Zona arqueológica Huaycán de Cieneguilla.

Figura 88. Depósitos originados por huaicos e identificados en el Centro Poblado Rural Autogestionario Huaycán de Cieneguilla.

Figura 89. Depósitos formados por huaicos antiguos e identificados en el Centro Poblado Rural Autogestionario Huaycán de Cieneguilla.

Figura 90. Perfil topográfico de la quebrada Huaycán en la cual se pueden apreciar los cambios de pendiente desde los 37° (parte alta) hasta los 7° (parte baja).

Figura 91. Substrato rocoso intrusivo (tonalitas y granodioritas) de la Superunidad Santa Rosa muy fracturado y moderadamente meteorizado. También se pueden observar laderas con depósitos coluviales de fácil remoción.

Figura 92. Montañas en roca intrusivas con pendientes de 30° y 35° (fuerte pendiente) identificadas en la parte alta de la quebrada Huaycán (Cerro Mal Paso).

Figura 93. Precipitaciones diarias (mm) en la parte alta de la microcuenca Huaycán. Fuente: aWhere.

Figura 94. Viviendas y vía departamental ubicadas en la desembocadura de la quebrada Huaycán que podrían ser afectadas por flujos de detritos provenientes de la parte alta.

Figura 95. Procesos de derrumbes y caídas de rocas recientes identificados en la microcuenca Huaycán.

Figura 96. Derrumbes y caídas de rocas identificados en la microcuenca Huaycán (Cieneguilla).

Figura 97. Derrumbes recientes identificados en la parte alta de la quebrada Huaycán.

Figura 98. Procesos de derrumbes y caídas de rocas que han originado depósitos coluviales tipo canchales. Estos procesos están asociados a los afloramientos rocosos muy fracturados.

Figura 99. Procesos de caídas de rocas identificados en la parte baja la microcuenca Huaycán.

Figura 100. Derrumbes y caídas de rocas reconocidos en la microcuenca Huaycán (parte baja), los cuales generan materiales no consolidados y fácilmente transportables.

Figura 101. Viviendas de la Asociación de Vivienda Las Terrazas que podrían ser afectadas por caídas de rocas y derrumbes: A) Bloques inestables que podrían afectar viviendas en la parte baja, B) Los

depósitos inconsolidados podrían generar caídas de rocas y derrumbes, C) Viviendas que podrían ser afectadas por caídas de rocas y/o derrumbes y D) Viviendas ubicadas en la parte baja de elevaciones con presencia de material inconsolidado en las laderas.

Figura 102. Viviendas del Centro Poblado Huaycán de Cieneguilla que podrían ser afectados por caídas de rocas: A) Afloramientos rocosos fracturados que podrían generar caídas de rocas, B) Las elevaciones presentan en sus laderas depósitos inconsolidados que podrían generar daños hacia la parte baja y C) Bloques inestables que podrían generar afectación en la población ubicada en la parte baja.

Figura 103. Microcuenca Huaycán ubicada en la Zona 4 con aceleraciones de 0.45 g. Fuente: Alva et al. (1984).

Figura 104. Microzonificación sísmica de la microcuenca Huaycán. Fuente: MVCS (2019).

Figura 105. Registro de movimientos sísmicos en la microcuenca Huaycán y en su entorno.

Figura 106. Distribución de fallas activas en los alrededores de la microcuenca Huaycán.

Figura 107. Viviendas ubicadas en zonas inadecuadas debido a que podrían ser afectadas por caídas de rocas.

Figura 108. Peligros geohidrológicos en la microcuenca de la quebrada Huaycán.

Figura 109. Análisis multitemporal en el cauce del río Lurín considerando fotografías aéreas e imágenes satelitales. El polígono de color celeste corresponde al cauce natural del río Lurín en el año 1962 y comparado con los años 1971, 2009 y 2016, en los cuales se observa el estrechamiento del cauce natural y la ocupación de zonas susceptibles a inundaciones fluviales. Fuente: San Miguel (2019).

Figura 110. Zonas que podrían ser afectadas por inundaciones fluviales. Estos sectores se ubican en ambas márgenes del río Lurín: A) Terrazas de hasta 2.5 m de altura. B) Terrazas de hasta 2.4 m. C) Terrazas de hasta 2.7 m. D) Terrazas de hasta 2.8 m de altura.

Figura 111. Datos de precipitación periodo enero-febrero 2020 tomados de la Estación Antioquía. Fuente: Senamhi.

Figura 112. Terrazas bajas en la margen derecha del río Lurín susceptibles a erosión fluvial. Se puede observar el cauce colmatado por depósitos fluviales.

Figura 113. Puente peatonal que une Huaycán de Cieneguilla con el Fundo Molle afectado por procesos de erosión fluvial. Se puede observar que los pilares se encuentran expuestos.

Figura 114. Otros peligros en la microcuenca de la quebrada Huaycán.

Figura 115. Erosión en cárcavas que afectan una carretera. Fuente: Luque et al. (2020).

Figura 116. Erosión de laderas en los substratos rocosos intrusivos de la Superunidad Santa Rosa (margen izquierda de la quebrada Huaycán).

Figura 117. Cárcavas y surcos en la margen izquierda de la quebrada Huaycán. Se pueden observar pequeños conos aluviales formados por la depositación de materiales transportados por las cárcavas.

Figura 118. Procesos de erosión de laderas a manera de cárcavas en la microcuenca Huaycán. A). Cárcavas en la parte alta de la microcuenca Huaycán (Cerro Señal Perdida); B). Cárcavas en la parte media de la quebrada Huaycán (margen izquierda), se pueden observar depósitos coluviales en las

laderas y C). Cárcavas en la parte baja de la microcuenca Huaycán (hacia el norte de la zona arqueológica Huaycán de Cieneguilla), se pueden observar depósitos coluviales en las laderas del Cerro Señal Perdida.

Figura 119. Análisis multitemporal de la ocupación urbana en la parte baja de la microcuenca Huaycán. Parte superior: fotografía aérea de 1962 (Servicio Aerofotográfico Nacional). Parte inferior: Imagen de Google Earth 2010. Tomado de Ruales et al. (2013).

Figura 120. Zonas urbanas expuestas a flujos de detritos, caídas de rocas y derrumbes en la microcuenca Huaycán.

Figura 121. Vista de la zona arqueológica Huaycán de Cieneguilla y las viviendas colindantes.

Figura 122. Sectores que conforman la zona arqueológica Huaycán de Cieneguilla. Tomado de Mackie & Ramos (2018).

Figura 123. Vista aérea de la sectorización del complejo arqueológico Huaycán de Cieneguilla. Tomado de Ruales et al. (2013).
Figura 124. Patio con friso característico de la zona arqueológica de Huaycán de Cieneguilla.
Figura 125. Zona arqueológica Huaycán de Cieneguilla expuesta a flujos de detritos, caídas de rocas y derrumbes.

Figura 126. Obras de infraestructura (carreteras, puente, etc.) expuestas a peligros geológicos en la microcuenca Huaycán.

Figura 127. Mapa de elementos expuestos ante peligros geológicos en la microcuenca Huaycán.

Figura 128. Medidas de prevención implementadas en la zona arqueológica Huaycán de Cieneguilla con el objetivo de proteger a la población e infraestructura del sitio en mención. Fuente: San Miguel (2019).

Figura 129. Obras de mitigación ante peligros geológicos identificadas en la zona arqueológica Huaycán de Cieneguilla: a. Muros de protección, b. Diques, c. Pozas colectoras y d. Muros de contención y terrazas. Fuente: San Miguel (2019).

Figura 130. Medidas que contribuyen en la gestión de desastres. Modificado de UNDRO (1991).

Figura 131. Tipos de medidas de mitigación. Fuente: Llorente & Laín (2009).

Figura 132. Enrocado realizado en la parte media de la microcuenca Huaycán ante la ocurrencia de flujos de detritos.

Figura 133. Muros de sostenimiento y contención implementados para la construcción de viviendas en la Asociación de Vivienda Las Terrazas.

Figura 134. Muros de sostenimientos mal diseñados y que podrían colapsar ante un eventual evento sísmico.

Figura 135. Muros de contención construidos en el Centro Poblado Huaycán de Cieneguilla con la finalidad de evitar daños en las viviendas del centro poblado en mención.

Figura 136. Muros de contención construidos para la protección de la zona arqueológica Huaycán de Cieneguilla.

Figura 137. Medidas de prevención para flujos de detritos de acuerdo con López (2005).

Figura 138. Modelo de dique de rocas y concreto. Fuente: WordPress (2012).

Figura 139. Dique de gaviones. Fuente: WordPress (2012).

Figura 140. Presa de gaviones empleada para controlar flujos de detritos. Fuente: Osorio (2010).

Figura 141. Muro de contención hecho de gaviones con el propósito de impedir el socavamiento. Fuente: El Oficial (2021).

Figura 142. Canalización de cauce en base a gaviones. Fuente: EcoGreen Construcciones (2021).

Figura 143. Construcción de espigones. Fuente: Gobierno de Jujuy (2021).

Figura 144. Barreras o mallas geodinámicas instaladas en Chosica. Fuente: Andina (2018).

Figura 145. Barrera geodinámica VX. Tomado de Santuyo & Zambrano (2019). Fuente: GEOBRUGG (2018).

Figura 146. Barrera geodinámica UX. Tomado de Santuyo & Zambrano (2019). Fuente: GEOBRUGG (2018).

Figura 147. Obras empleadas para la estabilización de laderas. Fuente: Gonzáles de Vallejo et al. (2002).

Figura 148. Laderas con ángulo uniforme y talud con banquetas o bermas. Fuente: Gonzáles de Vallejo et al. (2002).

Figura 149. Partes de los anclajes y su método de uso.

Figura 150. Tipos de muros: revestimiento (a), contención (b) y sostenimiento (c) de acuerdo con Jiménez et al. (1976).

Figura 151. Reforestación en cabeceras y márgenes de cárcavas para aumentar la estabilidad del terreno.

Figura 152. Implementación de muros de gaviones en las márgenes de un río.

Figura 153. Espigones instalados para contrarrestar la erosión fluvial.

Figura 154. Mapa de medidas de mitigación ante peligros geológicos en la microcuenca Huaycán.

Figura 155. Modelo de un Sistema de Alerta Temprana. Fuente: Valdez (2015).

RELACIÓN DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación de la zona de estudio

Tabla 2. Rutas y accesos a la zona de estudio

Tabla 3. Registro de datos atmosféricos registrados por la estación Huaycán de Cieneguilla (2017-2021).

Tabla 4. Población en el distrito de Cieneguilla (años 2007 y 2017)

Tabla 5. Zonas críticas identificadas en el distrito de Cieneguilla

Tabla 6. Clasificación de los peligros según su origen

Tabla 7. Clasificación de los peligros geológicos

Tabla 8. Clasificación de movimientos en masa según Varnes (1978)

Tabla 9: Tipos y subtipos de movimientos en masa

Tabla 10: Escala de velocidades

Tabla 11: Clasificación de movimientos en masa tipo flujo

Tabla 12. Tipos de flujos en base a las propiedades del material y el canal

Tabla 13. Factores condicionantes en la ocurrencia de peligros geológicos

Tabla 14. Factores desencadenantes en la ocurrencia de peligros geológicos

Tabla 15. Tipos de movimientos en masa originados por sismos

Tabla 16. Factores antrópicos en la ocurrencia de movimientos en masa

Tabla 17. Clasificación de las unidades y subunidades geomorfológicas reconocidas en la microcuenca Huaycán

Tabla 18. Registro de huaicos ocurridos en la cuenca del río Lurín

Tabla 19. Cronología de inundaciones y erosiones fluviales en el valle del río Lurín

Tabla 20. Registro de eventos geodinámicos ocurridos en la microcuenca Huaycán

Tabla 21. Registro histórico de Fenómeno “El Niño” en el Perú

Tabla 22. Precipitaciones generadas por el Fenómeno “El Niño”

RESUMEN

La presente investigación se realizó con el objetivo de identificar los peligros geológicos en la microcuenca Huaycán, ubicada en el distrito de Cieneguilla (Lima, Perú), los cuales podrían generar daños en la población y obras de infraestructura. Mientras que, la finalidad este estudio es generar información geodinámica sobre los peligros geológicos, determinar las causas del origen de estos procesos, identificar los elementos vulnerables a estos eventos y emitir recomendaciones viables técnica y económicamente por las autoridades locales, con el propósito de salvaguardar la seguridad física de la población.

En la zona de estudio afloran rocas volcánicas de la Formación Chilca (Grupo Casma), rocas intrusivas de la Superunidad Santa Rosa y depósitos Cuaternarios (depósitos aluvio-torrenciales, depósitos fluviales y depósitos coluviales). La Formación Chilca litológicamente está conformada por lavas andesíticas con textura porfirítica, cuyos afloramientos se presentan muy fracturados y meteorizados. La Superunidad Santa Rosa está conformada por tonalitas y granodioritas de coloración gris clara y textura equigranular, que se encontraban muy fracturadas y meteorizadas. Los depósitos aluvio-torrenciales están constituidos por gravas y bloques subangulosos a subredondeados en una matriz arenoarcillosa a arenosa, se caracterizan por presentar poca compactación (materiales inconsolidados), son altamente permeables y no cohesivos, estas características hacen que sean susceptibles a la generación de flujos de detritos (huaicos) recientes. Mientras que los depósitos coluviales corresponden a gravas y bloques subangulosos que se acumulan en la base de las laderas, se caracterizan por su naturaleza litológica homogénea, granulometría (gravas y bloques) variada debido al poco transporte de los fragmentos que son angulosos a subangulosos y su grado de compactación bajo a muy bajo.

Mientras que, las subunidades geomorfológicas comprenden montañas en rocas intrusivas, colinas y lomadas en rocas volcánicas e intrusivas y piedemontes (aluvio-torrencial y coluvial). Las montañas presentan laderas con pendientes entre fuerte (15° a 25°) a muy fuerte (25° a 45°). Mientras que las colinas y lomadas presentan formas redondeadas y alargadas con fuerte pendiente (15° a 25°) a muy fuerte (25° a 45°), estas características condicionan que se generen flujos de detritos (huaicos), caídas de rocas y derrumbes.

Los peligros geológicos identificados en la microcuenca Huaycán, según su origen corresponden a movimientos en masa, peligros geohidrológicos y otros peligros. Dentro de los movimientos en masa se tienen: flujos de detritos, caídas de rocas y derrumbes. Mientras que, los peligros geohidrológicos agrupan a procesos de inundación y erosión fluvial. Finalmente, los otros peligros son de tipo erosión de laderas (cárcavas).

Cabe precisar que, la investigación en la microcuenca Huaycán permitió identificar un total de 130 eventos. Los movimientos en masa corresponden a 79 ocurrencias (60.8%); los otros peligros geológicos alcanzan un total de 42 ocurrencias (32.3%) y los peligros geohidrológicos suman un total de 9 eventos (6.9%).

La ocurrencia de los peligros geológicos en la microcuenca Huaycán está condicionada por factores intrínsecos como: la pendiente del terreno, la geología, la geomorfología y la cobertura

vegetal. Los factores desencadenantes corresponden a lluvias prolongadas y/o extraordinarias, por ejemplo, el fenómeno “El Niño Costero” y la sismicidad. Mientras que los factores antrópicos que generan peligros geológicos en la microcuenca Huaycán son: la ocupación inadecuada del territorio, los cortes de laderas y la explotación de canteras.

Los peligros geológicos identificados podrían generar daños, ocasionando pérdidas humanas y materiales, en la Asociación de Vivienda Las Terrazas, el Centro Poblado Rural Autogestionario Huaycán de Cieneguilla, la zona arqueológica Huaycán de Cieneguilla, la red vial departamental Lima-Huarochirí, así como las vías vecinales.

Por ello, se brindan algunas recomendaciones como medidas estructurales y no estructurales. Las medidas estructurales comprenden: diques, muros de contención, canales de derivación, espigones, pozas de sedimentación y barreras geodinámicas. Mientras que, las medidas no estructurales corresponden a: implementar planes de emergencia locales, como parte de la gestión del riesgo local, implementar un reglamento que evite la ocupación urbana en zonas de alto peligro, implementar los planes locales de prevención y emergencia con el apoyo de la Municipalidad de Lima y el Instituto Nacional de Defensa Civil (Indeci), realizar mapas de peligros considerando lluvias extremas, elaborar estudios geotécnicos y de ingeniería a detalle (realizados por especialistas), implementar un Sistema de Alerta Temprana (SAT) integral, incluir en los planes y presupuesto anual, del municipio, así como la limpieza y descolmatación de la quebrada Huaycán antes de la temporada de lluvias.

Considerando las características geológicas, geomorfológicas y procesos geodinámicos, la alta susceptibilidad a los movimientos en masa y el registro histórico de peligros geológicos, la microcuenca Huaycán es considerada como zona crítica por flujos de detritos, derrumbes, caídas de rocas, inundación y erosión fluvial, ante la presencia de lluvias excepcionales y movimientos sísmicos.

ABSTRACT

The present investigation was carried out with the objective of identifying the geological hazards in the Huaycan micro-basin, located in the Cieneguilla district (Lima, Peru), which could cause damage to the population and infrastructure works. While, the purpose of this study is to generate geodynamic information on geological hazards, determine the causes of the origin of these processes, identify the elements vulnerable to these events and issue technically and economically viable recommendations for local authorities, with the purpose of safeguarding the physical safety of the population.

In the study area, volcanic rocks of the Chilca Formation (Casma Group) outcrop, intrusive rocks of the Santa Rosa Superunit and Quaternary deposits (alluvio-torrential deposits, fluvial deposits and colluvial deposits) outcrop in the study area. Lithologically, the Chilca Formation is made up of andesitic lavas with a porphyritic texture, whose outcrops are highly fractured and weathered. The Santa Rosa Superunit is made up of light gray tonalites and granodiorites with an equigranular texture, which were highly fractured and weathered. The alluvio-torrential deposits are made up of subangular to subrounded gravel and blocks in a sandy-clayey to sandy matrix, they are characterized by little compaction (unconsolidated materials), they are highly permeable and non-cohesive, these characteristics make them susceptible to the generation of flows of recent debris (huaicos). While colluvial deposits correspond to subangular gravels and blocks that accumulate at the base of the slopes, they are characterized by their homogeneous lithological nature, varied granulometry (gravels and blocks) due to the little transport of angular to subangular fragments and their low to very low degree of compaction.

Whereas, the geomorphological subunits include mountains in intrusive rocks, hills and hills in volcanic and intrusive rocks and piedmonts (alluvial-torrential and colluvial). The mountains present slopes with slopes between strong (15° to 25°) to very strong (25° to 45°). While the hills and ridges have rounded and elongated shapes with a steep (15° to 25°) to very steep (25° to 45°) slope, these characteristics condition the generation of debris flows (huaicos), rock falls and landslides.

The geological hazards identified in the Huaycan micro-basin, according to their origin, correspond to mass movements, geohydrological hazards and other hazards. Within the mass movements are: debris flows, rockfalls and landslides. While, geohydrological hazards group flood processes and fluvial erosion. Finally, the other hazards are of the slope erosion type (gullies).

It should be noted that the investigation in the Huaycan micro-watershed allowed the identification of a total of 130 events. Mass movements correspond to 79 occurrences (60.8%); the other geological hazards reach a total of 42 occurrences (32.3%) and the geohydrological hazards add a total of 9 events (6.9%).

The occurrence of geological hazards in the Huaycan micro-watershed is conditioned by intrinsic factors such as: the slope of the terrain, geology, geomorphology and vegetation cover.

While the triggering factors correspond to prolonged and/or extraordinary rains, for example the phenomenon " The Coastal Child " and seismicity. While the anthropic factors that generate geological hazards in the Huaycan micro-basin are: the inadequate occupation of the territory, the cuts of slopes and the exploitation of quarries.

The identified geological hazards could generate damage, causing human and material losses, in the Las Terrazas Housing Association, the Huaycan de Cieneguilla Self-managed Rural Population Center, the Huaycan de Cieneguilla archaeological zone, the Lima-Huarochiri departmental road network, as well as the roads neighbors.

Therefore, some recommendations are provided as structural and non-structural measures. Structural measures include: dikes, retaining walls, diversion channels, breakwaters, sedimentation pools and geodynamic barriers. Whereas, non-structural measures correspond to: implementing local emergency plans, as part of local risk management, implementing a regulation that prevents urban occupation in high-risk areas, implementing local prevention and emergency plans with the support of the Municipality of Lima and the National Civil Defense Institute (Indeci), make hazard maps considering extreme rainfall, prepare detailed geotechnical and engineering studies (performed by specialists), implement a comprehensive Early Warning System (SAT), include in the plans and annual budget of the municipality, as well as the cleaning and clearing of the Huaycan ravine before the rainy season.

Considering the geological and geomorphological characteristics and geodynamic processes, the high susceptibility to landslides and the historical record of geological hazards, the Huaycan micro-basin is considered a critical zone due to debris flows, landslides, rockfalls, flooding and fluvial erosion. in the presence of exceptional rains and seismic movements.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.1. Planteamiento del problema

La variabilidad geológica, geomorfológica y climática que presenta el territorio peruano condicionan la ocurrencia natural de una serie de peligros geológicos como flujos de detritos (huaicos), inundaciones, deslizamientos, derrumbes, entre otros que provocan decesos y numerosos daños materiales, que afectan de forma reiterada las zonas más pobres a lo largo y ancho del territorio peruano.

En la cuenca del río Lurín se han generado huaicos que se han canalizado por las diferentes quebradas que conforman la cuenca en mención. Estos procesos han destruido vías de acceso y afectado a las poblaciones asentadas en las desembocaduras de las quebradas y márgenes de los ríos (Allende, 2002). Durante un fenómeno de la Oscilación del Sur-el Niño (ENSO) en el año 1200 d.C. se produjeron huaicos en la quebrada Huaycán, afectando la zona arqueológica de Huaycán de Cieneguilla. Mientras que el fenómeno ENSO de 1998, generó huaicos en las quebradas Huaycán, Río Seco, Cieneguilla, Tinajas, Manchay, entre otras, los cuales provocaron afectación en viviendas y terrenos de cultivo (Allende, 1998; Ccente & Cerpa, 2009). También se han generado procesos de inundación fluvial frente a la quebrada Huaycán (San Miguel, 2019). Actualmente las zonas inundables se encuentran ocupadas por viviendas y terrenos agrícolas.

Una de las principales causas de estos daños es la ocupación territorial desordenada que hoy en día ha logrado alcanzar niveles de control muy difíciles. Actualmente, el crecimiento urbano desordenado y la ocupación inadecuada del territorio en el distrito de Cieneguilla, sobre todo en el cauce y laderas inestables de la microcuenca Huaycán; así como la falta de obras de mitigación y/o prevención, hace que los peligros geológicos puedan generar fuertes daños sobre la población, viviendas y carreteras de la Asociación de Vivienda Las Terrazas y el Centro Poblado Rural Autogestionario Huaycán de Cieneguilla, así como en la zona arqueológica Huaycán de Cieneguilla.

Además, el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (Ingemmet) como parte de los estudios geológicos regionales (escala 1: 50 000) realizados en el departamento de Lima, identificó como zona crítica por flujos al sector Huaycán de Cieneguilla, debido a que este sector presenta un alto o muy alto riesgo, donde se ubican población y obras de infraestructura que pueden ser afectadas; por ello en la microcuenca Huaycán se necesitan realizar estudios de peligros geológicos a detalle.

Es importante indicar que en la microcuenca Huaycán, hasta la fecha, no se han realizado estudios de peligros geológicos a detalle (Villacorta *et al*., 2015; Luque *et al*., 2020), por ello la presente investigación busca realizar el estudio de los peligros geológicos en la microcuenca Huaycán, Cieneguilla-Lima; el cual corresponde a identificar y caracterizar los peligros geológicos, determinar las causas de su origen, sobre todo de los flujos de detritos debido al potencial daño que pueden provocar. La investigación también busca identificar los elementos expuestos ante peligros geológicos y recomendar medidas de prevención y/o mitigación para mitigar los daños que podrían producir estos peligros geológicos.

Cabe resaltar que, este estudio permitirá generar un mapa con el cartografiado de los diferentes peligros geológicos a detalle (escala 1: 5 000), así como recomendar medidas de prevención pertinentes como contribución a la gestión del riesgo de desastres y el ordenamiento territorial en la microcuenca Huaycán de Cieneguilla.

1.1.2. Formulación del problema

Problema general

- ¿Cuáles son los peligros geológicos en la microcuenca Huaycán, Cieneguilla-Lima?

Problemas específicos

- ¿Cuáles son los factores condicionantes que generan peligros geológicos en la microcuenca Huaycán?
- ¿Cuáles son los factores desencadenantes que generan peligros geológicos en la microcuenca Huaycán?
- ¿Cuáles son los factores antrópicos que generan peligros geológicos en la microcuenca Huaycán?
- ¿Cuáles son los elementos expuestos ante peligros geológicos en la microcuenca Huaycán?
- ¿Qué medidas de mitigación y/o prevención se recomiendan ante la ocurrencia de peligros geológicos en la microcuenca Huaycán?

1.1.3. Justificación de la investigación

Justificación teórica

El estudio de peligros geológicos en la microcuenca Huaycán, Cieneguilla-Lima tiene como justificación teórica generar información geológica y geomorfológica (escala 1: 25 000), así como geodinámica sobre los peligros geológicos (escala 1: 5 000); determinar las causas (factores condicionantes y desencadenantes) del origen de estos eventos; identificar los elementos expuestos a estos peligros geológicos y emitir recomendaciones viables técnica y económicamente por las autoridades locales, con el propósito de proteger la integridad física de los pobladores. Esta investigación busca generar información geocientífica sobre peligros geológicos a detalle que puede ser utilizada en la ejecución de otros estudios vinculados a la gestión del riesgo de desastres.

Justificación práctica

Los resultados de esta investigación permitieron realizar el mapa de peligros geológicos en la microcuenca Huaycán, el cual será una herramienta importante en la gestión del riesgo de desastres y los planes de ordenamiento territorial de la Municipalidad Distrital de Cieneguilla.

La presente investigación brinda recomendaciones viables técnica y económicamente por las autoridades locales, con el objeto de salvar la integridad física de los habitantes, concernientes a las funciones que cumplen el Gobierno Regional de Lima, Municipalidad Metropolitana de Lima y la Municipalidad Distrital de Cieneguilla, en temas de: planes de desarrollo urbano, planes de desarrollo rural, planes de desarrollo concertado, gestión del riesgo de desastres, catastro urbano y rural (zonas de expansión urbana), sistemas de gestión ambiental local y regional, planes de acondicionamiento territorial, protección ecológica y zonificación ecológica y económica.

Esta investigación también contribuye con el desarrollo socio-económico sostenible del distrito de Cieneguilla, a través de estudios geoambientales, debido a que gran parte de este distrito se ve afectado por peligros geológicos, siendo los flujos de detritos los eventos más destructivos, por ello esta investigación brinda alternativas de contingencia para prevenir y/o mitigar los daños que se pueden generar, así como planes preventivos que permitan un desarrollo sistematizado en la microcuenca Huaycán de Cieneguilla.

1.1.4. Objetivos del estudio

Objetivo general

- Identificar los peligros geológicos en la microcuenca Huaycán, Cieneguilla-Lima que podrían generar daños en la población, viviendas y obras de infraestructura.

Objetivos específicos

- Determinar los factores condicionantes que generan peligros geológicos en la microcuenca Huaycán.
- Reconocer los factores desencadenantes que generan peligros geológicos en la microcuenca Huaycán.
- Detallar los factores antrópicos que generan peligros geológicos en la microcuenca Huaycán.
- Describir los elementos expuestos ante peligros geológicos en la microcuenca Huaycán.
- Recomendar medidas de mitigación y/o prevención ante los peligros geológicos en la microcuenca Huaycán.

1.1.5. Variables

Variable independiente

VI_1: Microcuenca Huaycán de Cieneguilla

Variable dependiente

VD_1: Peligros geológicos

1.1.6. Hipótesis

Hipótesis general

- Los peligros geológicos en la microcuenca Huaycán, Cieneguilla-Lima son: flujo de detritos, caída de rocas, derrumbe, inundación fluvial, erosión fluvial y erosión de laderas.

Hipótesis específicas

- Los factores condicionantes que generan peligros geológicos en la microcuenca Huaycán son: la pendiente, la geología, la geomorfología y la cobertura vegetal.
- Los factores desencadenantes que generan peligros geológicos en la microcuenca Huaycán son: las precipitaciones pluviales (lluvias) y la sismicidad.
- Los factores antrópicos que generan peligros geológicos en la microcuenca Huaycán son: la ocupación inadecuada del territorio, los cortes de laderas y explotación de canteras.
- Los elementos expuestos ante peligros geológicos en la microcuenca Huaycán son: la AV Las Terrazas, el CPRA Huaycán de Cieneguilla, la zona arqueológica Huaycán de Cieneguilla, la carretera departamental y puente.
- Las medidas de mitigación y/o prevención que se recomiendan ante peligros geológicos en la microcuenca Huaycán son: diques, muros de contención, banquetas, defensas ribereñas, sensibilización a la población, Sistema de Alerta Temprana-SAT y Evaluación de Riesgos-EVAR.

1.1.7. Operacionalización de variables

Variables independientes

VI_1: Microcuenca Huaycán de Cieneguilla

Pendiente:
- Determinación de la pendiente del terreno.

Geología:
- Descripción litológica del substrato rocoso.
- Identificación de los tipos de depósitos Cuaternarios.
- Descripción del tamaño y forma de los depósitos recientes.
- Fracturamiento y meteorización de afloramientos rocosos.

Geomorfología:
- Identificación de las formas del relieve (geoformas).
- Delimitación de las geoformas.
- Clasificación de las geoformas en base a su origen.

Cobertura vegetal:
- Identificación del tipo de cobertura vegetal.
- Clasificación de la cobertura vegetal.

Precipitaciones pluviales:

- Recopilación de datos recientes de precipitaciones pluviales (lluvias).
- Recopilación de datos históricos de precipitaciones pluviales (lluvias).

Sismicidad:

- Recopilación de datos recientes de sismicidad.
- Recopilación de datos históricos de sismicidad.

Factores antrópicos:

- Identificación de factores antrópicos.

Variables dependientes

VD_1: *Peligros geológicos*

- Identificación de los peligros geológicos.
- Identificación de movimientos en masa en la microcuenca Huaycán.
- Identificación de peligros geohidrológicos y otros peligros geológicos.
- Identificación del origen de los procesos geodinámicos.
- Identificación de las medidas de mitigación y/o prevención.
- Identificación de las medidas estructurales como: diques, muros de contención, espigones, barreras geodinámicas, entre otros.
- Identificación de las medidas no estructurales como sensibilización de la población, sistema de alerta temprana, entre otros.

1.1.8. Matriz de consistencia

"ESTUDIO DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA MICROCUENCA HUAYCÁN, CIENEGUILLA-LIMA"								
PROBLEMA GENERAL	**PROBLEMAS ESPECÍFICOS**	**OBJETIVO GENERAL**	**OBJETIVOS ESPECÍFICOS**	**HIPÓTESIS GENERAL**	**HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**	**VARIABLES**	**DIMENSIÓN**	**INDICADORES**
¿Cuáles son los peligros geológicos en la microcuenca Huaycán, Cieneguilla-Lima?	¿Cuáles son los factores condicionantes que generan peligros geológicos en la microcuenca Huaycán?	Identificar los peligros geológicos en la microcuenca Huaycán, Cieneguilla-Lima que comprometen la seguridad física de personas, viviendas y obras de infraestructura	Identificar los factores condicionantes que generan peligros geológicos en la microcuenca Huaycán	Los peligros geológicos en la microcuenca Huaycán, Cieneguilla-Lima son flujo de detritos, caída de rocas, derrumbe, inundación fluvial, erosión fluvial y erosión de laderas	Los factores condicionantes que generan peligros geológicos en la microcuenca Huaycán son: la pendiente, la geología, la geomorfología y la cobertura vegetal	**Variable independiente** Microcuenca Huaycán de Cieneguilla	Pendiente	Pendiente del terreno
							Geología	Tipo de roca y depósitos Cuaternarios, fracturamiento y meteorización de afloramientos rocosos
							Geomorfología	Forma del relieve, tipo de las geoformas y origen de las geoformas
	¿Cuáles son los factores desencadenantes que generan peligros geológicos en la microcuenca Huaycán?		Identificar los factores desencadenantes que generan peligros geológicos en la microcuenca Huaycán		Los factores desencadenantes que generan peligros geológicos en la microcuenca Huaycán son: las precipitaciones pluviales (lluvias) y la sismicidad		Cobertura vegetal	Tipo de la cobertura vegetal
							Precipitaciones pluviales	Datos recientes de precipitaciones pluviales
								Datos históricos de precipitaciones pluviales
	¿Cuáles son los factores antrópicos que generan peligros geológicos en la microcuenca Huaycán?		Identificar los factores antrópicos que generan peligros geológicos en la microcuenca Huaycán		Los factores antrópicos que generan peligros geológicos en la microcuenca Huaycán son: la ocupación inadecuada del territorio, los cortes de laderas y explotación de canteras		Sismicidad	Datos recientes de sismicidad
								Datos históricos de sismicidad
							Actividad antrópica	Ocupación inadecuada del territorio, explotación de canteras y cortes de ladera
	¿Cuáles son los elementos expuestos ante peligros geológicos en la microcuenca Huaycán?		Identificar los elementos expuestos ante peligros geológicos en la microcuenca Huaycán		Los elementos expuestos ante peligros geológicos en la microcuenca Huaycán son: la AV Las Terrazas, el CPRA Huaycán de Cieneguilla, la zona arqueológica Huaycán de Cieneguilla, la carretera departamental y puente	**Variable dependiente** Peligros geológicos	Movimientos en masa Peligros geohidrológicos Otros peligros	Tipos, características y origen de los movimientos en masa, peligros geohidrológicos y otros peligros geológicos
	¿Qué medidas de mitigación y/o prevención se recomiendan ante la ocurrencia de peligros geológicos en la microcuenca Huaycán?		Recomendar medidas de mitigación y/o prevención ante la ocurrencia de peligros geológicos en la microcuenca Huaycán		Las medidas de mitigación y/o prevención que se recomiendan ante peligros geológicos en la microcuenca Huaycán son: diques, muros de contención, banquetas, defensas ribereñas, sensibilización a la población, Sistema de Alerta Temprana-SAT y Evaluación de Riesgos-EVAR		Medidas estructurales Medidas no estructurales	Tipos de medidas de mitigación y/o prevención: estructurales y no estructurales

CAPÍTULO II: GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1. UBICACIÓN

La microcuenca Huaycán se ubica en el distrito de Cieneguilla, provincia y región de Lima. Las coordenadas UTM de la zona de estudio se detallan en la tabla 1 (figura 1):

Tabla 1. Ubicación de la zona de estudio

	UTM - WGS84 - Zona 18S		Geográficas		Altitud
	Este	Norte	Latitud	Longitud	(m s.n.m.)
1	307755	8663915	-12.08°	- 76.76°	435
2	312052	8661808	-12.09°	- 76.72°	1 523
3	310393	8660787	-12.10°	- 76.74°	1 269
4	307561	8663582	-12.08°	- 76.76°	433
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA DE ESTUDIO					
5	309867	8662652	-12.09°	- 76.74°	684

La microcuenca Huaycán de Cieneguilla pertenece a la Intercuenca Lurín 13755343, localizada en la parte media de la cuenca del río Lurín. Mientras que la quebrada Huaycán desemboca, por la margen izquierda, directamente al río Lurín.

2.2. ACCESIBILIDAD

La accesibilidad a la microcuenca Huaycán, partiendo de la ciudad de Lima, se realiza por carretera, a través de dos rutas. La ruta I inicia desde Lima para luego seguir por los distritos de La Molina, Cieneguilla hasta Huaycán, durante un intervalo aproximado de 1 hora 10 minutos, en un recorrido de 41.7 kilómetros. Mientras que la ruta II es a través de la ruta: Lima - Villa el Salvador - Lurín - Pachacámac - Cieneguilla - Huaycán, por un intervalo aproximado de 1 hora 50 minutos y luego de recorrer 66.7 km (tabla 2).

La primera ruta, desde Lima, se sigue por la carretera Panamericana Norte-Vía Evitamiento hasta la Av. Javier Prado Este (La Molina). Se continúa por la Av. Javier Prado Este hasta la Av. La Molina. Al finalizar la Av. La Molina se sigue el recorrido por la Av. Cieneguilla hasta llegar a la Municipalidad Distrital de Cieneguilla. Desde el punto anterior se continúa por las Av. Nueva Toledo e Independencia hasta llegar a Huaycán (altura del kilómetro 27.5 de la Carretera Lima - Huarochirí).

La segunda ruta, es desde Lima, por la Av. Vía Expresa hasta la Av. Javier Prado Este (Trébol Javier Prado). Se continúa por vía Panamericana Sur hasta llegar al Peaje Conchán, para continuar por la Antigua Panamericana Sur hasta llegar al Óvalo Manuel Valle. Desde el punto anterior se continúa por las Av. Manuel Valle y Av. Nueva Toledo hasta llegar a Huaycán.

Tabla 2. Accesibilidad al área de estudio

Ruta		Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Ruta I	Lima - La Molina	Asfaltada	22	31 min
	La Molina - Cieneguilla		12.7	21 min
	Cieneguilla - Huaycán		7	13 min
Ruta II	Lima - Villa el Salvador	Asfaltada	34.6	41 min
	Villa el Salvador - Lurín		7.4	16 min
	Lurín - Pachacámac - Cieneguilla – Huaycán		27.7	53 min

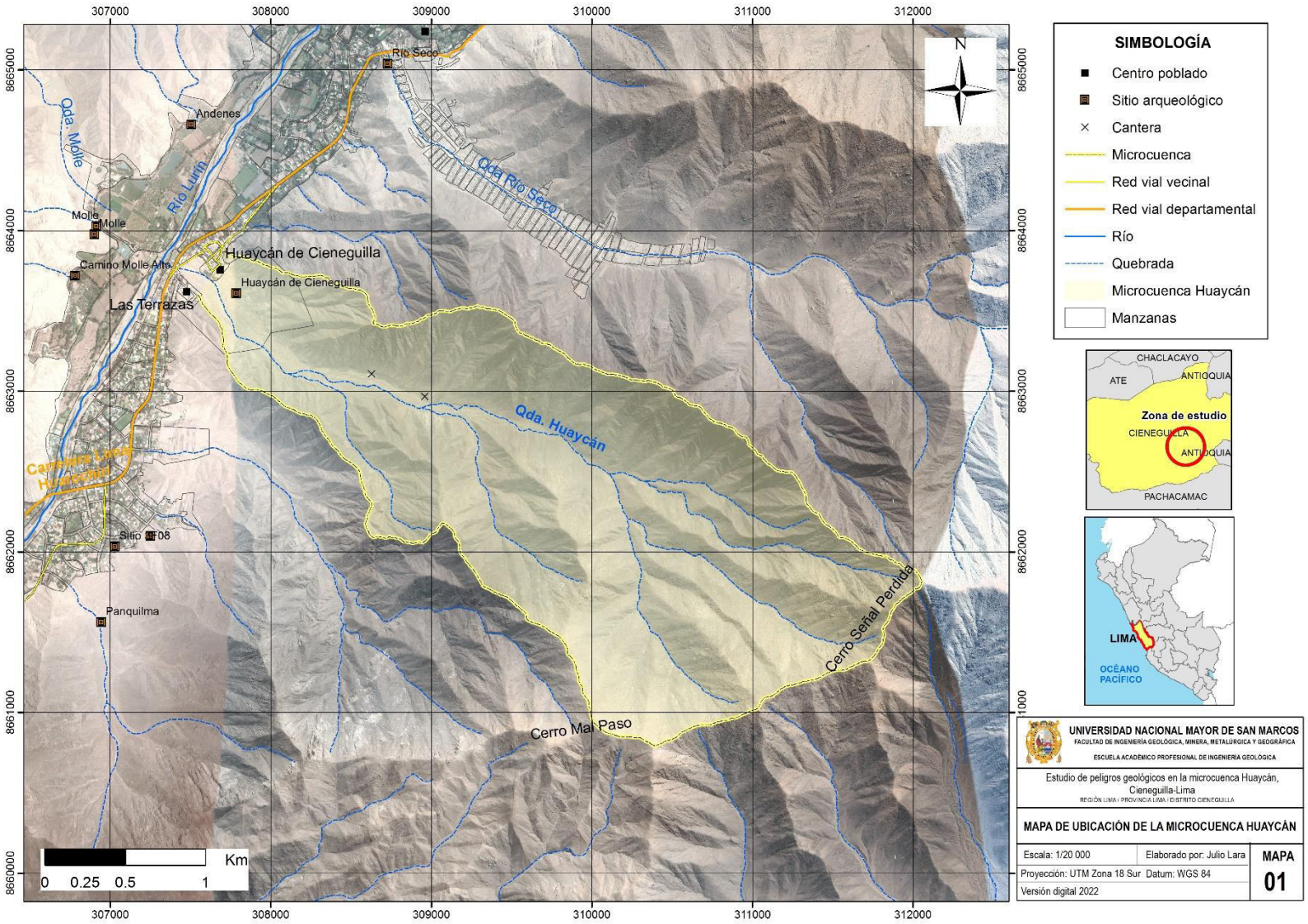


Figura 1. Mapa de ubicación de la microcuenca Huaycán en el distrito de Cieneguilla.

2.3. GEOGRAFÍA

De acuerdo con la clasificación de las regiones naturales realizada por Pulgar (1975), la microcuenca Huaycán pertenece a la denominada región Costa o Chala que abarca desde los 0 hasta 500 m s.n.m.), pero considerando la altitud, la microcuenca podría pertenecer también a la región denominada Yunga que va desde los 500 hasta 1000 m s.n.m.).

La microcuenca de la quebrada Huaycán desemboca hacia el río Lurín. Esta microcuenca está delimitada por las estribaciones andinas, como las denominadas cerros Señal Perdida (margen derecha) y Mal Paso (margen izquierda), las cuales alcanzan altitudes de hasta 1511 m s.n.m. y 1240 m s.n.m., respectivamente (figura 2).

Mientras que, la clasificación de los geosistemas realizada por Dollfus (1981), indica que la microcuenca Huaycán pertenece al geosistema denominado Desierto asoleado, que comprende altitudes desde los 300 hasta 800 m.s.n.m.



Figura 2. Quebrada Huaycán vista desde la quebrada Molle.

2.4. CLIMA

Considerando el Mapa de Clasificación Climática del Perú (Senamhi, 2020) la microcuenca Huaycán presenta un clima tipo E (d) B' correspondiente a la clasificación climática elaborada por el Método de Thornthwaite - periodo de referencia 1981-2010

(figura 3). Este tipo de clima se caracteriza por ser árido, templado y con deficiencia de lluvias en todas las estaciones (Senamhi, 2020).

Otra clasificación climática, es la utilizada por la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales-ONERN, la cual indica que la zona de estudio presenta un clima desértico o árido subtropical, caracterizado por ser semicálido y muy seco (Ccente & Cerpa, 2009).

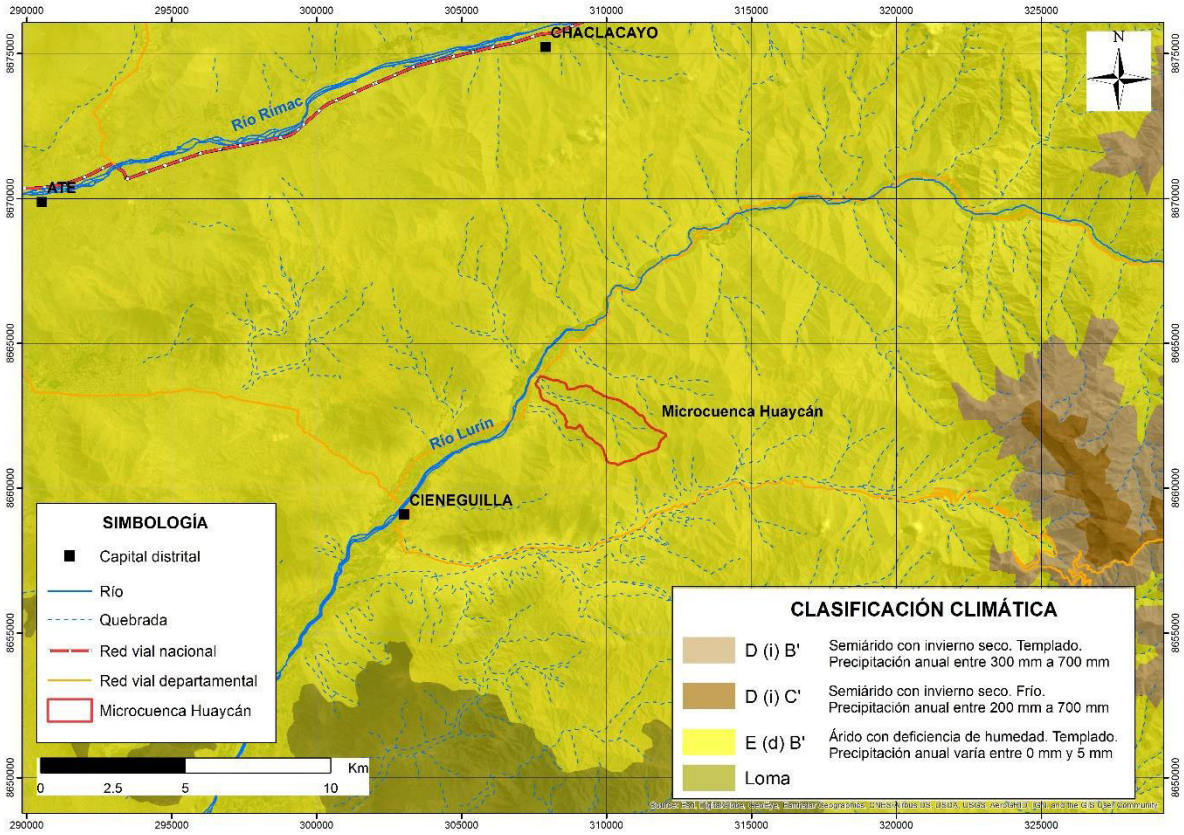


Figura 3. Tipos de climas en la microcuenca Huaycán y alrededores. Fuente: Senamhi (2020).

En cuanto a las estaciones meteorológicas más cercanas a la microcuenca Huaycán, se tienen las estaciones de Ñaña (automática) y Antioquía (convencional), las cuales actualmente se encuentran en funcionamiento. Mientras que en el complejo arqueológico Huaycán de Cieneguilla, en el mes de setiembre de 2014, el Ministerio de Cultura, instaló una estación meteorológica modelo Vantage Pro2TM, ubicada en las coordenadas UTM: 8663621.4077N y 307651.2851E (San Miguel, 2016).

Considerando los datos meteorológicos de la Estación Huaycán de Cieneguilla, durante el periodo 2017-2021 (tabla 3), la zona de estudio presentó una temperatura anual de 19.2 °C, 77.4 mm de precipitación y humedad promedio anual de 79.9%.

Tabla 3. Registro de datos atmosféricos registrados por la estación Huaycán de Cieneguilla (2017-2021).

Año		2017												2018								
Elemento meteorológico		ENE	FEB	MARZ	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MARZ	ABR	MAY	AGO	SET	NOV	DIC
Temperatura promedio	°C	23,8	25,2	25,3	22,5	19,5	16,7	16,2	15,5	15,7	17,5	17,8	19,7	22,4	24,2	23,9	23,1	20,2	15,6	16,6	19	21,1
Temperatura máxima	°C	31,5	31,5	32.1	30	29,1	24	23,2	22,7	25,8	26,8	26,2	27,7	28,8	30,1	30,5	30,1	27,8	22,9	24	25,7	29
Temperatura mínima	°C	18,1	20,6	21.1.	17,4	16	14,3	12,7	12,6	12,3	13,1	12,5	15,1	18,5	20,6	18,6	18,2	15,1	13,2	13,3	15,3	15,6
Precipitación total	mm	1,8	1	11,2	14	1,4	1,6	0	0	0	0	0	0	0	2,6	0	1,4	0	0	0,4	0	0,2
Humedad promedio	%	75,9	70.4	73,9	77,7	86,5	89,6	86.7	88,6	90,4	91,6	92,7	94,6	75,8	71,5	69,6	69,5	78,7	85,7	83,7	81	78,7
Humedad máxima	%	96	94	96	96	97	97	97	90	91	92	93	93	92	90	89	89	91	90	52	90	90
Humedad mínima	%	45	42	44	53	53	66	42	87	90	91	92	97	47	86	45	41	55	65	90	56	49

Año		2019						2020									2021							
Elemento meteorológico		JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	ENE	FEB	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MARZ	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO
Temperatura promedio	°C	16,5	15,6	14,1	17,4	17,3	19,2	22,8	24	16,8	15,8	15,9	16,7	18,3	18,6	20,1	22,6	23,9	24,5	22,2	18,8	16,7	16,1	15,9
Temperatura máxima	°C	22,8	22,5	16,6	25,6	27	27,4	30,4	30,9	25,9	24	24,3	26,1	26,4	27,9	27,4	29,9	30,6	31,3	29,9	27,9	26,3	23,7	24
Temperatura mínima	°C	13,6	12,7	13,4	14	13	15,3	18,7	20,2	13,5	11,7	12,3	12,7	14,3	13,9	16,7	18,4	18,3	18,6	15,9	14,3	14,3	13,3	13,4
Precipitación total	mm	0	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34,2	3	0	0	0,2	2	1,2	0,4	0
Humedad promedio	%	83,8	84,8	86,4	81,7	80,8	78,6	79,1	76,9	82,5	81,6	80,9	79,1	77,7	75,8	77,4	73,8	68,3	67,6	72,9	76,9	79,2	79,7	79,6
Humedad máxima	%	87	87	87	87	87	87	85	86	86	86	86	85	85	85	82	82	82	81	81	82	82	83	82
Humedad mínima	%	65	70	82	58	49	47	52	53	48	60	58	55	55	40	49	47	46	39	52	51	37	60	63

En la cuenca del río Lurín la temperatura presenta ciertas variaciones, en la parte baja puede llegar a los 20° en promedio, mientras que en la parte alta puede descender hasta los 2° en promedio. Las lluvias en el río Lurín son estacionales, en la costa las lluvias son escasas, mientras que en la sierra las lluvias son abundantes (diciembre a marzo). Las precipitaciones pueden variar de menos de 20 mm/año de lluvia en la parte baja (Felipe-Morales, 2012), mientras que en la parte alta se presentan valores que alcanzan los 541 mm (Soberón, 2014).

Se tienen registros históricos tomados de las estaciones meteorológicas Manchay Bajo (actualmente no está en funcionamiento) y Antioquía. Los datos de temperatura registrados por estas estaciones entre 1960 y 1980 (Allende, 1998) alcanzaron un valor extremo de 27.4° en verano, mientras que en invierno rodearon los 13°. Las lluvias alcanzaron un valor máximo de 28.4 mm en la estación Manchay Bajo (1955-1978) y la estación de Antioquía registró 80.68 mm (1963-1980).

La parte baja de la microcuenca Huaycán presenta precipitación alrededor de 28.4 mm anual, mientras que en la parte alta alcanza los 76.5 mm al año. La temperatura varía entre 27.4°C en verano y 13°C en invierno (Ministerio de Cultura, 2015).

Considerando los datos hidrometeorológicos de la Estación Antioquía, se tienen datos de temperatura máxima de hasta 27.8°C y mínima de 12°C. Mientras que la precipitación fue de 3.8 mm durante el año 2020 (figura 4).

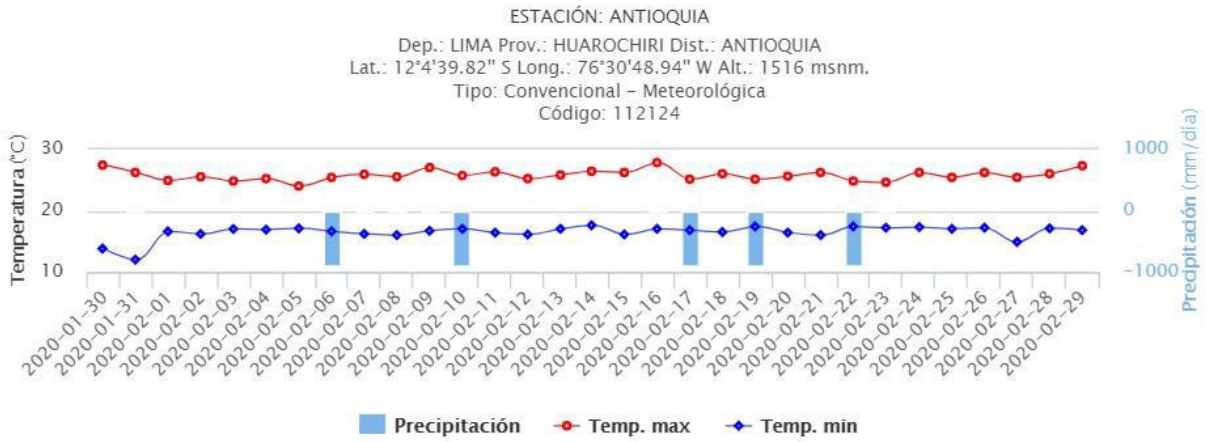


Figura 4. Datos hidrometeorológicos registrados por la Estación Antioquía (tipo convencional). Fuente: SENAMHI (2022).

2.5. POBLACIÓN

Considerando los resultados del censo 2017 realizado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), el distrito de Cieneguilla concentra un total de 34 684 habitantes, agrupando el 0,4% del total de la población de la provincia de Lima (8 574 974 personas). Mientras que los centros poblados Asociación de Vivienda Las Terrazas y el Centro Poblado Rural Autogestionario Huaycán de Cieneguilla, presentan 200 y 120 habitantes, respectivamente.

De acuerdo con el periodo intercensal 2007-2017 (tabla 4) el distrito de Cieneguilla presenta una tasa de crecimiento promedio anual de 29,8% (INEI, 2018). En el censo realizado en 1993 por el INEI, el distrito de Cieneguilla contaba con 8 993 habitantes. Mientras que en el año 1997 la población alcanzó los 10 999 habitantes.

Tabla 4. Población en el distrito de Cieneguilla (años 2007 y 2017)

Distrito	2007		2017		Variación intercensal 2007-2017		Tasa de crecimiento promedio
	Absoluto	%	Absoluto	%	Absoluto	%	
Provincia de Lima	7 605 742	100,0	8 574 974	100,0	969 232	12,7	1,2
Cieneguilla	26 725	0,4	34 684	0,4	7 959	29,8	2,6

Fuente: INEI - Censos Nacionales de Población y Vivienda 2007 y 2017.

2.6. VEGETACIÓN

En la microcuenca Huaycán las vegetaciones se forman de manera natural y antrópica (San Miguel, 2016). La vegetación natural corresponde a especies particulares de los sectores desérticos y se pueden reconocer hasta cinco especies vegetales, como: matorral ribereño, tillandsial, rodal de cactáceas, vegetación de huaicos u arroyos secos, y coberturas vegetales estacionales de verano (figura 5). Mientras que la vegetación antrópica es generada por intervención humana y es la más concentrada y vistosa. Este tipo de vegetación caracteriza al distrito de Cieneguilla, como un lugar de esparcimiento. La cobertura vegetal corresponde a zonas agrícolas, parques y jardines urbanos ubicados en ambas márgenes del rio Lurín, y que se originan por el riego permanente mediante la canalización de las aguas del río Lurín.



Figura 5. Vegetación tipo rodal de cactáceas identificada en la microcuenca Huaycán.

2.7. HIDROGRAFÍA

La microcuenca Huaycán forma parte de la cuenca del río Lurín, la cual se origina en la zona altoandina de los nevados Otoshmicumán y Chanape (Huarochirí) hasta el litoral costero del país (figura 6).

La cuenca del río Lurín ocupa una superficie de más de 1670 km^2, siendo el curso principal el río Lurín con una distancia de 108.57 km (MML, 2013) y una pendiente promedio de 4.72 (CEPES, 1994).

Es importante considerar que las aguas del río Lurín no son aprovechadas directamente para el consumo humano de la población, pero son importantes reservas de recarga de las aguas subterráneas de la ciudad (AQUAFONDO, 2015).

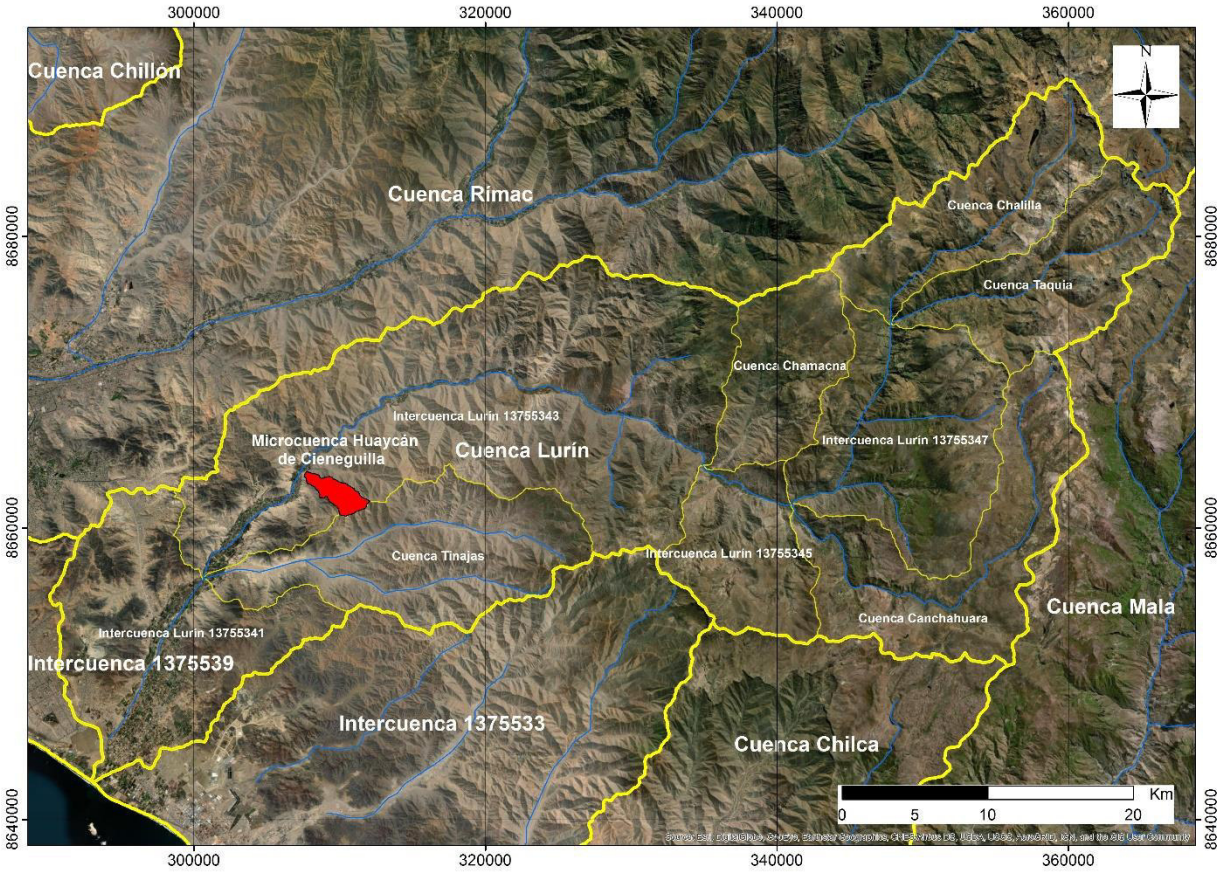


Figura 6. Cuenca del río Lurín y microcuenca Huaycán en la margen izquierda del río Lurín.

La quebrada Huaycán forma una microcuenca lateral por la margen izquierda del río Lurín. Esta microcuenca tiene forma alargada con un área de 6 km^2 y un perímetro de 13 km aproximadamente. La longitud del cauce principal de esta quebrada llega hasta los 3 km aproximadamente.

El drenaje de esta quebrada es de tipo dendrítico por las ramificaciones de las quebradas tributarias y el cauce principal, siendo las quebradas tributarias las encargadas de aportar material hacia el canal principal de la microcuenca Huaycán. Cabe mencionar que el cauce principal de la quebrada Huaycán presenta una pendiente fuerte de 21° en promedio, esto favorece la erosión y transporte de materiales provenientes desde la parte alta.

La microcuenca Huaycán puede ser dividida en tres partes: microcuenca alta, media y baja (figura 7). La microcuenca alta o de recolección se caracteriza por presentar pendiente fuerte del terreno (37° en promedio), así como dos quebradas tributarias y ramificadas que dan origen a la quebrada Huaycán. La microcuenca media presenta un incremento en el ancho del cauce principal, mientras que la pendiente empieza a disminuir y existen diferentes quebradas tributarias en ambas márgenes del cauce principal. Finalmente, la microcuenca baja se caracteriza porque el cauce principal presenta mayor amplitud y en esta zona se depositan los materiales transportados desde la parte alta.

Las precipitaciones pluviales intensas y/o extraordinarias podrían reactivar las quebradas eventualmente secas generando huaicos que podrían ocasionar afectación sobre la población de Huaycán.

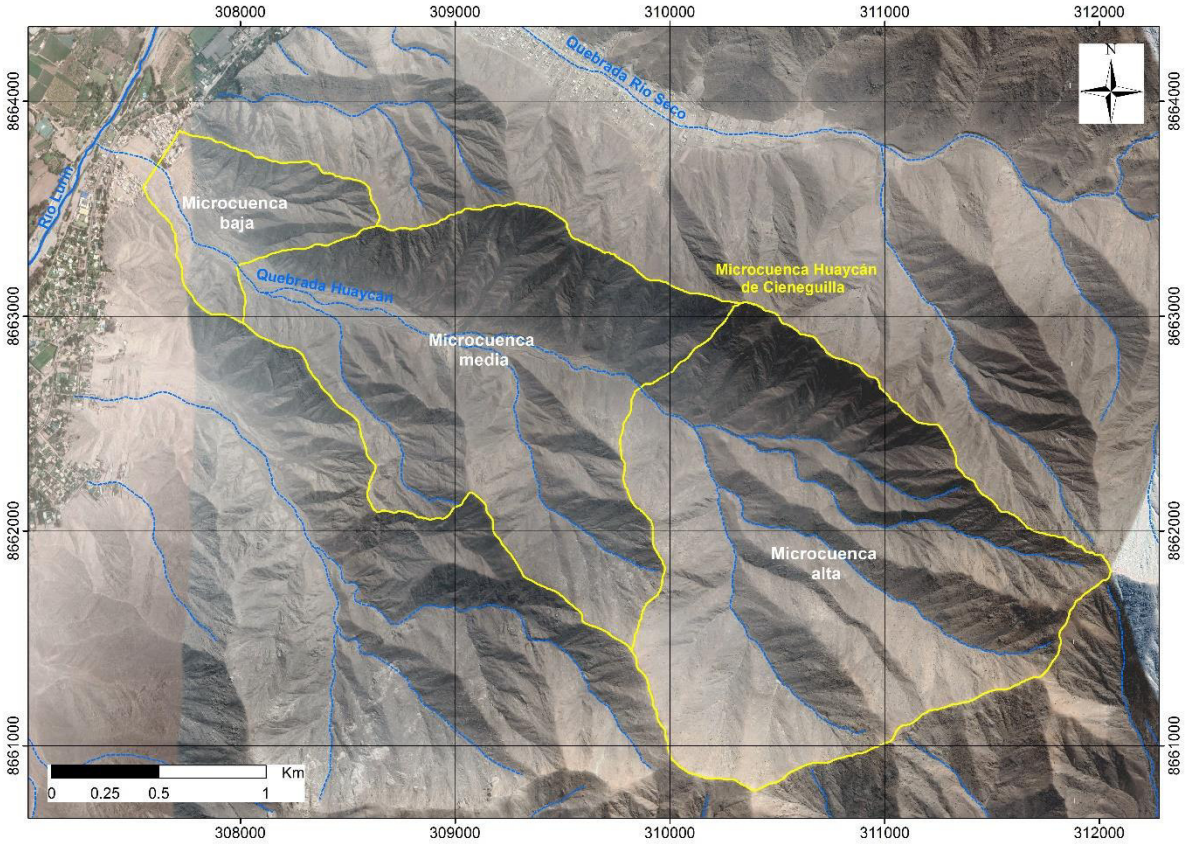


Figura 7. Microcuenca Huaycán (alta, media y baja) ubicada en la margen izquierda del río Lurín.

2.8. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA

Considerando el mapa de zonificación sísmica del Perú realizado por Alva *et al*. (1984) el país se divide en cuatro zonas. Esta delimitación se realizó considerando la distribución de la sismicidad a nivel nacional, las particularidades principales de los sismos, la atenuación de estos eventos en relación con la distancia epicentral, la neotectónica, entre otros factores. Cada una de las cuatro zonas presenta un factor "Z", el cual representa la aceleración horizontal extrema en los suelos rígidos con una posibilidad de 10% de ser superada en 50 años (El Peruano, 2016).

Considerando el mapa en mención, el distrito de Cieneguilla y la microcuenca Huaycán se ubican en la zona 4 (figura 8), la cual corresponde a una zona que presenta sismicidad alta, con aceleraciones de 0.45 g. Mientras que las aceleraciones con ventanas de tiempo para 20, 50 y 100 años, corresponden a 200, 500 y 1000 años de retorno, respectivamente considerando un 10% de excedencia (El Peruano, 2016).

Por otro lado, el mapa de microzonificación sísmica del distrito de Cieneguilla (MVCS, 2019), permite determinar cómo se comportan los suelos ante sismos, considerando como base las características mecánicas y dinámicas de los distintos materiales del terreno.

El mapa de microzonificación sísmica fue obtenido a través de la superposición de los mapas de microzonificación geotécnica y de isoperiodos. Este mapa muestra y describe la conducta de los suelos ante sismos de gran magnitud.

De acuerdo con este mapa de microzonificación sísmica, la microcuenca Huaycán presenta terrenos que corresponden a la Zona I (figura 9). Esta zona está conformada por afloramientos rocosos con diferentes grados de fracturamiento, donde predominan las rocas ígneas de tipo granodiorita y gabro-diorita que en algunos sectores se encuentran intruyendo a rocas sedimentarias. En esta zona también están incluidas las gravas y arenas de origen aluvial y coluvio-aluvial, de compactación densa. Las gravas aluviales presentan formas subredondeadas, están envueltas en una matriz areno-limo-arcillosa y se encuentran principalmente en el valle del río Lurín. Mientras que las arenas coluvio-aluviales se encuentran en las quebradas, presentan formas angulosas, bajo contenido de humedad y baja o nula plasticidad.

La capacidad de carga admisible estimada (considerando una cimentación corrida de 0.60 m de ancho y un desplante mínimo de 0.80 m) corresponde a 5 kg/cm^2 al desplantarse roca fracturada y 2 a 4 kg/cm^2 al desplantarse sobre grava o arena (MVCS, 2019). Estos materiales presentan las mejores características geotécnicas para cimentar viviendas convencionales.

Cabe precisar que, no es probable el incremento del nivel de peligro sísmico debido al dinamismo de los materiales del terreno y los valores de oscilación lateral de los suelos que corresponden a valores menores a 0.30 s.

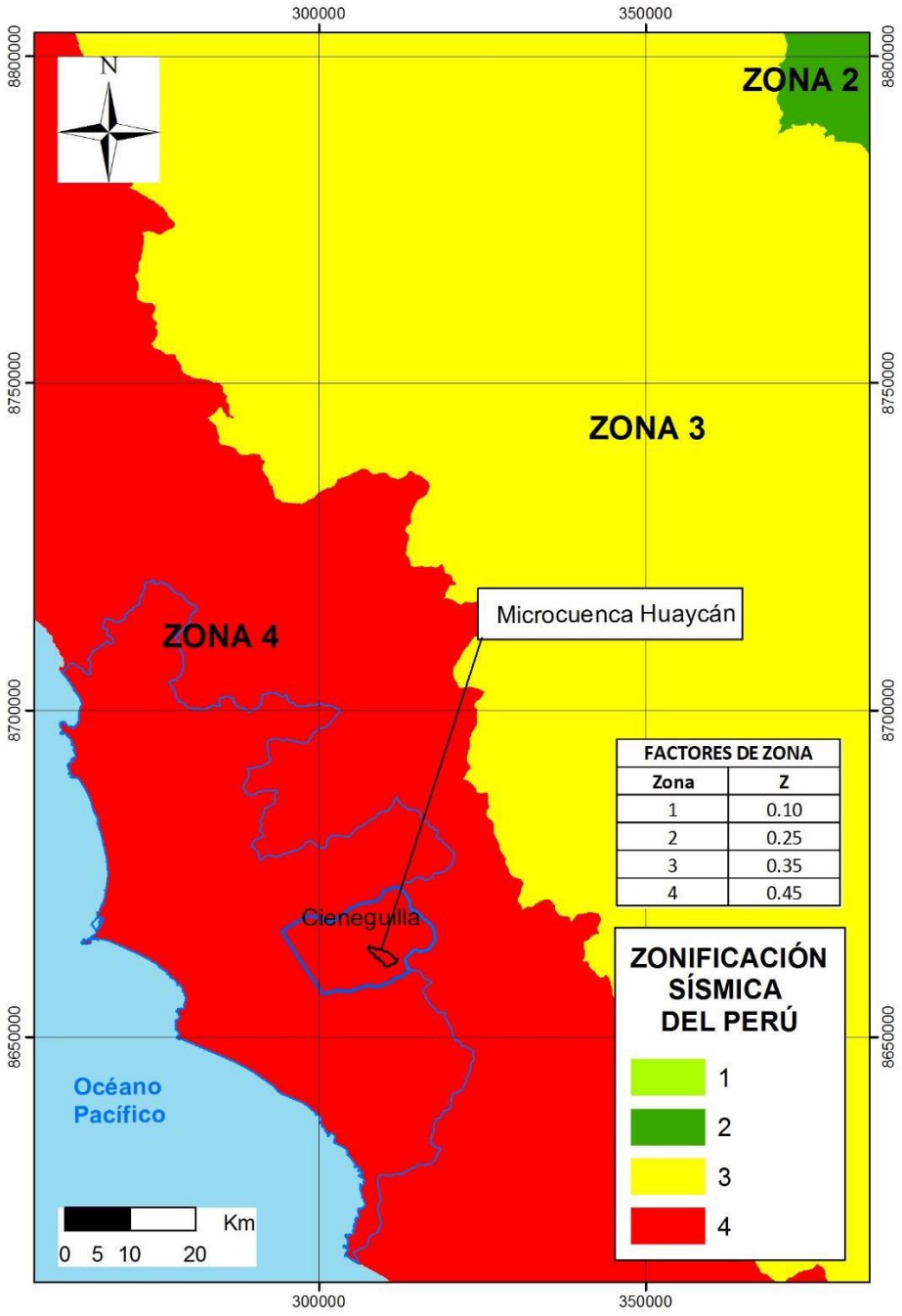


Figura 8. Ubicación de la microcuenca Huaycán en la zona sísmica 4. Fuente: El Peruano (2016).

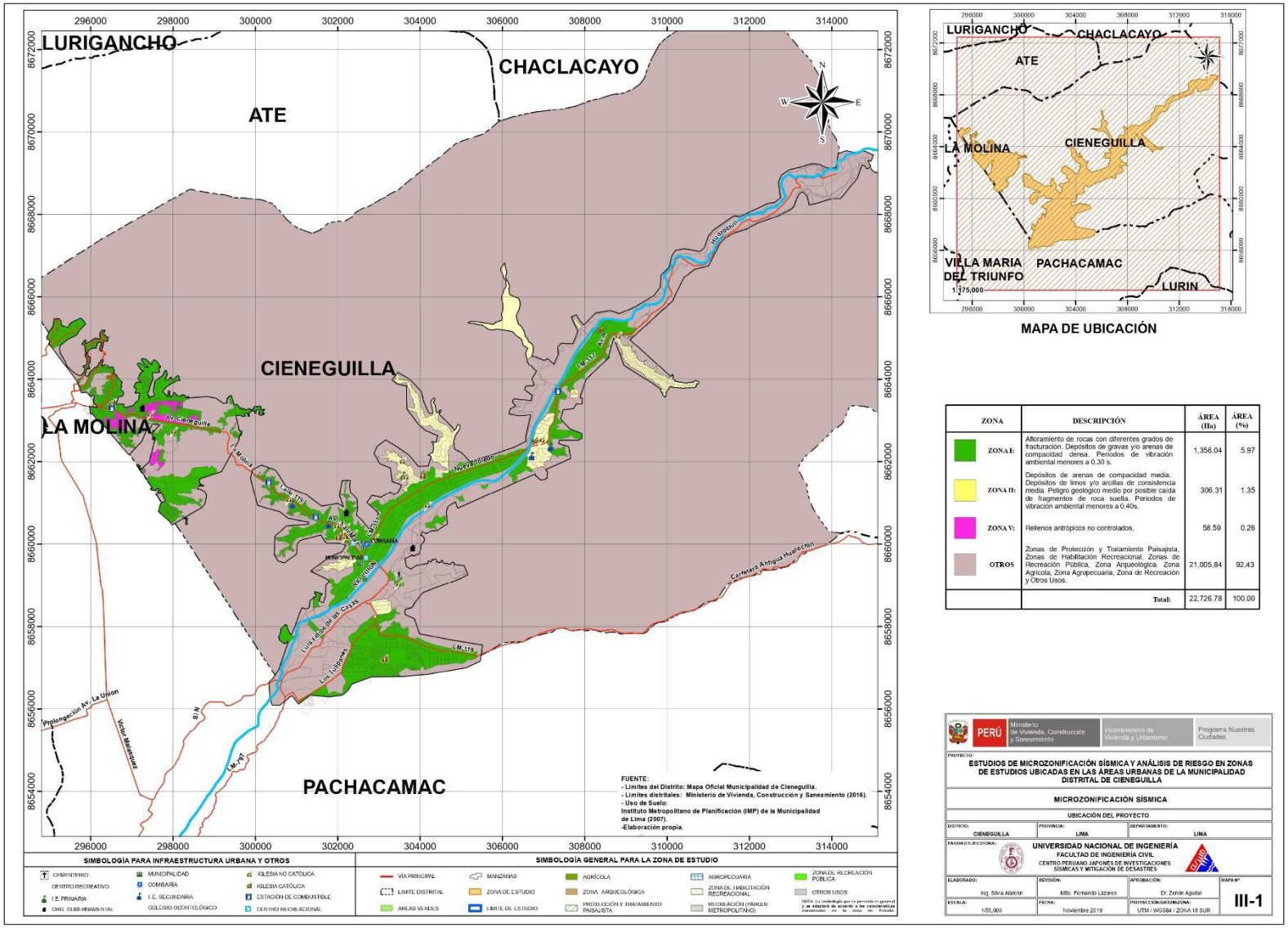


Figura 9. Microzonificación sísmica del distrito de Cieneguilla. Fuente: MVCS (2019).

Finalmente, el INDECI (2017) elaboró un mapa de intensidades máximas ante un movimiento sísmico de 8.8 Mw, similar al terremoto de 1746, el cual indica que algunos departamentos, provincias y distritos ubicados en la parte occidental del territorio central peruano estarían sujetas a una intensidad superior a VIII (MM).

Considerando este mapa, Lima Metropolitana, el distrito de Cieneguilla y la microcuenca Huaycán, estarían expuestas a grandes intensidades por encontrase próximas al área de rotura (figura 10). Las intensidades mayores a VIII (MM) actuarían como factores desencadenantes para la ocurrencia de procesos de licuefacción de suelos, asentamientos del terreno, caídas de rocas, derrumbes entre otros procesos.

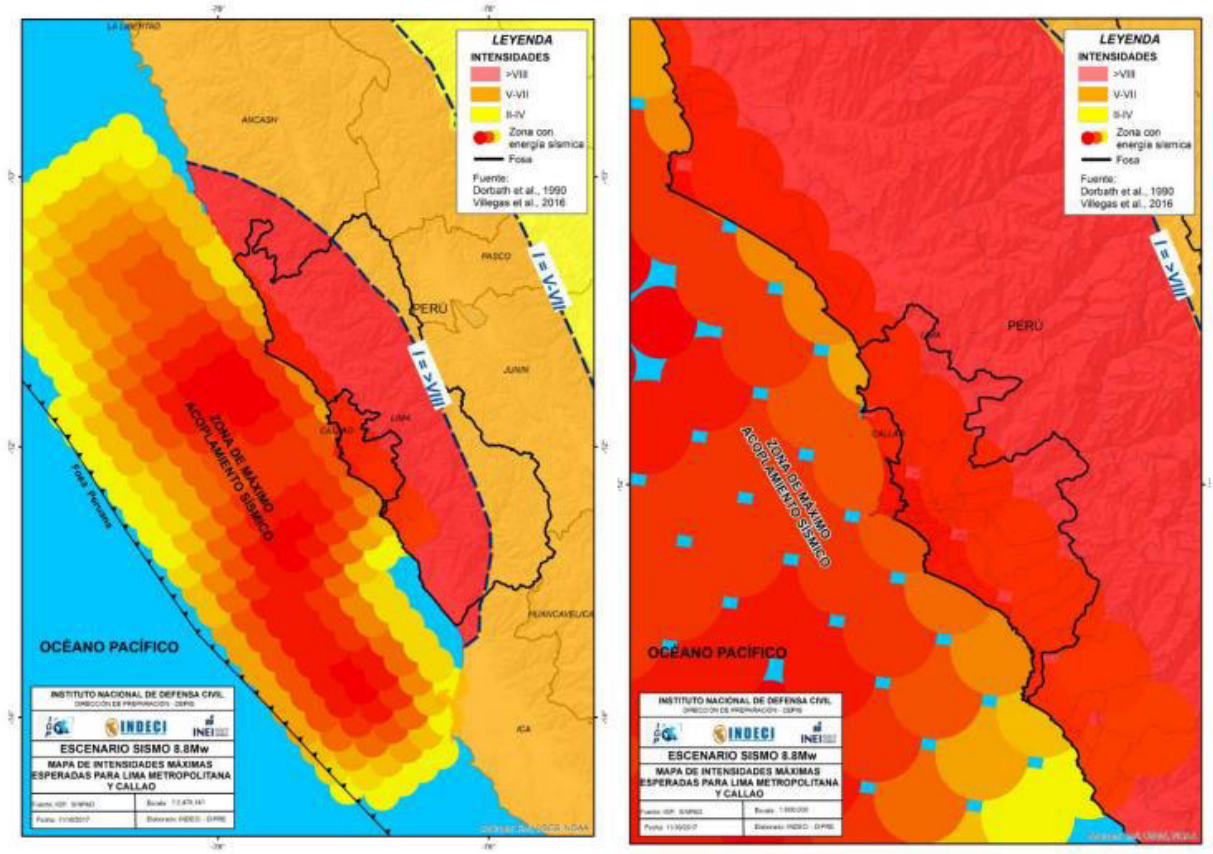


Figura 10. Zonas afectadas por intensidad mayor a VIII (MM). Fuente: INDECI-DIPRE (2017).

CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO

3.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Existen estudios geológicos que consideran la microcuenca Huaycán y alrededores, entre los cuales destacan los siguientes:

- **"Geología de los cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica" (Palacios *et al.*, 1992)**. Las unidades litoestratigráficas identificadas en este estudio corresponden a edades que van desde el Jurásico hasta el Cuaternario. El área de estudio se ubica en el cuadrángulo de Lurín (25-j) donde afloran rocas cuyas edades van desde el Cretáceo hasta el Cuaternario. En la microcuenca Huaycán y alrededores afloran rocas del Volcánico Quilmaná; rocas intrusivas de las Superunidades Patap y Santa Rosa, así como depósitos Cuaternarios que corresponden a depósitos aluviales recientes.
  Según este trabajo el ciclo volcánico-sedimentario durante el Albiano está representado por secuencias de la Formación Chilca, Huarangal y el Volcánico Quilmaná. A finales de este ciclo, las secuencias antes mencionadas se levantan y pliegan, emplazándose el Batolito de la Costa, el cual aflora en los cuadrángulos de Lurín y Chosica. Litológicamente estos cuerpos intrusivos corresponden a dioritas y granitos que fueron clasificados por Cobbing y Pitcher como superunidades.

- **"Estudio de riesgos geológicos del Perú-Franja N° 3" (Ingemmet, 2003).** Según este trabajo la quebrada Huaycán presenta un riesgo alto ante flujos. Estos procesos se originan por la reactivación periódica, ocasional o excepcional de ríos y quebradas debido a la presencia de precipitaciones pluviales periódicas o excepcionales (Fenómeno El Niño). Las áreas sujetas a la ocurrencia de este tipo de movimientos en masa presentan un riesgo alto. La zonificación se realizó considerando criterios como: ríos y quebradas con laderas de fuerte a muy fuerte pendiente, rocas muy fracturadas y alteradas, materiales sueltos en las laderas, formaciones superficiales inconsolidadas, zonas susceptibles a precipitaciones pluviales intensas, escasa o nula cobertura vegetal. También concluye que en estas zonas han ocurrido estos movimientos en masa o existe alta probabilidad de que ocurran.

- **"Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Mala (26-j), Lurín (25-j) y Lima (25-l)" (León & De la Cruz, 2003)**. Esta investigación aportó conocimientos sobre las unidades estratigráficas, rocas intrusivas y estructuras, tomando como base los trabajos realizados por Palacios *et al*. (1992) (cuadrángulos de Lurín y Lima) y Salazar & Landa (1993) (cuadrángulo de Mala). Esta actualización contribuye a los estudios previos, con información a escala 1: 50 000 sobre geología y concerniente a la litología del Grupo Morro Solar, la Formación Pucusana, el Grupo Casma y las formaciones Chilca y Quilmaná, así

como una mejor cartografía de la litología de las rocas intrusivas del Batolito de la Costa (figura 11).

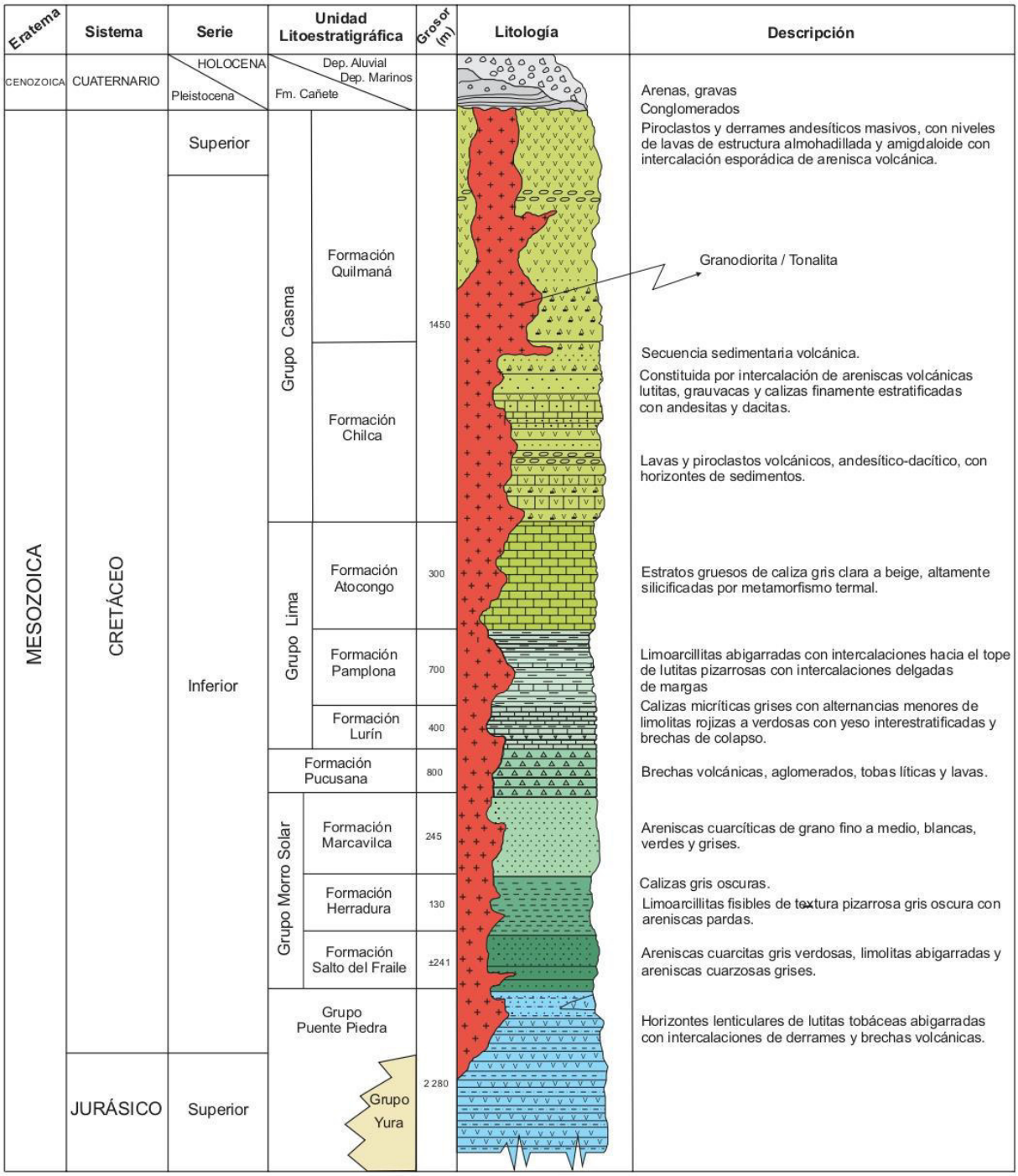


Figura 11. Columna estratigráfica del área entre Lima-Mala. Tomado de León & De la Cruz (2003).

- **“Peligros por movimientos en masa en la quebrada Tinajas” (Luque, 2012)**. De acuerdo al mapa de peligros en la quebrada Tinajas, realizado en este estudio, se identificaron flujos en la quebrada Huaycán. Mientras que en la quebrada Tinajas se cartografiaron flujos, erosiones fluviales y erosiones de laderas a manera de cárcavas (figura 12). El estudio menciona que se deben considerar los peligros geológicos identificados para los planes de expansión urbana o construcción de infraestructura, debido a que estas áreas corresponden a flujos de detritos antiguos y no reúnen las condiciones de seguridad mínimas. En caso de precipitaciones pluviales excepcionales e intensas las quebradas se podrían reactivar generando flujos que podrían afectar a la población que se encuentra en su cauce natural. Finalmente, se recomienda construir disipadores de energía y presas de sedimentación para proteger a la población; reubicar a la población que se ubica en el cauce de las quebradas y sensibilizar a la población cuyas viviendas se encuentran en zonas de alto riesgo ante huaicos.

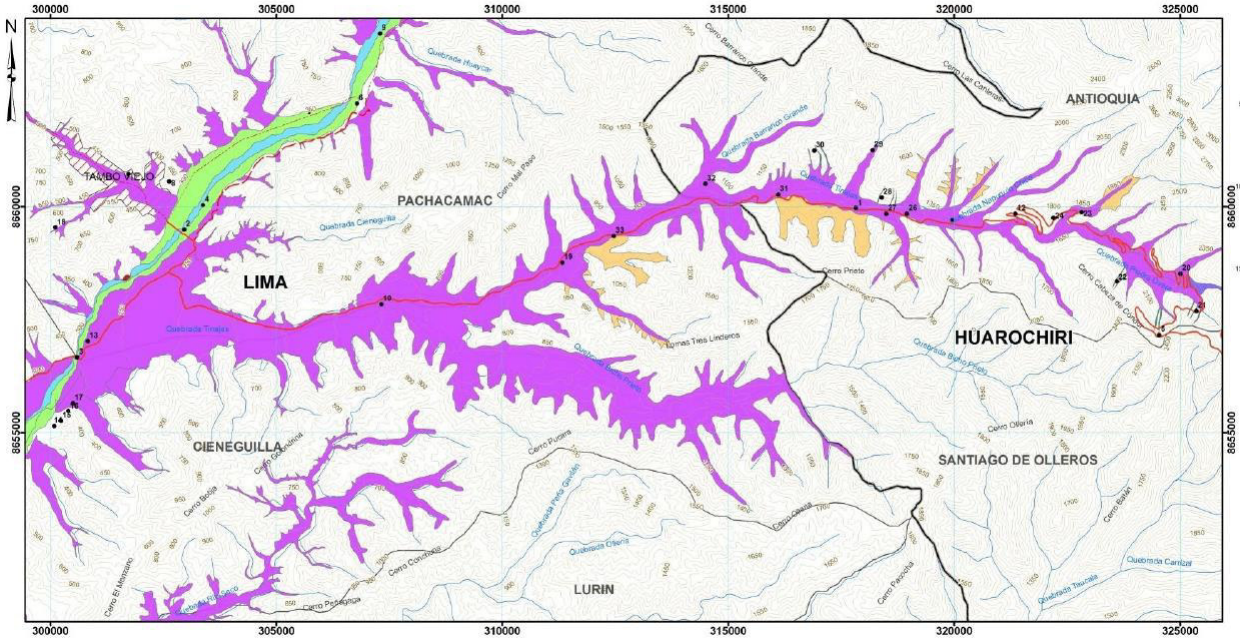


Figura 12. Mapa de peligros geológicos en la quebrada Tinajas. Tomado de Luque (2012).

- **“Peligros geológicos en el área de Lima Metropolitana y la Región Callao” (Villacorta *et al*., 2015)**. Este estudio muestra que en Lima Metropolitana y el Callao se identificaron un total de 848 peligros geológicos y un total de 107 zonas críticas (figura 13). Dentro de los movimientos en masa identificados, se tienen: caídas de rocas y derrumbes con un 47% del total, flujos (flujos de detritos y lodo) que corresponden al 36%. El 11 % corresponde a inundaciones y erosión fluvial y el 6% restante involucra procesos de arenamientos, hundimientos y licuefacción de suelos.

Las zonas críticas son consideradas como sectores que podrían ser afectados por peligros geológicos y en los cuales se requieren realizar estudios a detalle. El desarrollar investigaciones en estos sectores identificados permitirá el diseño y ejecución de obras de prevención. Según este estudio, en el distrito de Cieneguilla, la quebrada Huaycán es considerada una zona crítica, debido a que la quebrada se puede reactivar ante lluvias excepcionales. Las viviendas y la población que se encuentran en el cauce o los alrededores de esta quebrada son vulnerables a sufrir daños. Finalmente, recomiendan no edificar viviendas en el cauce de la quebrada y realizar trabajos de geotecnia para la construcción de obras de prevención en dicho sector.

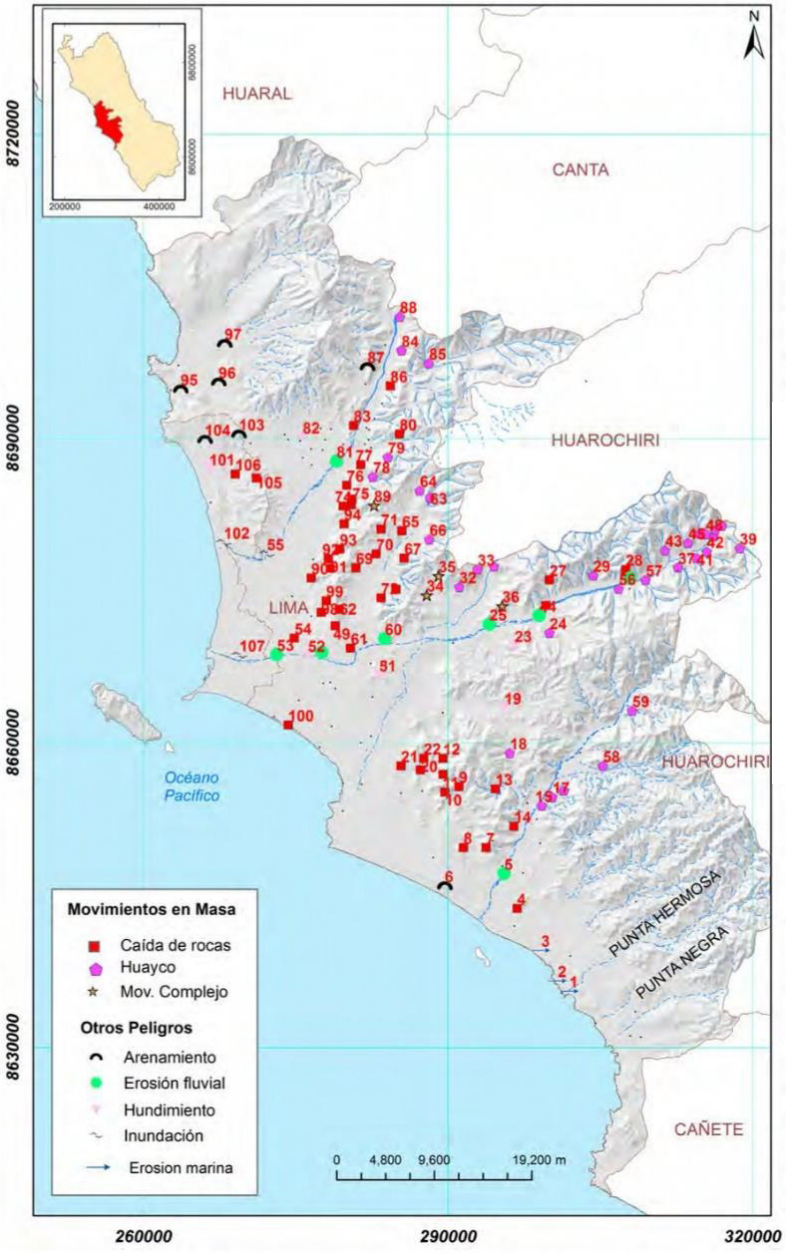


Figura 13. Mapa de zonas críticas identificadas en Lima Metropolitana. El inventario cuenta con un total de 107 zonas críticas por peligros geológicos. Fuente: Villacorta *et al.* (2015).

- **“Peligro Geológico en la región Lima” (Luque *et al*., 2020)**. Este trabajo de investigación muestra que en la región Lima se identificaron 4329 peligros geológicos de acuerdo a su origen, clasificados en: movimientos en masa (75.6 %), peligros geohidrológicos (10.3 %) y otros peligros geológicos (14.1 %). También realizó el análisis de susceptibilidad por movimientos en masa, inundaciones y erosión fluvial, así como la identificación de 278 zonas críticas.

Susceptibilidad a movimientos en masa

Luque *et al*. (2020) realizaron un análisis de la susceptibilidad por movimientos en masa en la región Lima utilizando el método heurístico (Carrara *et al*., 1995; Laín *et al*., 2011). Este método involucra la asignación de valores a cada parámetro condicionante dependiendo del criterio y conocimiento del experto. El análisis integró factores como la pendiente del terreno, la geomorfología, la litología, la cobertura vegetal, el uso del suelo y la hidrogeología, haciendo uso de un software GIS. Este procedimiento permitió zonificar la región en cinco rangos, que van desde muy baja, baja, media, alta y muy alta. Considerando el mapa de susceptibilidad por movimientos en masa elaborado a escala 1: 50 000 en la microcuenca Huaycán se presentan zonas de alta a muy alta susceptibilidad. Estas zonas presentan características propias del terreno que podrían generar flujos de detritos (huaicos), caídas de rocas y derrumbes (figura 14).

Susceptibilidad a inundación y erosiones fluviales

Considerando el mapa de susceptibilidad a inundaciones y erosiones fluviales de la región Lima, las zonas con susceptibilidad alta a la ocurrencia de estos eventos se encuentran a lo largo de los ríos Rímac, Lurín, Mala, Chancay, Canta, Pativilca, Supe, entre otros. Actualmente estos sectores se encuentran ocupados por urbanizaciones y terrenos de cultivo, las cuales podrían ser afectadas por procesos de inundación y erosión fluvial. Considerando este mapa a escala 1: 50 000, en la microcuenca Huaycán existen zonas de susceptibilidad muy baja y media a la generación de inundación y erosiones fluviales. Mientras que a lo largo del río Lurín se identificaron zonas de susceptibilidad media a alta a inundaciones y erosión fluvial. Estos procesos están directamente relacionados con llanuras de inundación que actualmente son ocupadas por la población (figura 15).

Los autores también identificaron 278 zonas críticas en toda la región de Lima, de las cuales 106 se encuentran en Lima Metropolitana y 2 en el distrito de Cieneguilla. Cabe mencionar que este estudio indica que la quebrada Huaycán (distrito de Cieneguilla) es una zona crítica por flujo de detritos (tabla 5 y figura 16) y que las quebradas secas podrían reactivarse por lluvias anómalas. También precisan que estos flujos afectarían a la población ubicada en el cauce principal de la quebrada Huaycán y recomiendan: no edificar viviendas en el cauce de las quebradas, así como elaborar trabajos de geotecnia con la finalidad de implementar medidas y obras de prevención.

Tabla 5. Zonas críticas identificadas en el distrito de Cieneguilla

Sector (Distrito)	Tipo de peligro	Coordenada Este	Coordenada Norte	Peligro geológico y comentario geodinámico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
187 Quebrada Tinajas (Cieneguilla)	Flujo de detritos	305251	8657779	Quebrada seca que se puede reactivar con la ocurrencia de lluvias de tipo excepcional, generando huaicos. Se ha identificado material suelto en el cauce.	Las viviendas ubicadas en el cauce de la quebrada son vulnerables.	Reubicar las viviendas ubicadas en el cauce de la quebrada.
223 Huaycán (Cieneguilla)	Flujo de detritos	308149	8663212	Quebrada seca que se puede reactivar ante la ocurrencia de lluvias excepcionales.	Los huaicos podrían afectar a las viviendas ubicadas en el cauce de la quebrada.	Evitar construir viviendas en el cauce de las quebradas. Realizar estudios geotécnicos de detalle con la finalidad de diseñar obras de prevención.

Fuente: Luque *et al*. (2020).

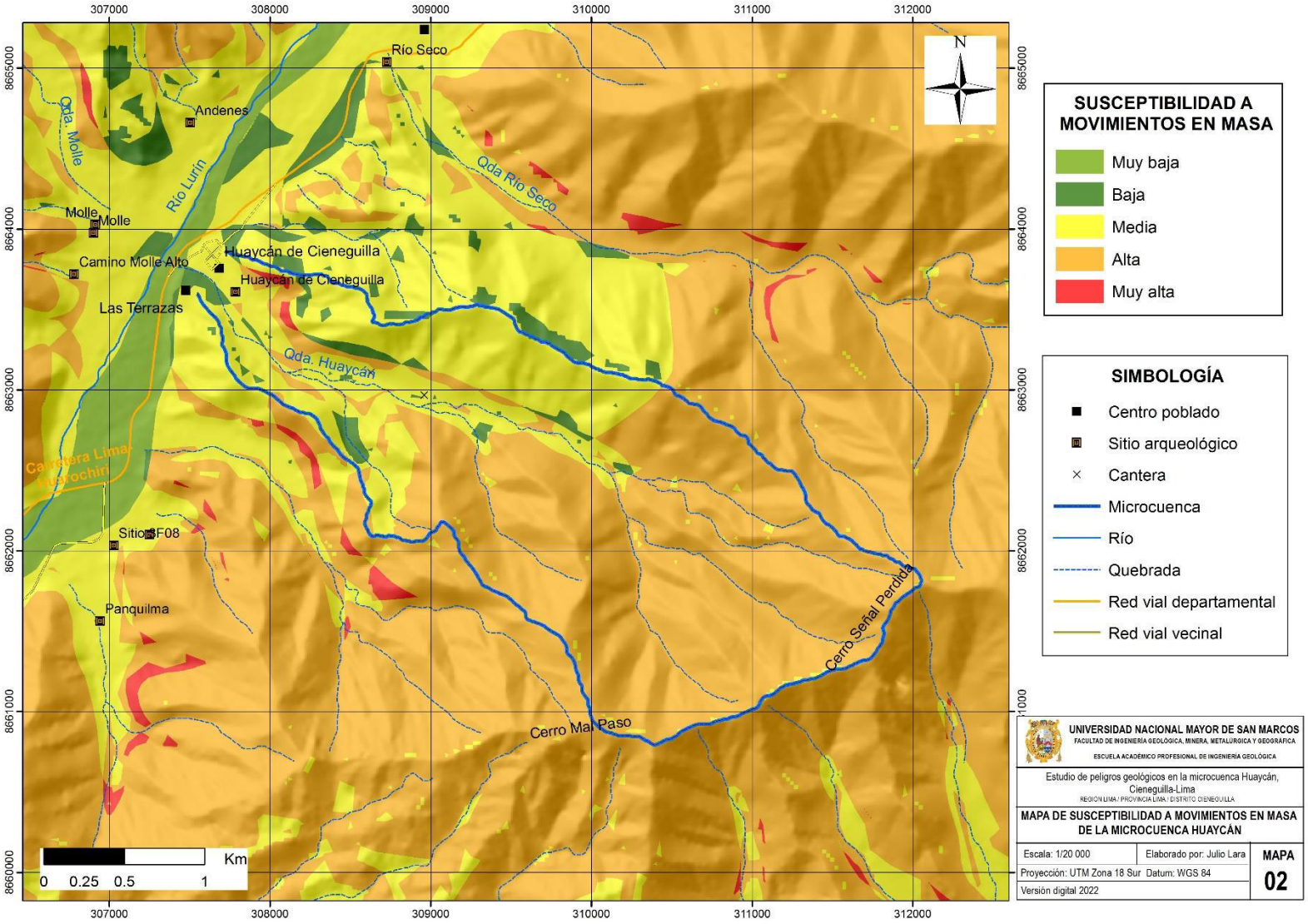


Figura 14. Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa en la microcuenca Huaycán. Fuente: Luque *et al.* (2020).

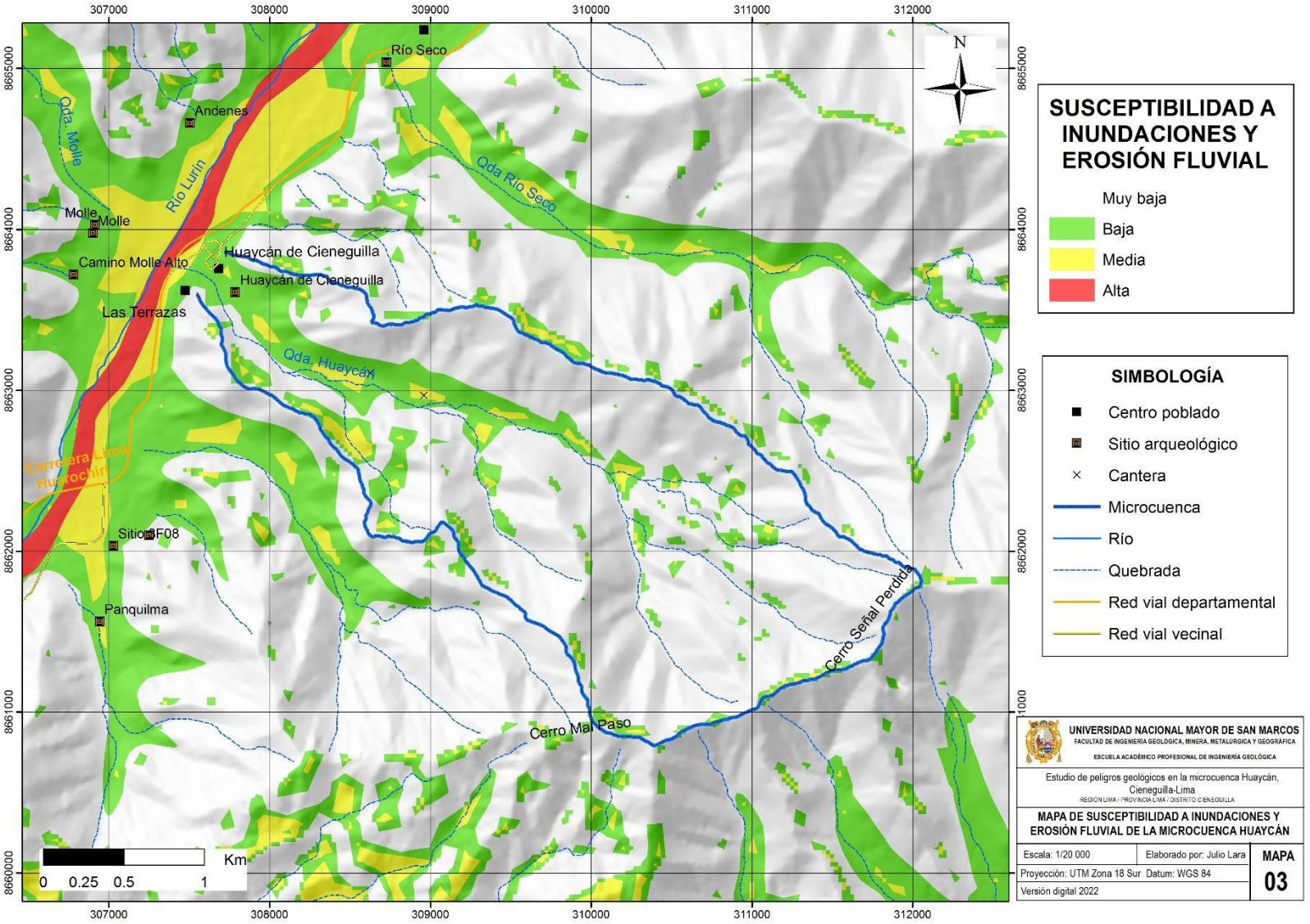


Figura 15. Mapa de susceptibilidad a inundaciones y erosión fluvial en la microcuenca Huaycán. Fuente: Luque *et al.* (2020).

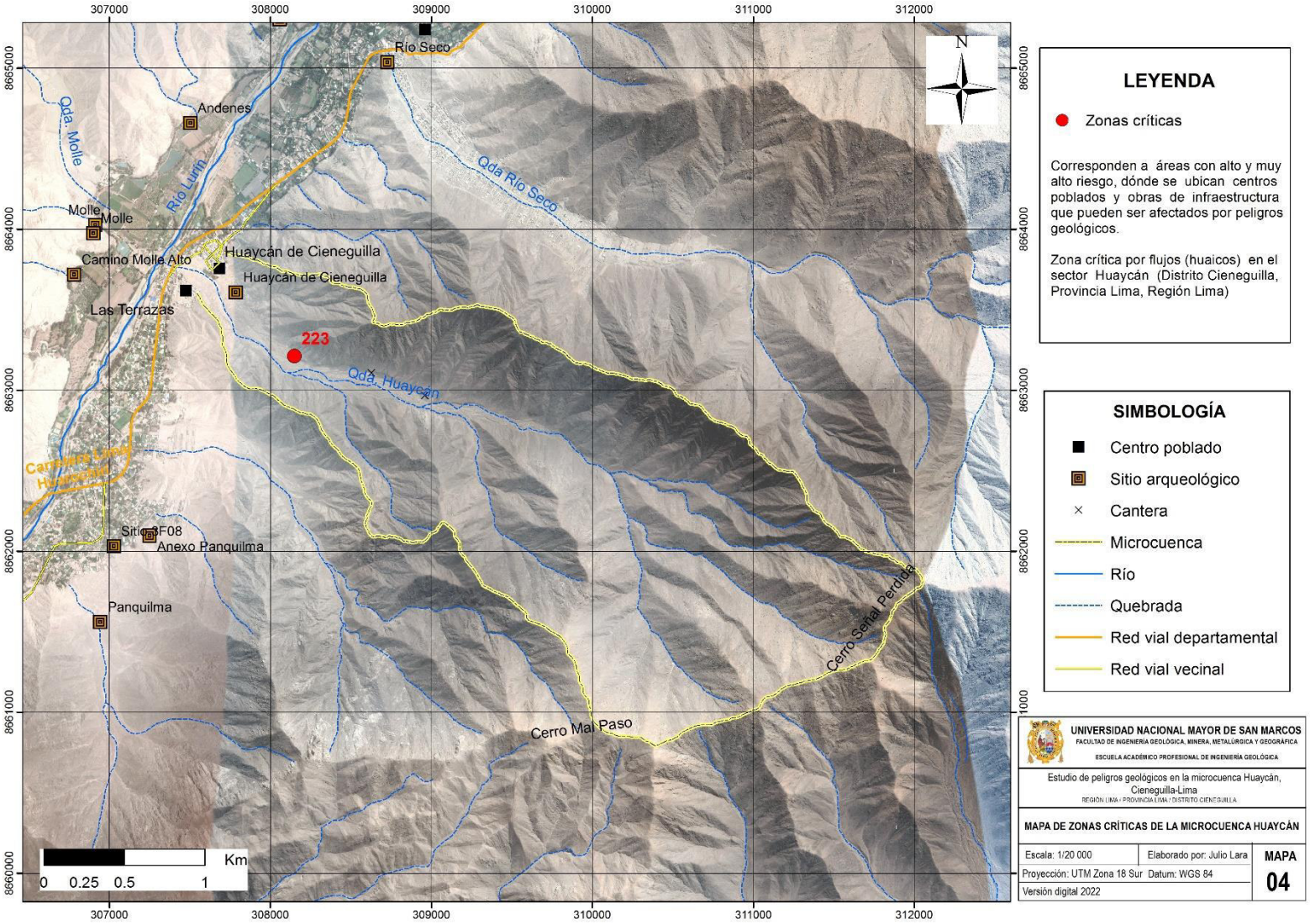


Figura 16. Mapa de zonas críticas correspondiente a la microcuenca Huaycán. Fuente: Luque *et al*. (2020).

3.2. BASES TEÓRICAS

3.2.1. Geodinámica

La geodinámica es una disciplina de la Geología que estudia aquellos movimientos que ocurren en la Tierra desde que se originó, estos movimientos originan procesos en el interior (geodinámica interna) y fuerzas externas que actúan sobre la corteza terrestre (geodinámica externa) (Medina, 1991).

De acuerdo con la NASA (1984) la geodinámica se encarga de estudiar las fuerzas y procesos activos producidos en el interior de la Tierra y los efectos que producen en la corteza terrestre. Mientras que la Teoría de la Tectónica de Placas es la teoría fundamental para los estudios de geodinámica.

La geodinámica contribuye a conocer los fenómenos que ocurren en la Tierra, este conocimiento involucra, entender el origen de estos fenómenos, analizar los agentes que intervienen en su origen, así como las condiciones que se necesitan para su desarrollo y los efectos que se pueden generar en el planeta Tierra.

La geodinámica utiliza el conocimiento de diferentes ciencias, entre ellas: geomorfología, meteorología, tectónica, entre otras, las cuales contribuyen a entender diferentes procesos cuya acción interviene y/o involucra cambios en la causa de fenómenos de geodinámica.

La Tierra desde su origen experimenta diferentes eventos dinámicos que generan su transformación y evolución, estos eventos tienen su origen gracias a fuerzas internas y externas que corresponden a los procesos geodinámicos endógenos y exógenos dominados por los agentes geodinámicos.

Los agentes geodinámicos corresponden a los elementos encargados de originar el modelamiento o procesos dinámicos en la superficie terrestre. Estos procesos obedecen a la interacción de las fuerzas endógenas y exógenas que van a generar el modelamiento de los relieves (figura 17). Los procesos exógenos de carácter destructivo, se producen a través de la meteorización de relieves preexistente en la Tierra, mientras que los procesos endógenos presentan un comportamiento constructivo que corresponden a movimientos orogénicos, epirogénicos, volcánicos y la formación de rocas (Cuevas, 2012).

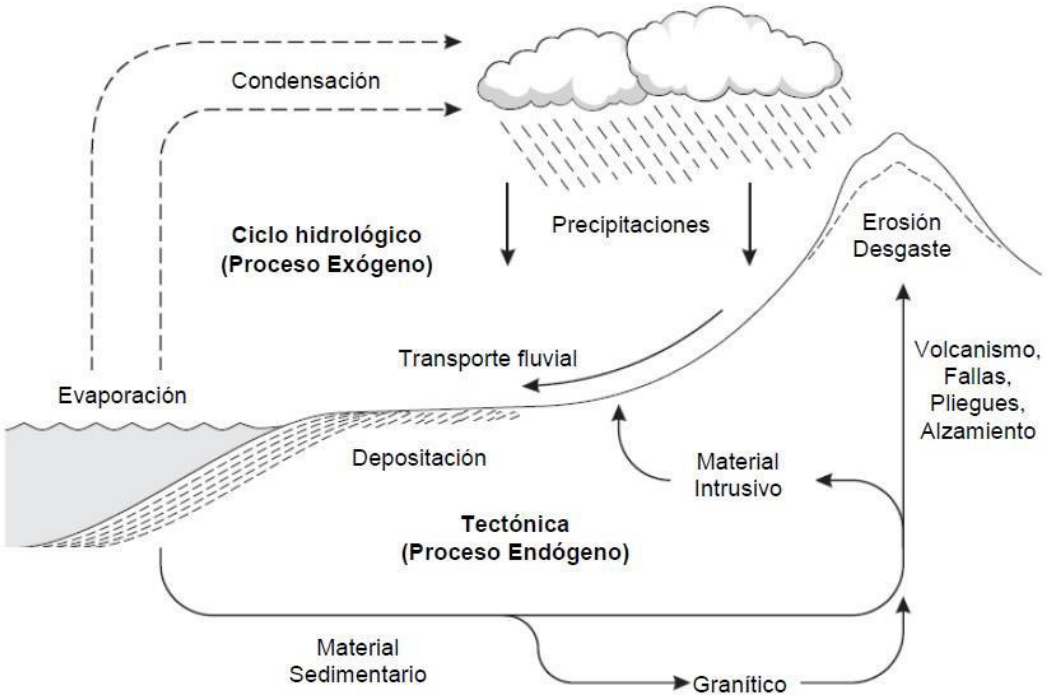


Figura 17. Procesos endógenos y exógenos que intervienen en la formación de las rocas. Fuente: Huggett (2007).

3.2.1.1. Procesos de geodinámica interna

O también denominados procesos endógenos involucran todas las manifestaciones relacionadas con la energía interna de la Tierra, que genera la ocurrencia de nuevas estructuras, fenómenos sísmicos (terremotos y tsunamis), fenómenos magmáticos (volcanes) y fenómenos tectónicos (origen de montañas y depresiones topográficas) (Medina, 1991).

Las fuerzas internas de la Tierra se caracterizan por presentar un carácter sistemático. Estas fuerzas están vinculadas principalmente a movimientos epirogenéticos (ascenso y descenso) y orogenéticos (horizontales y verticales) en la corteza terrestre (Duque, 2003).

Actividad sísmica

La actividad sísmica del Perú está principalmente asociada al proceso de subducción y a los reajustes producidos en la corteza terrestre (Bernal & Tavera, 2002).

La sismicidad producida por el proceso de subducción de la placa de Nazca por debajo de la placa Sudamericana a una razón de 8-10 cm/año (Jarrard, 1986) hasta profundidades de 200 km en la zona central del Perú (Barazangi e Isacks, 1976) es la causante de la liberación de

aproximadamente el 90% de energía sísmica anual, por ende, los sismos asociados a este proceso de subducción corresponden a los sismos más frecuentes y de mayores magnitudes (Antayhua *et al*., 2002).

Mientras que la sismicidad generada en las deformaciones como parte de la reactivación de fallas tectónicas activas o neotectónicas que existen en el Perú es de menor frecuencia y de magnitud moderada, a comparación de los sismos de subducción.

Cabe mencionar, que la actividad sísmica del Perú, considerando la distribución del foco en la superficie y profundidad, corresponde a sismos superficiales ($h<60$ km), intermedios ($60<h\leq350$ km) y profundos ($h>350$ km) (Tavera & Buforn, 1998).

Los sismos se originan de diversas fuentes, pero se agrupan en tres grandes grupos: sismos interplaca, intraplaca y corticales, figura 18 (IGP, 2020).

Los sismos interplaca o de interfase presentan foco superficial originado en la convergencia y fricción de las placas de Nazca y Sudamericana, por ejemplo, se tiene el sismo de 1746 en Lima de M8.8.

Los sismos intraplaca están asociados a la deformación interna de la placa de Nazca, como parte del proceso de subducción, ejemplo de este tipo de sismos se tiene el ocurrido en Loreto el 2019 de M8.0.

Los sismos corticales son originados por la formación y/o reactivación de fallas geológicas, por ejemplo, la reactivación del sistema de fallas de Moyobamba generó los sismos de 1990 y 1991 en San Martín de M6.0-6.5.

Las vibraciones generadas por los sismos ocasionan variaciones en los esfuerzos naturales presentes en las laderas, lo que podrían originar diferentes movimientos en masa, como: caídas, deslizamientos, avalanchas, entre otros. Estos procesos dependerán de material que conforma la ladera, la intensidad del sismo y la longitud hacia el epicentro (Suárez, 1998).

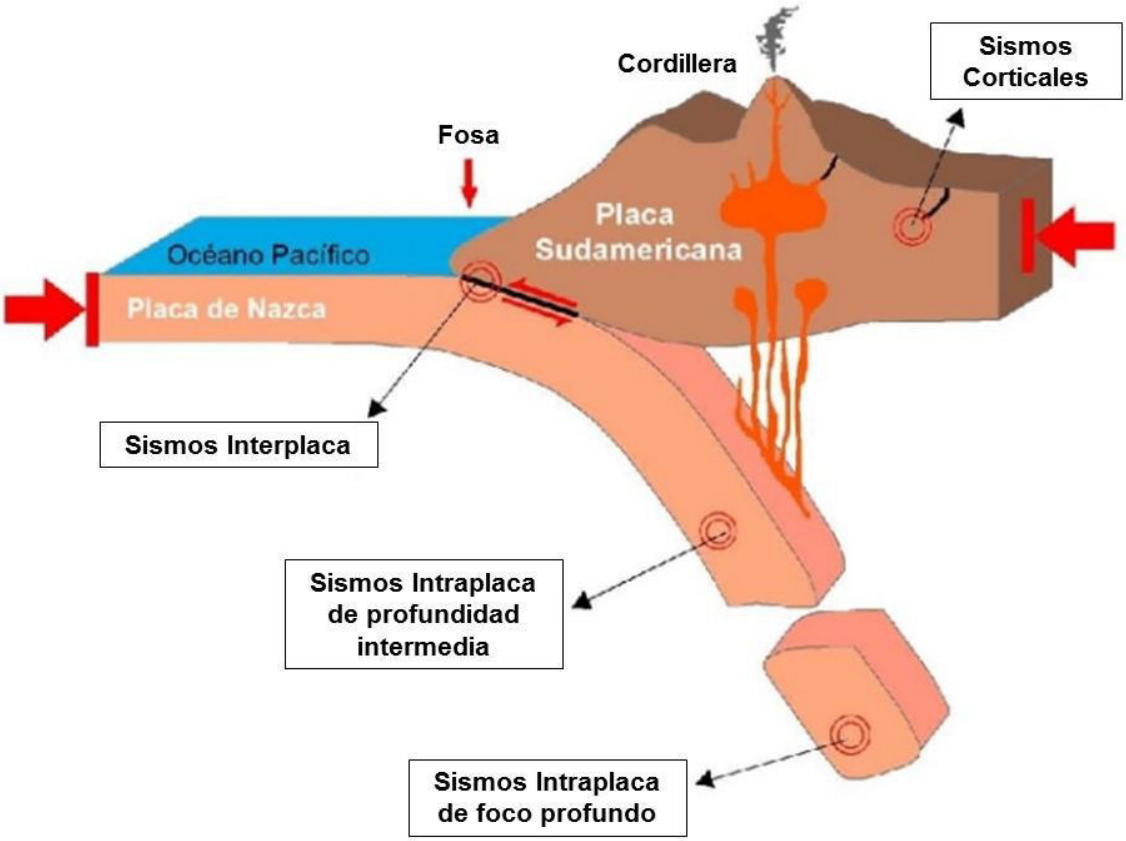


Figura 18. Tipos de sismos originados por el proceso de subducción entre las placas de Nazca y Sudamericana. Fuente: IGP (2020).

Fenómenos magmáticos

De acuerdo con Iriondo (2009) en el planeta Tierra las rocas que conforman la litosfera muchas veces pasan por un proceso de fundición, dando origen al magma. El magma corresponde a una mezcla de silicatos fundidos y sustancias volátiles (esencialmente agua) que se encuentran entre 600 a 1400 °C.

El magma se encuentra en el interior de la corteza a manera de formas lenticulares y que pueden llegar a tener volúmenes de muchos kilómetros cúbicos. Cuando pasa por un proceso de enfriamiento se forman las rocas plutónicas; cuando el magma se moviliza hacia zonas de menor presión, se forman las rocas filonianas; mientras que, si el magma asciende hasta la superficie, se pueden llegar a formar las rocas volcánicas, a manera de lava en la superficie terrestre. Estos tres tipos de rocas conforman las calificadas como rocas ígneas o magmáticas.

De acuerdo con Núñez (2017) el origen de los magmas está asociado a la dinámica de los bordes de placas (figura 19), por ejemplo, en las

dorsales se originan magmas basálticos, en las zonas de subducción se generan magmas calcoalcalinos y en las zonas de intraplaca se presentan magmas basálticos alcalinos.

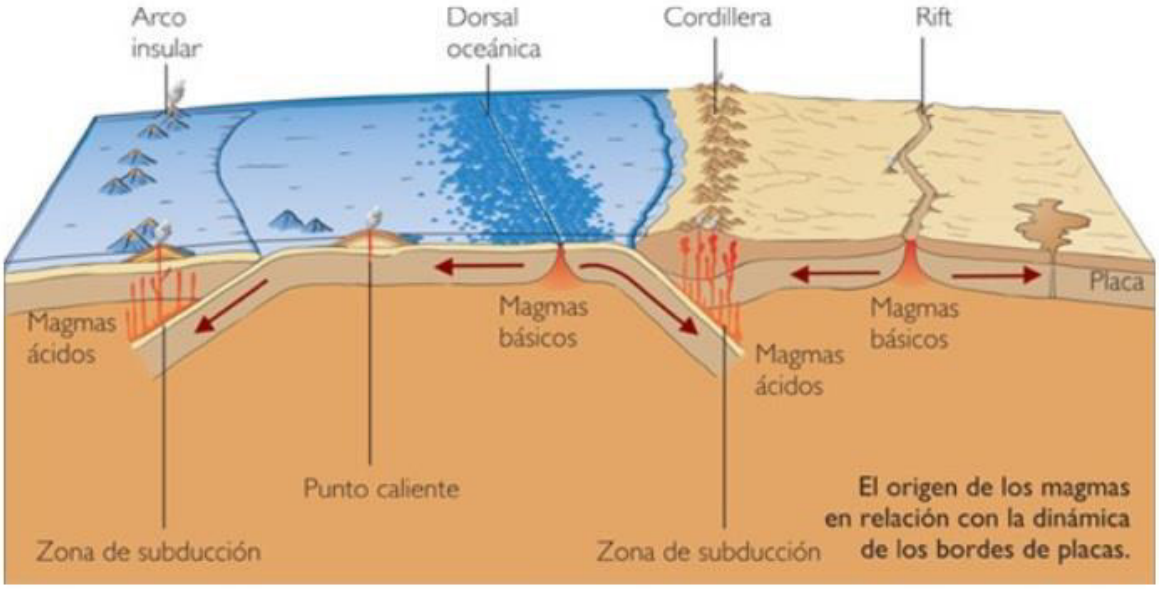


Figura 19. Origen de los magmas asociado con la dinámica de los bordes de placas. Fuente: Núñez (2017).

Fenómenos tectónicos

De acuerdo con López *et al*. (2017) la tectónica se encarga del estudio de las deformaciones mecánicas posteriores a la formación de las rocas y al desarrollo estructural de la corteza terrestre.

Las fuerzas encargadas de estas deformaciones son tangenciales a la superficie terrestre, y son de tres tipos: compresionales, tensionales y de cizalla. Estas fuerzas dan origen a los pliegues en rocas dúctiles y a las fallas en rocas frágiles.

Cabe mencionar, que la mayor deformación de la corteza terrestre se produce en los márgenes de las placas tectónicas. Debido a que el movimiento de las placas y las interacciones en sus límites producen fuerzas tectónicas que ocasionan deformaciones en las rocas, figura 20 (Tarbuck *et al*., 2005).

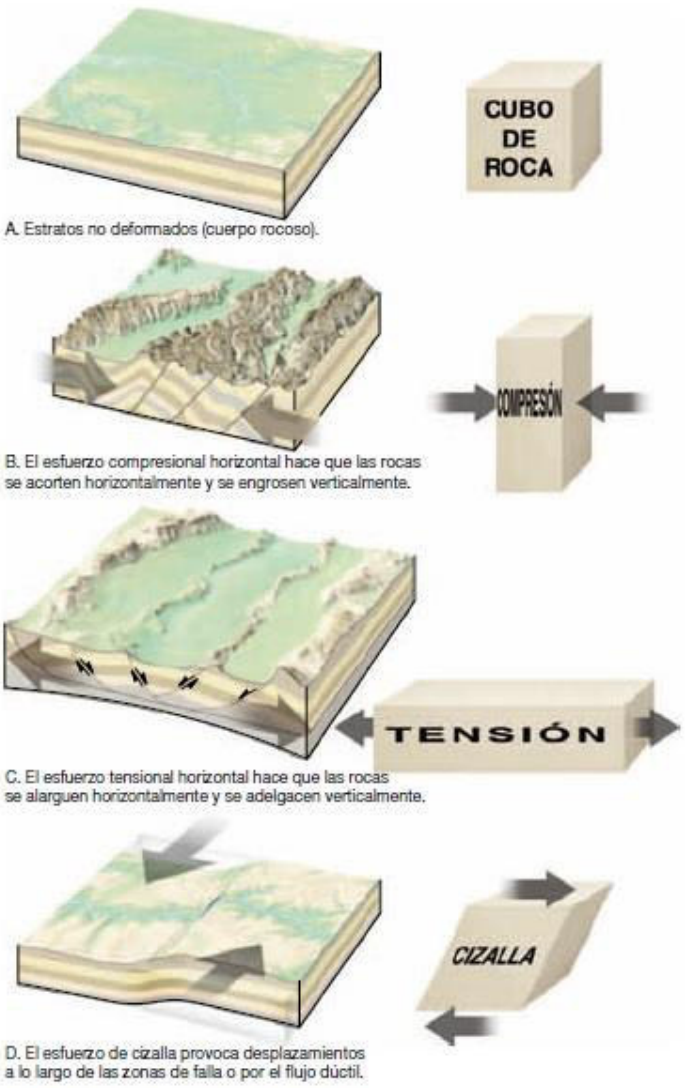


Figura 20. Deformaciones de la corteza terrestre producidas por las fuerzas tectónicas y los esfuerzos vinculados con el movimiento de las placas tectónicas. Fuente: Tarbuck *et al*. (2005).

La tectónica activa y reciente es considerada el primordial proceso que origina el levantamiento de las rocas y esto se evidencia en el paisaje actual (Pérez-Peña *et al*., 2010), lo que resulta en topografías producidas por la interrelación entre los procesos tectónicos y erosivos (Bishop, 2007).

3.2.1.2. Procesos de geodinámica externa

Los procesos de geodinámica externa (exógenos) involucran los fenómenos que actúan en la evolución del modelado de la superficie terrestre, a través de la interacción de los agentes geodinámicos. Estos fenómenos se originan y desarrollan debido a diferentes mecanismos que dependen del agente geodinámico principal y de los factores

geodinámicos. De acuerdo con Medina (1991) estos procesos se agrupan en movimientos en masa y flujos hídricos.

Cabe mencionar que los fenómenos de geodinámica externa se caracterizan por su acción erosiva sobre los relieves preexistentes que se formaron por los procesos geodinámicos endógenos. La acción de los procesos externos corresponde a ciclos de erosión y sedimentación, que modelan y originan nuevas rocas, respectivamente (figura 21).

Agentes geodinámicos

Considerando lo propuesto por Medina (1991) existen diferentes agentes de geodinámica:

El agua: Se caracteriza por su trabajo erosivo y modelador sobre el terreno. Influye directamente en los procesos erosivos y de sedimentación, por ejemplo: meteorización del suelo y/o roca, el transporte del material erosionado y la depositación de dichos materiales.

El sol: Es un agente que también influye en los procesos de la superficie terrestre, así como en la generación de variaciones de la temperatura y actuando sobre el comportamiento del agua y viento.

La gravedad: Es un agente propio de la dinámica de la Tierra que está de manera activa en todos los fenómenos que ocurren en la superficie terrestre. Presenta mayor influencia en el origen de los movimientos en masa.

El viento: Se caracteriza por su acción de transporte y erosión. La acción eólica de los vientos se origina en climas extremadamente secos, como los desiertos y zonas tropicales.

Los organismos vivos: La acción de este agente sobre la superficie terrestre pasa desapercibida, pero se debe considerar la influencia que tienen tanto los seres unicelulares como el hombre en el modelado terrestre.

Procesos geodinámicos externos

Meteorización

De acuerdo con Hardy (1970) la meteorización corresponde a la desintegración y descomposición de las rocas coherentes e incoherentes en productos solubles e insolubles que pueden llegar a combinarse. Para ello, deben ocurrir procesos físicos, químicos y biológicos.

La meteorización es un proceso inamovible o generado “in situ”, cuyo estudio involucra aspectos geomorfológicos y pedológicos (Villota, 2005). El producto final de los procesos de meteorización son los regolitos (geomorfología) y suelos (pedología).

Erosión

Considerando lo propuesto por Villota (2005) la erosión corresponde a las diferentes formas de como ciertos agentes geodinámicos externos como el agua, viento y glaciares arrancan y transportan materiales generados durante la meteorización y sedimentación, generando la pérdida de materiales del terreno. Los procesos de erosión pueden darse de manera natural como erosión geológica o de manera anómala como erosión antrópica.

Transporte

La meteorización es el inicio del ciclo erosivo, en este proceso se produce la desintegración mecánica y/o alteración química de las rocas “in situ”, luego se produce la erosión que consiste en la extracción de los materiales, para que sean transportados, por lo general, hacia zonas de menor altura.

Durante el proceso de transporte, los materiales liberados por la meteorización, sufren etapas de fragmentación y desgastamiento para luego ser depositados en zonas de depresión, denominadas como cuencas sedimentarias (López *et al*., 2017).

Sedimentación

La sedimentación se produce por la combinación de diferentes procesos físicos, biológicos y químicos que intervienen a diferentes escalas y su relevancia dependerá del medio sedimentario en el que se produce (Arche, 2010).

Un medio sedimentario corresponde a aquella porción de la superficie terrestre en la cual se depositan los sedimentos y que se distingue de otras zonas por sus características físicas, químicas y biológicas (Selley, 1970).

Los procesos físicos más importantes corresponden a la erosión, transporte y sedimentación de los sedimentos. Mientras que los procesos biológicos se producen por procesos fisiológicos de los seres vivos que existen en los distintos medios.

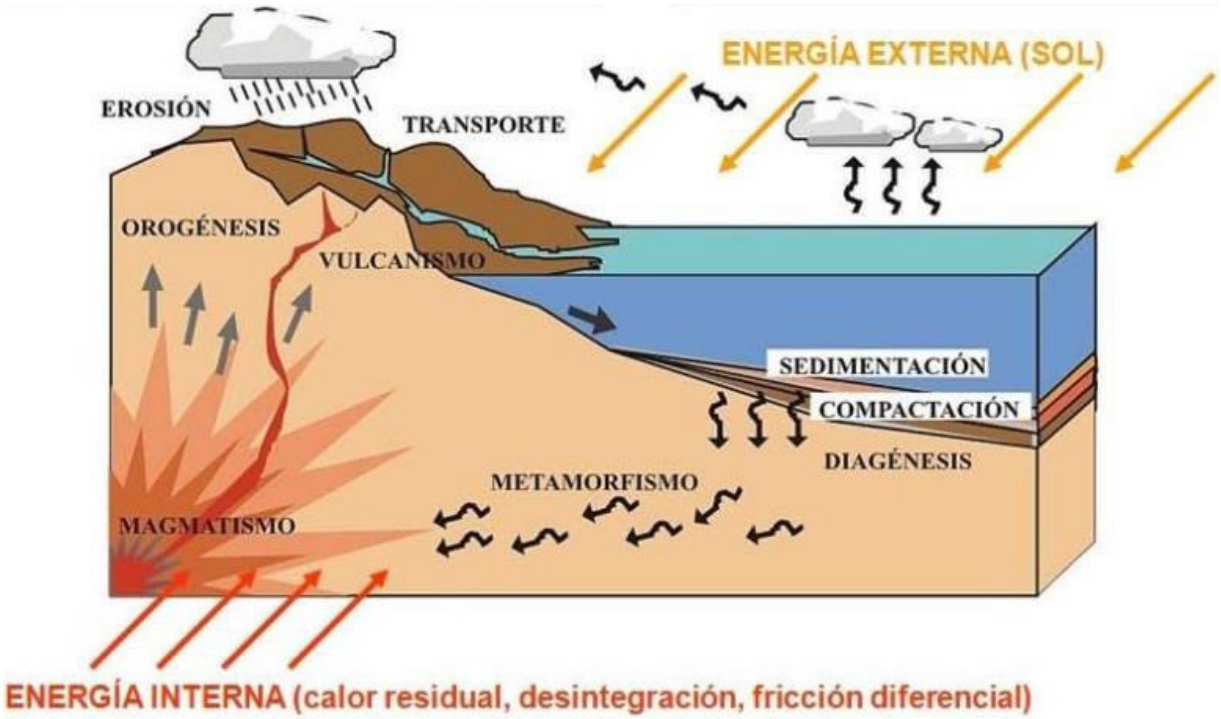


Figura 21. Procesos de erosión, transporte y sedimentación que corresponden a la geodinámica externa. Fuente: Núñez (2017).

3.2.2. Peligros geológicos

"Los peligros geológicos son procesos o fenómenos geológicos que podrían generar muerte, lesiones u otros impactos negativos a la salud de las personas; así como daños a las propiedades, pérdidas de servicios, transtornos sociales y/o económicos, daños materiales, entre otros" (EIRD, 2009).

Mientras que para las Naciones Unidas un peligro natural es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural potencialmente dañino en un periodo determinado y en una zona dada (Naciones Unidas, 1984).

Los peligros geológicos pueden tener su origen en el interior de la Tierra (procesos endógenos) o en la superficie terrestre (procesos exógenos). Los procesos endógenos originan los terremotos, tsunamis y la actividad volcánica. Mientras que los procesos exógenos dan origen a movimientos en masa, peligros geohidrológicos y otros peligros (tablas 6 y 7).

Tabla 6. Clasificación de los peligros según su origen

Peligros Naturales	Peligros geológicos	Movimientos en masa	• Caída de rocas y derrumbes • Vuelcos • Deslizamientos • Desplazamientos laterales • Flujos • Movimientos complejos • Reptación de suelos
		Otros peligros geológicos	• Arenamiento • Hundimiento • Erosión de laderas • Erosión de riberas
		Volcánicos	• Caídas de cenizas (tefras) • Flujos piroclásticos • Flujos de lavas • Lahares • Avalancha de escombros • Domos • Gases volcánicos
		Sísmicos	• Sismos y tsunamis • Licuefacción • Fallamientos
	Hidrometeorológicos	Inundaciones: fluvial, costera, lagunar (geohidrológicos)	
		Desertificación, sequía, salinización	
		Heladas, granizadas	
		Huracanes, tormentas eléctricas, rayos, tornados	
	Biológicos	Epidemias	
Peligros antrópicos	Peligros físicos		
	Peligros químicos		
	Peligros tecnológicos		
	Degradación ambiental		

Fuente: Modificado de Cenepred (2019) y Cenepred (2014).

Tabla 7. Clasificación de los peligros geológicos

Movimientos en masa	Caída	• Alud • Caída de rocas • Derrumbes
	Vuelco	• Vuelco de bloque • Vuelco de estrato
	Deslizamiento	• Deslizamiento traslacional • Deslizamiento rotacional
	Propagación lateral	• Propagación lateral
	Flujo	• Aluvión • Avalancha de detritos • Avalancha de rocas • Flujo de detritos • Flujo de lodo • Flujo de roca • Flujo de tierra • Inundación de detritos
	Movimiento complejo	• Alud - aluvión • Caída de rocas - flujo • Derrumbe - deslizamiento • Derrumbe - flujo • Deslizamiento - caída de rocas • Deslizamiento - derrumbe • Deslizamiento - flujo • Deslizamiento - reptación
	Reptación de suelos	• Reptación de suelos
Otros peligros geológicos	Arenamiento	• Arenamiento
	Erosión de ladera	• Erosión en cárcava • Erosión en surco • Erosión laminar • Erosión en *band lands*
	Erosión marina	• Erosión marina
	Inundación marina	• Inundación marina
	Hundimiento	• Hundimiento
Geohidrológicos	Erosión fluvial	• Erosión fluvial
	Inundación fluvial	• Inundación fluvial
	Inundación lagunar	• Inundación lagunar
	Inundación pluvial	• Inundación pluvial

Fuente: Ingemmet (2022).

3.2.3. Movimientos en masa

El término movimientos en masa involucra aquellos movimientos ladera abajo de una masa de rocas, detritos o de tierras por acción de la gravedad (Cruden, 1991). Dentro de estos movimientos en masa se pueden tener procesos como reptación de suelos que corresponden a movimientos lentos hasta inapreciables, como también deslizamientos que pueden llegar a tener velocidades mayores (Crozier, 1999; Glade & Crozier, 2005).

En la actualidad, existen diferentes clasificaciones de los movimientos en masa, pero son las de Varnes (1958, 1978) y Hutchinson (1968, 1988), las clasificaciones más utilizadas.

La clasificación de Varnes (1978) se basa en el tipo de movimiento y material, clasificando los procesos en seis tipos: deslizamiento, caída, vuelco, flujo, extensión lateral y complejos (tabla 8). Asimismo, clasifica los materiales en rocas y suelos (detritos y tierra).

Tabla 8. Clasificación de movimientos en masa según Varnes (1978)

<table>
<tr><th colspan="2">Tipo de movimiento</th><th colspan="3">Tipo de material</th></tr>
<tr><td colspan="2">Caída</td><td rowspan="6">Roca</td><td colspan="2" rowspan="2">Suelo</td></tr>
<tr><td colspan="2">Vuelco</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Deslizamiento</td><td>Rotacional</td><td rowspan="2">Grano grueso (detritos <80%, partículas <2mm)</td><td rowspan="2">Grano fino (lodo >80%, partículas <2mm)</td></tr>
<tr><td>Traslacional</td></tr>
<tr><td colspan="2">Extensión lateral</td></tr>
<tr><td colspan="2">Flujo</td></tr>
<tr><td colspan="2">Complejos</td></tr>
</table>

Cruden & Varnes (1996) sugirieron algunos cambios a la clasificación de Varnes (1978) como la asignación de términos específicos a cada fase del movimiento, que resultaron muy complejos y que para la fácil comunicación resulta algo complicado, es por ello que Hungr *et al.* (2001) presentan una clasificación más simple para los movimientos en masa, sobre todo para los de tipo flujo.

Finalmente, es importante mencionar que en la práctica y en la realidad, resulta muchas veces complicado asignar una sola clasificación al evento identificado, esto se debe a que en su mayoría estos eventos son bastantes complejos y pueden presentar diversos comportamientos en todo su recorrido.

Tipos de movimientos en masa

Según el PMA: GCA (2007) los movimientos en masa se clasifican en: caída, vuelco, deslizamiento, flujo, propagación lateral, reptación y deformación gravitacional (tabla 9).

Tabla 9. Tipos y subtipos de movimientos en masa

Tipo	Subtipo
Caída	Caída de roca (detritos o suelo)
Volcamiento	Volcamiento de roca (bloque) Volcamiento flexural de roca o del macizo rocoso
Deslizamiento	Deslizamiento traslacional, deslizamiento en cuña Deslizamiento rotacional
Propagación lateral	Propagación lateral lenta Propagación lateral por licuación (rápida)
Flujo	Flujo de detritos Crecida de detritos Flujo de lodo Flujo de tierra Flujo de turba Avalancha de detritos Avalancha de rocas Deslizamiento por flujo o deslizamiento por licuación (de arena, limo, detritos, roca fracturada)
Reptación	Reptación de suelos Solifluxión, gelifluxión
Deformaciones gravitacionales profundas	

Fuente: PMA: GCA (2007).

Los tipos de movimientos en masa se caracterizan por el rango de velocidades que presentan, estas velocidades están vinculadas con la intensidad y la amenaza que puedan representar. Los rangos de velocidades (tabla 10) fueron planteados por Cruden & Varnes (1996).

Tabla 10. Escala de velocidades

Clases de velocidad	Descripción	Velocidad (mm/s)	Velocidad típica
7	Extremadamente rápido		
		5×10^{3}	5 m/s
6	Muy rápido		
		5×10^{1}	3 m/min
5	Rápido		
		5×10^{-1}	1,8 m/h
4	Moderada		
		5×10^{-3}	13 m/mes
3	Lenta		
		5×10^{-5}	1,6 m/año
2	Muy lenta		
		5×10^{-7}	16 mm/año
1	Extremadamente lenta		

Fuente: Cruden & Varnes (1996).

Los movimientos en masa pueden presentar diferentes velocidades, figura 22 (Cruden & Varnes, 1996), por ejemplo, los procesos de tipo caída presentan una

velocidad muy rápida a extremadamente rápida, mientras que los flujos alcanzan una velocidad de extremadamente lenta a extremadamente rápida (Hungr *et al*., 2014).

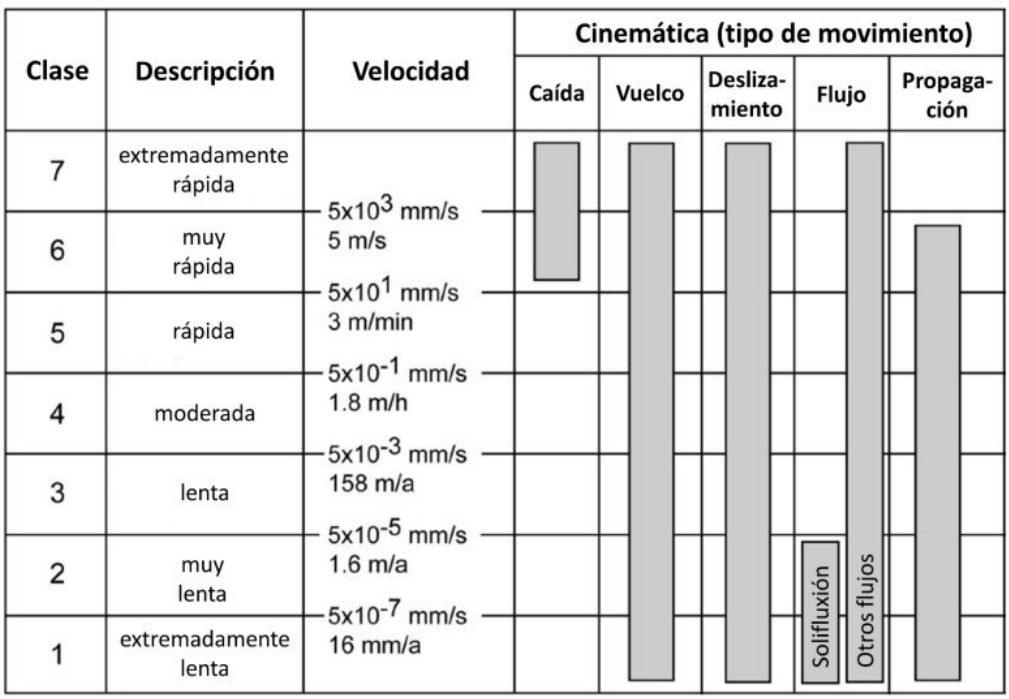


Figura 22. Rangos de velocidad para los movimientos en masa de acuerdo con Cruden & Varnes (1996). Fuente: Zangerl *et al*. (2008).

En la actualidad existen diferentes modelos gráficos sobre la clasificación de los movimientos en masa, como el diseñado por el United States Geological Survey (USGS) en el 2004 y el British Geological Survey (BSG) en el 2018.

La clasificación de los movimientos en masa propuesta por el USGS (2004) (figura 23) se realizó en base a las clasificaciones de Varnes (1978) y Hutchinson (1988).

Mientras que la clasificación propuesta por el BSG (2018) (figura 24) considera el tipo de material implicado y el tipo de movimiento (Varnes, 1978).

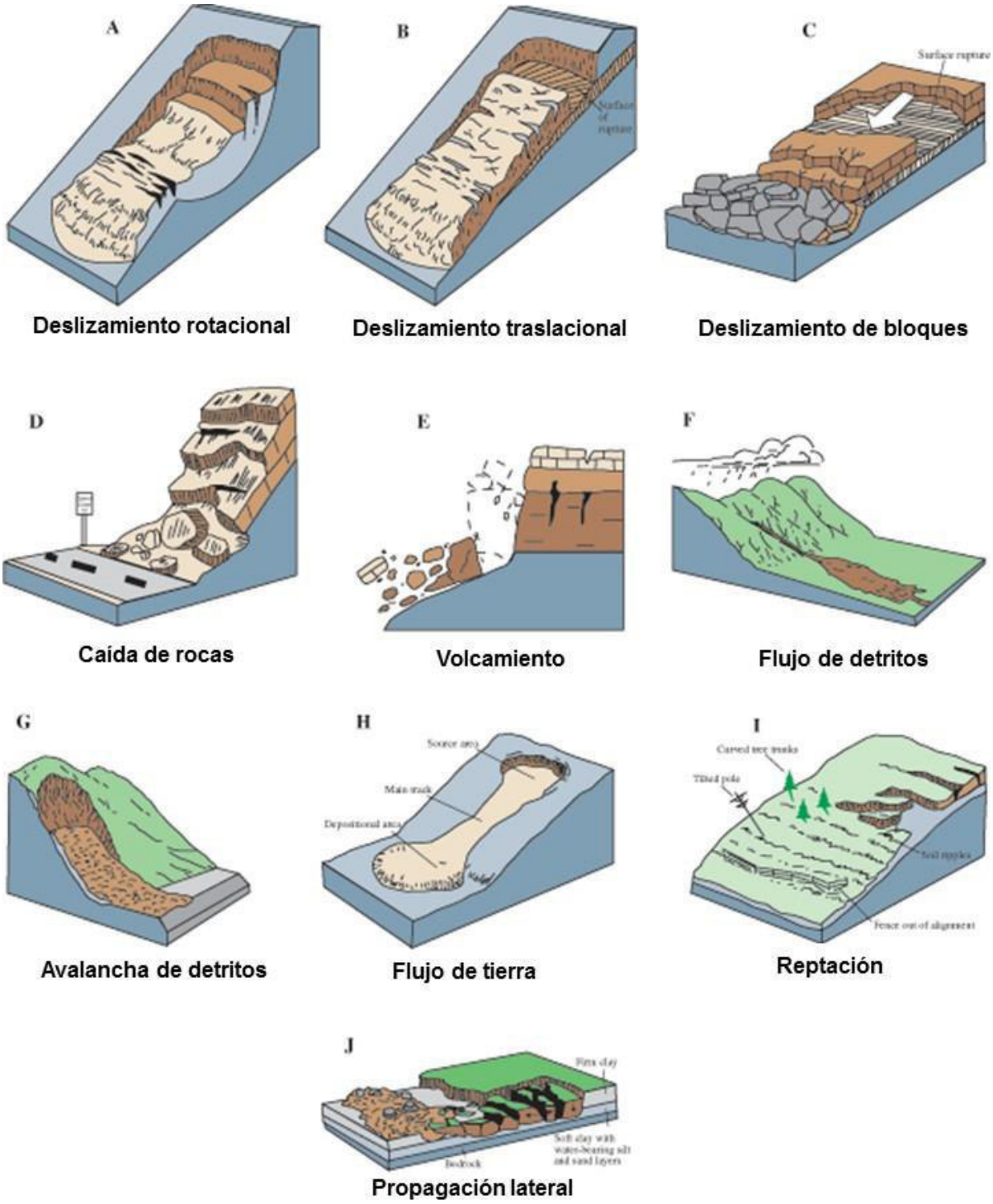


Figura 23. Principales tipos de movimientos en masa. Fuente: USGS (2004).

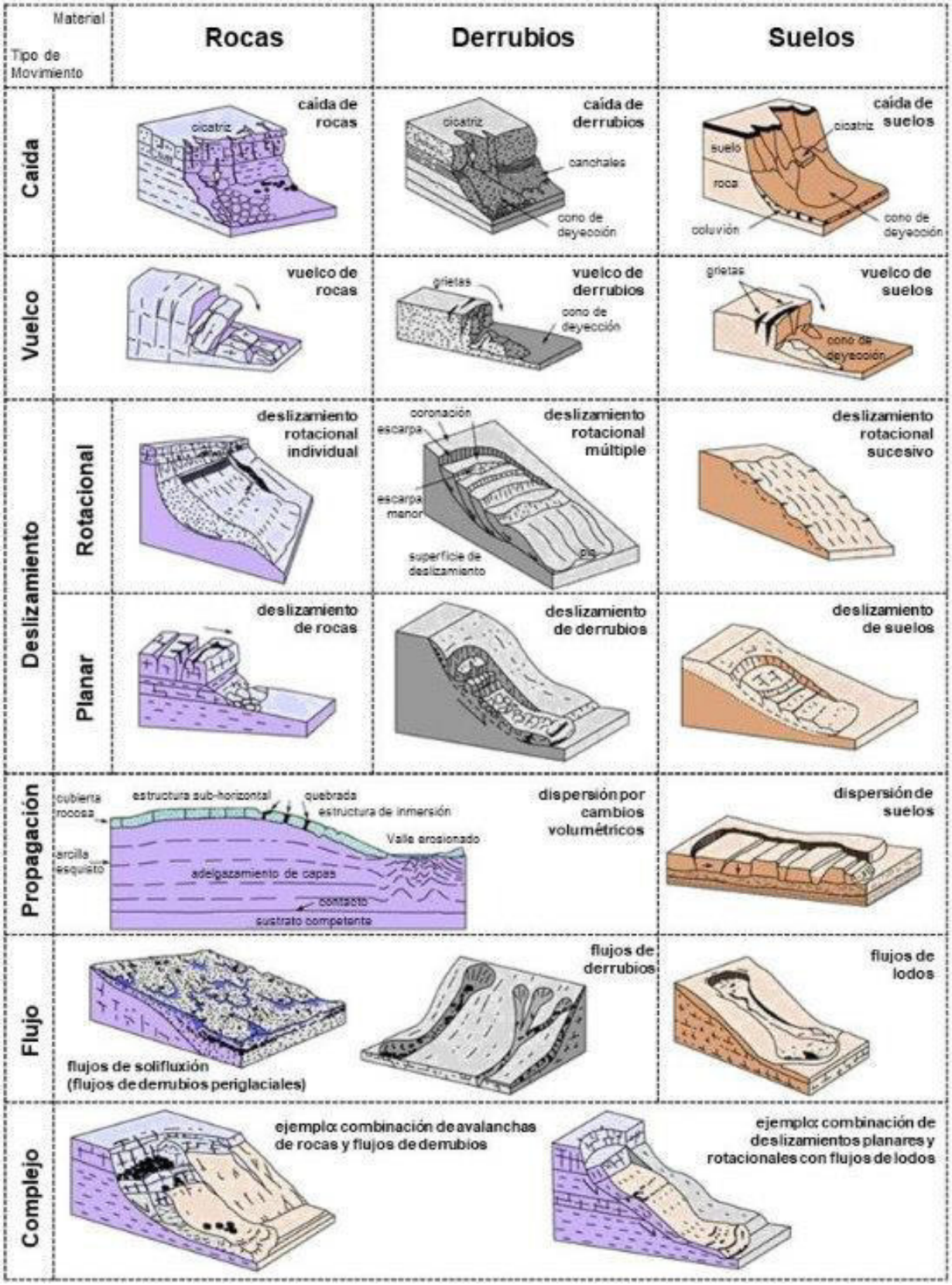


Figura 24. Clasificación de movimientos en masa. Fuente: BGS (2018).

3.2.4. Flujo

"Los flujos son movimientos en masa cuyo desplazamiento muestra un comportamiento similar al de un fluido, el cual puede ser rápido o lento, así como saturado o seco. Por lo general, se originan a partir de otros movimientos en masa, como deslizamientos o caídas" (Varnes, 1978).

Los flujos contienen cierta concentración de partículas y agua, comportándose desde un punto de vista mecánico como un fluido no newtoniano (relación stress-strain no lineal) y desde un criterio reológico como un fluido plástico viscoso.

Estos eventos pueden transportar material fino o lodo (>80% partículas menores a 2 mm) y material detrítico (20% - 80% partículas mayores a 2 mm), siendo la concentración fina la encargada de controlar el comportamiento del flujo (proporción crítica de 10%). Si el flujo presenta un valor menor a esta proporción, se habla de un flujo granular, mientras que, si el material fino es mayor a la proporción crítica, el flujo es viscoso (Celis, 2018).

De acuerdo con Costa & Schuster (1988) y la concentración de material sólido, si ésta corresponde a menos del 20%, el flujo es denominado como crecida de agua o inundación. Mientras que Sepúlveda (1998) indica que si el porcentaje está entre 20% a 50% se denomina flujo hiperconcentrado o inundación de detritos, y cuando la concentración es mayor a 50% se originan los flujos de detritos.

Clasificación de los flujos

Hungr *et al*. (2001) clasifican los flujos considerando el tipo y características del material involucrado, la velocidad, la humedad y otras propiedades detalladas en la tabla 11.

Estudios realizados por Varnes (1978), Hungr *et al*. (2001) y Hungr (2005) sirvieron como base para clasificar a los flujos en: flujos secos, flujos de detritos, inundaciones de detritos, flujos de lodo, flujos de tierra, avalanchas de rocas y avalanchas de detritos, considerando parámetros, como: la proporcionalidad de los materiales sólidos y líquidos, las características del movimiento y rapidez del proceso.

Mientras que Cruden & Varnes (1996) clasifican a los flujos en canalizados y no canalizados (figura 25). Por ejemplo, los flujos de detritos son flujos canalizados o confinados a un canal, mientras que las avalanchas de detritos corresponden a los flujos no canalizados.

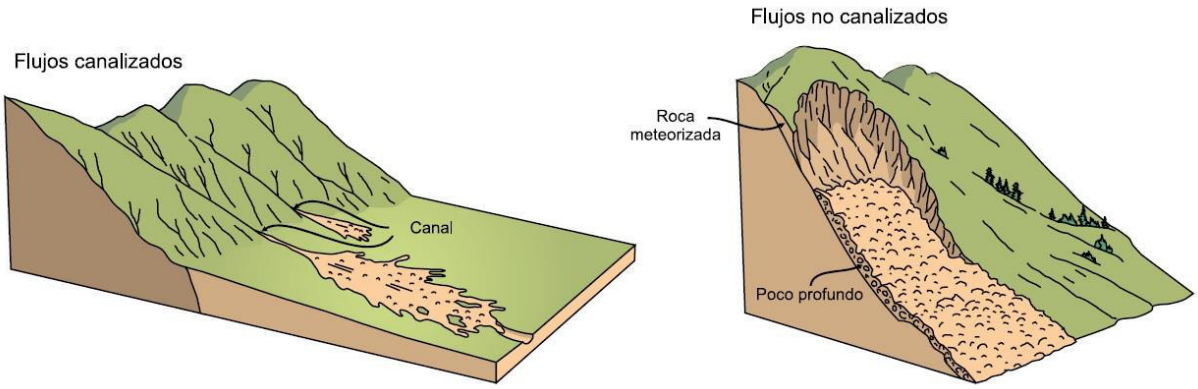


Figura 25. Diagramas de flujos canalizados y no canalizados (Cruden & Varnes, 1996).

Tabla 11. Clasificación de movimientos en masa tipo flujo

Material	**Contenido de agua**	**Condición especial**	**Velocidad**	**Nombre**
Limo, arena, grava, detritos	Seco, húmedo o saturado	-Sin exceso de presión de poros -Volumen limitado	Variada	Flujo de arena no licuable
Limo, arena, detritos, roca poco resistente	Saturado en la superficie de ruptura	-Material susceptible a licuefacción -Contenido constante de agua	Extremadamente rápido	Flujo de arena
Arcillas sensitivas	En o sobre el límite líquido	-Licuefacción *in situ* -Contenido constante de agua	Extremadamente rápido	Flujo de arcilla
Turba	Saturado	Exceso en la presión de poros	Lento a muy rápido	Flujo de turba
Arcilla o tierra	Cercano al límite plástico.	-Movimiento lento	< rápido	Flujo de tierra
Detritos	Cercano al límite plástico.	-Recorrido por canal preexistente -Incremento de contenido de agua	Extremadamente rápido	Flujo de detritos
Lodo	En o sobre el límite líquido	Flujos de detritos de grano fino	> muy rápido	Flujo de lodo
Detritos	Presencia libre de agua	Inundación	Extremadamente rápido	Inundación de detritos
Detritos	Parcial o totalmente saturado	-Recorrido sin encauzamiento -Relativamente superficiales -Laderas empinadas	Extremadamente rápido	Avalancha de detritos
Roca fragmentada	Principalmente saturado	-Origen en roca intacta -Volumen grande	Extremadamente rápido	Avalancha de rocas

Fuente: Hungr *et al.* (2001).

Otras clasificaciones de los flujos son las propuestas por Suárez (2001), la cual considera las características de los sedimentos, la concentración de dichos materiales y la pendiente del canal (tabla 12). Mientras que O' Brian (2000) clasifica los flujos en base a la velocidad y la concentración de los sedimentos (figura 26).

Tabla 12. Tipos de flujos en base a las propiedades del material y el canal

Características de los sedimentos	**Concentración de sedimentos de la mezcla (Kg/m³)**	**Pendiente del canal**					
		> 100% (45º)	100 a 50%	50 a 20%	20 a 10%	10 a 5%	< 5%
		Tipo de flujo					
Más del 20% del peso total de sedimentos son partículas finas (d<ASTM#200)	<90	Flujo hiperconcentrado		Flujo de lodo			
	>90	Flujo de lodo					
	<300	Flujo hiperconcentrado					
Menos del 20% del peso total de sedimentos son partículas finas (d<ASTM#200)	300 a 600	Flujo turbulento de detritos (Debris flow)		Flujo hiperconcentrado			
	600 a 900	Flujo turbulento de detritos (Debris flow)					
	>900	Flujo laminar de detritos					

Fuente: Suárez (2001).

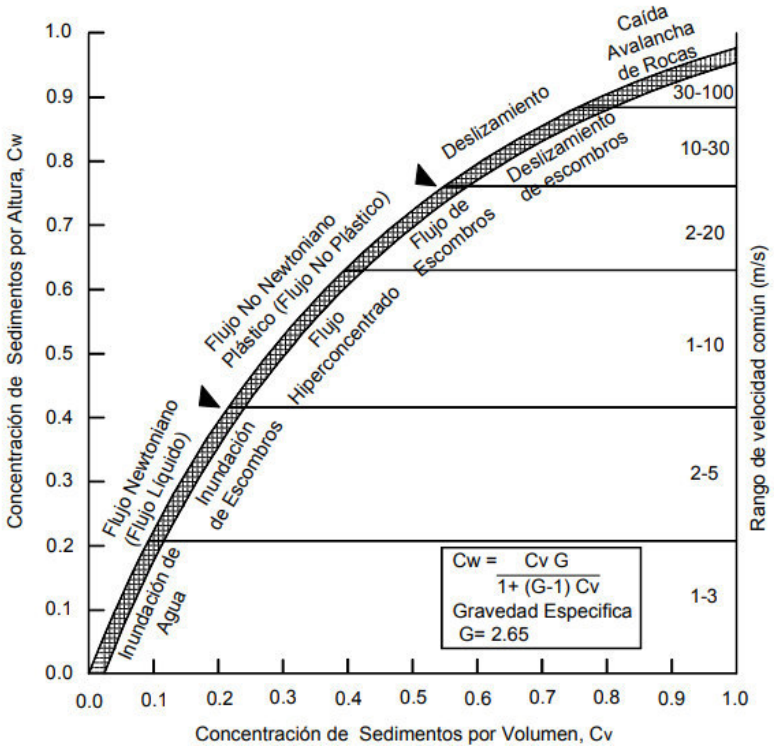


Figura 26. Clasificación de los flujos en base a la velocidad y la concentración de los sedimentos (Modificada de O' Brian, 2000). Fuente: Suárez (2004).

3.2.5. Flujo de detritos

"Es un flujo de velocidad muy rápida a extremadamente rápida (5×10^1 a 5×10^3 mm/s) de detritos saturados, no plásticos (Índice de plasticidad menor al 5%) y cuyo recorrido se produce a través de un canal o cauce con pendiente pronunciada" (Cruden & Varnes, 1996).

Estos procesos se originan a partir de uno o varios deslizamientos o por inestabilidad en canales con pendiente pronunciada. Durante su recorrido, pueden recibir aporte de material el cual es transportado para que finalmente sea depositado, ante el cambio de pendiente, en forma de abanicos de detritos.

Propiedades

En el Perú, los flujos más comunes son los denominados flujos de detritos, flujos de lodo e inundaciones de detritos (flujos hiperconcentrados).

Existen diferencias entre estos tipos de flujos, por ejemplo, la diferencia entre un flujo de detritos y un flujo hiperconcentrado corresponde a la cantidad de agua en el flujo, mientras que un flujo de detritos se diferencia de un flujo de lodo por la cantidad de material fino en el flujo. Por ello, los flujos de detritos que presentan IP >5% se convertirán en flujos de lodo siempre y cuando la proporción fina modifique la naturaleza del flujo, proporcionando un comportamiento no newtoniano al evento (Hungr *et al.,* 2001).

Morfología

Los flujos de detritos presentan una morfología característica, a través del desarrollo de pulsos que por lo general acumulan bloques en el frente de onda (Pierson, 1986).

De acuerdo con el esquema planteado por Pierson (1986) los pulsos de flujos de detritos presentan tres partes características: frente, cuerpo y cola (figura 27).

El frente o cabeza se caracteriza por presentar un comportamiento turbulento y la acumulación de material sólido grueso como bloques de grandes tamaños. Esta es la zona donde el flujo alcanza su mayor altura, lo que genera su gran poder destructivo.

El cuerpo es la parte de mayor longitud del flujo, se caracteriza por presentar un comportamiento semi-turbulento y el transporte de material sólido en suspensión.

La cola es la parte del flujo con menor altura y se caracteriza por su comportamiento laminar, así como el transporte de agua y material fino. En esta zona de originan los flujos hiperconcentrados.

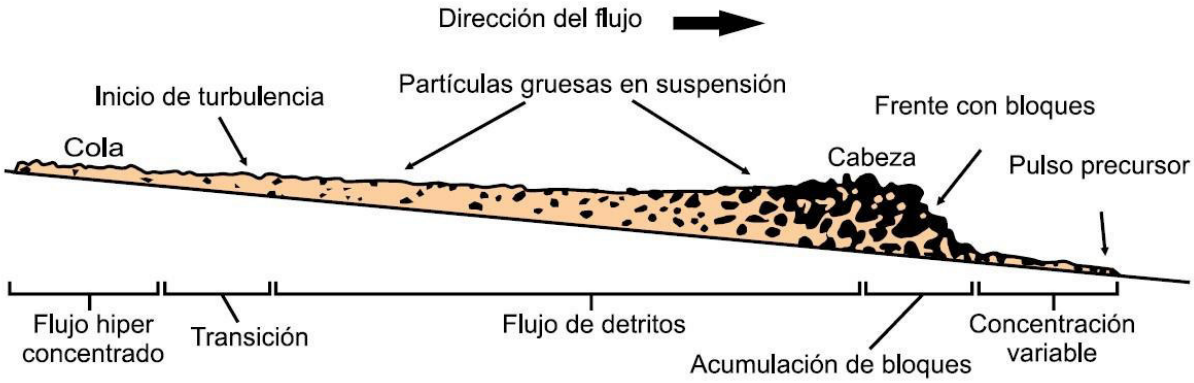


Figura 27. Principales partes de un flujo de detritos, donde se observan el frente con bloques, el cuerpo con partículas en suspensión y la cola con flujos hiperconcentrados. Tomado de Pierson (1986).

Considerando los criterios de Bateman *et al.* (2006), los flujos presentan claramente tres zonas: la zona de inicio, la zona de transporte y la zona de depósito (figura 28).

La zona de inicio presenta una forma de embudo y corresponde a la cola del flujo, en esta zona se forman pequeñas lagunas de agua que saturan los suelos del terreno.

La zona de transporte también denominada de transición o tránsito corresponde al cuerpo que se caracteriza por el cambio de la pendiente del terreno, en esta parte se produce transporte y erosión.

La zona de depósito que tiene forma de abanico corresponde al frente del flujo y es en esta parte donde se produce la depositación de los materiales gruesos transportados desde la zona de inicio (figura 29).

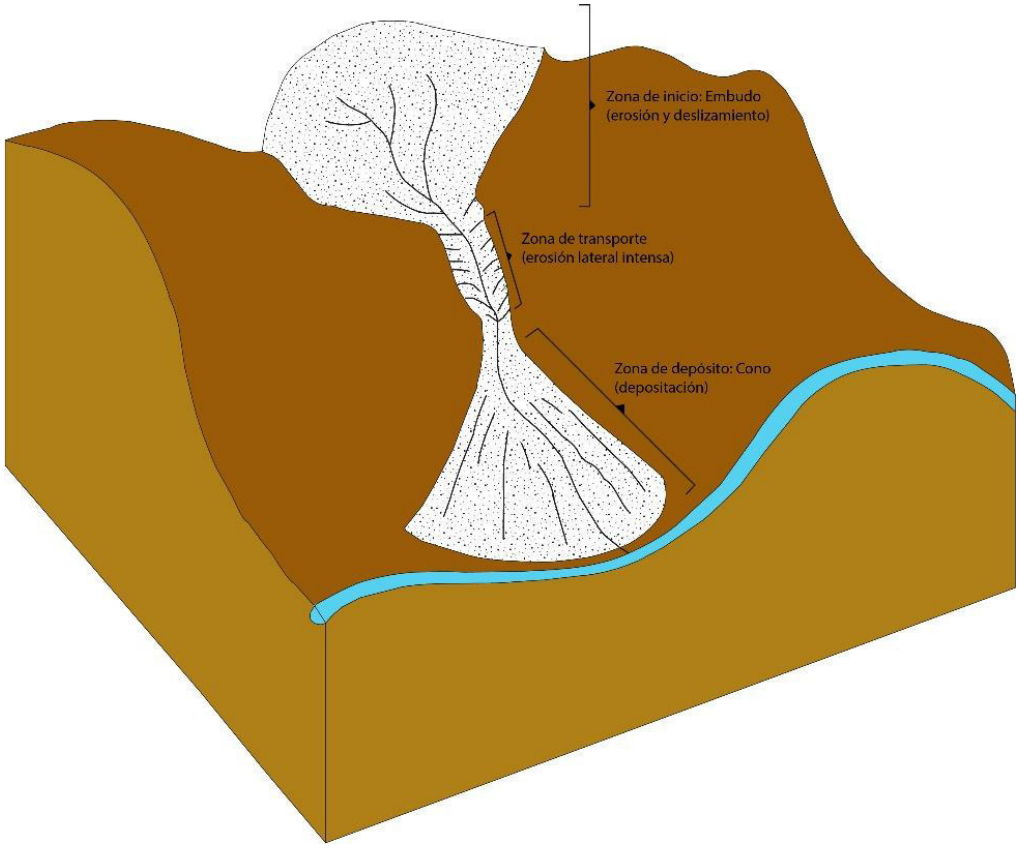


Figura 28. Modelo tridimensional donde se observan las principales partes de un flujo de acuerdo con Bateman *et al.* (2006).

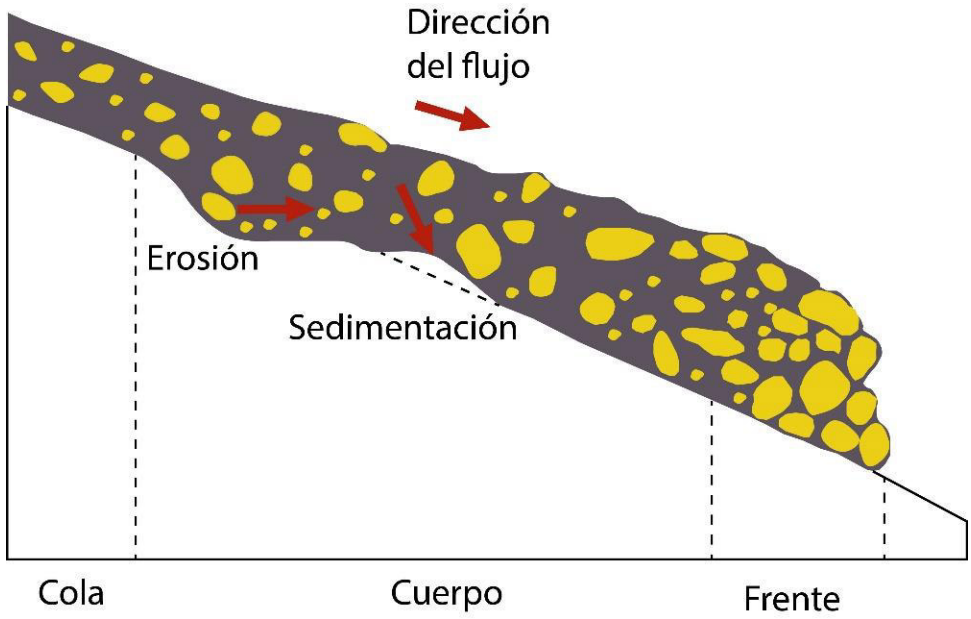


Figura 29. Corte longitudinal donde se observan las partes principales de un flujo en base a Bateman *et al.* (2006).

Según Iverson (1997) los flujos pueden presentar tres partes: una zona de origen del material sólido, una zona que corresponde a la longitud del recorrido y una zona de depositación (figura 30).

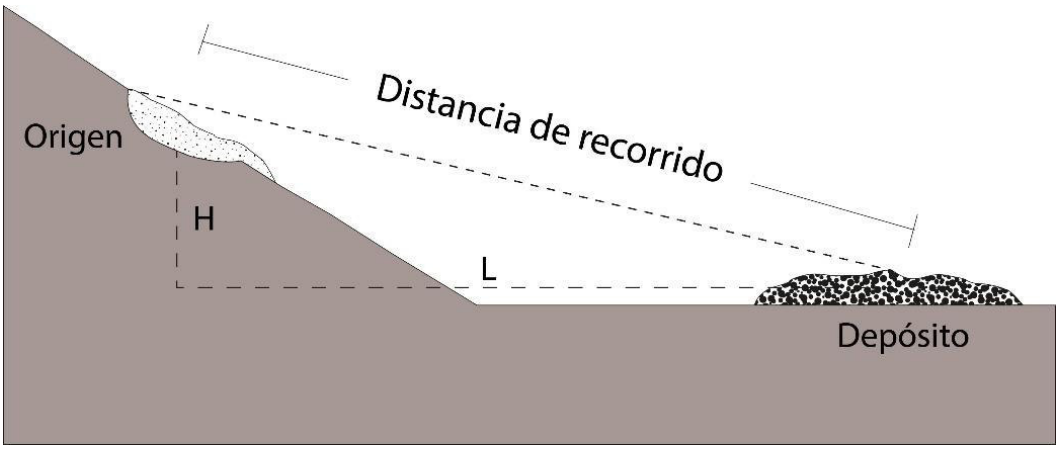


Figura 30. En los movimientos en masa tipo flujos, existe un origen del material, una distancia de recorrido y la zona de depositación. Fuente: Iverson (1997).

En la naturaleza, los flujos de detritos pueden alcanzar velocidades extremadamente rápidas (5×10^3 mm/s) y pueden ocasionar el deceso de poblaciones (Hungr, 2005).

En el mundo, los desastres más devastadores han sido producidos por los flujos de detritos. Por ejemplo, los flujos ocurridos en Vargas, Venezuela (1999), Taiwán (1996) y el Volcán Nevado del Ruiz en Colombia (1985).

Por lo antes mencionado, los flujos de detritos son procesos agresivos que acumulan enorme fuerza durante su recorrido y pueden destruir lo que se encuentra a su paso, por ello son movimientos en masa que requieren una caracterización geológica detallada considerando la exposición de la población y obras de infraestructura de un área determinada.

3.2.6. Caída

Las caídas son un tipo de movimiento en masa en el cual uno o más bloques de suelo y/o roca se separan de una ladera, sin que exista desplazamiento cortante observable en la superficie. “El material desprendido puede realizar golpes, rebotes y rodamiento” (Varnes, 1978).

Considerando el tipo de material caído, se pueden clasificar en caída de rocas y caída de suelos.

Considerando lo propuesto por Cruden & Varnes (1996), las caídas se caracterizan por presentar movimientos muy rápidos a extremadamente rápidos, cuyas velocidades pueden superar los 5×10^1 mm/s. Existen estudios donde se han identificado casos históricos con velocidades que han superado los 100 m/s.

De acuerdo con Vilchez & Sosa (2021) considerando el mecanismo principal, la morfología del área afectada y el material implicado, los procesos de caídas pueden ser de tres tipos: alud, caída de rocas y derrumbe.

3.2.7. Caída de rocas

Las caídas de rocas corresponden al desprendimiento de uno o más bloques de rocas desde una ladera, sin la formación de una superficie irregular de arranque o desplome. Los materiales desprendidos pueden realizar golpes, rebotes y rodamientos (Varnes, 1978) (figura 31).

Otra característica de las caídas consiste en que el movimiento no es masivo ni de tipo flujo. Estos movimientos implican la interacción mecánica entre los fragmentos individuales y su trayectoria, pero no entre los fragmentos durante el movimiento (PMA: GCA, 2007).

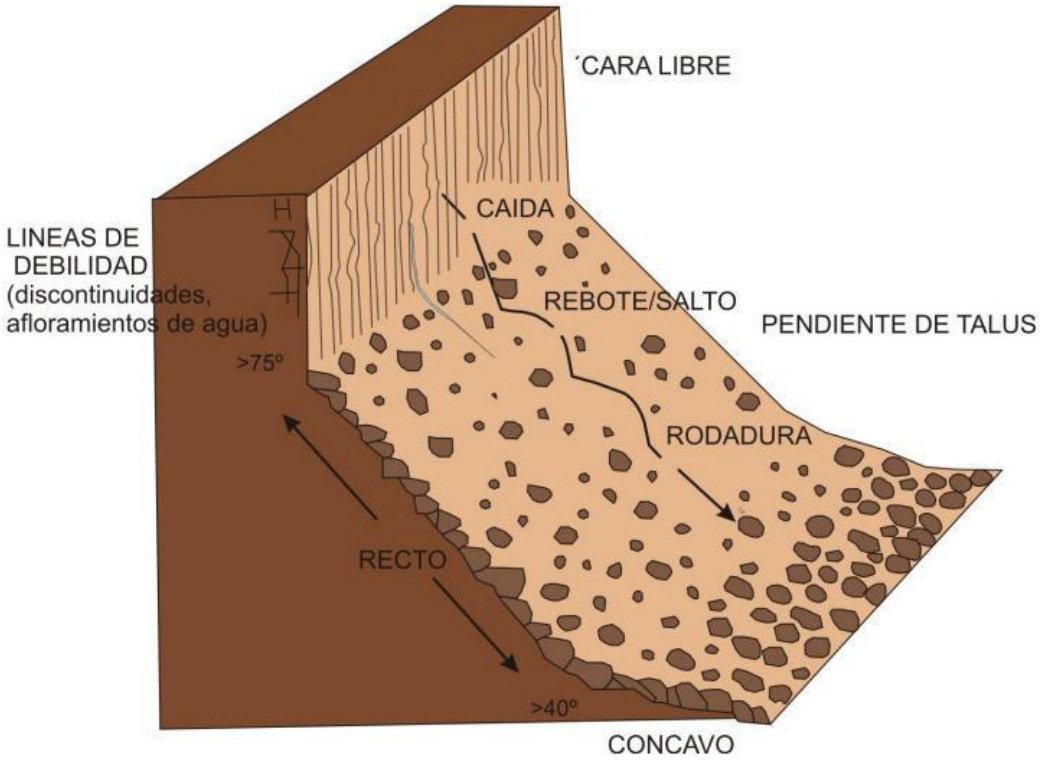


Figura 31. Movimientos de materiales caídos desde una ladera, propios de un proceso de caída de rocas.

De acuerdo con Medina *et al*. (2021) los procesos de caídas de roca pueden generarse en laderas con pendiente moderada a fuerte del terreno, afloramientos de rocas, geoformas tectónicas de variada litología (sedimentaria, ígnea y metamórfica) muy fracturadas y taludes por cortes de laderas para la construcción de infraestructuras (carreteras y/o canales).

Existen diferentes ejemplos típicos de caídas identificados por Evans & Hungr (1993), siendo los acantilados de rocas las principales zonas de ocurrencia de caída de rocas, sin embargo, estos procesos pueden ocurrir en cualquier zona con pendiente alta.

Corominas & Yagué (1997) denominaron a los procesos de caída de rocas como "colapso" cuando el material cae de manera vertical. También existen diferentes esquemas de un movimiento de tipo caída (figura 32), los cuales coinciden en que toda caída inicia con una zona denominada "fuente" y el material es depositado en una zona denominada "depósito de detritos", como el esquema propuesto por (Varnes, 1978).

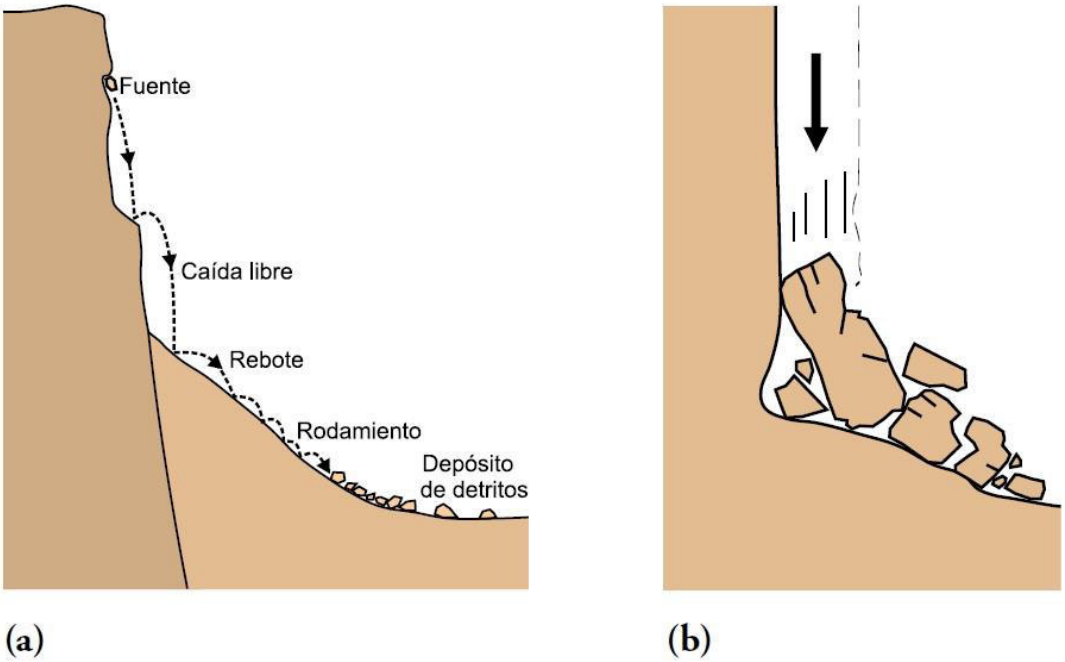


Figura 32. (a) Esquema de un proceso de caída de rocas (Varnes, 1978). (b) Diagrama de un "colapso" o caída de rocas propuesto por Corominas & Yagué (1997).

3.2.8. Derrumbes

"Los derrumbes son desprendimientos de rocas, suelos o ambos desde una zona de arranque o superficie de forma regular, irregular, continua o discontinua. Estos procesos pueden generar coronas de pocos a decenas de metros y abarcar distancias desde pocos metros hasta decenas y centenas de metros" (Luque *et al.*, 2020).

Los derrumbes también se originan en cortes de laderas de pendiente fuerte del terreno y en rocas muy fracturadas y alteradas, así como depósitos poco consolidados. De acuerdo con Ochoa & Vilchez (2019) los depósitos generados por estos procesos alcanzan a medir de pocos hasta muchos metros cúbicos.

De acuerdo con Luque *et al.* (2020) los derrumbes son un tipo de caída que consiste en la disgregación, por lo general, de afloramientos rocosos y cuyo material forma un depósito caótico (figura 33).

Estos procesos se producen en las zonas costeras, como en acantilados y en terrenos con laderas de pendiente moderada a fuerte del terreno.

Los derrumbes generalmente se originan debido a socavamiento en la base de riveras fluviales, ante la presencia de lluvias intensas, sismos y por acción del hombre como cortes de talud, zonas de cultivo, entre otros.

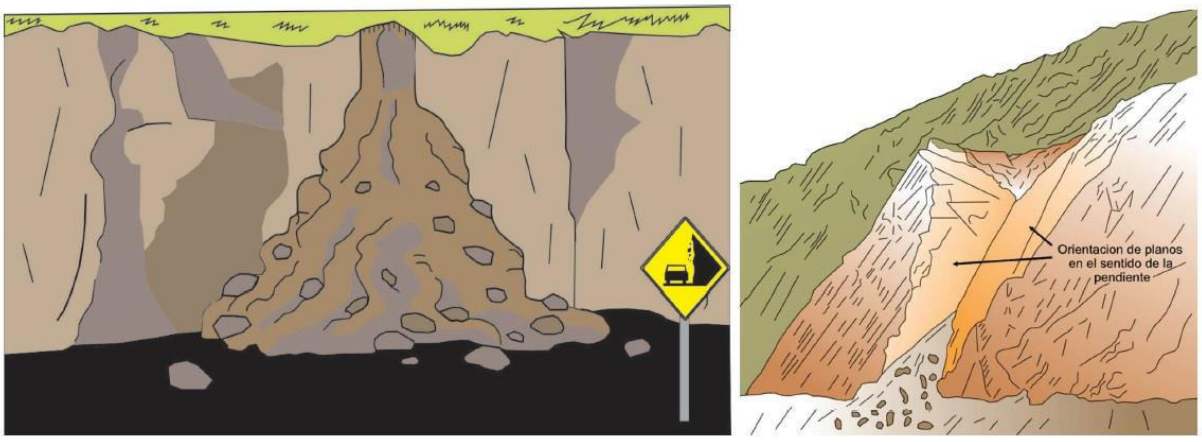


Figura 33. Esquemas de derrumbes. La figura de la izquierda muestra un derrumbe en laderas con pendiente muy fuerte. La figura de la derecha muestra discontinuidades que forman una cuña la cual favorece la ocurrencia de derrumbes. Fuente: Luque *et al.* (2020).

3.2.9. Peligros geohidrológicos

Los peligros geohidrológicos son procesos generados por la combinación de factores como la pendiente, la morfología del cauce fluvial y la geomorfología del terreno (Luque *et al*., 2020).

Mientras que Villacorta *et al*. (2016) indican que los peligros geohidrológicos son aquellos procesos cuyo origen se debe a la presencia de lluvias, la geomorfología, la pendiente del terreno y el incremento del caudal de los ríos.

Estos procesos pueden ser: inundación fluvial, lagunar y pluvial, así como la erosión fluvial.

Los sismos y los peligros geohidrológicos son los responsables de generar grandes pérdidas en el Perú. Por ejemplo, entre los años 1970 y 2006, la ocurrencia de más de 12 000 de estos procesos ha generado la muerte de más de 7 600 personas y daños a más de 244 000 viviendas, siendo alrededor de 60 000 totalmente destruidas (Comunidad Andina, 2008; DesInventar, 2015).

De acuerdo con Borga *et al*. (2014) las lluvias representan el factor primordial para la generación de peligros geohidrológicos en la superficie terrestre, por ello deben ser consideradas dentro de las evaluaciones geodinámicas.

Mientras que Andres *et al*. (2014) indican que existe una asociación entre el calentamiento global y las precipitaciones pluviales, lo que influye considerablemente en el incremento de la presencia de peligros geohidrológicos. Considerando lo anterior, el Perú es considerado dentro de los 10 países más vulnerables al cambio climático a nivel mundial (Vargas, 2009).

3.2.10. Inundaciones fluviales

Las inundaciones fluviales corresponden a procesos naturales periódicos en la evolución dinámica de un río. Estos peligros geohidrológicos se originan debido a precipitaciones pluviales (lluvias) extraordinarias que ocasionan el incremento del caudal de los ríos y su excesiva descarga, los cuales generan crecidas que superan la capacidad de carga del cauce del río (Zavala *et al*., 2014).

De acuerdo con Dávila (2006) la inundación fluvial corresponde a los terrenos próximos al canal de un río y que son cubiertos por la crecida de las aguas. Estos procesos son originados por las precipitaciones intensas y/o extraordinarias que incrementan la dinámica fluvial ocasionando inundaciones en terrazas bajas, también pueden intervenir las actividades antrópicas como la deforestación.

Mientras que una llanura de inundación corresponde al terreno de un valle que se anega durante procesos de inundaciones (figura 34). La mayoría de los cauces fluviales se encuentran rodeados por estas llanuras de inundación. Estas llanuras

pueden tener dimensiones de unos pocos metros hasta varios kilómetros (Tarbuck *et al*., 2005).

Para identificar zonas susceptibles a inundaciones se deben considerar criterios geológicos (tipo de cauce, tipo de depósitos y substrato rocoso), hidrológicos (eventos históricos de inundaciones), geomorfológicos (morfología de cauce y terrazas) y la presencia de vegetación (Luque *et al*., 2020).

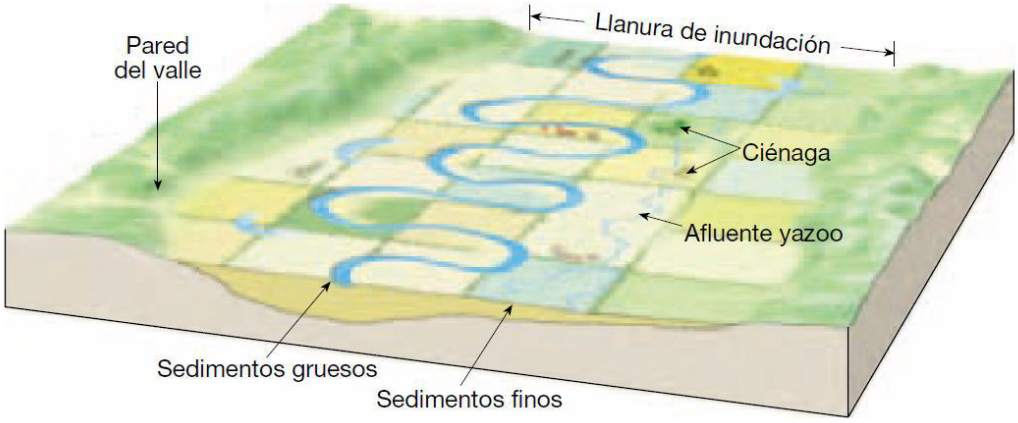


Figura 34. Llanura de inundación susceptible a procesos de inundaciones fluviales. Fuente: Tarbuck *et al*. (2005).

3.2.11. Erosión fluvial

La erosión fluvial está asociada a la dinámica fluvial que genera el socavamiento, profundización, ensanchamiento y alargamiento de los valles (Dávila, 1999). Estos procesos se originan en temporadas de lluvias intensas y/o extraordinarias que incrementan el caudal de los ríos. El aumento en el volumen del agua y material sólido genera la erosión en el lecho del río y sus márgenes, ocasionando la modificación de los depósitos formados en un periodo precedente (figura 35).

Los procesos de erosión fluvial por lo general están asociados a las inundaciones fluviales y en varias ocasiones son procesos antecedentes a la inundación. Los factores que intervienen en la generación de estos eventos son la geomorfología, la ausencia de cobertura vegetal y el clima (Luque *et al*., 2020).

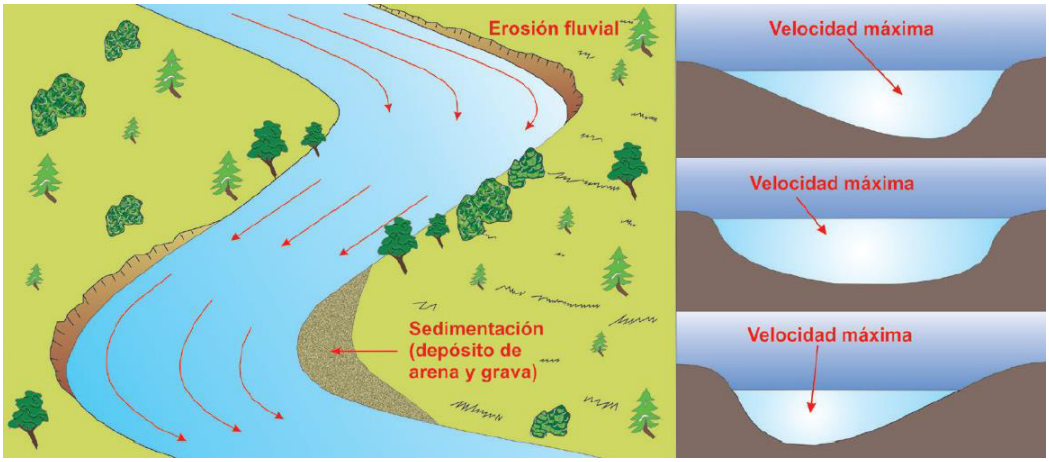


Figura 35. Erosión fluvial en un valle maduro con cauce sinuoso a meándrico. Fuente: Luque *et al*. (2020).

Considerando lo propuesto por Medina *et al*. (2021) los factores que originan procesos de erosión fluvial corresponden a:

- Las formas del terreno y dinamismo fluvial, la pendiente del terreno y tamaño del lecho, el drenaje, el tipo de depósito y substrato rocoso.
- El tipo de crecida fluvial (estacional o excepcional) relacionada con las precipitaciones pluviales, así como el volumen de material sólido transportado (fluvial y aluvial).
- Ocupación de población, carreteras y obras de infraestructura en zonas susceptibles a erosión fluvial.
- Ausencia y/o mala ubicación de defensas ribereñas, así como el mal diseño de puentes y otras estructuras.

Los daños generados por la erosión fluvial comprometen: los puentes (estribos y pilares), las vías de comunicación, las formas del terreno, laderas ocupadas por terrenos de cultivo, zonas urbanas con ausencia de medidas de prevención e infraestructuras, entre otros.

3.2.12. Otros peligros geológicos

Los denominados otros peligros geológicos son procesos generados debido a factores como la litología, la geomorfología y la geodinámica del terreno, cuyas características determinan la ocurrencia de estos eventos (Luque *et al*., 2020).

Los otros peligros geológicos agrupan eventos como: erosión de laderas, hundimiento, arenamiento, inundación marina y erosión marina (Luque *et al*., 2020).

3.2.13. Erosión de laderas

"La erosión de laderas corresponde a un proceso natural, ineludible y global que radica en el desgaste y remodelado del terreno preexistente. Puede ser: laminar, surcos y cárcavas" (Villota, 2005).

De acuerdo con Lucía *et al*. (2008) una cárcava es un pequeño valle con cabeceras y paredes verticales, así como perfiles longitudinales con fuerte pendiente, que transportan flujos de agua en su cauce. Se originan por acción hídrica superficial, a manera de erosión en el terreno. Estos procesos pueden generar otros procesos como flujos, derrumbes y deslizamientos.

Poesen (1993) indica que las cárcavas son canales generados por la erosión a causa de flujos de agua, en temporada de precipitaciones pluviales a manera de lluvias.

Mientras que Shruthi *et al.* (2011) afirman que las cárcavas se originan debido a la profundización y ensanchamiento de los surcos (figura 36).

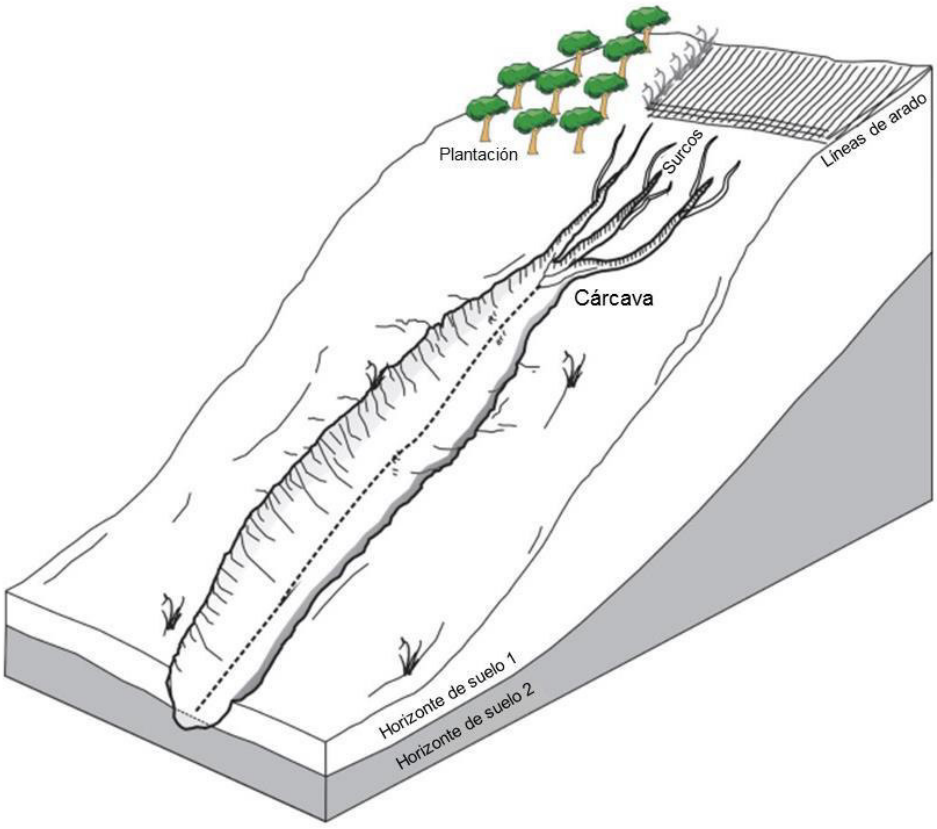


Figura 36. Esquema de la formación de las cárcavas de acuerdo con Shruthi *et al.* (2011).

Por otro lado, la FAO (1967) plantea que las cárcavas se originan debido a la presencia de distintos procesos, que ocurren de forma simultánea o solitaria (figura 37), estos procesos corresponden a:

- Acción erosiva del agua en la parte alta de la cárcava, generando un avance retrogresivo.

- Erosión en el fondo de la cárcava, así como en las paredes, por acción de las aguas y los materiales generados, como fragmentos de rocas y/o suelos.

- Derrumbes y deslizamientos en las paredes de la cárcava por acción erosiva del agua de escorrentía.

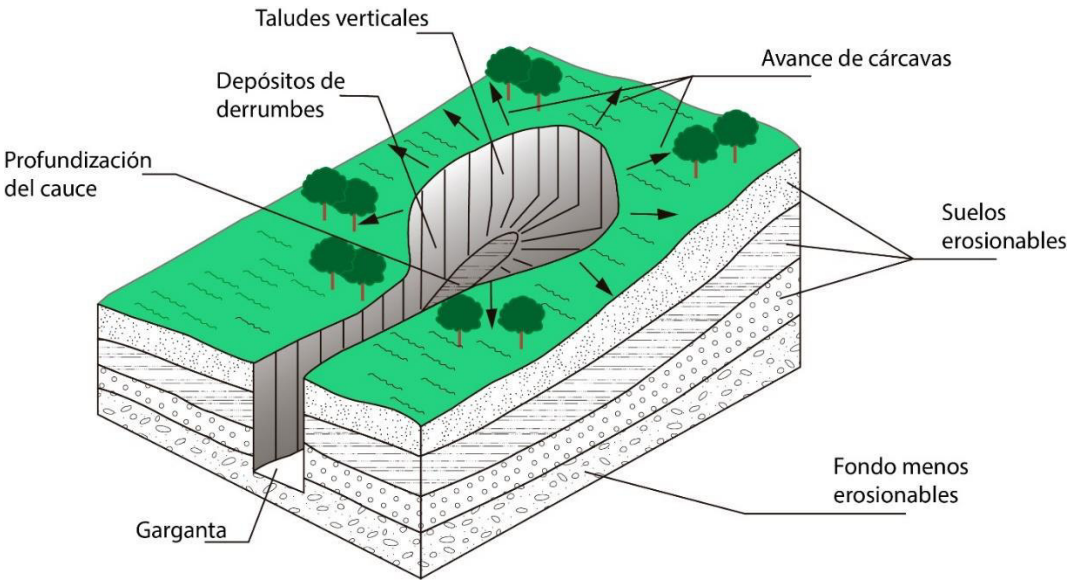


Figura 37. Bosquejo común de una cárcava de acuerdo con Suárez (1998).

3.2.14. Factores condicionantes de peligros geológicos

En la actualidad diferentes estudios indican que los peligros geológicos se originan por la interacción de factores condicionantes o internos y factores desencadenantes o externos (tabla 13).

De acuerdo con Lara (2007) los factores condicionantes corresponden a elementos que puedan generar un estado o situación potencialmente inestable en el terreno, de tal manera que se incremente la susceptibilidad a la ocurrencia de desprendimientos y desplazamientos de materiales como detritos. Cabe mencionar que los factores internos, los cuales pueden generar las condiciones para generar material desprendido y/o desplazado permiten que los factores externos puedan actuar de manera más activa.

Tabla 13. Factores condicionantes en la ocurrencia de peligros geológicos

Año	Autor	Factores condicionantes
1993	Hauser, A.	Geología y geotecnia Geomorfología Hidrología e Hidrogeología Vegetación y clima Actividad antrópica
1998	Sepúlveda, S.	Geomorfología Geología Geotecnia Vegetación
2002	Ayala-Carcedo & Olcinas	Litología Estructura Hidrogeología Morfometría Clima
2005	Laín, L., Llorente, M., Díez, A., Rubio, J., Maldonado, A., Galera, J. & Arribas, J.	Litología Estructura Hidrogeología Morfometría Clima
2007	Lara, M.	Geomorfología Geología Vegetación Clima Geotecnia Intervención Antrópica
2011	INDECI	Geología Geomorfología Hidrogeología
2014	CENEPRED	Geología Geomorfología Fisiografía Hidrología Edafología
2020	Luque, G.; Rosado, M.; Pari, W.; Peña, F. & Huamán, M.	Pendiente Geomorfología Litología Cobertura vegetal y uso de Suelo Hidrogeología

Fuente: Elaboración propia.

Los factores condicionantes que generan la ocurrencia de peligros geológicos involucran elementos encargados de propiciar condiciones de inestabilidad en el terreno. Dentro de este grupo se encuentran la: geología, geomorfología, geotecnia y vegetación, los cuales intervienen condicionando la susceptibilidad del terreno a la ocurrencia de movimientos en masa, entendiéndose como susceptibilidad a la capacidad de que en pueda ocurrir cierto proceso geológico en alguna unidad geológica o geomorfológica (Sepúlveda, 1998).

De acuerdo con Gonzáles de Vallejo *et al*. (2002) existen factores que tienen la capacidad de modificar las fuerzas internas y externas que existen en el terreno. Estos factores actúan sobre el comportamiento y propiedades de diferentes materiales dando origen a los movimientos en masa. Dichos factores se agrupan en dos: condicionantes y desencadenantes.

Los factores condicionantes o "pasivos" corresponden a las características físicas del terreno, como su naturaleza y forma. Mientras que los factores desencadenantes o "activos" son considerados como los factores externos que se encargan de generar la inestabilidad del terreno y comúnmente son los responsables de la magnitud del evento. También se deben considerar los factores antrópicos que actúan modificando principalmente las condiciones intrínsecas del terreno (figura 38).

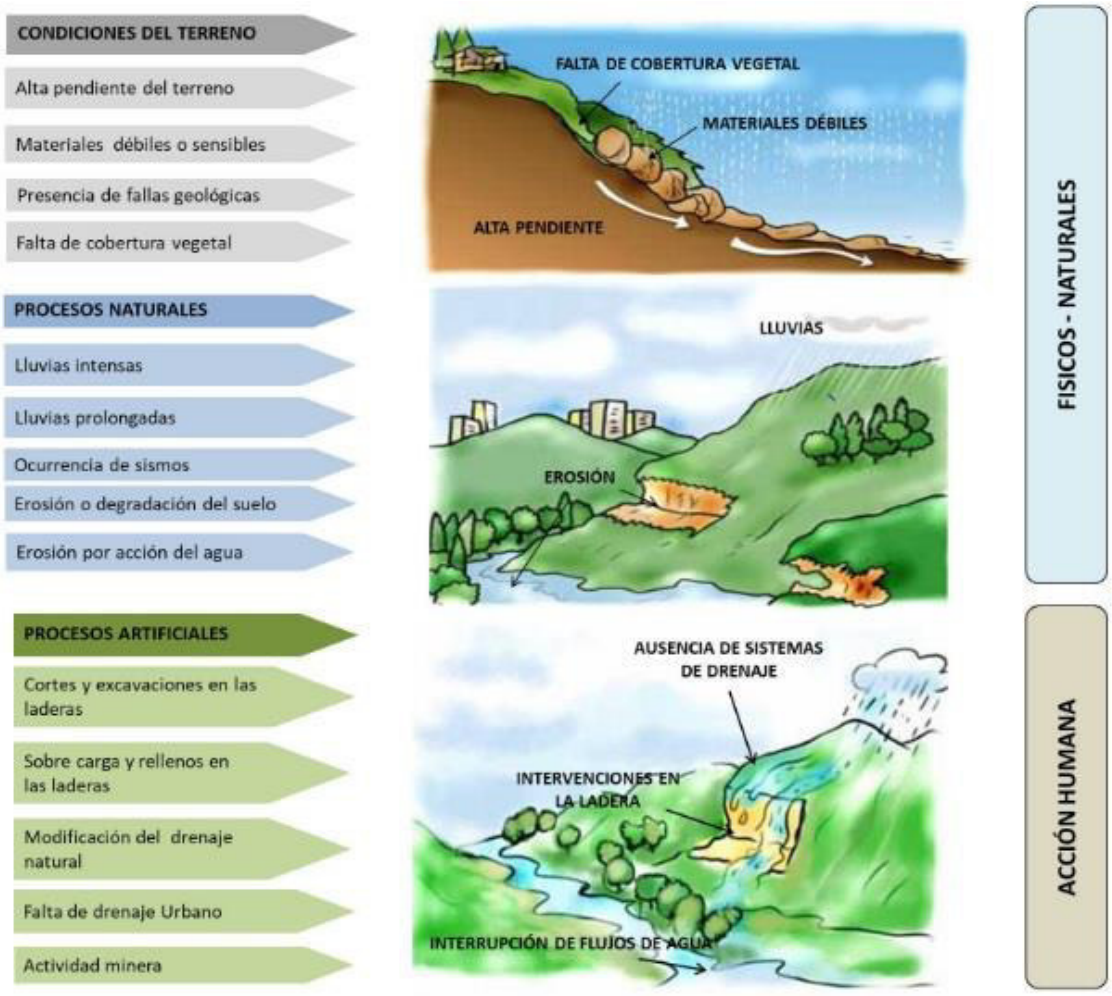


Figura 38. Los factores físicos-naturales y la acción humana son los encargados de generar la ocurrencia de movimientos en masa. Fuente: IDIGER (2021).

De la bibliografía existente, se han considerado los factores condicionantes, detallados a continuación y definidos por diferentes autores:

Pendiente

De acuerdo con Cardozo (2013) la pendiente, en cualquier punto del terreno, corresponde al ángulo formado entre el vector normal a la superficie en ese punto y la vertical.
Cabe mencionar, que la pendiente influye en el aumento de la fuerza de gravedad, por ello si la pendiente aumenta, también incrementa la fuerza de la gravedad y esto condiciona que los materiales pierdan cohesión. Mientras que si ocurre lo contario, la cohesión entre los materiales incrementa. Esto se evidencia en los piedemontes que presentan bajos valores de pendientes, mientras que los relieves escarpados presentan mayores valores de pendiente (Aguilar *et al*., 2013).

Geología y suelo

Considerando lo propuesto por Lara (2007), los condicionantes geología y suelo determinan las características geotécnicas del terreno, así como su estructura. Los componentes que influyen en la geología corresponden al tipo de roca y/o suelo, la meteorización, las estructuras (fallas, diaclasas, entre otros), la tectónica y la geología histórica.

Geomorfología

Dentro del factor condicionante geomorfología, existen características propias del terreno, como: la topografía, la pendiente del terreno, los cambios de pendientes, así como el área y altura del terreno. Estas propiedades influyen en la velocidad, energía y volumen del proceso geológico originado. Cabe mencionar que si estas propiedades del terreno sufren algún cambio pueden convertir una ladera estable en inestable, y por ende generar la ocurrencia de movimientos en masa (Popescu, 2002).

Vegetación

La vegetación es un factor que influye principalmente en determinar la cantidad de agua en la superficie del terreno y generar la consistencia de éste, a través de sus raíces naturales (Suárez, 1998).

Este factor condicionante también se relaciona con la disminución y regulación de las aguas de escorrentía, debido a que la cobertura vegetal reduce la erosión

de las aguas de escorrentía en el suelo e influye en el incremento de la materia orgánica en el suelo, generando la estabilización del terreno (Gómez, 1998).

Hidrología e Hidrogeología

Los factores hidrológicos e hidrogeológicos que incluyen: la red de drenaje, el nivel freático, los caudales y la infiltración, son los condicionantes para la generación de peligros geológico debido a que se relacionan de manera directa con la presencia de agua en los suelos o rocas (Lara, 2007).

De acuerdo con Muñoz (2013) el agua es un agente que afecta directamente la resistencia de los materiales, debido principalmente a que: ocasiona presión intersticial que reduce la resistencia del terreno, aumenta el esfuerzo de corte, origina fuerzas desestabilizadoras en fracturas y disminuye la resistencia al corte de las discontinuidades.

3.2.15. Factores desencadenantes de peligros geológicos

Los factores condicionantes corresponden a las características físicas del terreno. Mientras que los factores desencadenantes incluyen a los agentes externos que se encargan de generar la inestabilidad del terreno (tabla 14).

Los factores desencadenantes o gatillantes corresponden a agentes externos encargados de originar movimientos en masa, a través del aumento rápido de los esfuerzos o la disminución de la resistencia de los materiales en el terreno (Wieczorek, 1996). Estos factores externos se caracterizan primordialmente por la existencia de cortos periodos entre la causa y el efecto.

En la naturaleza existen factores que tienen la capacidad de alterar las fuerzas internas y externas preexistentes en el terreno. Estos factores tienen la capacidad de intervenir en el comportamiento y propiedades de diferentes materiales. Dichos factores se agrupan en dos: condicionantes y desencadenantes (Gonzáles de Vallejo *et al*., 2002).

De acuerdo con Gutiérrez (2008) los factores desencadenantes o externos son los encargados de generar o dar origen a los peligros geológicos. Estos factores involucran agentes externos al terreno, los cuales aprovechan las condiciones intrínsecas del sitio para producir movimientos en masa.

De acuerdo a diferentes autores y estudios, los principales factores desencadenantes corresponden a las precipitaciones y la sismicidad (Hauser, 2000; Lara, 2007; Lacasse *et al*., 2008; Sepúlveda *et al*., 2011; Albornoz, 2017).

Tabla 14. Factores desencadenantes en la ocurrencia de movimientos en masa

Año	Autor	Factores desencadenantes
2000	Hauser, A.	Precipitaciones pluviales Actividad sísmica
2002	Gonzáles de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L. & Oteo, C.	Precipitaciones Sismos
2002	Ayala-Carcedo & Olcinas	Precipitación Hielo/deshielo Sismicidad Actividad volcánica Actividad antrópica
2002	Aguilar, V. & Mendoza, D.	Precipitación Sismicidad Actividad volcánica Actividad antrópica Deshielo
2008	Sepúlveda, S.	Precipitaciones Sismos
2011	INDECI	**Fenómenos de origen natural:** Sismos, filtración de aguas pluviales, precipitaciones y efectos de la gravedad. **Fenómenos incitados por el ser humano:** Explotaciones mineras, alteración del talud, deforestación, ubicación de asentamientos humanos en zonas peligrosas.
2014	CENEPRED	Hidrometeorológicos Geológicos Inducidos por el ser humano
2020	Luque, G.; Rosado, M.; Pari, W.; Peña, F. & Huamán, M.	Precipitaciones (lluvias) Sismos

Fuente: Elaboración propia.

Precipitaciones

Las precipitaciones son los factores desencadenantes de peligros geológicos a nivel global, considerando sus volúmenes, las intensidades y las distribuciones de las precipitaciones (Gonzáles de Vallejo *et al.*, 2002).

Cabe mencionar que las precipitaciones de poca o alta intensidad de duración prolongada pueden generar la ocurrencia de movimientos en masa profundos, mientras que las precipitaciones de gran intensidad, pero de duración corta podrían generar procesos geológicos superficiales (Aleotti, 2004).

Considerando lo propuesto por Mergili *et al.* (2015) los climas húmedos caracterizados por precipitaciones pluviales (lluvias) generan suelos, en los afloramientos rocosos, que son susceptibles a las ocurrencias de flujos y deslizamientos. Mientras que en climas áridos y fríos generan grados de meteorización química bajos sobre las elevaciones preexistentes que se

caracterizan por la ausencia de suelos y/o vegetación, originan procesos como caídas (figura 39).

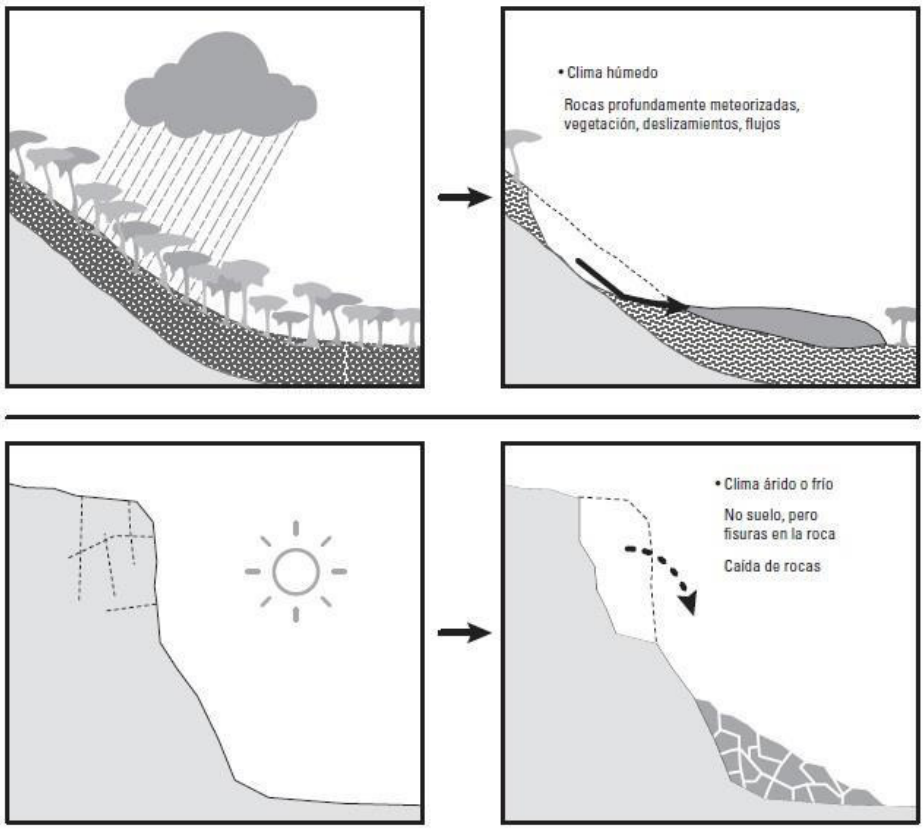


Figura 39. Tipos de climas en los que se producen movimientos en masa. Tomado de Mergili *et al*. (2015).

Sismicidad

Los sismos se producen en diferentes partes del planeta Tierra. Mientras que las aceleraciones sísmicas son las encargadas de generar cambios temporales en el régimen de esfuerzos que se presentan en las laderas (normales o de corte), lo que puede generar su posterior inestabilidad (Mardones, 2019).

De acuerdo con Keefer (1984) los movimientos en masa generados por terremotos son las caídas de rocas, deslizamientos de suelo (pendiente >15°), deslizamientos de roca (pendiente ≥40°), así como derrumbes, deslizamientos en bloques y avalanchas de tierra. Este autor determinó magnitudes mínimas para la generación de movimientos en masa. Mientras que en un trabajo posterior realizado por Rodríguez *et al*. (1999) se actualizaron estas magnitudes mínimas (tabla 15).

Tabla 15. Tipos de movimientos en masa originados por sismos

Magnitudes mínimas aproximadas (ML) según Keefer (1984)	Magnitudes mínimas aproximadas (ML) según Rodríguez *et al*. (1999)	Tipo de movimientos en masa
4,0	5,5	Caídas de rocas, caídas de suelo, deslizamientos de roca, deslizamientos de suelo
4,5	5,5	Subsidencias de suelo, deslizamientos de suelo
5,0	6,5	Subsidencias de roca, deslizamientos de roca, flujos lentos de tierra, extensiones laterales de suelo, flujos rápidos de suelo, deslizamientos submarinos
6,0	6,5	Avalanchas de roca
6,5	6,0	Avalanchas de suelo

Fuente: Lara & Sepúlveda (2008).

3.2.16. Factores antrópicos de peligros geológicos

Los factores antrópicos tienen gran influencia en la generación de peligros geológicos, modificando principalmente las condiciones intrínsecas del terreno (tabla 16).

La acción antrópica es la encargada de generar: cambios en la geometría y la pendiente del terreno, así como variaciones en las condiciones hidrogeológicas, generando la ocurrencia de procesos geológicos. De acuerdo con Gonzáles de Vallejo *et al*. (2002) las excavaciones realizadas con la finalidad de construir vías de comunicación, túneles u otras obras generan cambios en el equilibrio de las laderas y podrían ocasionar movimientos en masa. Mientras que las excavaciones que generan mayores alteraciones en las laderas, son las realizadas en la parte baja o al pie de las laderas, debido a que estas zonas son las que soportan la mayor cantidad de tensión.

La actividad antrópica influye de manera directa en desestabilizar el terreno, generar material removido que podría ser movilizado por agentes externos y en producir cambios en la escorrentía superficial, así como en la topografía (Lara, 2007).

También es importante considerar las urbanizaciones asentadas en terrenos no aptos, los cortes realizados en laderas, la construcción de obras de infraestructura como represas y la saturación del terreno por procesos de irrigación, estos factores antrópicos pueden generar la inestabilidad del terreno y por consecuencia la ocurrencia de movimientos en masa, figura 40 (Mergili *et al.,* 2015).

Tabla 16. Factores antrópicos en la ocurrencia de movimientos en masa

Año	Autor	Factores antrópicos
2008	Lara, M. & Sepúlveda, S.	Excavaciones, rellenos, construcción de estructuras, urbanización, cambios en el uso del suelo, extracción de áridos y acumulación de escombros
2009	Ramos, L. & Ureña, N.	Cambios en la topografía y cargas del talud, cambios en las condiciones de humedad, vibraciones (construcciones), cambios en la cobertura vegetal, negligencia en el manejo de los taludes
2011	INDECI	Explotaciones mineras, alteración del talud, deforestación y ubicación de asentamientos humanos en zonas peligrosas
2014	CENEPRED	Actividades económicas sobre explotación de recursos naturales, infraestructura, asentamientos humanos y crecimiento demográfico
2019	Rodríguez, D.	Deforestación minería, excavación de laderas, cargas en el borde de laderas, irrigación de laderas, rellenos no técnicos, sistemas de drenaje defectuosos y vibración artificial
2020	Luque, G.; Rosado, M.; Pari, W.; Peña, F. & Huamán, M.	Construcción de vías férreas, carreteras, presas, túneles, labores agrícolas, trabajos de explotación de canteras, actividades mineras, tala y quema de bosques

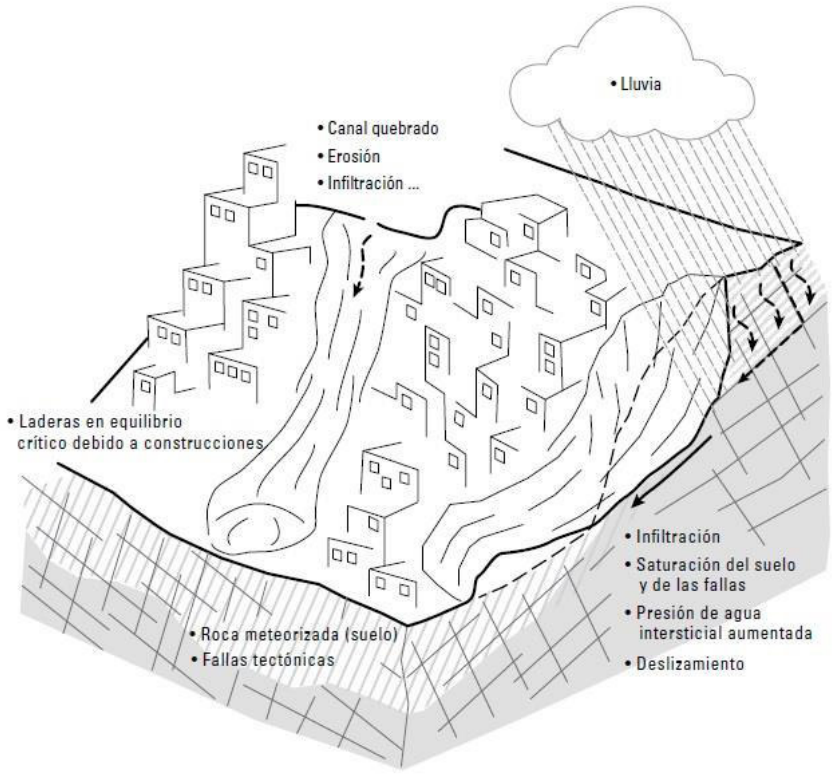


Figura 40. Ocupación inadecuada del territorio. Tomado de Mergili *et al*. (2015).

3.3. GLOSARIO

- **Caída:** "Tipo de movimiento en masa en el cual uno o más bloques de suelo y/o roca se separan de una ladera, sin que exista desplazamiento cortante observable en la superficie. El material desprendido puede realizar golpes, rebotes y rodamiento" (Varnes, 1978).

- **Cárcava:** Canales producidos por la erosión de los flujos de agua sobre la superficie de las laderas. Se originan en temporadas de precipitaciones pluviales a manera de lluvias (Poesen, 1993).

- **Cobertura vegetal:** Capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, comprendiendo una amplia gama de biomasas con diferentes características fisonómicas y ambientales que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques naturales (MINAM, 2019).

- **Cuenca hidrográfica:** Corresponde a un territorio, región o zona que se caracteriza por la presencia de agua de lluvia que cae en la superficie y escurre hacia un cauce común, es decir, el agua acumulada desemboca hacia un afluente mayor, laguna o mar. Una cuenca presenta un área mayor a 50 mil ha, la subcuenca entre 5 a 50 mil ha y las microcuencas ocupan una superficie menor a 5 mil ha (Sánchez *et al*., 2003).

- **Factor condicionante:** "Factor natural o antrópico que condiciona o contribuye a la inestabilidad de una ladera o talud, pero que no constituye el evento detonante del movimiento" (PMA: GCA, 2007).

- **Factor desencadenante:** "Acción o evento natural o antrópico, que es la causa directa e inmediata de un movimiento en masa. Entre ellos pueden estar, por ejemplo, los terremotos, la lluvia, la excavación del pie de una ladera, la sobrecarga de una ladera, entre otros" (PMA: GCA, 2007).

- **Flujo: "**Movimiento en masa cuyo desplazamiento es similar al de un fluido, puede ser rápido o lento y por lo general se origina a partir de otro proceso" (Varnes, 1978).

- **Flujo de detritos: "**Flujo de velocidad muy rápida a extremadamente rápida de detritos saturados, no plásticos (Índice de plasticidad menor al 5%) y que se canalizan por un cauce" (PMA: GCA, 2007).

- **Flujo de lodo: "**Flujo canalizado muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados plásticos (Índice de Plasticidad mayor al 5%). Presenta un comportamiento similar al flujo de detritos, pero el material arcilloso modifica la reología del proceso" (PMA: GCA, 2007).

- **Flujo hiperconcentrado:** Flujo formado por partículas gruesas y agua, en la que existe predominio de los materiales granulares (arenas, gravas, cantos y bloques), por ello no presenta cohesión. la concentración del volumen de sólidos en el flujo, es mayor de 0.2 (20%) pero no supera 0.6 (60%), valor que corresponde a un peso específico de 2.0 ton/m^3 aproximadamente (Suárez, 2009).

- **Geodinámica:** Disciplina de la Geología encargada de estudiar los movimientos que ocurren en la Tierra desde que su origen, estos movimientos corresponden a los que se originan en el interior (geodinámica interna) y por las fuerzas externas que actúan sobre la corteza terrestre (geodinámica externa) (Medina, 1991).

- **Geología:** Es una ciencia histórica que se diferencia de otras ciencias como la física, química y biología porque éstas son limitadas en cuanto a las posibilidades de poder experimentar (Van Bemmelen, 1961).

- **Geomorfología:** Corresponde al estudio de las formas del terreno, así como los procesos que intervienen en su formación. También se encarga de investigar las interrelaciones entre las formas del terreno y los procesos, considerando su distribución en el medio (Van Zuidam, 1973).

- **Inundación fluvial:** Peligro geohidrológico donde el "terreno próximo al cauce de un río que es cubierto por las aguas luego de una crecida. Estos procesos son originados por las precipitaciones intensas y/o extraordinarias" (Dávila, 2006).

- **Medidas estructurales:** Medidas que involucran una intervención física mediante la implementación de obras de ingeniería con el propósito de reducir o evitar impactos de las amenazas, con ello se busca proteger a la población y sus bienes (Luis *et al*., 2018).

- **Medidas no estructurales:** Corresponden a medidas que no involucren una construcción física y que utilizan el conocimiento, así como las prácticas con la finalidad de reducir el riesgo y sus impactos, específicamente mediante políticas y leyes, sensibilización de la población, capacitación y educación (ISRD, 2009).

- **Meteorización: "**Corresponde a las alteraciones que generan cambios en las características físicas y químicas de las rocas y suelos. Puede ser física, química y biológica" (PMA: GCA, 2007).

- **Microcuenca:** Espacio delimitado por elevaciones como montañas o colinas. En estas áreas las aguas de escorrentía originan los ríos, y pueden ser ocupadas por poblaciones (FAO, 2007).

- **Medidas de Mitigación:** Consiste en la implementación de acciones y programas con la finalidad de mitigar y reducir el impacto de los desastres. Corresponde a medidas estructurales y no estructurales con el propósito de reducir la vulnerabilidad o la intensidad de un fenómeno, estas medidas corresponden a: obras de protección, sensibilización de la población, diseño de sistemas de monitoreo y de alerta temprana, entre otras (Cenepred, 2006).

- **Morfogénesis:** Estudia el origen y evolución de las geoformas. Estos relieves se forman debido a procesos endógenos (plegamientos, vulcanismo, etc.) y exógenos (denudación, sedimentación fluvial torrencial, sedimentación fluvial tranquila, entre otros) (Villota, 1997).

- **Morfodinámica:** Se encarga del estudio de los procesos superficiales que modifican una geoforma, considerando las que actuaron en el pasado, así como en el presente (INGEOMINAS, 2004a).

- **Movimiento en masa:** Corresponde al movimiento ladera debajo de una masa de roca, detritos o tierras (Cruden, 1991).

- **Peligro natural:** "Es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural potencialmente dañino en un periodo determinado y en una zona dada" (Naciones Unidas, 1984).

- **Peligro geológico: "**Proceso o fenómeno geológico que podría ocasionar muerte, lesión u otro impacto a la salud, así como daños a la propiedad, pérdida de medios de sustento o servicios y daños ambientales" (EIRD, 2009).

- **Pendiente:** Superficie inclinada de un terreno. Sinónimo: talud, torrente, gradiente.

- **Precipitación:** Corresponde a las formas de humedad originadas en las nubes y que llegan hasta la superficie terrestre (Villón, 2002). Las precipitaciones se originan por la combinación de diferentes eventos atmosféricos ocurridos en las nubes (Suárez, 2001).

- **Sedimentos: "**Partículas minerales u orgánicas que se han disgregado de la roca madre debido a procesos erosivos" (Megahan, 1999).

- **Subcuenca:** Conjunto de microcuencas que drenan a un solo cauce con caudal fluctuante pero permanente (Ordoñez, 2011).

- **Unidad litoestratigráfica: "**Afloramiento rocoso definido y reconocido considerando sus propiedades litológicas y relaciones estratigráficas" (Murphy & Salvador, 1999).

- **Zona crítica:** "Zona o área con peligros potenciales de acuerdo a la vulnerabilidad asociada (infraestructura y centros poblados), que muestran una recurrencia, en algunos casos, entre periódica y excepcional. Pueden presentarse durante la ocurrencia de lluvias excepcionales y puede ser necesario considerarlas dentro de los planes o políticas nacionales, regionales y/o locales sobre prevención y atención de desastres" (Luque *et al.*, 2020).

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

4.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El tipo de estudio realizado es descriptivo y aplicado porque busca generar información geodinámica sobre los peligros geológicos en la microcuenca Huaycán, determinar las causas del origen de estos eventos, identificar elementos expuestos ante estos peligros y emitir recomendaciones viables técnica y económicamente por las autoridades locales.

La recolección de los datos durante las etapas del estudio se realizó en la microcuenca Huaycán. El estudio de los peligros geológicos en la microcuenca mencionada contribuye a la gestión del riesgo de desastres en el distrito de Cieneguilla.

Mientras que el diseño de la investigación es de tipo no experimental porque no se realizó la manipulación de las variables independientes.

4.2. ETAPAS DEL ESTUDIO

Para que la investigación se desarrolle correctamente y logren los objetivos propuestos, el plan de trabajo se desarrolló en tres etapas (figura 41): etapa I (Pre-campo), etapa II (Campo) y etapa III (Post-campo).

4.2.1. Etapa I: Trabajos de Pre-campo

- Recopilación, revisión y sistematización de información sobre peligros geológicos en la microcuenca Huaycán.
- Recopilación de información topográfica, catastral, entre otras proporcionadas por la Municipalidad Distrital de Cieneguilla.
- Recopilación de información topográfica (1: 25 000 y 1: 50 000).
- Recopilación de información cartográfica geológica, geomorfológica (escala 1: 50 000 y 1: 100 000), susceptibilidad, inventario y zonas críticas.
- Revisión y recopilación de datos históricos sobre precipitaciones y sismicidad en la microcuenca Huaycán.
- Recopilación de imágenes satelitales SPOT 6 proporcionadas por Ingemmet.
- Recopilación de fotografías aéreas del año 1962 proporcionadas por Ingemmet.
- Recopilación de un Modelo de Elevación Digital (DEM), con resolución espacial de 8 m.
- Fotointerpretación de imágenes satelitales y fotografías aéreas de la zona de estudio.
- Elaboración de mapas temáticos preliminares (ubicación, geológico, geomorfológico y de peligros geológicos) utilizando el software ArcGIS.

4.2.2. Etapa II: Trabajos de Campo

- Identificación, delimitación y caracterización de las unidades geomorfológicas en la microcuenca Huaycán.
- Identificación, delimitación y caracterización de las unidades litoestratigráficas.
- Reconocimiento, tipificación y caracterización de los procesos geodinámicos en la microcuenca Huaycán.
- Registro de puntos de control GPS de los diferentes peligros geológicos para la base de datos de inventario de peligros geológicos.
- Identificación, cartografiado y descripción macroscópica de los depósitos formados por los procesos geodinámicos.
- Medición de la longitud del canal de drenaje de la quebrada principal y las quebradas secundarias, entre otros datos.
- Ubicación de los elementos expuestos ante los procesos geodinámicos.

4.2.3. Etapa III: Trabajos de Post-campo

- Preparación de planos de pendientes, sombras y altitudes haciendo uso del Modelo de Elevación Digital (DEM) y el software ArcGIS.
- Elaboración de curvas de nivel y red de drenaje utilizando el Modelo de Elevación Digital (DEM) y el software ArcGIS.
- Sistematización y análisis de los datos adquiridos en campo.
- Preparación de planos geológico y geomorfológico haciendo uso del software ArcGIS.
- Elaboración del mapa de cartografía de peligros geológicos (escala 1: 5 000) de la microcuenca Huaycán como contribución a la gestión del riesgo de desastres.
- Elaboración del mapa de obras de mitigación ante peligros geológicos en la microcuenca Huaycán.
- Elaboración de figuras, tablas, estadísticas, selección de fotografías y redacción de la tesis.

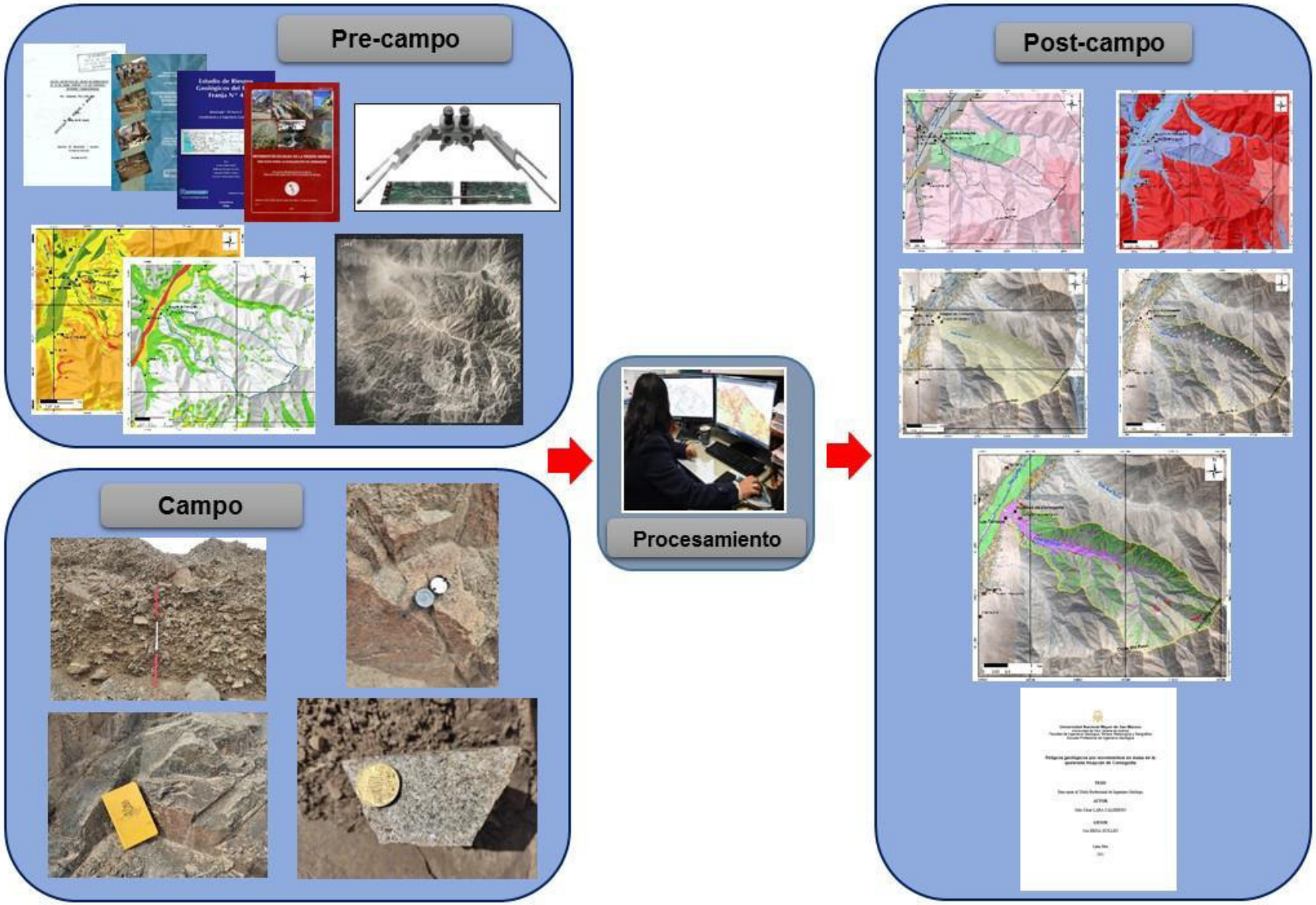


Figura 41. Etapas de pre-campo, campo y post-campo para el desarrollo del trabajo de investigación.

4.3. UNIDAD DE ANÁLISIS

Corresponde al registro de peligros geológicos identificados en la microcuenca Huaycán, Cieneguilla-Lima.

4.4. POBLACIÓN DE ESTUDIO

La microcuenca Huaycán ubicada en el distrito de Cieneguilla-Lima.

4.5. TAMAÑO DE MUESTRA

Corresponde a 130 ocurrencias de peligros geológicos en la microcuenca Huaycán, Cieneguilla-Lima.

4.6. SELECCIÓN DE MUESTRA

Se realizó la identificación (puntos de control GPS, fotografía y ficha), caracterización y cartografía de cada ocurrencia de peligros geológicos en la microcuenca Huaycán.

4.7. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Comprende la recolección y sistematización de antecedentes históricos (revisión y sistematización bibliográfica) y la inspección técnica (trabajos de campo) realizada en la microcuenca Huaycán. Los datos obtenidos durante los trabajos de campo corresponden a: registro GPS, mediciones, fotos, así como la cartografía geomorfológica, geológica y geodinámica.

4.8. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Se obtuvo en base a las tres etapas del diseño de la investigación:

a) La Etapa I implicó la búsqueda y depuración de información técnica sobre peligros geológicos**,** geología, geomorfología y geodinámica de la microcuenca Huaycán.
b) Durante la Etapa II se realizó el:
   - Cartografiado geológico y geomorfológico de la microcuenca de la quebrada Huaycán.
   - Inventario y cartografiado de peligros geológicos en la microcuenca Huaycán
   - Toma de puntos de control GPS de los diferentes peligros geológicos para el registro de cada evento geodinámico.
   - Ubicación de elementos expuestos a los procesos geodinámicos.
c) Finalmente, en la Etapa III se realizó el procesamiento de los datos generados durante la inspección técnica, la preparación de mapas y la redacción de la tesis.

CAPÍTULO V: ASPECTOS GEOLÓGICOS

5.1. GEOLOGÍA REGIONAL

Considerando la Carta Geológica del Perú, a escala 1: 100 000, elaborada por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (Ingemmet), la microcuenca Huaycán se encuentra en el cuadrángulo de Lurín (Hoja 25-j), cuya geología regional fue realizada por Palacios *et al.* (1992). Mientras que la versión digital del mapa geológico a escala 1: 100 000 fue realizado por Palacios (1998).

De acuerdo con estas investigaciones, en la zona de estudio afloran rocas volcánicas pertenecientes al Volcánico Quilmaná (Grupo Casma), rocas intrusivas de tipo tonalita-granodiorita (Superunidad Santa Rosa) y diorita xenolítica (Superunidad Patap), así como depósitos aluviales.

5.2. GEOLOGÍA LOCAL

El Ingemmet ha realizado estudios sobre la geología de la microcuenca Huaycán, dicha información geológica se encuentra en la Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Mala (26-j), Lurín (25-j) y Lima (25-l) realizada por León & De La Cruz (2003), así como en los mapas geológicos del cuadrángulo de Lurín (Hojas 25-j1, 25-j2, 25-j3 y 25-j4) a escala 1: 50 000 realizados por León *et al*. (2002). Dichos estudios muestran que en microcuenca Huaycán existen rocas volcanosedimentarias (Formación Chilca-Grupo Casma), rocas intrusivas (Superunidad Santa Rosa) y depósitos Cuaternarios (depósitos aluviales).

Como parte de la presente investigación se realizó un cartografiado geológico a la escala 1: 25 000, tomando como base el mapa geológico del cuadrángulo de Lurín (Hojas 25-j1, 25-j2, 25-j3 y 25-j4) a escala 1: 50 000 realizados por León *et al*. (2002) y el mapa geológico a escala 1: 100 000 del cuadrángulo de Lurín (Hoja 25-j) realizado por Palacios (1998).

5.3. ESTRATIGRAFÍA

La estratigrafía regional de la microcuenca Huaycán se muestra en los trabajos realizados por Palacios *et al*. (1992), así como León & De La Cruz (2003).

Los estudios realizados por Palacios *et al*. (1992), a escala 1: 100 000, indican que en la zona de estudio afloran rocas volcánicas pertenecientes al Volcánico Quilmaná, rocas intrusivas de la Superunidad Patap y Superunidad Santa Rosa, así como depósitos aluviales (Holoceno). Mientras que el trabajo de León & De La Cruz (2003), a escala 1: 50 000, indica que en la zona de estudio afloran rocas volcanosedimentarias de la Formación Chilca-Grupo Casma, rocas intrusivas de la Superunidad Santa Rosa y depósitos Cuaternarios (depósitos aluviales).

A continuación, se detallan las unidades litoestratigráficas identificadas en la microcuenca Huaycán, como parte de los trabajos de campo realizados durante esta investigación (figura 42):

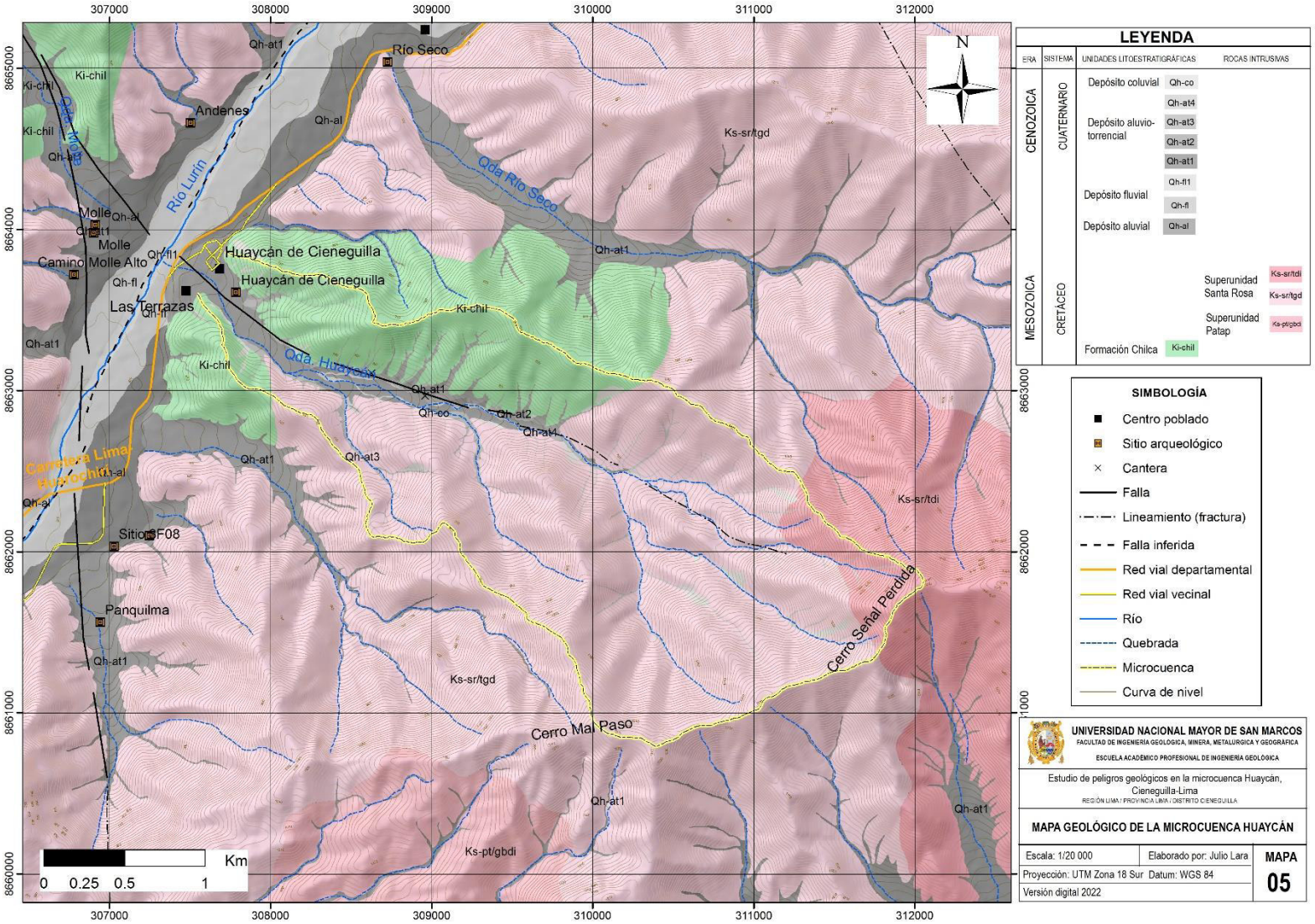


Figura 42. Mapa geológico de la microcuenca Huaycán.

Mesozoico

Cretáceo

Grupo Casma

El Grupo Casma da inicio a un ciclo volcánico-sedimentario que se encuentra desarrollado al norte de Lima (zona costera de Áncash y Cordillera Negra). En esta zona Myers (1980) identificó alrededor de 6 000 metros de secuencias volcánico-sedimentarias marinas en la parte inferior, seguidas por volcánicos sub-aéreos en la parte superior, diferenciando las formaciones: Punta Gramadal, La Zorra, Breas y Lupín.

Este grupo ha sido dividido en dos secuencias: en la parte inferior, una secuencia volcánico-sedimentaria y en la parte superior una secuencia volcánica. Por ejemplo, en la parte noreste del valle de río Chillón sobre la Formación Atocongo se ha identificado una unidad volcánica denominada Formación Huarangal (Ingemmet, 1981), mientras que al sur (cuadrángulo de Lurín) se tiene como su equivalente a la Formación Chilca, sobreyaciendo de manera concordante al Volcánico Quilmaná.

Dentro de este grupo se encuentran las siguientes formaciones:

Formación Chilca

La Formación Chilca se encuentra suprayaciendo en forma concordante a la Formación Pamplona (sur de Lurín). Esta unidad litoestratigráfica corresponde a una secuencia volcánico-sedimentaria que consiste en su parte inferior de calizas intercaladas con derrames volcánicos y hacia la parte superior es una secuencia prácticamente volcánica.

Estas secuencias se evidencian por ejemplo en un corte en la carretera Panamericana Sur (Punta Hermosa), dónde se encuentran grauvacas y derrames andesíticos que se encuentran sobre secuencias pelíticas de la Formación Pamplona. Al sur, a la altura de San Bartolo, la Formación Chilca está constituida por andesitas, brechas sedimentarias y areniscas arcósicas conglomerádicas.

Palacios *et al.* (1992) identificaron en la quebrada Chilca una secuencia inferior conformada por calizas, areniscas con matriz calcárea y horizontes conchíferos (coquinas), estos últimos formados por restos de lamelibranquios y gasterópodos.

La secuencia clástica de la Formación Chilca tiene un origen volcánico, tipo brechoide y está constituida por materiales de erosión y depositación rápida. Estos materiales no aparecen al norte de Lurín posiblemente porque entre San Bartolo y Punta Hermosa existió un paleorelieve positivo que separó la subcuenca Lima de la subcuenca Chilca (Palacios *et al*., 1992).

De acuerdo con León & De La Cruz (2003) la Formación Chilca pertenece a la parte inferior del Grupo Casma, conformando la parte basal de las estribaciones andinas y siendo truncada por el Batolito de la Costa. Los afloramientos de esta formación fueron identificados en la quebrada Chilca, en la mina Condestable y en el cerro Perico.

Esta formación consta de tobas líticas, tobas vítricas con intercalaciones de brechas piroclásticas, lavas y areniscas volcánicas bien estratificadas. Estas secuencias son cortadas por diferentes enjambres de diques que dan la apariencia de ser estratos.

En la microcuenca Huaycán, se identificaron afloramientos de la Formación Chilca en la parte media y baja. Estos afloramientos corresponden a rocas volcánicas de tipo andesitas, por ejemplo, las identificadas en la margen izquierda de la quebrada Huaycán (figura 43).

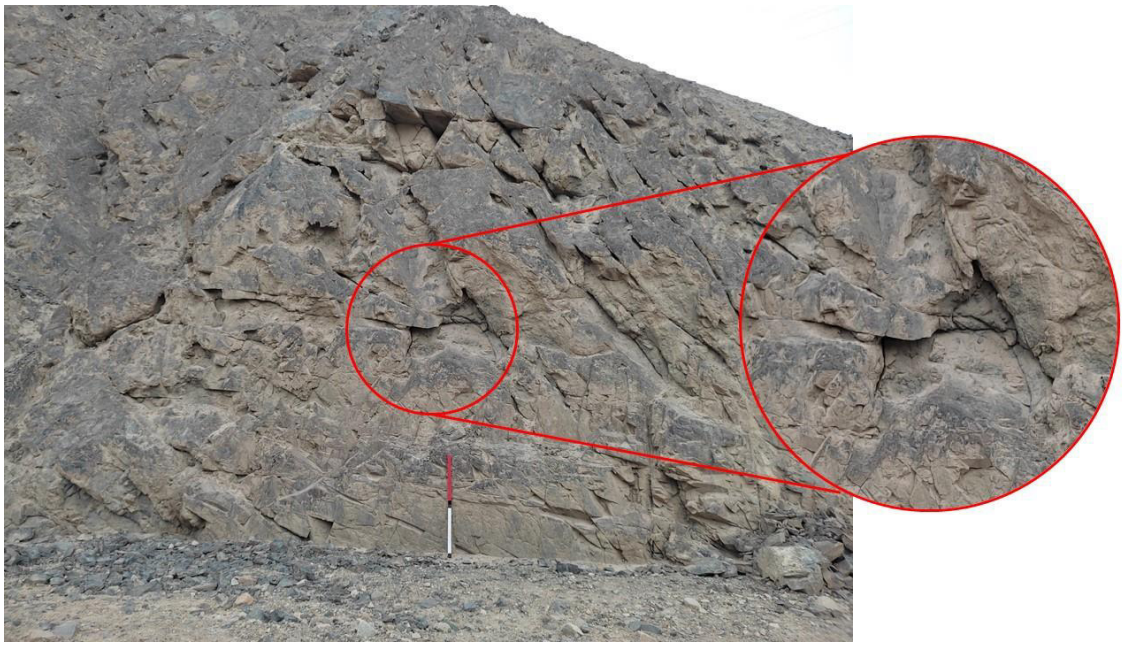


Figura 43. Afloramientos de andesitas de la Formación Chilca identificados en la parte baja de la microcuenca Huaycán.

Litológicamente, en el área de investigación se reconocieron substratos rocosos de la Formación Chilca que corresponden a lavas andesíticas masivas poco estratificadas de textura porfirítica con presencia de fenocristales de plagioclasa en una matriz microcristalina de color gris verdoso (figura 44).



Figura 44. Andesitas masivas poco estratificadas de textura porfirítica.

Las andesitas pertenecientes a la Formación Chilca, se encontraban medianamente a muy fracturadas y moderadamente a altamente meteorizadas. Se identificaron hasta tres sistemas de fracturamiento: F1 (N306°/70°SW), F2 (N100°/70°S) y F3 (N160°/46SW) que forman cuñas en dirección hacia la quebrada Huaycán, lo cual favorece la ocurrencia de caída de rocas y derrumbes (figura 45). Mientras que las laderas de los afloramientos presentaban pendiente fuerte a muy fuerte del terreno (15°-45°). Estas características son condicionantes para la generación de caídas de rocas y derrumbes.

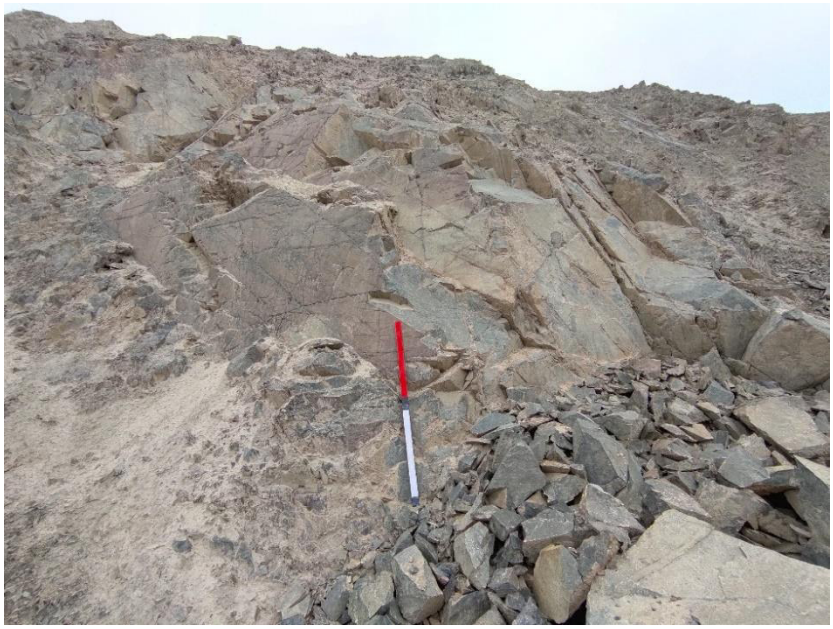


Figura 45. Afloramientos de andesitas pertenecientes a la Formación Chilca susceptibles a la ocurrencia de caídas de rocas.

Depósitos Cuaternarios

Depósitos aluviales

Los depósitos aluviales se encuentran en ambas márgenes del río Lurín, en zonas de baja pendiente (parte media y baja de la cuenca) formando relieves subhorizontales y de relativo tamaño, como las terrazas aluviales en el río Lurín, las cuales actualmente se encuentran antropizadas. Los depósitos aluviales recientes están constituidos principalmente por bloques y gravas subredondeadas envueltas en una matriz arenosa. Cabe mencionar que, este tipo de depósitos pueden ser considerados como depósitos fluvioaluviales debido a la dinámica fluvial del río Lurín.

Depósitos aluvio-torrenciales

En la microcuenca Huaycán se identificaron depósitos aluvio-torrenciales o proluviales formados por flujos de detritos (huaicos) antiguos y recientes. Los depósitos se encuentran rellenando el cauce principal de la quebrada Huaycán, así como en ambas márgenes del cauce principal, debido al aporte de las quebradas tributarias.

Los depósitos aluvio-torrenciales, en la zona de estudio, están constituidos principalmente por bloques y gravas con formas subangulosas a subredondeadas, dichos materiales se encuentran envueltos en una matriz arenosa a arenoarcillosa (figura 46). Cabe mencionar que en la parte alta de la microcuenca Huaycán se han identificado bloques de hasta 4.5 metros de diámetro transportados por flujos de detritos antiguos.



Figura 46. Depósitos aluvio-torrenciales antiguos identificados en la parte alta de la microcuenca Huaycán. Estos depósitos están constituidos por gravas de hasta 50 cm. subangulosas a subredondeadas envueltas por una matriz arenosa.

Los depósitos aluvio-torrenciales se caracterizan por presentar poca compactación (materiales inconsolidados), son altamente permeables y no cohesivos. Estas características hacen que estos depósitos sean susceptibles a la generación de flujos de detritos recientes.

En el área de investigación los flujos de detritos (huaicos) han generado depósitos aluvio-torrenciales antiguos y recientes, los depósitos antiguos se ubican principalmente en el cauce principal de la quebrada Huaycán, mientras que los depósitos recientes en las quebradas tributarias (figura 47), las cuales que aportan sedimentos al cauce principal de la quebrada Huaycán.



Figura 47. Depósitos proluviales antiguos y recientes identificados en la microcuenca Huaycán (parte baja de la microcuenca).

Depósitos fluviales

Los depósitos fluviales corresponden a los materiales que conforman los cauces de los ríos, las terrazas bajas inundables y llanuras de inundación. Este tipo de depósito está constituido por gravas y arenas finas a gruesas, cuarzosas y subredondeadas.

Estos depósitos se encuentran conformando terrazas fluviales y llanuras de inundación, éstas últimas son geoformas susceptibles a procesos de inundaciones y erosión fluvial, debido a la morfología del terreno y la pendiente. Los depósitos fluviales son removidos estacionalmente debido a las precipitaciones pluviales en la parte alta de la cuenca que aumentan el caudal del agua generando erosiones e inundaciones.

Cabe mencionar que este tipo de depósitos son comúnmente utilizados como materiales para construir defensas ribereñas o como materiales de construcción.

En la Asociación de Vivienda Las Terrazas, se identificaron estos depósitos conformando terrazas fluviales en la margen izquierda del río Lurín. Estos depósitos están constituidos por arenas de grano medio a grueso intercaladas con gravas polimícticas subredondeadas a redondeadas envueltas en una matriz arenosa de grano medio a grueso y arenas (figura 48).



Figura 48. Depósitos fluviales cubiertos por depósitos aluviales en la Asociación de Vivienda Las Terrazas.

Depósitos coluviales

Los depósitos coluviales corresponden a depósitos no consolidados depositados en la base de las elevaciones. Se encuentran a manera de taludes de detritos con aspecto irregular y de origen coluvial.

Se caracterizan por su naturaleza litológica homogénea, granulometría (gravas y bloques) variada debido al poco transporte de los fragmentos que son angulosos a subangulosos y su grado de compactación bajo a muy bajo.

Estos depósitos se originan en afloramientos rocosos muy fracturados y meteorizados, que generan bloques inestables que por acción de la gravedad caen hacia la parte baja, así como por la presencia de movimientos sísmicos y lluvias intensas.

Debido a que los depósitos coluviales son materiales inconsolidados, estos son susceptibles a remoción por acción hídrica y aportan material al cauce principal de la

quebrada Huaycán (figura 49). Por ello, ante la presencia de lluvias intensas se generarían flujos de detritos en la quebrada Huaycán, estos depósitos aportarían material a los flujos, incrementado su carga y poder erosivo, así como la generación de mayores daños en la parte baja de la quebrada en mención.



Figura 49. Depósitos coluviales formados por fragmentos angulosos a subangulosos debido al poco transporte.

5.4. ROCAS ÍGNEAS

El Batolito de la Costa

La clasificación de las rocas intrusivas plutónicas realizada por Pitcher (1978) fue modificada por Palacios *et al.* (1992) para poder identificar superfamilias o superunidades en base a la textura, variación modal, origen entre otros criterios. Estas superunidades se agruparon en tres grandes segmentos conocidos como: Segmento Trujillo (desde el norte hasta Chimbote), Segmento Lima (desde Chimbote hasta el sur de Lima: Quebrada Tinajas-Lurín) y Segmento Arequipa (desde el sur de Lima hasta Arequipa).

Es importante mencionar que a la altura de la cuenca baja del río Lurín (quebrada Tinajas) se han producido cambios petroquímicos en las superunidades al pasar del Segmento Lima al Segmento Arequipa. Un ejemplo que ocurre en esta zona es el caso de la Superunidad Santa Rosa que es reemplazada por la Superunidad Tiabaya al producirse el aumento en el contenido potásico.

El orden cronológico de las superunidades identificadas por Palacios *et al.* (1992) y León *et al*. (2002) en la zona de estudio, es el siguiente:

Superunidad Patap

De acuerdo con Pitcher (1985) esta superfamilia corresponde a las rocas más antiguas del Batolito de la Costa con rangos de edad que van desde 84 a 102 Ma. Litológicamente está formada por rocas intrusivas de tipo gabro y diorita.

Gabro-dioritas

Estas rocas intrusivas se encuentran al suroeste de la microcuenca Huaycán, intruyendo a substratos rocosos sedimentarios y volcánicos pertenecientes al Mesozoico, generando procesos de metamorfismo. Estos afloramientos también son cortados por rocas más recientes del Batolito, como la Superunidad Santa Rosa.

Posiblemente las gabro-dioritas se generaron contemporáneamente con la fase compresiva (fines del Cretáceo). Mientras que Pitcher W. S., indica que estas rocas se emplazaron traslapando a la fase comprensiva Intracretácea (Albiano) sugiriendo un emplazamiento a presión, sin embargo, muchas intrusiones gabroides son post-tectónicas.

De acuerdo con Pitcher *et al*. (1985) los gabros intruyen a estratos del Albiano, por ello deben ser más jóvenes que 107 m.a. Mientras que la datación (método K/Ar) realizada por Stewart *et al*. (1974) en gabro-dioritas extraídas de Manchay, indica una edad de 89 +- 2 m.a. en biotita y 74 +- 12 m. a. en hornblenda; cuya edad indica que pertenecen al Cretáceo superior.

Superunidad Santa Rosa

La superunidad Santa Rosa corresponde a rocas intrusivas de tipo tonalita-diorita y tonalita-granodiorita. Los afloramientos de esta superunidad cubren grandes áreas de los cuadrángulos de Chancay y Chosica formando lo que se conoce como el Segmento Lima.

Son posteriores a las rocas intrusivas de la Superunidad Patap y Paccho, a las que se encuentra intruyendo con contactos definidos y casi verticales. También intruye a las rocas mesozoicas del Grupo Casma.

La superunidad Santa Rosa ha sido dividida en dos subunidades: cuerpos claros (tonalita-granodiorita) y cuerpos oscuros (tonalita-diorita), las cuales tienen similitudes químicas, texturales y de emplazamiento (Palacios *et al*., 1992).

Tonalita-granodiorita

Esta subunidad se caracteriza por su coloración gris clara a diferencia de las rocas tipo dioritas-tonalitas que son más oscuras y a las que prácticamente se encuentran

bordeando. Un ejemplo de esta transición entre ambas subunidades se encuentra en Cieneguilla, dónde las leucotonalitas claras con presencia de abundante cuarzo (cuerpos claros de la Superunidad Santa Rosa) se convierten en dioritas cuarcíferas (cuerpos oscuros de la Superunidad Santa Rosa), específicamente en la parte alta del Cerro Huaycán.

Las rocas intrusivas tipo tonalitas-granodioritas de la Superunidad Santa Rosa se encuentran aflorando en las microcuencas de las quebradas Huaycán y Tinajas. Las tonalitas se caracterizan por presentar cierto grado de dureza, debido a la presencia de cuarzo en su composición, esta característica hace que presenten un relieve agudo, con presencia de estructuras tabulares debido al diaclasamiento de las rocas. El rumbo predominante de este diaclasamiento tiene una dirección norte-sur, variando en algunos sectores al noroeste o al sureste.

En la microcuenca Huaycán, se identificaron rocas intrusivas de tipo tonalita y granodiorita que corresponden a la Superunidad Santa Rosa. Estos afloramientos se encuentran predominantemente en la margen izquierda de la quebrada Huaycán, así como en la parte media y alta de la microcuenca. En la parte alta de la microcuenca Huaycán se identificaron granodioritas de coloración gris clara, textura equigranular y holocristalina de grano medio a grueso (figura 50).



Figura 50. Muestra de granodiorita con textura equigranular identificada en la parte alta de la quebrada Huaycán.

Los afloramientos de granodioritas y tonalitas se caracterizan por presentar cierto grado de dureza (debido a la presencia de cuarzo), esta característica hace que presenten un relieve agudo, con presencia de estructuras tabulares debido al fracturamiento de las rocas (figura 51). En la figura 52 se puede apreciar el rumbo y buzamiento de estas fracturas, las cuales son: F1 (N 345°/72°NE), F2 (302°/56°NE) y F3 (82°/40°SE).



Figura 51. Granodioritas identificadas en la margen izquierda de la quebrada Huaycán (Cerro Mal Paso). Estos afloramientos presentan un relieve agudo, con presencia de estructuras tabulares debido al fracturamiento de las rocas.



Figura 52. Fracturas identificadas en las granodioritas de la Superunidad Santa Rosa.

Las características físicas de las tonalitas son: coloración gris clara, textura equigranular y holocristalina de grano fino a medio (figura 53). Cabe mencionar que los afloramientos se encontraban medianamente a muy fracturados y moderadamente a altamente meteorizados. Mientras que las laderas de los afloramientos presentaban pendiente

fuerte a muy fuerte del terreno (25° a 45°). Debido a estas características, los afloramientos presentan condiciones para originar procesos de caídas de rocas, derrumbes y flujos de detritos (figura 54).



Figura 53. Rocas intrusivas tipo tonalitas identificadas en la parte media de la quebrada Huaycán.



Figura 54. Afloramientos de tonalitas identificadas en la parte media de la microcuenca Huaycán.

Hacia la parte alta de la microcuenca Huaycán, específicamente en las rocas intrusivas de tipo tonalita-granodiorita, se identificaron sistemas de fracturamiento: una familia con rumbo N 160° (figura 55) y otra familia con dirección N 100°. Estas familias de fracturamiento coinciden con la dirección del cauce de las quebradas, por ello es posible que estos sistemas de fracturas fueran los controles estructurales para la formación de las dos quebradas tributarias cuya confluencia da origen a la quebrada Huaycán.

Cabe precisar que estos sistemas de fracturamiento coinciden con dos de las tres familias de fracturamiento y/o fallamiento, identificadas por Palacios *et al*. (1992): una familia con rumbo N 10° a N 30°, otra familia con dirección N 70° a N 100° y una última familia con rumbo N 165° a N 180°. Además de los trabajos de microtectónica realizados en el Estudio Geológico del Área de Lima (1980), se puede inferir que las primeras dos familias de fracturamiento presentaron un movimiento de desgarre, dextral y sinextral, respectivamente, donde la fuerza de compresión o dirección de acortamiento presentó una dirección NE-SW (fase del Terciario inferior). Mientras que la tercera familia pudo haber tenido un movimiento dextral o sinextral, con un eje de acortamiento N-S (fase compresiva del Terciario superior).

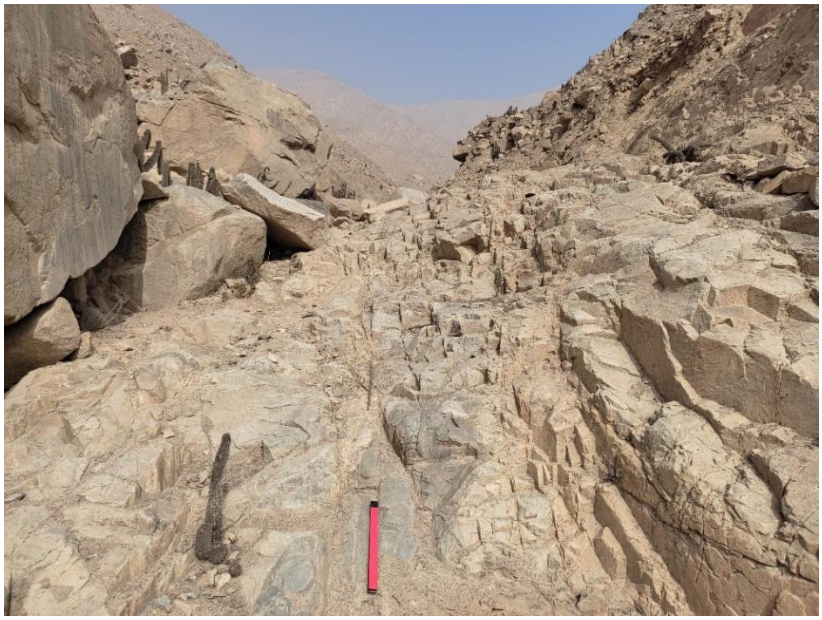


Figura 55. Rocas intrusivas tipo tonalitas pertenecientes a la Superunidad Santa Rosa con un sistema de fracturamiento que coincide con la dirección del cauce de la quebrada.

Tonalita-diorita

Esta subunidad corresponde a intrusiones caracterizadas por su color oscuro. Sus afloramientos fueron identificados por Palacios *et al*. (1992) en los cerros de Manchay, La Molina y el valle del río Rímac. En el cuadrángulo de Chancay se encuentra aflorando en el borde nororiental del Cerro Campana, donde se encuentra intruyendo a secuencias

cretácicas y a la Superunidad Paraíso, asimismo es intruída por las tonalitas-granodioritas de la subunidad Santa Rosa claro.

De acuerdo con Palacios *et al*. (1992) las muestras de estos afloramientos presentan una coloración oscura y texturas holocristalinas, donde resalta la presencia de plagioclasas blancas en una matriz oscura.

Cabe mencionar que el cambio de tonalitas leucócratas correspondientes a Santa Rosa claro, a las tonalitas mesócratas de Santa Rosa oscuro, se presentan de manera gradacional, esto se debe principalmente a la menor cantidad de cuarzo y el incremento de minerales ferromagnesianos. Estos cambios se evidencian en las tonalitas que se convierten en dioritas cuarcíferas.

CAPÍTULO VI: ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

6.1. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

De acuerdo con el mapa geomorfológico de los cuadrángulos de Chancay, Chosica, Lima y Lurín a escala 1: 1, 000 000 (Palacios *et al*., 1992), los rasgos geomorfológicos identificados en los cuadrángulos en mención fueron originados por procesos tectónicos y plutónicos, así como los procesos geodinámicos externos que han modelado los paisajes morfoestructurales.

El estudio indica que las formas estructurales como el anticlinal de Lima y los fallamientos han controlado el modelamiento de la región. Mientras que los procesos de erosión e incisión de los ríos Rímac, Lurín, Chancay y Chillón, así como la acumulación de depósitos eólicos han contribuido en la configuración actual de los relieves, generando rasgos geomorfológicos denominados como unidades, las cuales corresponden a: islas, borde litoral, planicies costaneras y conos deyectivos, lomas y cerros testigos, valles y quebradas, estribaciones andinas occidentales y zona andina

Considerando el mapa geomorfológico elaborado por Palacios *et al*. (1992) en la microcuenca Huaycán existen unidades de estribaciones andinas occidentales que rodean valles y quebradas del río Lurín.

Estribaciones andinas occidentales

Esta unidad corresponde a relieves abruptos formados por plutones y stocks del Batolito de la Costa y que constituyen estribaciones marginales de la Cordillera Occidental, que presentan un rumbo NW-SE. Estas estribaciones han sido disectadas por diferentes cauces fluviales y quebradas que desembocan en la zona costera.

Las estribaciones andinas alcanzan elevaciones entre los 900 a 3600 m y evidencian la fuerte erosión generada por cauces fluviales en el Pleistoceno.

Valles y quebradas

Corresponde a los valles formados por los ríos Rímac, Chillón, Lurín y Chancay y afluentes de los ríos antes mencionados, como la quebrada Huaycán que permanece seca la mayor parte del año, reactivándose en temporadas de lluvias excepcionales.

El Ingemmet ha identificado unidades geomorfológicas a nivel nacional considerando una escala regional (1: 250 000). En dicho mapa las unidades geomorfológicas del territorio peruano fueron delimitadas considerando los estudios realizados por Villota (2005), la Unión Geográfica Internacional (UGI), Verstappen & Van Zuidam (1991) y la "Guía para la elaboración del Mapa Geomorfológico de España a escala 1:50,000 realizada por Martín-Serrano *et al*. (2004).

Cabe mencionar que el mapa geomorfológico del Perú se encuentra en proceso de actualización, por ello su uso debe ser referencial. Considerando este mapa geomorfológico, en la microcuenca de la quebrada Huaycán se han delimitado unidades geomorfológicas que corresponden a: montañas, colinas, lomadas, así como piedemontes.

6.2. GEOMORFOLOGÍA LOCAL

Para el análisis de la geomorfología local, se consideraron como base: un modelo de elevación digital (DEM) del servidor ALOS PALSAR con una resolución (GSD) de 8 m, imágenes satelitales SPOT 6 (años 2017, 2018 y 2021), fotografías aéreas (año 1962) y cartografía geomorfológica elaborada por el Ingemmet.

Haciendo uso de un software SIG, se realizó el procesamiento del DEM para obtener subproductos como: modelo de altitudes, modelo de sombras, modelo de pendientes, curvas de nivel y red de drenaje (figura 56). Estos insumos contribuyeron en la cartografía de la geomorfología local a escala 1: 25 000. También se realizaron trabajos de fotointerpretación de imágenes satelitales y fotografías aéreas para el estudio de la morfometría de los relieves presentes en la zona de estudio, complementada con los trabajos de campo realizados en la microcuenca Huaycán.

6.2.1. Modelo de altitudes

La microcuenca Huaycán presenta relieves con altitudes entre 400 m s.n.m. y 1450 m s.n.m. (figura 57), las cuales corresponden a las estribaciones andinas denominadas Cerro Señal Perdida y Cerro Mal Paso con altitudes de hasta 1500 y 1250 m s.n.m., respectivamente.

Mientras que la población y viviendas asentada en la parte baja de la microcuenca Huaycán como la Asociación de Vivienda Las Terrazas, el Centro Poblado Rural Autogestionario Huaycán de Cieneguilla, y la zona arqueológica Huaycán de Cieneguilla se asientan sobre relieves con elevaciones entre 300 y 450 m s.n.m.

6.2.2. Modelo de sombras

Es un modelo digital obtenido a partir de un DEM y que muestra superficies del terreno por medio del sombreado. Este modelo aportó a la cartografía de los relieves existentes en la microcuenca Huaycán y alrededores.

6.2.3. Modelo de pendientes

El modelo de pendientes elaborado para la microcuenca Huaycán (figura 58), fue generado utilizando el DEM antes mencionado, los resultados muestran que la

zona de estudio presenta pendiente del terreno inclinado-suave (1º-5°) a muy fuerte-escarpado (25°-45º).

Las laderas del Cerro Señal Perdida presentan pendientes que varían de fuerte (15°-25°) a muy fuerte (25°-45°), mientras que el Cerro Mal Paso presenta laderas con pendientes muy fuerte (25°-45°) a muy escarpado (>45°). En estas laderas de las elevaciones, sobre todo en pendientes muy fuerte a muy escarpado, en caso de la ocurrencia de sismos, se podrían generar movimientos en masa como derrumbes o caídas de rocas.

La población y viviendas asentadas en la parte baja de la microcuenca Huaycán y la zona arqueológica Huaycán de Cieneguilla se asientan sobre relieves con pendiente del terreno inclinado-suave (1º-5°) a moderado (5°-15º).

Mientras que en la parte baja de la microcuenca Huaycán, específicamente en el río Lurín existen pendientes del terreno llano (<1°) a inclinado-suave (1º-5°), estos terrenos presentan condicionantes para la generación de procesos de inundación y erosión fluvial en temporada de lluvias intensas y/o excepcionales.

6.2.4. Curvas de nivel

Las curvas de nivel obtenidas a partir del DEM corresponden a líneas que representan ubicaciones con un mismo valor, por ejemplo: elevación, temperatura, precipitación, etc.

En la microcuenca Huaycán las curvas de nivel corresponden a cotas que varían entre 400 a 1 500 m, en la cuenca baja y alta, respectivamente.

6.2.5. Red de drenaje

Está conformada por los procesos de transporte de las aguas y/o sedimentos a través de ríos y quebradas.

En la microcuenca Huaycán la red de drenaje corresponde a la quebrada Huaycán y las quebradas tributarias.

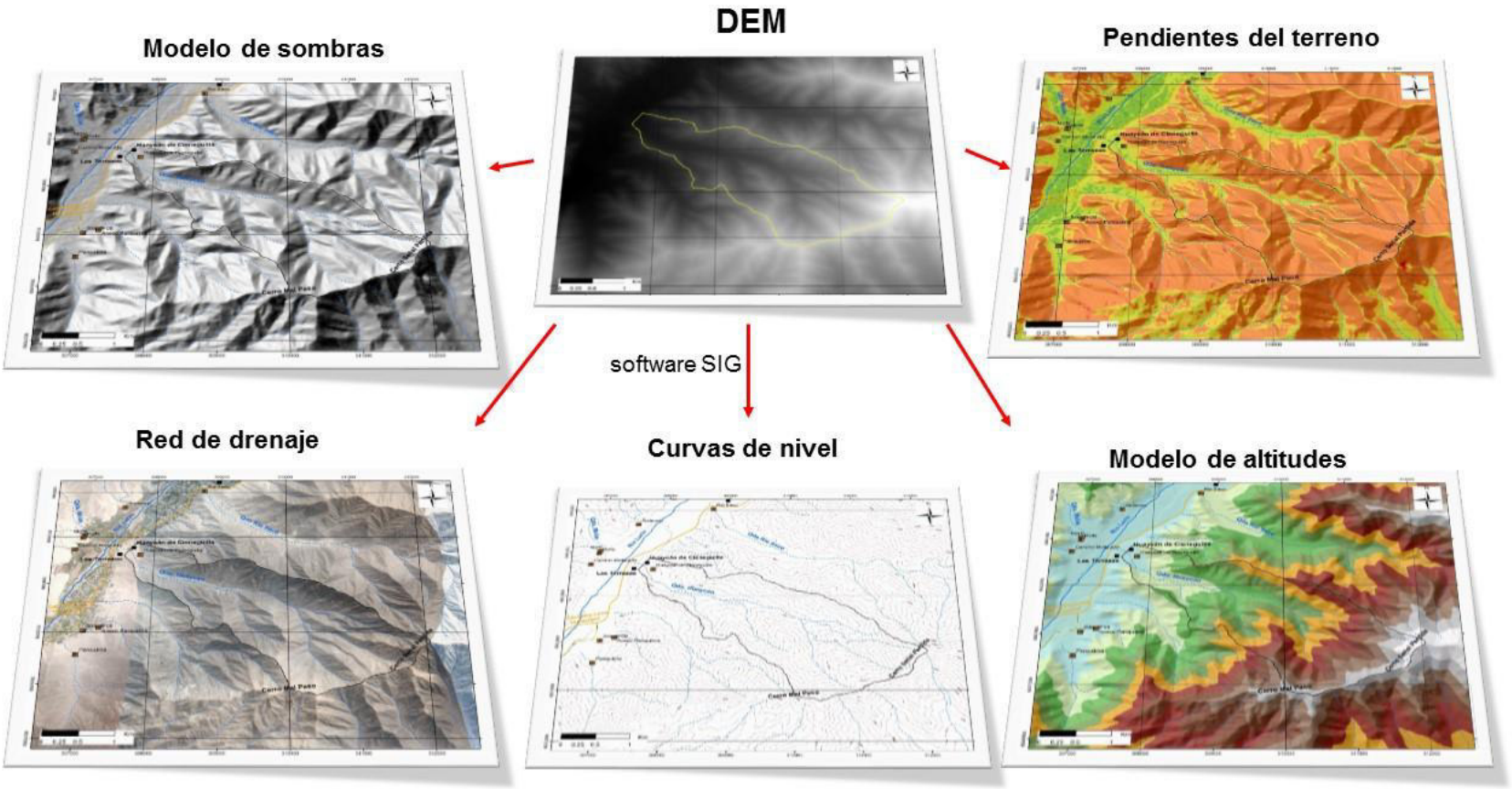


Figura 56. Insumos obtenidos a partir del procesamiento de un modelo de elevación digital (DEM) para la zona de estudio.

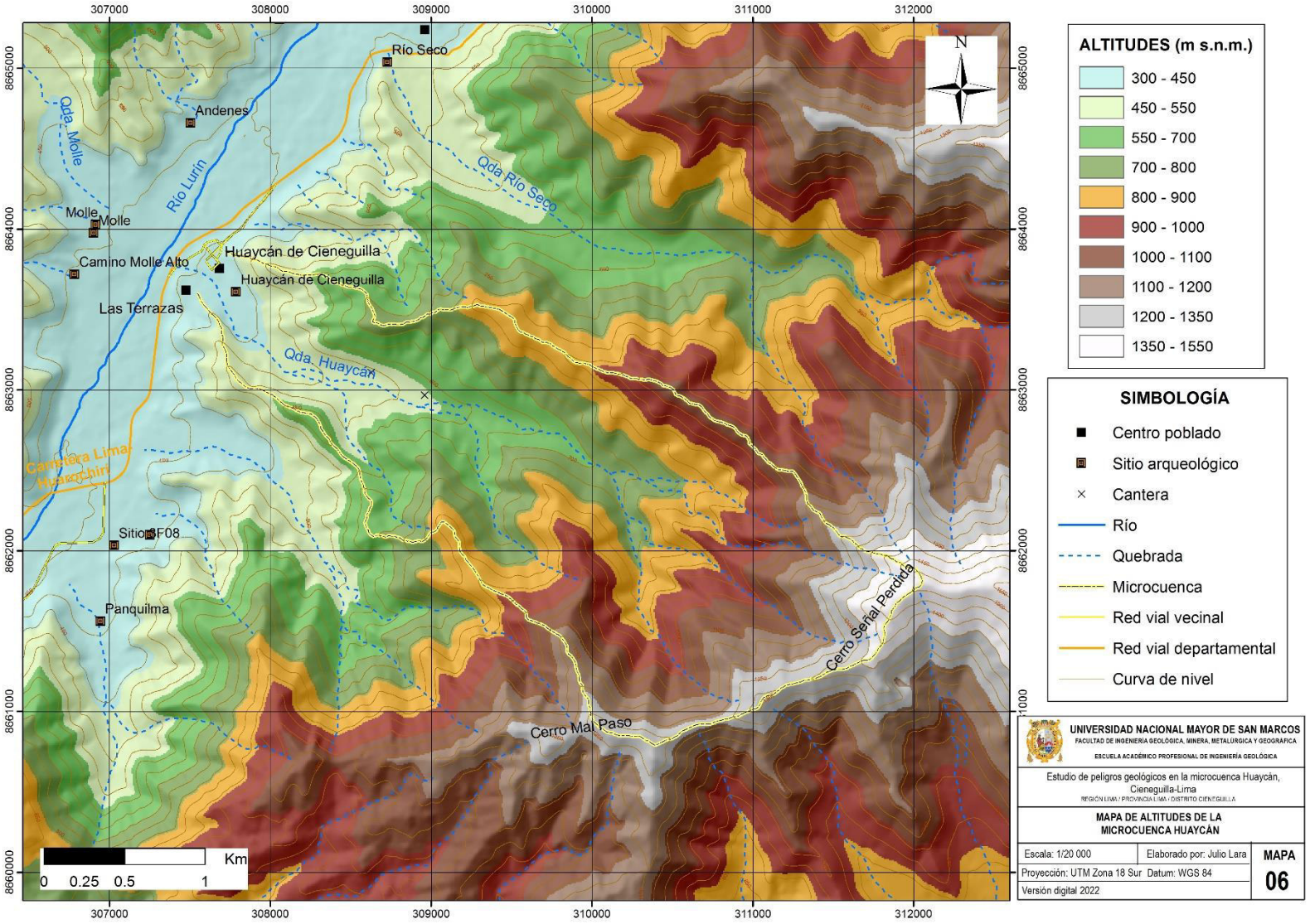


Figura 57. Mapa de altitudes de la microcuenca Huaycán.

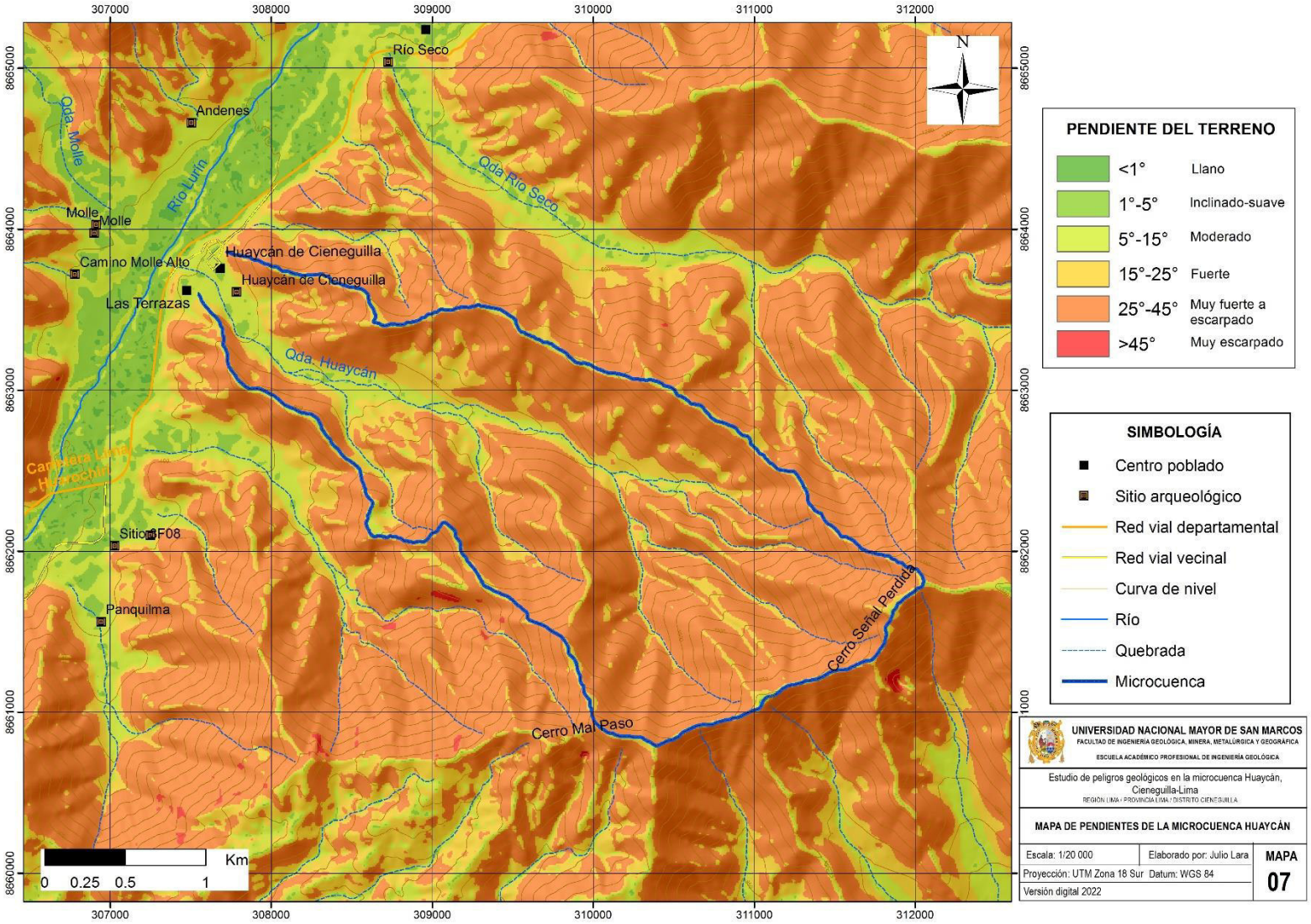


Figura 58. Mapa de pendientes de la microcuenca Huaycán.

6.2.6. Unidades y subunidades geomorfológicas

Para poder identificar, delimitar y caracterizar las geoformas existentes en la microcuenca Huaycán, se analizaron diferentes aspectos, por ejemplo, las pendientes del terreno, las altitudes, la litología, el relieve y el origen de cada geoforma.

De manera preliminar se identificaron las geoformas en gabinete, las cuales fueron validadas durante la inspección técnica realizada en la microcuenca Huaycán.

Cabe mencionar que, para la clasificación de las geoformas, se consideró la metodología propuesta por Villota (2005), en base a la inspección técnica realizada en la microcuenca Huaycán. Las unidades y subunidades geomorfológicas se detallan en la tabla 17 y figura 59.

Tabla 17. Clasificación de las unidades y subunidades geomorfológicas reconocidas en la microcuenca Huaycán

Unidades geomorfológicas de carácter tectónico degradacional y erosional	
Unidad	Sub unidad
Montañas	Montaña en roca intrusiva (RM-ri)
Colinas y lomadas	Colinas y lomadas en rocas volcánicas (RCL-rv)
	Colinas y lomadas en rocas intrusivas (RCL-ri)
Unidades geomorfológicas de carácter depositacional o agradacional	
Unidad	Sub unidad
Piedemonte	Piedemonte aluvio-torrencial (P-at)
	Piedemonte coluvial (V-c)
Terraza	Terraza aluvial (Ta)
	Terraza fluvial (Tf)
	Cauce del río (C-r)

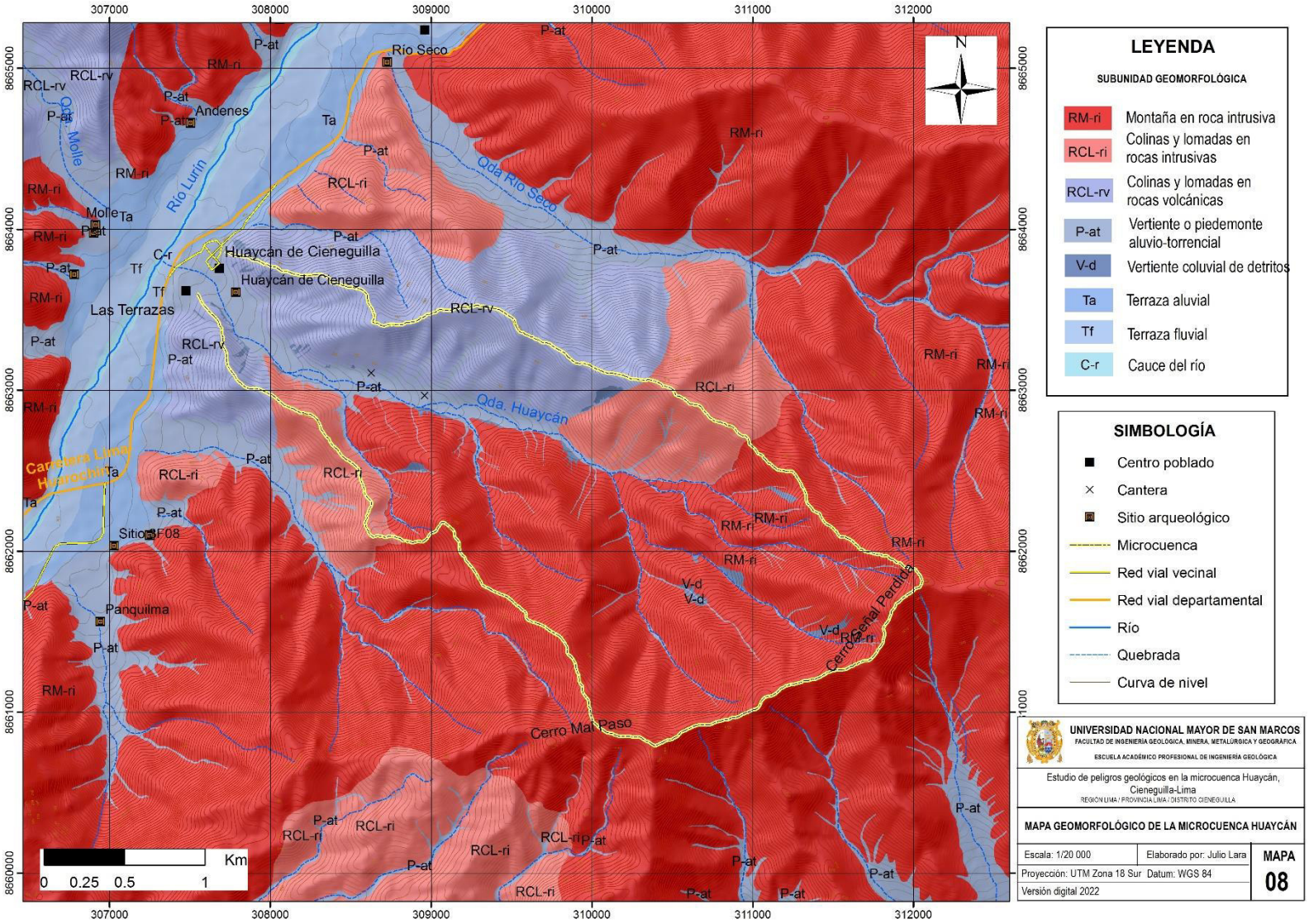


Figura 59. Mapa geomorfológico de la microcuenca Huaycán.

Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional

Estas subunidades geomorfológicas son el resultado de los procesos morfodinámicos degradacionales o denudacionales que actúan sobre geoformas que se han originado por la tectónica o sobre otras formas de relieve de origen depositacional. Estos procesos modifican el relieve actual del terreno de manera parcial o total en el tiempo geológico y en presencia de condiciones climáticas que están en constante cambio (Villota, 2005).

Las geoformas que se han originado por procesos denudativos corresponden a montañas, colinas y lomadas. Para la zona de estudio se han identificado dos unidades geomorfológicas: montañas y colinas.

Unidad de montañas

Las montañas son elevaciones naturales del terreno que presentan un desnivel mayor a 300 m, cuya cima puede ser aguda o redondeada y cuyas laderas tienen una pendiente mayor a 30% (FAO, 1968).

En la microcuenca Huaycán se identificaron montañas en roca intrusiva.

Subunidad de Montaña en roca intrusiva

Son geoformas caracterizadas por presentar pendiente fuerte del terreno y altitudes que pueden superar los 1530 metros. Estos relieves están conformados por substratos rocosos intrusivos pertenecientes al Batolito de la Costa, cuyo emplazamiento predominantemente tiene una dirección noroeste-sureste.

Las montañas en roca intrusiva se encuentran representadas por los denominados cerros Mal Paso y Señal Perdida que conforman las estribaciones andinas de la microcuenca Huaycán de Cieneguilla.

El drenaje identificado en estas geoformas es de tipo dendrítico y semirectangular debido a la presencia de fracturas y diaclasas. Estos relieves forman valles profundos en forma de V en la parte alta de la quebrada Huaycán.

En la microcuenca Huaycán las montañas identificadas están formadas por rocas intrusivas de tipo tonalitas y granodioritas. Estos afloramientos intrusivos presentan procesos de fracturamiento y meteorización moderada a fuerte. Mientras que las laderas de estas geoformas presentan pendiente fuerte (15° a 25°) a muy fuerte del terreno (25° a 45°) (figuras 60 y 61).

La litología, el fracturamiento, la meteorización y la pendiente de estas geoformas genera que estos relieves sean susceptibles a la generación de peligros geológicos, por ello geodinámicamente se originan procesos como huaicos, derrumbes y caídas de rocas.



Figura 60. Relieves de montañas modeladas en rocas intrusivas e identificadas en la parte alta de la microcuenca Huaycán (cerro Señal Perdida). Estas geoformas presentan pendientes de hasta 45°.



Figura 61. Montañas en rocas intrusivas identificadas en la parte alta del cerro Mal Paso. La pendiente de las laderas de estas elevaciones presenta rangos de entre 25 a 45° (pendiente muy fuerte).

Unidad de colinas y lomadas

En la microcuenca Huaycán existen relieves como las colinas cuyas alturas son menores a los 300 m y sus laderas se caracterizan por tener pendientes superiores a 16% (FAO, 1968). Mientras que las lomadas son formas del relieve que presentan alturas menores a 300 m, pero a diferencia de las colinas se caracterizan por presentar cimas redondeadas y alargadas, así como pendientes entre 8% y 16%.

Esta unidad se encuentra formando alineamientos de origen estructural y denudacional. Cabe mencionar que esta unidad se encuentra cerca de las montañas y forma parte de las estribaciones andinas.

Litológicamente está conformada por rocas intrusivas y volcánicas que tienen edades que comprenden desde el Jurásico al Neógeno.

Dentro de esta unidad se identificaron dos subunidades geomorfológicas:

Subunidad de colinas y lomadas en rocas volcánicas

Estas subunidades geomorfológicas están formadas por rocas volcánicas de tipo andesitas, tobas y brechas piroclásticas, que se encuentran en la parte media y baja de la microcuenca Huaycán.

Estas geoformas presentan relieves redondeados y alargados, así como pendiente fuerte a muy fuerte (15° a 45°) y con desniveles menores a 300 m.

Se han identificado estas formas del relieve en los alrededores de la zona urbana de Huaycán de Cieneguilla y se encuentran conformando parte de las estribaciones andinas del cerro Señal Perdida, como las colinas y lomadas identificadas al noreste de la zona arqueológica Huaycán de Cieneguilla que presentan pendientes entre 25° a 45° (figura 62).

Geodinámicamente, estas geoformas están asociadas a procesos como caídas de rocas y derrumbes.



Figura 62. Geoformas de colinas y lomadas identificadas al noreste de la zona arqueológica Huaycán de Cieneguilla.

Subunidad de colinas y lomadas en rocas intrusivas

Estas geoformas corresponden a substratos rocosos intrusivos de tipo tonalita y diorita (Batolito de la Costa) que presentan desniveles menores a los 300 m.

Se caracterizan por presentar formas redondeadas y pendientes del terreno que van de fuerte a muy fuerte (15° a 45°), por ello en estos relieves no son comunes procesos como deslizamientos, pero si se pueden observar caídas de rocas y erosión de laderas (cárcavas).

Se identificaron estas subunidades en la parte alta de la microcuenca Huaycán, específicamente en el cerro Señal Perdida (figura 63). En estos relieves se identificaron eventos de tipo derrumbe y caída de rocas.



Figura 63. Colinas y lomadas en rocas intrusivas de tipo tonalita y diorita. Estas geoformas fueron identificadas en la parte media de la quebrada Huaycán.

Geoformas de carácter depositacional o agradacional

Estas geoformas son originadas por diferentes procesos constructivos, debido a agentes como: el agua, el glaciar, el mar y el viento, los cuales se encargan de la depositación de los sedimentos generados por los procesos de denudación de otras geoformas más elevadas o previamente originadas, como las montañas, colinas o lomadas (Villota, 2005).

Las unidades geomorfológicas que se han originado por procesos depositacionales en la zona de estudio corresponden a: piedemontes, planicies, otras geoformas fluviales y otras geoformas.

Unidad de piedemonte

Los piedemontes corresponden a “relieves con superficies inclinadas y disectadas que se ubican al pie de elevaciones como montañas o colinas. Estas geoformas se han originado por procesos de depositación de las aguas de escorrentía que provienen de terrenos más elevados” (Villota, 1991).

Para delimitar estas geoformas se ha identificado y caracterizado el tipo de depósito, el tipo de acumulación de los materiales y las pendientes del relieve.

Subunidad de piedemonte aluvio-torrencial

Estas geoformas son originadas por huaicos e involucran geoformas subhorizontales a levemente inclinadas. Estos relieves presentan pendiente del terreno muy baja a media (<1° a 15°) y se encuentran al pie de las estribaciones andinas o cadenas montañosas.

Estas geoformas se generan debido a la depositación de materiales que son trasladados por acción de las aguas de escorrentía. Las corrientes de agua pueden ser estacionales, ocasionales y/o excepcionales. Varios de estos depósitos se han formado por quebradas tributarias a la quebrada Huaycán y que actualmente se encuentran secas (figura 64).



Figura 64. Piedemontes aluvio-torrenciales identificados en el cauce principal de la microcuenca Huaycán.

Estas formas del relieve están asociadas principalmente al fenómeno El Niño, cuyas precipitaciones pluviales (lluvias) han generado la reactivación de las quebradas eventualmente secas en la microcuenca Huaycán.

Durante la inspección técnica en la zona de estudio se delimitaron estas geoformas principalmente en el cauce principal y tributarios de la quebrada Huaycán, así como en las quebradas tributarias provenientes de ambas márgenes de la quebrada principal (figura 65). Es importante considerar que estas subunidades geomorfológicas aportarían material para la generación de huaicos ante lluvias extraordinarias.

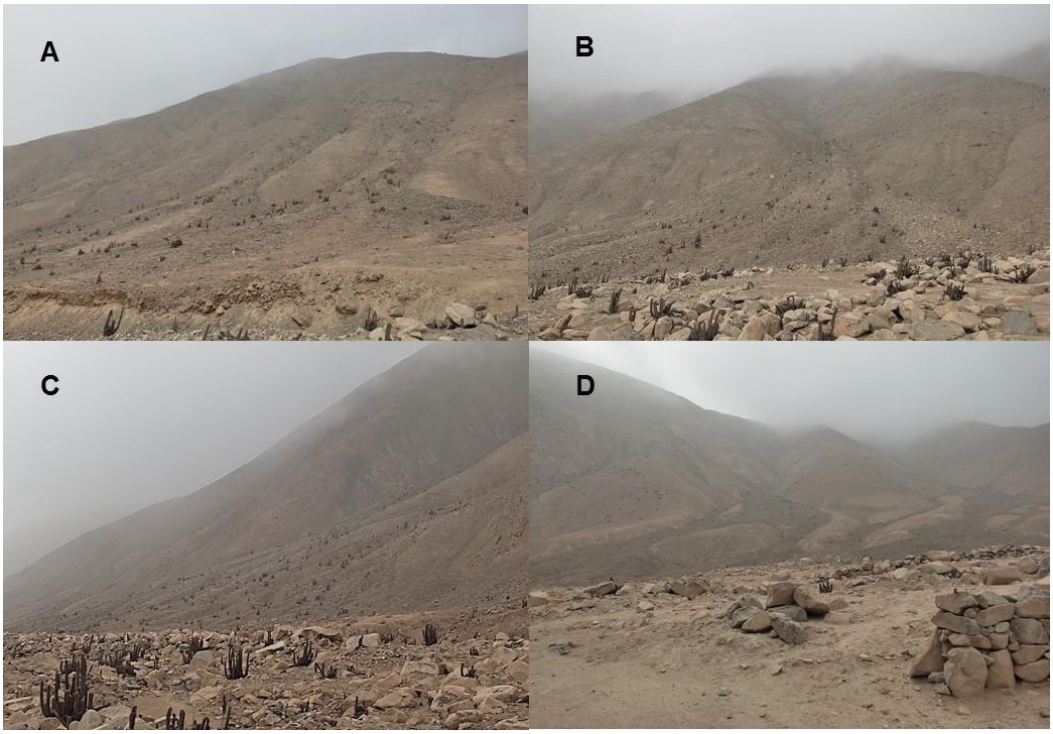


Figura 65. Geoformas de piedemontes aluvio-torrenciales identificados en la parte media de la microcuenca Huaycán. Piedemontes antiguos y recientes formados por quebradas tributarias (A y B) y piedemontes provenientes que aportan material a la quebrada Huaycán (C y D).

Subunidad de piedemonte coluvial

Son geoformas que corresponden a materiales no consolidados y ubicados en la base de las elevaciones. Se encuentran formando relieves de forma irregular y de origen coluvial, originados por acción de la gravedad.

Estos depósitos se caracterizan por su naturaleza litológica homogénea, granulometría variable debido al poco transporte de los fragmentos que son angulosos a subangulosos y su grado de compactación bajo (figura 66). Estas geoformas representan relieves potencialmente inestables y se originan en afloramientos rocosos fracturados y meteorizados, que generan bloques inestables que por acción de la gravedad caen hacia la parte baja, así como por la presencia de precipitaciones o sismos (figura 67).



Figura 66. Vertiente coluvial de detritos formados por procesos de derrumbes identificados en la parte baja de la microcuenca Huaycán.

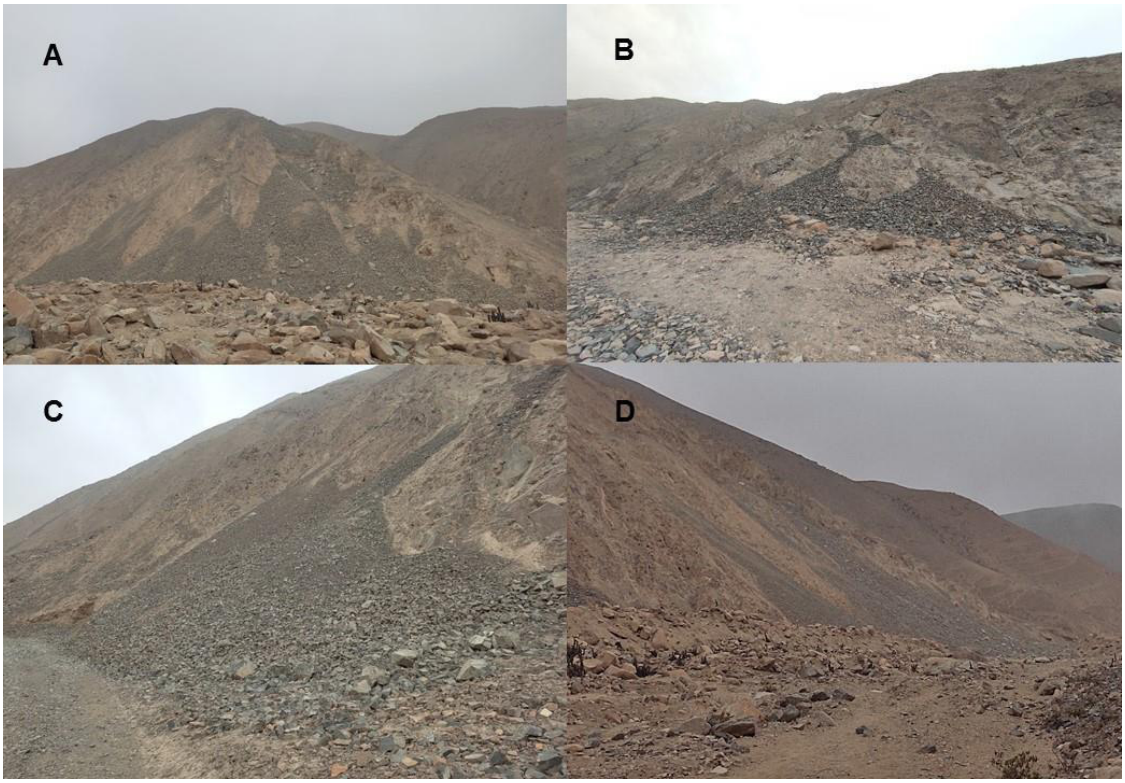


Figura 67. Geoformas de piedemontes coluviales identificadas en las laderas de montañas y colinas de la microcuenca Huaycán. A). Piedemontes en el cerro Mal Paso, B). Piedemontes que han formado conos coluviales en el cerro Mal Paso, C). Piedemontes coluviales en las laderas del cerro Señal Perdida y D). Piedemontes originados por caídas de rocas en el cerro Mal Paso.

Unidad de terraza

Las terrazas corresponden a superficies subhorizontales con ligeras ondulaciones que se han originado por procesos depositacionales y/o agradacionales. Entre los principales agentes constructivos se tienen: las aguas, los glaciares, las mareas y los vientos. Para la zona de estudio el principal agente son las aguas superficiales.
Las geoformas que comprenden esta unidad son las terrazas aluviales, fluviales y cauce del río diferenciadas principalmente por la litología de los depósitos y que se encuentran limitadas por lo general por relieves de piedemontes y elevaciones.

Subunidad de terraza aluvial

Estas geoformas involucran relieves subhorizontales próximos a las llanuras de inundación que se diferencian de éstas por la altura y que por lo general no se inundan. Presentan pendientes muy baja (<1°) a baja (1° a 5°).

Estas geoformas se ubican en el valle del río Lurín y se han originado por procesos aluvionales antiguos. Sobre estos relieves se desarrollan áreas de cultivo que caracterizan al valle del río Lurín, así como poblaciones y carreteras asentadas sobre estas geoformas (figura 68).

Estos relieves podrían ser afectados por inundaciones y erosiones fluviales originadas por la dinámica fluvial del río Lurín durante lluvias intensas y/o excepcionales.



Figura 68. Vista al noroeste de terrazas aluviales identificadas en el valle del río Lurín. En estas zonas se ubican áreas agrícolas propias del valle.

Subunidad de terraza fluvial

Las terrazas fluviales corresponden a depósitos formados por las acumulaciones de gravas, arenas y arcillas transportadas por acción fluvial de las aguas del río Lurín. Estas geoformas presentan pendientes muy baja (<1°) a baja (1° a 5°).

Estas geoformas se han originado por la dinámica del río Lurín y se ubican en ambas márgenes del río en mención, por ello debido a su morfología y cercanía al lecho fluvial podrían ser afectados por inundaciones y erosiones fluviales.

Actualmente las terrazas fluviales identificadas en la parte baja de la quebrada Huaycán se encuentran ocupadas por terrenos agrícolas o también son utilizadas como zonas de recreación.

Cabe mencionar que estas terrazas se encuentran cubiertas y/o rellenadas por depósitos antrópicos para ser utilizadas como áreas de uso recreativo.

Estas geoformas pueden ser afectadas por inundaciones y erosiones fluviales debido principalmente a la altura de las terrazas fluviales y su proximidad al cauce principal del río Lurín (figura 69).



Figura 69. Terrazas fluviales identificadas en ambas márgenes del río Lurín, las cuales alcanzan alturas de entre 2 a 5 metros. Estas geoformas podrían ser afectadas por inundaciones fluviales.

Subunidad de cauce del río

La subunidad de cauce del río corresponde al lecho fluvial del río Lurín el cual presenta un ancho promedio de hasta 39 m aproximadamente, en la parte baja de la quebrada Huaycán.

Esta geoforma está constituida por gravas, arenas y arcillas que son transportadas por acción de las aguas del río Lurín.

Actualmente el río Lurín se encuentra en temporada de estiaje y colmatado por depósitos fluviales (figura 70). Cabe mencionar que en medio del cauce se ha implementado una especie de vía de acceso entre Huaycán y Fundo Molle, el cual podría ser afectado en temporada de crecida del río Lurín.



Figura 70. Cauce del río Lurín, se pueden observar gravas, arenas y arcillas que son transportadas por las aguas del río en mención.

CAPÍTULO VII: PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA MICROCUENCA HUAYCÁN

7.1. REGISTRO HISTÓRICO DE PELIGROS GEOLÓGICOS

La cuenca Lurín presenta quebradas laterales al cauce principal y depósitos aluviales formados por estas quebradas tributarias. Cabe mencionar que, en estos depósitos, así como en los conglomerados del fondo de valle del río Lurín, no se han encontrado vestigios arquitectónicos, lo cual implica que los depósitos aluviales se formaron mucho antes de la ocupación humana (Bueno, 1995).

En el valle del río Lurín se han generado huaicos que se han canalizado por las diferentes quebradas que conforman la cuenca del río en mención (tabla 18). Estos procesos han destruido la única vía de acceso entre las poblaciones rurales y la ciudad, así como la afectación de las poblaciones asentadas en las desembocaduras de las quebradas ubicadas en las subcuencas Lurín bajo y medio (Allende, 2002).

Considerando el estudio realizado por San Miguel (2019), se han encontrado evidencias de inundaciones fluviales ocasionadas por el desborde del río Lurín en fotografías aéreas de los años 1962 y 1971 (tabla 19). En estas fotografías se pueden observar las variaciones en el cauce principal y antiguo del río Lurín que fue originado debido al incremento de su caudal. En la actualidad se ha producido el estrechamiento del cauce natural y las terrazas aluviales han sido ocupadas por viviendas y terrenos agrícolas.

De acuerdo con Eeckhout (1997) se consideraba que la zona arqueológica de Huaycán de Cieneguilla había sido dividida por un huaico que se generó en la quebrada Huaycán, sin embargo, no se tienen registros exactos de la fecha de ocurrencia de ese hecho. Mientras que Ruales *et al*. (2013) indicaron que al parecer los procesos se habrían originado mucho antes que sean ocupados por las construcciones de la zona arqueológica en mención.

Los trabajos realizados por Bueno (2008) indican que las lluvias extraordinarias generadas hace 1200 años d.C. generaron huaicos desde la parte alta de la quebrada Huaycán, afectando el Conjunto de Las Hornacinas o Conjunto H de la zona arqueológica de Huaycán de Cieneguilla. Evidencias de estos flujos se obtuvieron de las excavaciones realizadas y que mostraban materiales arenosos en la base de los pisos y en las estructuras afectadas.

Según los trabajos realizados por Allende (1998) y Ccente & Cerpa (2009) durante el fenómeno ENSO de 1998, en el mes de febrero, se generaron huaicos en la parte alta de la microcuenca Huaycán y que se canalizaron hasta la parte baja, este suceso impacto fuertemente en la población (tabla 20). También se generaron estos procesos en otras quebradas de los alrededores, como: Ocorure, Piedra Liza, Río Seco, Tinajas y Manchay, los cuales provocaron afectación en la población, viviendas y terrenos de cultivo.

Tabla 18. Registro de huaicos ocurridos en la cuenca del río Lurín

Quebrada	Km	Ocurrencia de huaicos	Propensa a huaicos	Subcuenca	Año de ocurrencia
Tinajas	15-17	x		Lurín bajo y medio	76, 83
San Vicente	33-34	x			76, 83
Antivales	36-37	x			76, 83
Yanacoto	38-39	x			83
Balconcillo de Avivay	42-43	x			76, 83, 87
Qda.	43	x			
Canturia		x			76, 83, 87 (3)
San José	46-47	x			80, 81
Chamallanca	48-49	x			77, 81 (3), 83 (2)
La Capilla	52-53		x		77
Ocorure	55	x			80
Pampa de Lara	56-57	x			77, 81, 82 (2), 83
Qda.	60.5	x			77
Piedra Mesa	60-61	x			77, 81, 83
Picuya	62-63	x			77, 82
Tanquire	62-63		x		83
Chamacna	64-65	x			77, 80 (2), 81 (3), 82 (3), 83 (5), 84
Huarico	67-68	x			77 (2), 80 (3), 82, 83
Río Seco	75	x		Río Canchahuara	81, 82, 83
Margen derecha del río Canchahuara	78-79	x			81, 82
Margen derecha del río Canchahuara	81		x		81, 82
Vílchez			x		82, 83
Canova			x		82
San Lorenzo de Escomarca	116.45	x			76

Fuente: MTC (1991). Tomado de Allende (2002).

Tabla 19. Cronología de inundaciones y erosiones fluviales en el valle del río Lurín

Fecha	Evento
1962 y 1971	Inundación en Huaycán. Frente a la quebrada Huaycán se evidenciaron procesos de inundación en el valle del río Lurín (San Miguel, 2019). Actualmente las zonas inundables se encuentran ocupadas por viviendas y terrenos agrícolas.
1969	Inundación en Pachacámac. Se produjo la inundación del sector Casa Blanca hasta el poblado de Pachacámac (información de pobladores) (Mestanza, 2007).
1997-1998	Inundaciones y erosión fluvial. Debido a las lluvias intensas en la parte alta de la cuenca del río Lurín se generaron inundaciones, avalanchas de lodo y erosión en Cieneguilla (Mestanza, 2007).
17/02/1999	Inundación en Cieneguilla. Debido a lluvias intensas se desbordó el río Lurín a la altura de la primera etapa de la parcelación de Cieneguilla. Daños: 50 damnificados, 18 viviendas inundadas y cuatro viviendas destruidas.
2017	Inundación fluvial, erosión fluvial y huaicos en el río Lurín y quebradas afluentes. Terrenos de cultivo, población y carreteras afectadas por estos procesos detonados con las fuertes lluvias de El Niño Costero 2017 (Ochoa *et al*., 2017a; Ochoa *et al*., 2017b).

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20. Registro de eventos geodinámicos ocurridos en la microcuenca Huaycán

Fecha	Evento
Plioceno-Pleistoceno	Flujos de detritos (huaicos) en la quebrada Huaycán. Procesos originados antes de la construcción de la zona arqueológica Huaycán de Cieneguilla (1200-1532 d.C.).
1200 d.C.	Flujos de detritos en la quebrada Huaycán. Debido a un fenómeno ENSO se produjeron huaicos que afectaron la zona arqueológica Huaycán de Cieneguilla.
1962 y 1971	Inundación fluvial en Huaycán. Frente a la quebrada Huaycán y haciendo uso de fotografías aéreas se evidenciaron procesos de inundación en el valle del río Lurín, sobre los cuales actualmente se encuentran asentadas viviendas y terrenos agrícolas (San Miguel, 2019).
1998	Flujos de detritos en la quebrada Huaycán. Debido a las precipitaciones pluviales generadas por el ENSO de 1998 se produjeron huaicos en las quebradas Huaycán, Ocorure, Piedra Liza, Río Seco, Cieneguilla, Tinajas y Manchay (Allende, 1998; Ccente & Cerpa, 2009).
2017	Erosión fluvial y flujos en Huaycán. Terrenos de cultivo afectados por procesos de erosión fluvial detonados con las fuertes lluvias de El Niño Costero 2017. Flujos en los sectores Mesa de Piedra y Huaycán (Ochoa *et al.*, 2017a; Ochoa *et al.*, 2017b).
2023	Flujos de lodo y agua en la quebrada Huaycán generados por las lluvias excepcionales a causa del ciclón Yaku. Los flujos afectaron el centro arqueológico Huaycán de Cieneguilla, así como viviendas y vías de acceso.

Fuente: Elaboración propia.

7.2. PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA MICROCUENCA HUAYCÁN

En la microcuenca Huaycán se identificaron peligros geológicos por movimientos en masa como flujos de detritos (huaicos), caídas de rocas y derrumbes, peligros geohidrológicos como inundaciones y erosiones fluviales y otros peligros geológicos como erosión de laderas (cárcavas).

Los peligros geológicos fueron identificados, caracterizados y cartografiados a escala 1: 5 000, utilizando imágenes satelitales SPOT6 de los años 2017, 2018 y 2021 y fichas de inventario, en estas últimas se detallan y caracterizan cada evento identificado. Cada peligro identificado fue caracterizado utilizando criterios geológicos, geomorfológicos y geodinámicos.

Los datos obtenidos durante los trabajos de campo realizados en la microcuenca Huaycán, permitieron generar una base de datos (Anexo 1) con un total de 130 peligros geológicos (figuras 71 y 72). Del total en mención, 42 eventos corresponden a flujos de detritos, las erosiones de laderas también suman 42 procesos, mientras que los derrumbes suman un total de 23 eventos, seguidos de caídas de rocas con un total de 14 eventos identificados. Por último, las inundaciones y erosiones fluviales corresponden a 5 y 4 ocurrencias identificadas, respectivamente.

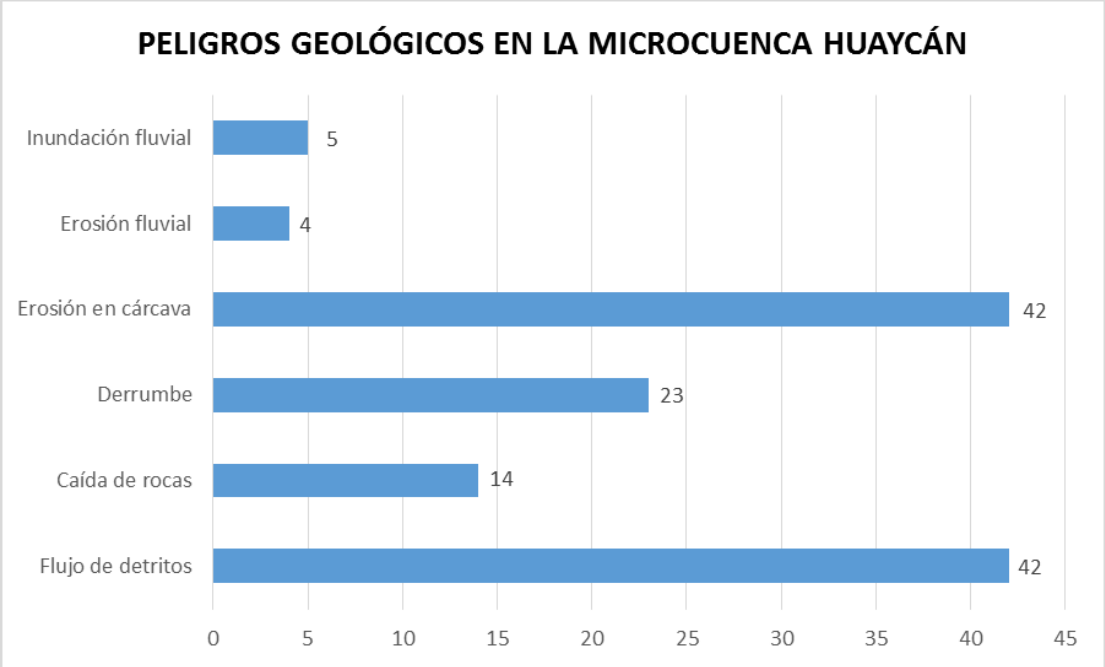


Figura 71. Inventario de peligros geológicos en la microcuenca Huaycán.

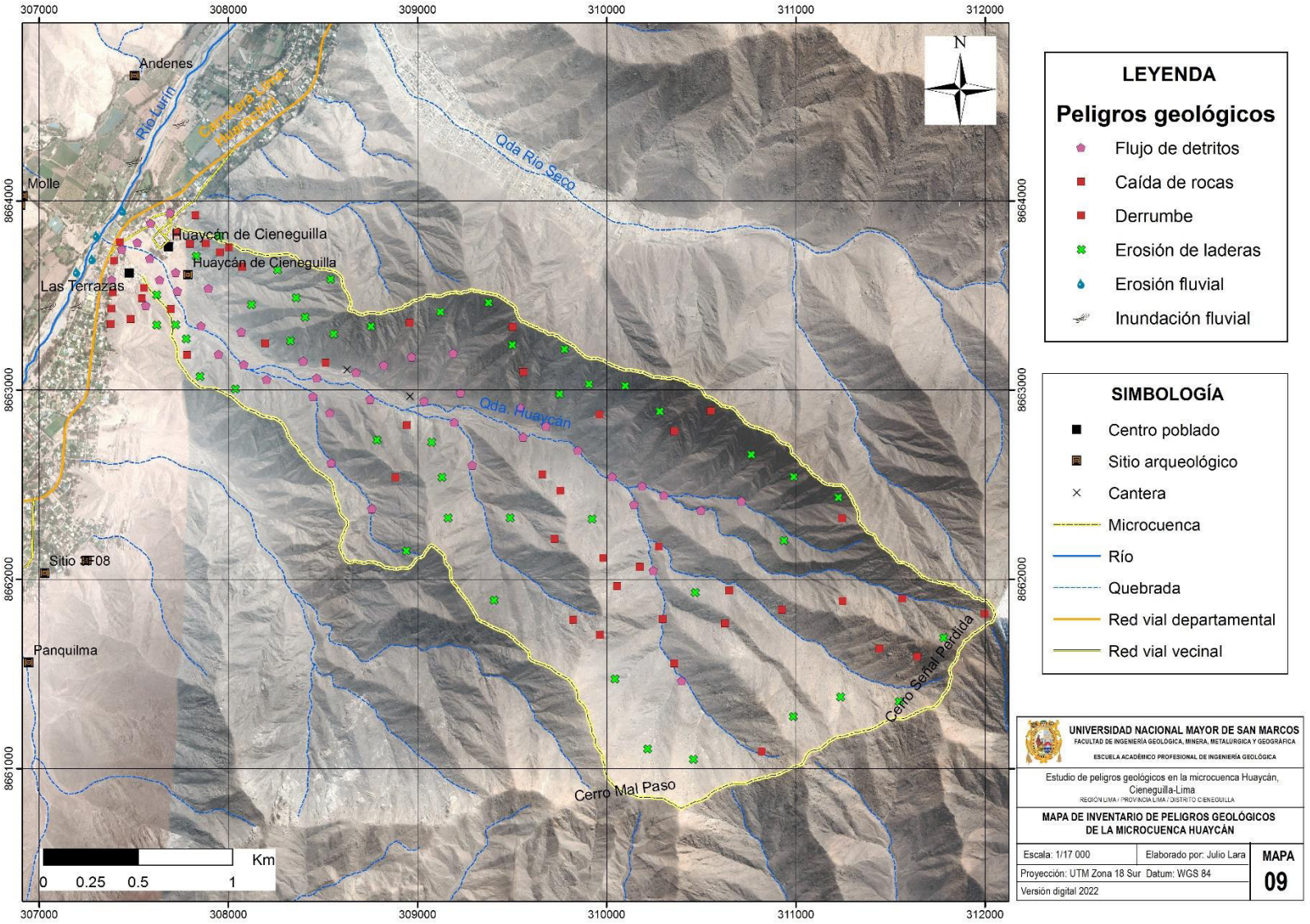


Figura 72. Mapa de inventario de peligros geológicos en la microcuenca Huaycán.

Los procesos geodinámicos registrados en la microcuenca Huaycán se diferenciaron de acuerdo a su origen. Los movimientos en masa presentan una totalidad de 79 procesos, lo cual corresponde al 60.8% de la totalidad; mientras que los denominados otros peligros alcanzan un total de 42 ocurrencias, lo que corresponde al 32.3% del total; y los peligros geohidrológicos suman un total de 9 eventos, lo que representa el 6.9% restante (figura 73).

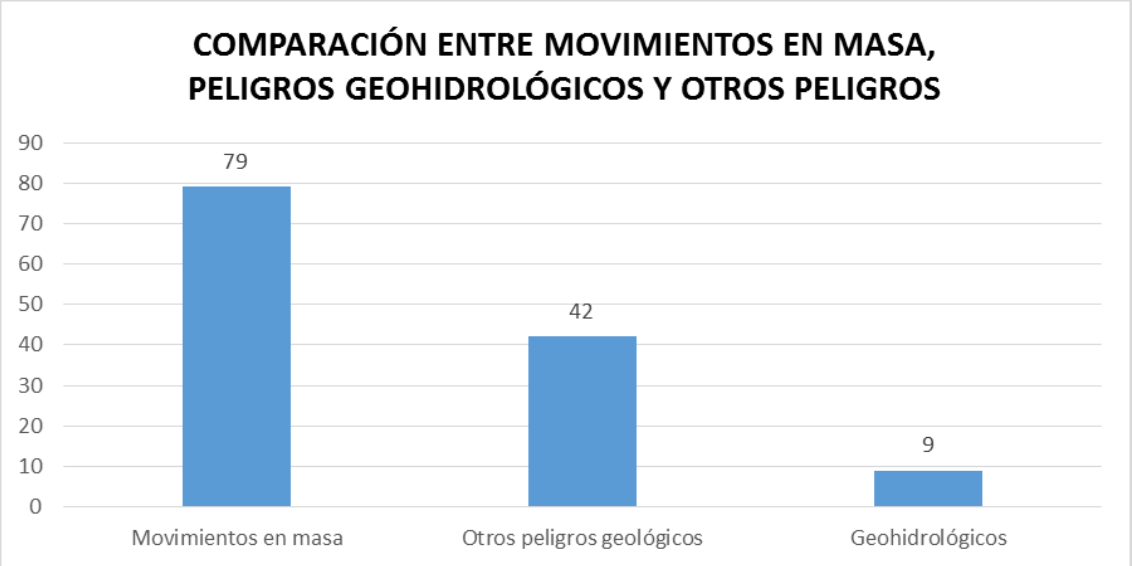


Figura 73. Ocurrencia de los tipos de peligros geológicos en la microcuenca Huaycán.

Los procesos geodinámicos identificados en la microcuenca Huaycán fueron cartografiados utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG), lo cual permitió obtener el mapa de cartografía de peligros geológicos de la zona de estudio (figura 74).

El mapa de peligros geológicos de la microcuenca Huaycán a escala 1: 5 000 constituye una herramienta dinámica fundamental en la Gestión del Riesgo Desastres, específicamente en los procesos de estimación, prevención, reducción y reconstrucción; donde se busca reducir los daños por peligros geológicos existentes o la generación de nuevos desastres. Así como también para el ordenamiento territorial, ubicación y construcción de obras de infraestructura, entre otros.

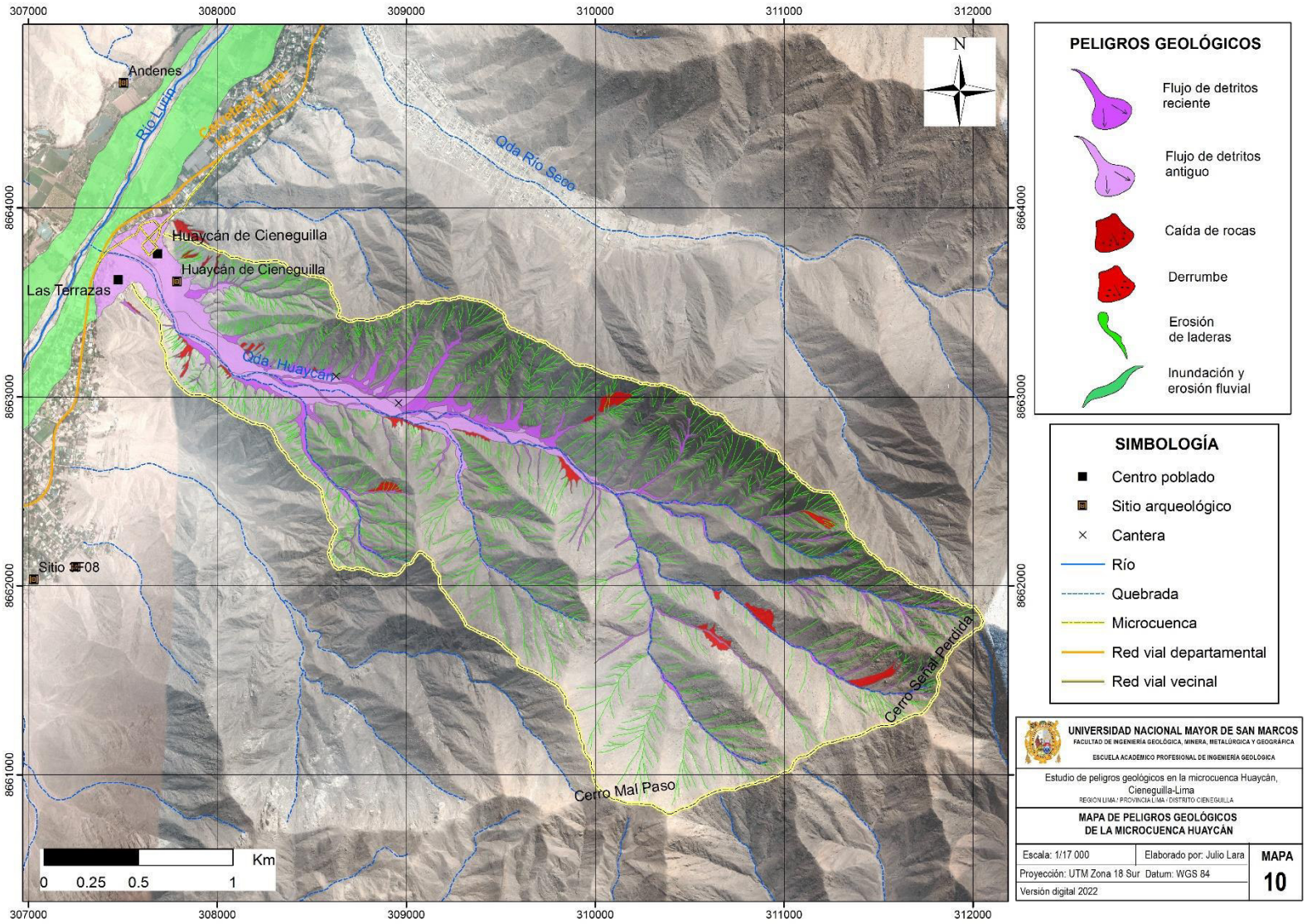


Figura 74. Mapa de peligros geológicos de la microcuenca Huaycán.

7.3. MOVIMIENTOS EN MASA

Estos eventos fueron identificados en la parte alta, media y baja de la microcuenca Huaycán y corresponden a procesos de tipo flujo y caída (PMA: GCA, 2007). Los flujos corresponden a flujos de detritos generados por el cauce principal de la microcuenca, así como las quebradas tributarias ubicadas en ambas márgenes de la quebrada Huaycán. Mientras que los procesos de caídas (caída de rocas y derrumbes) han formado depósitos coluviales a manera de canchales. Cabe mencionar que en la microcuenca Huaycán existen materiales inconsolidados en las laderas que podrían generar flujos. Mientras que en el cauce principal y quebradas tributarias existe abundante material inconsolidado que podría aportar material a los flujos que se podrían generar en temporada de lluvias intensas y/o excepcionales (figura 75).



Figura 75. Quebrada Huaycán: A. Cuenca alta donde nace la quebrada Huaycán, B. Cuenca media donde se han identificado flujos de detritos y C. Cuenca baja donde se ubica población que podría ser afectada por peligros geológicos.

Los movimientos en masa identificados en la microcuenca Huaycán corresponden a 41 ocurrencias de flujos de detritos, 23 eventos de tipo derrumbe y 14 procesos de caída de rocas. Estos peligros suman 79 procesos geodinámicos en la microcuenca Huaycán (figura 76).

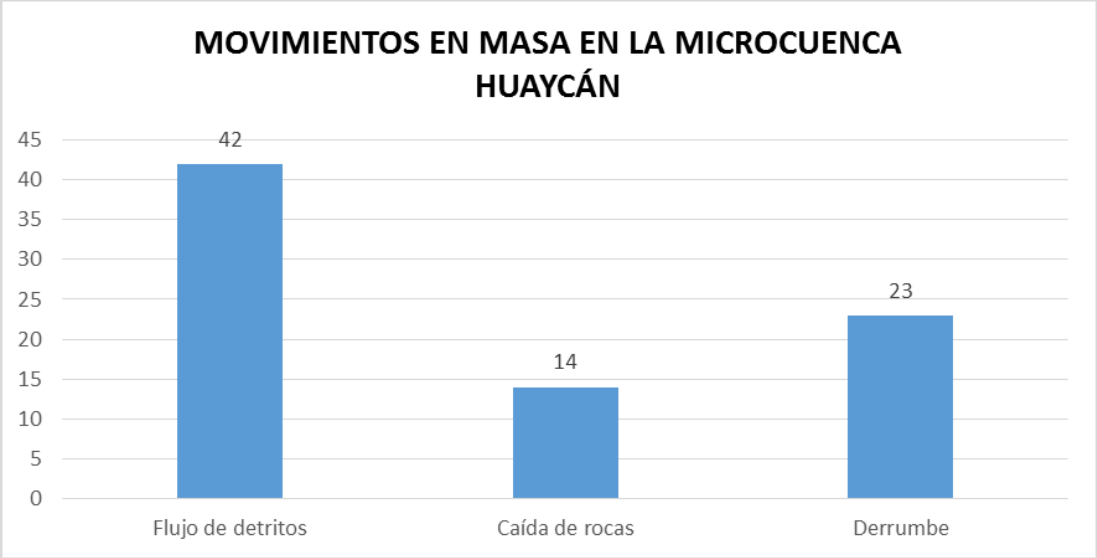


Figura 76. Registro de tipos de movimientos en masa en la microcuenca Huaycán.

7.3.1. Flujos de detritos

En la cuenca Lurín los flujos de detritos más importantes se han generado en las quebradas tributarias por ambas márgenes del río en mención.

De acuerdo con Bueno (1995) las diferentes quebradas que se encuentran en ambas márgenes del río Lurín han sido las que aportaron mayor material a dicho cauce, esto se demuestra por los espesores y tamaños de los abanicos aluviales localizados en ambas márgenes del río Lurín. El mayor aporte de material al cauce del río Lurín y la formación de los depósitos aluviales en la cuenca baja han sido generados en su mayor proporción por las quebradas tributarias en la cuenca media y alta, considerando de esta forma un mayor aporte aluvial que fluvial, o en todo caso un origen fluvio-aluvial.

Considerando el estudio realizado por Bueno (1995) en la margen izquierda del río Lurín se ubican los más grandes abanicos aluviales en tamaño y espesor de la cuenca, así como los depósitos de granulometría más gruesa, esto se debe a que en esta margen se encuentran los cerros con mayor altura y se presentan las pendientes más pronunciadas a comparación de la margen derecha.

En los depósitos de flujos de detritos antiguos localizados en las diferentes quebradas de la cuenca del río Lurín, no se han encontrado restos de materiales

arqueológicos que demuestren que estos depósitos se hayan formado durante el asentamiento de las culturas prehispánicas, por lo que Bueno (1995) indica que estos depósitos aluviales se originaron antes del emplazamiento de la población antigua en la cuenca del río Lurín, específicamente en el distrito de Cieneguilla.

En la microcuenca Huaycán los movimientos en masa de tipo flujo corresponden a los denominados flujos de detritos. De acuerdo al inventario realizado en la zona de estudio se han identificado 41 ocurrencias de flujos de detritos.

Los flujos de detritos se han generado desde la parte alta de la quebrada en mención hasta la parte baja en la confluencia con el río Lurín. Los flujos se han canalizado por el cauce principal de la quebrada Huaycán, así como en las quebradas ubicadas en ambas márgenes de dicha quebrada principal.

La inspección técnica realizada en la microcuenca Huaycán permitió reconocer flujos de detritos antiguos y recientes en toda la microcuenca Huaycán (figura 77), por ello se ha dividido la zona de estudio en tres partes para una mejor descripción de los trabajos realizados en la microcuenca Huaycán.

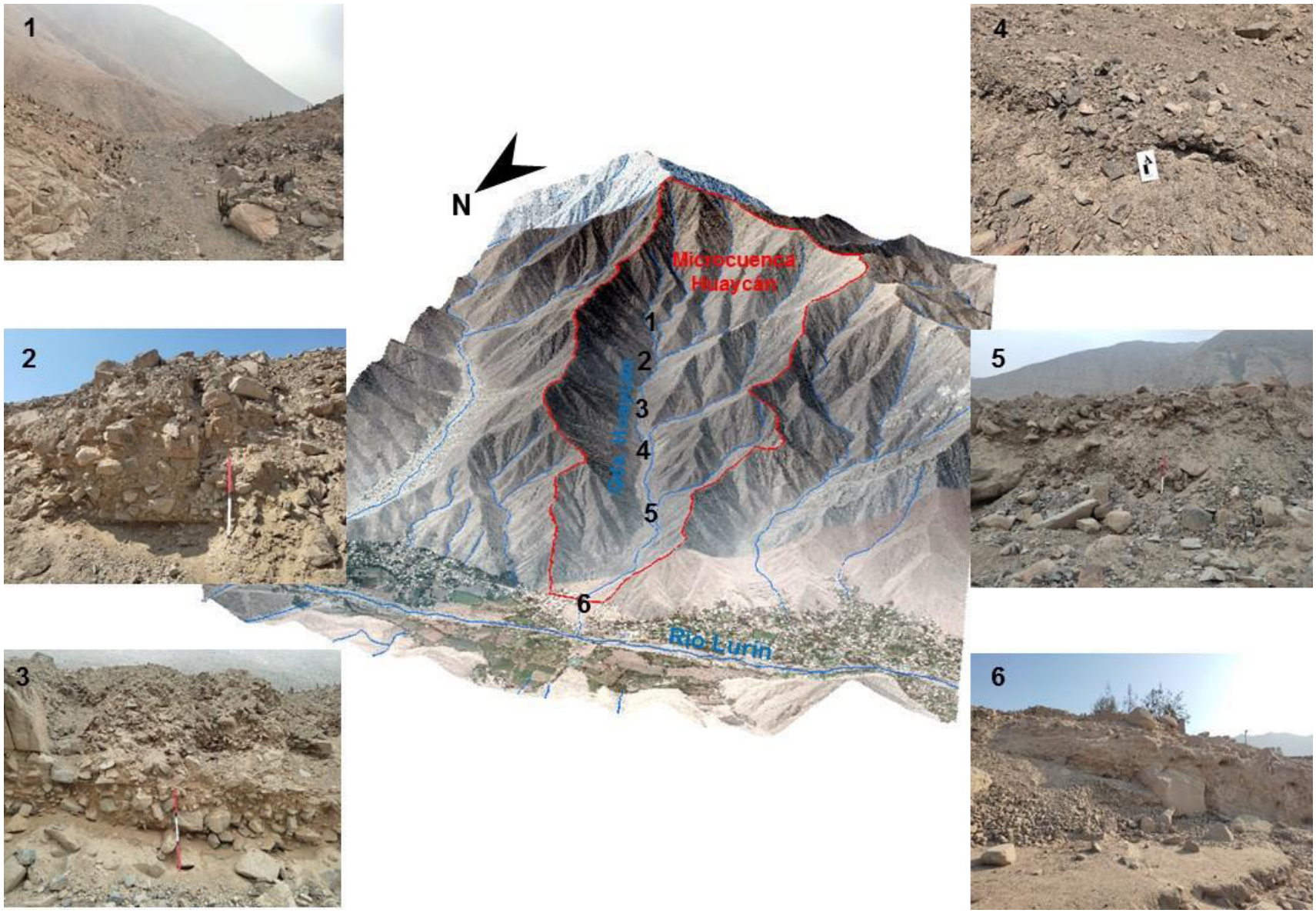


Figura 77. Flujos de detritos antiguos y recientes identificados en la microcuenca Huaycán (Cieneguilla).

Microcuenca alta

La parte alta de la microcuenca Huaycán está conformada litológicamente por substratos rocosos intrusivos de tipo tonalita, diorita y granodiorita pertenecientes a la Super Unidad Santa Rosa. Estos afloramientos se encuentran muy fracturados y moderadamente meteorizados. Estas condiciones determinan que los afloramientos presenten calidad geotécnica regular a mala, sobre todo porque generan materiales inconsolidados y de fácil remoción hídrica que podrían generar la ocurrencia de flujos de detritos, caídas de rocas y derrumbes.

Geomorfológicamente, en la parte alta se han identificado geoformas de tipo montañas en roca intrusiva y colinas y lomadas en rocas intrusivas. Las montañas presentan laderas con fuerte a muy fuerte pendiente del terreno (15° a 45°). Mientras que las colinas y lomadas en rocas intrusivas presentan formas redondeadas y muy fuerte a abrupta (25° a >45°) pendiente del terreno. La pendiente de las laderas y la morfología del terreno contribuyen en la generación de flujos de detritos, caídas de rocas, derrumbes, así como procesos de erosión de laderas (cárcavas y surcos).

En la parte alta de la microcuenca Huaycán, se han identificado flujos de detritos antiguos (figuras 78 y 79) y recientes, caídas de rocas, derrumbes y erosión de laderas. También se identificaron materiales inconsolidados de fácil remoción hídrica en las laderas de las elevaciones que podrían generar la ocurrencia de caídas de rocas, derrumbes y aportan material para la generación de flujos de detritos.



Figura 78. Flujos de detritos antiguos identificados en la parte alta de la quebrada Huaycán (margen derecha).



Figura 79. Flujos de detritos (huaicos) antiguos identificados en la parte alta de la microcuenca Huaycán (margen izquierda).

Los flujos de detritos han originado depósitos aluvio-torrenciales o proluviales antiguos constituidos principalmente por bloques y gravas que presentan formas subangulosas a subredondeadas y están envueltas en una matriz arenosa a arenoarcillosa. En la parte alta de la microcuenca Huaycán se han identificado hasta cinco secuencias de flujos antiguos cubiertos por depósitos coluviales (figura 80).

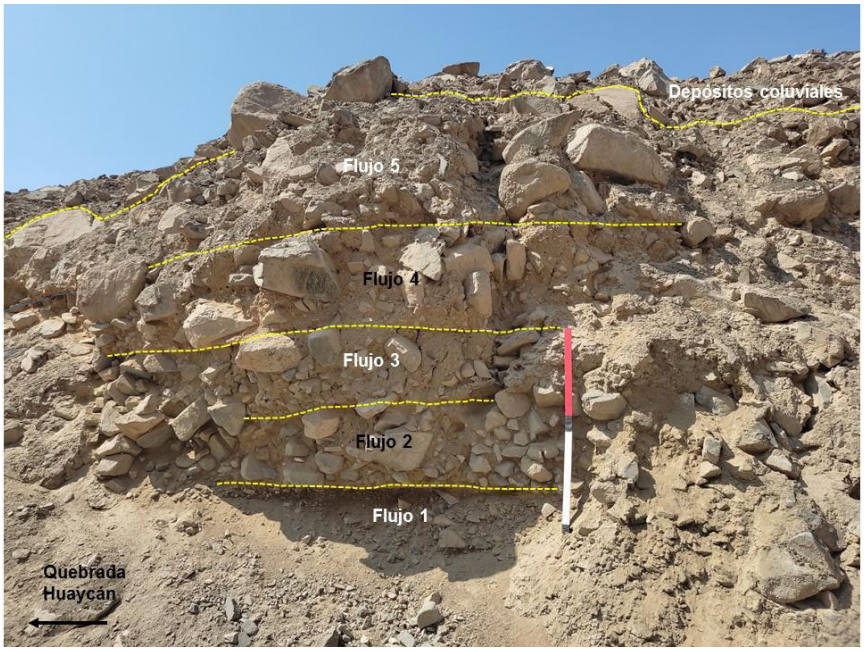


Figura 80. Eventos de flujos de detritos antiguos generados por lluvias extraordinarias en la parte alta de la microcuenca Huaycán.

Los flujos de detritos han generado depósitos que se encuentran expuestos en la parte baja de las laderas de las elevaciones a manera de terrazas con ligeras inclinaciones, así como dentro del lecho principal de la quebrada. Cabe mencionar que no se han identificado depósitos de mayor extensión en comparación con los flujos de detritos de la parte media y baja de la quebrada Huaycán.

En la parte alta de la quebrada Huaycán también se han identificado bloques de hasta 4.5 metros de diámetro transportados por flujos de detritos antiguos. Los bloques tienen formas subangulosas a subredondeadas debido al poco recorrido o transporte que han sufrido por acción de flujos antiguos, y litológicamente corresponden a tonalitas (figura 81). El tamaño de estos bloques y su transporte indican la alta energía de los flujos generados en temporadas de lluvias intensas y/o excepcionales que se produjeron en la microcuenca Huaycán, estas lluvias pueden haberse originado por el fenómeno El Niño.



Figura 81. Bloques de hasta 4.5 metros de diámetro transportados por flujos de detritos antiguos (parte alta de la microcuenca Huaycán).

En la microcuenca alta también se identificaron flujos de detritos o huaicos recientes que se han canalizado por el lecho de las quebradas tributarias hacia la quebrada principal (figura 82). Estos flujos han transportado arenas y gravas de hasta 10 cm de diámetro envueltos en una matriz arenosa.

El material transportado es de corto recorrido y no ha llegado hasta la parte media o baja de la quebrada, debido a que corresponden a flujos canalizados de corto alcance y que no han generado afectación o daños mayores.

Los depósitos formados por los flujos recientes representan volúmenes menores a comparación de los flujos de detritos antiguos. Estos eventos se han generado debido a las precipitaciones pluviales (lluvias) estacionales y/o periódicas producidas en la microcuenca Huaycán.

Es importante mencionar que los afloramientos rocosos que se encuentran muy fracturados y meteorizados generan material que puede ser removido por las aguas de escorrentía, generando ante lluvias intensas flujos de detritos, los cuales se canalizarían por la quebrada principal hacia la parte baja de la microcuenca.



Figura 82. Flujos de detritos recientes identificados en la parte alta de la microcuenca Huaycán.

Microcuenca media

En la microcuenca media de la quebrada Huaycán se han identificado flujos de detritos antiguos y recientes provenientes de las quebradas tributarias en ambas márgenes de la quebrada Huaycán (figura 83), así como flujos de detritos antiguos reconocidos en el lecho principal de la quebrada Huaycán.

Los flujos de detritos o huaicos provenientes de las quebradas tributarias han formado abanicos aluviales bien definidos y que evidencian la actividad geodinámica de la zona de estudio.

En la margen derecha de la quebrada Huaycán se han identificado y delimitado depósitos aluviales originados por flujos de detritos antiguos. Estos depósitos están constituidos principalmente por guijarros y gravas angulosas a subangulosas de composición homogénea (tobas, andesitas y tonalitas) que se encuentran envueltos por una matriz arenoarcillosa (figura 84).



Figura 83. Flujos de detritos antiguos y recientes identificados en la parte media de la microcuenca Huaycán, canalizados por una quebrada sin nombre, estos depósitos se encuentran conformando abanicos aluviales.



Figura 84. Depósitos formados por flujos de detritos antiguos identificados en la parte media de la microcuenca Huaycán, estos depósitos se encuentran conformando abanicos aluviales.

En todo el lecho de la quebrada Huaycán se han identificado procesos de flujos de detritos antiguos que se han canalizado hasta la parte baja de la microcuenca en la desembocadura con el río Lurín. Estos flujos antiguos han formado depósitos principalmente con gravas, bloques y bolones de hasta 1.5 m de diámetro, los cuales se encuentran distribuidos en todo el cauce principal de la quebrada Huaycán.

También se han identificado huaicos recientes en la parte media de la microcuenca Huaycán, estos flujos se han canalizado por el lecho principal de la quebrada (figura 85). Los depósitos formados por los flujos de detritos recientes corresponden a guijarros y gravas subangulosas a angulosas envueltos en una

matriz arenolimosa de grano fino a medio. Mientras que los depósitos formados por los flujos de detritos antiguos corresponden principalmente a bloques y gravas con formas subangulosas a subredondeadas en una matriz arenosa a arenolimosa. Los bloques pueden medir hasta 55 cm de diámetro (figura 86).

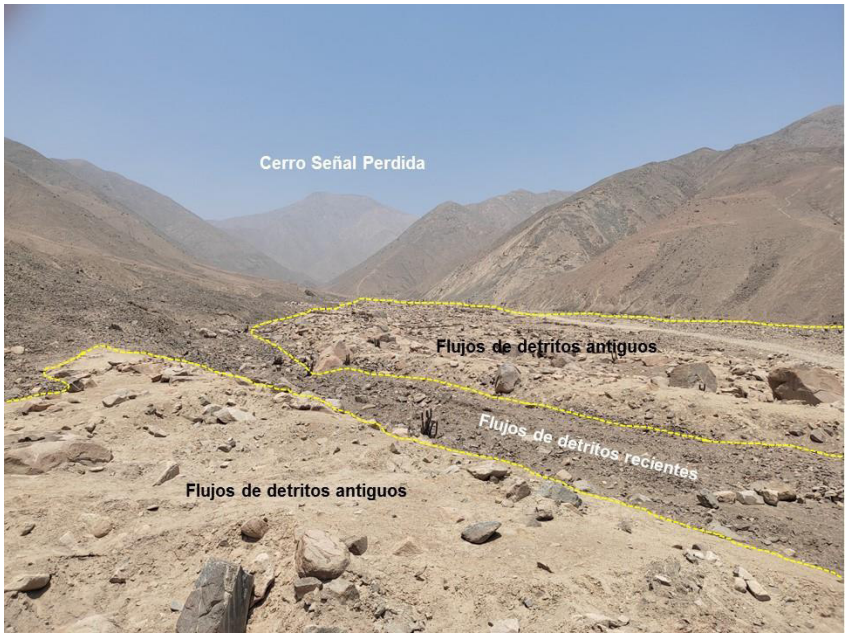


Figura 85. Flujos de detritos recientes canalizados por el cauce principal de la quebrada Huaycán. Se pueden apreciar, en ambas márgenes, los depósitos de flujos de detritos antiguos.



Figura 86. Flujos de detritos recientes compuestos por gravas subangulosas a angulosas envueltos en una matriz arenolimosa. También se observan flujos de detritos antiguos.

Microcuenca baja

En la microcuenca baja de la quebrada Huaycán se han identificado flujos de detritos antiguos provenientes desde la parte alta y que se han canalizado por el cauce de la quebrada principal.

Los flujos de detritos o huaicos antiguos han generado depósitos aluvio-torrenciales que corresponden principalmente a gravas y bloques de hasta 5 m de diámetro envueltos en una matriz arenosa a arenoarcillosa. Estos depósitos se encuentran en ambas márgenes del cauce principal de la quebrada Huaycán y sobre éstos se asienta la población de La Asociación de Vivienda Las Terrazas y el Centro Poblado Rural Autogestionario Huaycán de Cieneguilla, así como la zona arqueológica Huaycán de Cieneguilla.

La población y viviendas de la Asociación de Vivienda Las Terrazas y el Centro Poblado Rural Autogestionario Huaycán de Cieneguilla, así como la zona arqueológica Huaycán de Cieneguilla se asientan sobre depósitos de flujos de detritos antiguos, los cuales tienen un desnivel del terreno de hasta 30.5 m con respecto al río Lurín (figura 87). Los espesores de los flujos de detritos y el material transportado evidencian la actividad geodinámica de la quebrada Huaycán reactivada en temporada de lluvias producidas por el fenómeno El Niño.

En el Centro Poblado Rural Autogestionario Huaycán de Cieneguilla se han identificado depósitos de flujos de detritos antiguos, específicamente en los cortes de talud que se han realizado para la construcción de vías de acceso vecinales.

En el centro poblado en mención se han identificado hasta cuatro secuencias de flujos de detritos (huaicos). Estos depósitos están conformados por gravas y bloques de formas subredondeadas a subangulosos de hasta 30 cm de diámetro envueltos en una matriz arenosa a arenoarcillosa. Mientras que en la parte alta de dichas secuencias se han identificado bloques subredondeadas a subangulosos de hasta 55 cm aislados (figura 88).

Mientras que en la Asociación de Vivienda Las Terrazas también se identificaron huaicos antiguos, específicamente en los cortes de laderas realizados con la finalidad de construir vías de acceso vecinales en dicho sector.

Los depósitos de los flujos de detritos (huaicos) están conformados principalmente por gravas y bloques con formas de van desde subredondeados a subangulosos de hasta 35 cm y que se encuentran envueltos en una matriz arenosa a arenoarcillosa (figura 89).



Figura 87. Zonas urbanas asentadas sobre huaicos antiguos: A) Asociación de Vivienda Las Terrazas; B) Centro Poblado Rural Autogestionario Huaycán de Cieneguilla, así como la C) Zona arqueológica Huaycán de Cieneguilla.



Figura 88. Depósitos originados por huaicos e identificados en el Centro Poblado Rural Autogestionario Huaycán de Cieneguilla.



Figura 89. Depósitos formados por huaicos antiguos e identificados en el Centro Poblado Rural Autogestionario Huaycán de Cieneguilla.

La ocurrencia de flujos de detritos antiguos y recientes es la evidencia de que la quebrada Huaycán es geodinámicamente activa. Los flujos se han originado a consecuencia de lluvias intensas y/o extraordinarias en la microcuenca Huaycán y seguirán ocurriendo debido a la presencia de diferentes factores.

Los flujos de detritos identificados en la quebrada Huaycán se han originado debido a factores condicionantes y desencadenantes. Dentro de los factores condicionantes o intrínsecos se encuentran: la pendiente del terreno, el tipo de roca y/o suelo, la geomorfología y la cobertura vegetal. En relación a los factores desencadenantes se tienen las lluvias producidas en la microcuenca. También se deben considerar los factores antrópicos que incluyen la ocupación inadecuada del territorio, entre otros.

Factores condicionantes:

- **Pendiente del terreno**. En la quebrada Huaycán la pendiente es un factor importante en la generación de flujos de detritos. La quebrada en mención presenta una pendiente fuerte de 21° en promedio lo que favoreció la depositación de todo el material aluvial y demuestra la energía de la quebrada para transportar y depositar dichos materiales.
  En la figura 90 se evidencia que la pendiente media de la quebrada disminuye progresivamente desde la parte alta con una pendiente media de 36° hasta una pendiente media de 7° en la parte baja.

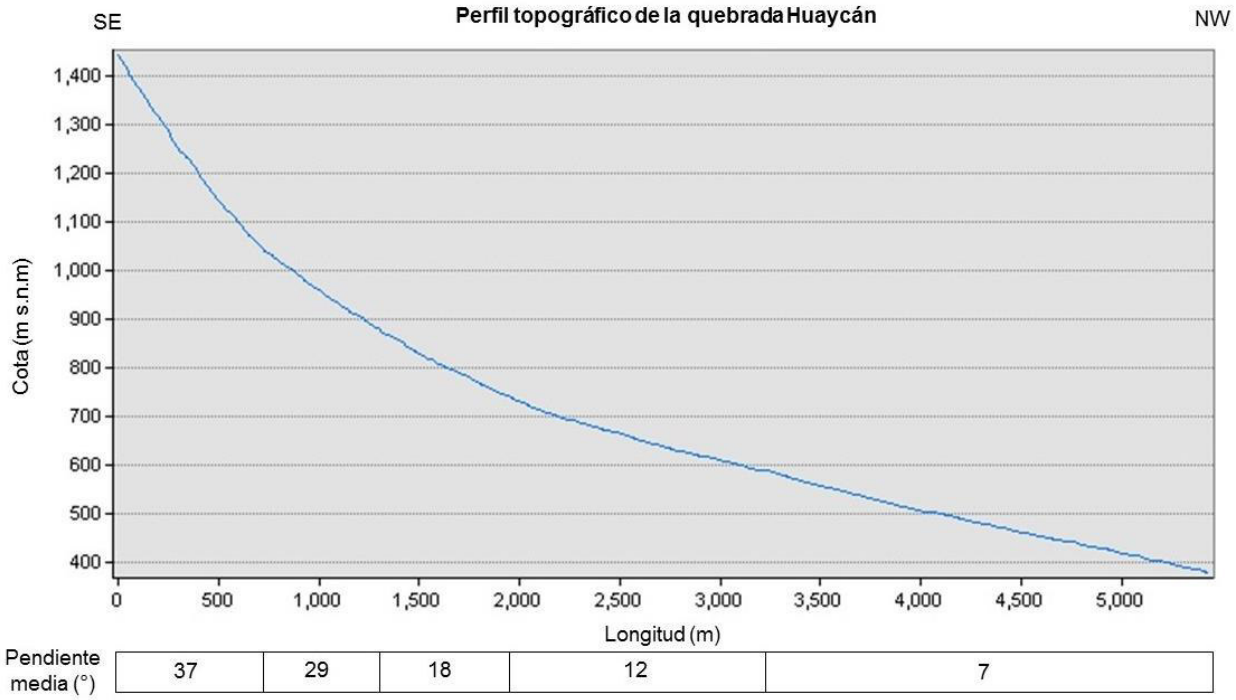


Figura 90. Perfil topográfico de la quebrada Huaycán en la cual se pueden apreciar los cambios de pendiente desde los 37° (parte alta) hasta los 7° (parte baja).

- **Geología**. En la zona de estudio afloran rocas intrusivas de tipo tonalita, diorita y granodiorita pertenecientes a la Super Unidad Santa Rosa y rocas volcánicas de tipo andesita pertenecientes a la Formación Chilca (Grupo Casma), estos afloramientos se presentan medianamente a muy fracturados y moderadamente a altamente meteorizados (figura 91).
  En las laderas de estos afloramientos existen materiales de fácil remoción que aportarían material a los flujos de detritos generados en la microcuenca Huaycán.
  Los depósitos formados por los huaicos antiguos y recientes están constituidos principalmente por gravas y bloques de diferentes tamaños y de formas subangulosas a subredondeadas y que se encuentran envueltas en una matriz arenoarcillosa a arenosa. Estos depósitos se caracterizan por presentar poca compactación (materiales inconsolidados), son altamente permeables y no cohesivos.
  Mientras que los depósitos coluviales corresponden a gravas y bloques angulosos a subangulosos debido al poco transporte. Estos depósitos presentan poca compactación, son altamente permeables y no cohesivos. Estas características hacen que los afloramientos rocosos y depósitos presenten condicionantes para la generación de flujos de detritos.



Figura 91. Substrato rocoso intrusivo (tonalitas y granodioritas) de la Superunidad Santa Rosa muy fracturado y moderadamente meteorizado. También se pueden observar laderas con depósitos coluviales de fácil remoción.

- **Geomorfología**. Se han identificado geoformas de tipo montaña en rocas intrusivas, así como colinas y lomadas en rocas intrusivas y volcánicas, así como piedemontes aluvio-torrencial y coluvial de detritos. Las montañas

presentan laderas con pendiente del terreno fuerte a muy fuerte (15° a 45°), figura 92. Las colinas y lomadas en rocas intrusivas presentan formas redondeadas y pendiente fuerte a muy fuerte. Mientras que los piedemontes aluvio-torrenciales presentan pendiente muy baja a media (<1° a 15°) y la vertiente coluvial de detritos presenta pendiente media a muy fuerte (5° a 45°) del terreno. Estas geoformas son susceptibles a la ocurrencia de flujos de detritos (huaicos) debido a lluvias periódicas a excepcionales.

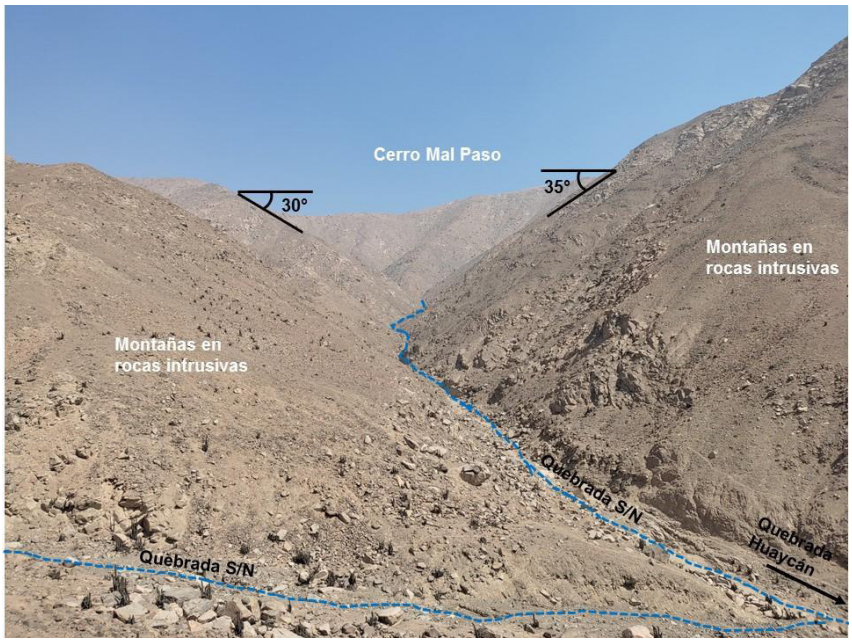


Figura 92. Montañas en roca intrusivas con pendientes de 30° y 35° (fuerte pendiente) identificadas en la parte alta de la quebrada Huaycán (Cerro Mal Paso).

- **Cobertura vegetal**. La microcuenca de la quebrada Huaycán se caracteriza por la presencia de vegetación propia de las zonas desérticas, como: matorral ribereño, tillandsial, rodal de cactáceas, entre otras.
  La escasa cobertura vegetal que presenta la microcuenca Huaycán permite que se generen mayores procesos erosivos en los relieves existentes, generando materiales de fácil remoción ante la presencia de lluvias extraordinarias en la zona de estudio.

Factores desencadenantes

- **Precipitaciones pluviales**. Las lluvias intensas, prolongadas y/o extraordinarias, como las generadas por el fenómeno “El Niño” (tablas 21 y 22), han generado la ocurrencia de flujos de detritos (huaicos) en el pasado y en la actualidad.

Las lluvias, considerando su volumen, intensidad y distribución, podrían generar flujos de detritos en terrenos que presenten factores condicionantes como los antes mencionados.

En la microcuenca Huaycán las lluvias provocan la saturación de los terrenos inconsolidados y permeables, generando huaicos. También contribuyen en la meteorización de los afloramientos rocosos, con ausencia de suelos y/o vegetación.

Cabe mencionar que el espesor del abanico aluvial, la fuerte pendiente y otros demuestran que en el pasado ocurrieron precipitaciones pluviales intensas y/o extraordinarias propias del fenómeno El Niño.

Tabla 21. Registro histórico del Fenómeno "El Niño" en el Perú

Año	Tipo de peligro
900 a 700 a.C.	Evidencias de huaicos en la zona arqueológica Cerro Sechín.
500 a.C.	Depósitos de huaicos en el complejo arqueológico Chavín de Huantar.
100 a 150 d.C.	Sedimentos y cantos rodados de huaicos en la zona arqueológica de Pueblo Viejo (Áncash).
550 d.C.	Depósitos aluviales (huaicos) en la Huaca Aramburú del campus de la UNMSM.
900 a 950 d.C.	Huaicos en Pachacámac (Lima).
1200 d.C.	Depósitos de huaicos en excavaciones en la zona arqueológica Huaycán de Cieneguilla.
1525-1528	Registro documental.
1578	Registro documental de Niño catalogado como catastrófico.
1678, 1701, 1720, 1728, 1748, 1763, 1770	Lluvioso.
1790	Niño catastrófico.
1804, 1814, 1817, 1819, 1821, 1828, 1832, 1837, 1845	Lluvioso.
1864	Niño catastrófico en Áncash, Lima e Ica.
1871, 1877 – 1878, 1884, 1890-1891, 1906- 1907, 1911, 1918	Reactivación de las quebradas Quirio, San Antonio y otras (1907 y 1925).
1925	Niño catastrófico hasta Arequipa y Tacna.
1940-1941, 1945-1946, 1956	Lluvioso.
1965	Huaicos violentos que generaron daños en Santa Eulalia.
1969-1970	Niño débil. Huaicos en las quebradas Quirio y San Antonio.
1972- 1973	Niño fuerte.
1976	El 30 de enero de 1976 se reactivaron las quebradas Quirio y San Antonio.
1978	Huaicos violentos en Santa Eulalia.
1981	Huaicos, deslizamientos y desbordes en el río Rímac.

1982 - 1983	Niño hasta Trujillo. El 01 abril de 1983 ocurrieron huaicos en la quebrada Cashahuacra (Santa Eulalia), así como en San José de Palle y La Trinchera que afectaron 70 viviendas y la red vial.
1986 - 1987	Niño moderado. Huaicos en las quebradas Pedregal, Corrales, Quirio, Carossio y Rayos de Sol (Chosica) y Cashahuacra (Santa Eulalia) que ocasionaron la muerte de 120 personas y la destrucción parcial o total de 1200 viviendas.
1998 - 1999	Niño fuerte. Huaicos en las quebradas Quirio, Pedregal, Santo Domingo y La Cantuta.
2009	En febrero de 2009 huaicos en la quebrada Quirio ocasionaron el deceso de una persona. En el km 33 de la Carretera Central, se generaron huaicos que bloquearon calles y vías. También se reactivó la quebrada La Cantuta.
2012	En abril de 2012, se reactivaron las quebradas La Ronda, Dos Barrios, Santo Domingo, La Cantuta, California, Coricancha y Los Cóndores, generando la afectación de viviendas, carreteras y pérdidas humanas.
2015	El 23 de marzo de 2015 ocurrieron huaicos en las quebradas: Quirio, Pedregal, La Libertad, Carossio, Rayos de Sol y Cashahuacra.
2017	Huaicos en las quebradas Yanacoto, Los Cóndores, Santo Domingo, La Ronda, La Cantuta, California, Quirio, Vizcachera. También se originaron huaicos en los sectores Mesa de Piedra, Huaycán, Piedra Liza, Lindero.

Fuente: Ochoa *et al*. (2017a y 2017b), Núñez *et al*. (2015) y PREDES (1994).

Tabla 22. Precipitaciones generadas por el Fenómeno "El Niño"

Año	Precipitación acumulada (mm)
1925	1524 mm (Tumbes) 1000 mm (cuenca baja río Chancay-Lambayeque)
1926	1265 mm (Tumbes)
1970	36.9 (Piura)
1983	30-60 mm (microcuenca Huaycán) 120-210 mm (parte alta cuenca río Lurín) 123.7 (Piura) 5466 mm (Tumbes)
1987	54.3 (Piura)
1994	33.7 (Piura)
1998	30-60 mm (microcuenca Huaycán) 210-300 mm (parte alta cuenca río Lurín)
2001	79.9 (Piura)
2012	58.7 (Piura)
2017	0-30 mm (microcuenca Huaycán) 300-550 mm (parte alta cuenca río Lurín)

Fuente: Quinn *et al*. (1987) y Montero (2019).

El servicio de “aWhere” se encarga de brindar información meteorológica y pronósticos del tiempo, considerando el análisis de los datos de más de 2 millones de estaciones meteorológicas virtuales a nivel mundial, en combinación con datos raster y de satélite.

De acuerdo con el registro histórico de precipitaciones de la página web de “aWhere”, la precipitación máxima registrada en el periodo octubre de 2020-octubre de 2021 alcanzó un valor máximo de 8 mm específicamente en el mes de diciembre del año 2020.

La figura 93 muestra una comparación entre la precipitación diaria (mm) 2020-2021 y la precipitación promedio de los últimos 5 años, lo cual indica que las lluvias se han intensificado, siendo el registro más alto el ocurrido el 7 de diciembre de 2020.

Cabe mencionar que, si bien las precipitaciones en la microcuenca Huaycán no son de gran intensidad, las lluvias pueden incrementar considerablemente durante fenómenos climáticos como el denominado “El Niño Costero. Las lluvias intensas y/o extraordinarias generadas por este fenómeno podrían generar flujos de detritos en la microcuenca Huaycán.

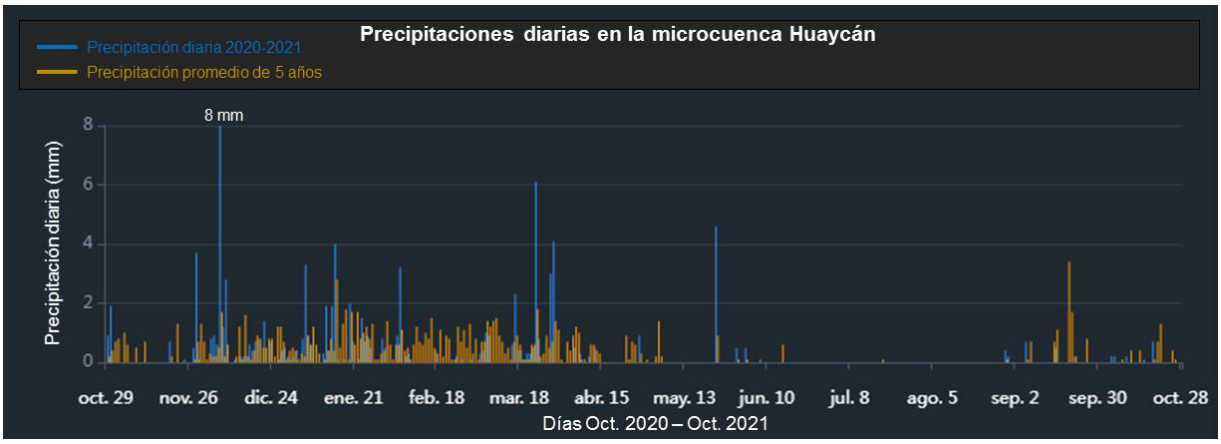


Figura 93. Precipitaciones diarias (mm) en la parte alta de la microcuenca Huaycán. Fuente: aWhere.

- **Factores antrópicos**

Ocupación inadecuada del territorio. Es importante considerar que hacia la parte baja de la microcuenca Huaycán se asienta población y viviendas. También se encuentra la carretera Lima-Huarochirí y un complejo arqueológico (figura 94).
La Asociación de Vivienda Las Terrazas, el Centro Poblado Rural Autogestionario Huaycán de Cieneguilla y la zona arqueológica Huaycán de Cieneguilla se asientan sobre depósitos de flujos de detritos antiguos; por ello las viviendas de estos sectores, así como la zona arqueológica son

vulnerables a la ocurrencia de flujos de detritos recientes originados por las precipitaciones pluviales en la parte alta de la quebrada Huaycán.
Las viviendas se encuentran en ambas márgenes y sobre el cauce principal de la quebrada Huaycán, el cual hacia su desembocadura en el río Lurín, se encuentra totalmente urbanizado.
Cabe mencionar que en la parte baja-media de la quebrada se han identificado especies de enrocados, posiblemente como especie de sectorización de terrenos para ocupación urbana.

Trabajos de explotación de canteras. En la parte media de la microcuenca Huaycán se identificaron algunas canteras para extracción de material en los depósitos aluviales. Estas excavaciones originan la desestabilización del terreno, generando material removido que podría ser movilizado por las aguas de escorrentía (lluvias), generando flujos de detritos y/o lodo.



Figura 94. Viviendas y vía departamental ubicadas en la desembocadura de la quebrada Huaycán que podrían ser afectadas por flujos de detritos provenientes de la parte alta.

7.3.2. Caídas de rocas y derrumbes

En la microcuenca Huaycán dentro de los peligros geológicos por movimientos en masa, se han identificado: 23 eventos de tipo derrumbe y 14 procesos de caídas de rocas.

Los eventos de tipo caída de rocas y derrumbe, se caracterizan porque dan origen a la formación de depósitos coluviales a manera de canchales. Estos

depósitos corresponden a materiales no consolidados depositados en la base de las elevaciones (figura 95). Se encuentran formando relieves irregulares y de origen coluvial. Los depósitos formados por estos procesos corresponden principalmente a gravas y bloques angulosos a subangulosos que se caracterizan por su naturaleza litológica homogénea, granulometría variable debido al poco transporte de los fragmentos que son angulosos a subangulosos y su grado de compactación bajo.

La presente investigación permitió el reconocimiento de derrumbes y caídas de rocas originados por la pendiente fuerte del terreno, el substrato rocoso fracturado y meteorizado, y la orientación desfavorable de las discontinuidades (figuras 96 a 100).

En la parte alta de la microcuenca Huaycán se han identificado derrumbes en depósitos coluvio-deluviales y afloramientos rocosos, así como caídas de rocas en tonalitas, dioritas y granodioritas del Batolito de la Costa, cuyos afloramientos se encuentran fracturados y moderadamente meteorizados. Mientras que en la parte media y baja se han identificado caídas de rocas y derrumbes en substratos rocosos de tipo andesitas que se encontraban muy fracturados y meteorizados.

Los derrumbes y caídas de rocas forman depósitos potencialmente inestables que se originan en afloramientos rocosos muy fracturados y meteorizados, los cuales generan bloques inestables que por acción de la gravedad caen hacia la parte baja, así como por la presencia de lluvias intensas o movimientos sísmicos. Estos depósitos inconsolidados son fácilmente erosionables por las aguas de lluvias y por ende podrían aportar material al cauce principal de las quebradas, generando flujos de detritos.



Figura 95. Procesos de derrumbes y caídas de rocas recientes identificados en la microcuenca Huaycán.

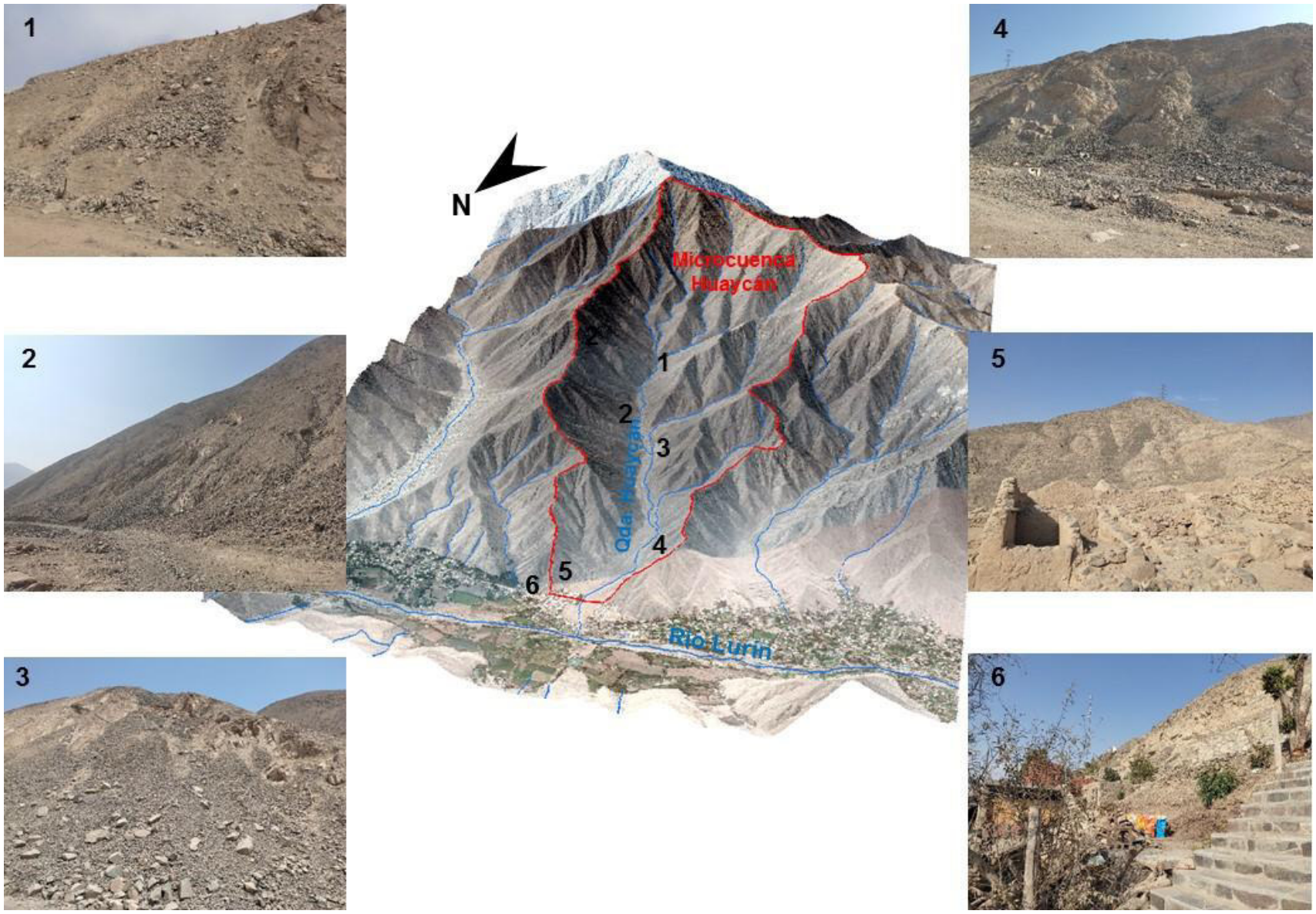


Figura 96. Derrumbes y caídas de rocas identificados en la microcuenca Huaycán (Cieneguilla).



Figura 97. Derrumbes recientes identificados en la parte alta de la quebrada Huaycán.



Figura 98. Procesos de derrumbes y caídas de rocas que han originado depósitos coluviales tipo canchales. Estos procesos están asociados a los afloramientos rocosos muy fracturados.



Figura 99. Procesos de caídas de rocas identificados en la parte baja la microcuenca Huaycán.



Figura 100. Derrumbes y caídas de rocas reconocidos en la microcuenca Huaycán (parte baja), los cuales generan materiales no consolidados y fácilmente transportables.

En la Asociación de Vivienda Las Terrazas se identificaron zonas que podrían ser afectadas por procesos de caídas de rocas y/o derrumbes. Estos eventos podrían ser originados por factores desencadenantes como los sismos que generan movimientos y procesos de sacudimiento desestabilizando el terreno y generando estos eventos.

Existen bloques inestables en la Calle Las Artes que podrían generar afectación en las viviendas ubicadas en la parte baja. También se identificaron laderas y taludes conformados por depósitos inconsolidados, los cuales ante la ocurrencia de sismos de gran magnitud podrían generar caídas de rocas y/o derrumbes. Finalmente, en las laderas de las elevaciones existen materiales inconsolidados que podrían generar daños en la población y viviendas ubicadas en la parte baja (figura 101).



Figura 101. Viviendas de la Asociación de Vivienda Las Terrazas que podrían ser afectadas por caídas de rocas y derrumbes: A) Bloques inestables que podrían afectar viviendas en la parte baja, B) Los depósitos inconsolidados podrían generar caídas de rocas y derrumbes, C) Viviendas que podrían ser afectadas por caídas de rocas y/o derrumbes y D) Viviendas ubicadas en la parte baja de elevaciones con presencia de material inconsolidado en las laderas.

Mientras que en el Centro Poblado Huaycán de Cieneguilla también se identificaron algunos sectores que podrían ser afectados por eventos de tipo caída de rocas y derrumbe. Principalmente, los daños se podrían generar en las viviendas ubicadas al pie de las elevaciones, las cuales están conformadas por afloramientos rocosos que se presentan muy fracturados y meteorizados, por ello se generan bloques inestables que podrían generar caídas de rocas (figura 102).



Figura 102. Viviendas del Centro Poblado Huaycán de Cieneguilla que podrían ser afectados por caídas de rocas: A) Afloramientos rocosos fracturados que podrían generar caídas de rocas, B) Las elevaciones presentan en sus laderas depósitos inconsolidados que podrían generar daños hacia la parte baja y C) Bloques inestables que podrían generar afectación en la población ubicada en la parte baja.

Factores condicionantes:

- **Pendiente del terreno**. En la microcuenca Huaycán la pendiente es considerada como un factor intrínseco del terreno para la generación de procesos de caídas (caídas de rocas y derrumbes). Las elevaciones, donde ocurren estos procesos se caracterizan por presentar laderas con pendiente del terreno fuerte a muy fuerte (15° a 45°).

- **Geología**. Litológicamente el substrato rocoso corresponde a rocas intrusivas de tipo tonalita, diorita y granodiorita pertenecientes a la Superunidad Santa Rosa y rocas volcánicas de tipo andesita pertenecientes

a la Formación Chilca (Grupo Casma). Estos afloramientos se presentan muy fracturados y meteorizados. Estas características hacen que los afloramientos rocosos generen eventos de caídas de rocas y derrumbes.

- **Geomorfología**. Las geoformas corresponden a montañas en substratos intrusivos, así como colinas y lomadas en rocas intrusivas y volcánicas. Estas formas de relieve presentan laderas con pendiente fuerte a muy fuerte (15° a 45°), siendo susceptibles a la ocurrencia de caída de rocas y derrumbes.

- **Cobertura vegetal**. La zona de estudio se caracteriza por su escasa vegetación debido a las condiciones climáticas. Esta escasa cobertura vegetal permite que se produzca una mayor erosión en la microcuenca Huaycán.

Factores desencadenantes

- **Actividad sísmica**. De acuerdo con el estudio de zonificación sísmica realizado por Alva *et al*. (1984), el distrito de Cieneguilla y la microcuenca Huaycán se ubican en la zona 4, la cual corresponde a una zona que presenta sismicidad alta, con aceleraciones de 0.45 g (figura 103).

  Mientras que el mapa de microzonificación sísmica del distrito de Cieneguilla (MVCS, 2019), muestra que la microcuenca Huaycán presenta terrenos que corresponden a la Zona I (figura 104). Esta zona está conformada por afloramientos rocosos con diferentes grados de fracturamiento, predominan las rocas ígneas de tipo granodiorita y gabro-diorita que en algunos sectores se encuentran intruyendo a rocas sedimentarias. En esta zona también están incluidas las gravas y arenas de origen aluvial y coluvio-aluvial, de compactación densa. Las gravas aluviales presentan formas subredondeadas, están envueltas en una matriz areno-limo-arcillosa y se encuentran principalmente en el valle del río Lurín. Mientras que las arenas coluvio-aluviales se encuentran en las quebradas, presentan formas angulosas, bajo contenido de humedad y baja o nula plasticidad. Para esta zona no se espera el incremento del nivel de peligro sísmico estimado debido al comportamiento dinámico de los materiales del terreno. Cabe mencionar que los valores de períodos de oscilación lateral del suelo son menores a 0.30 s.

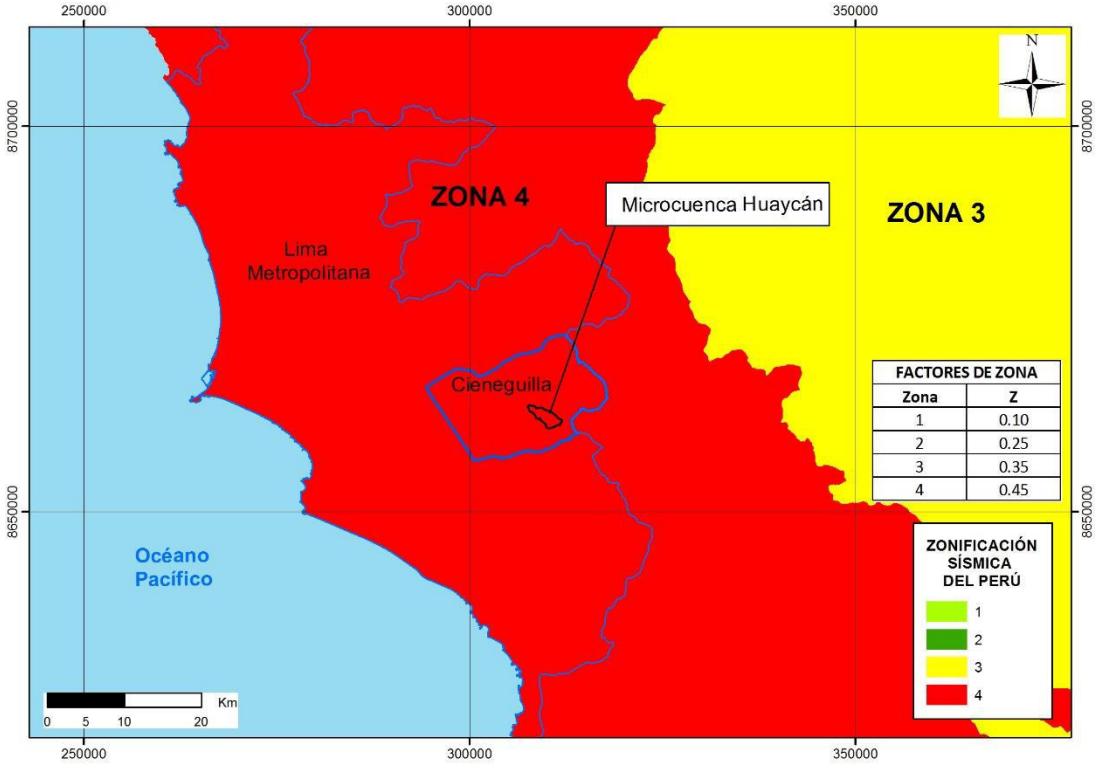


Figura 103. Microcuenca Huaycán ubicada en la Zona 4 con aceleraciones de 0.45 g. Fuente: Alva *et al.* (1984).

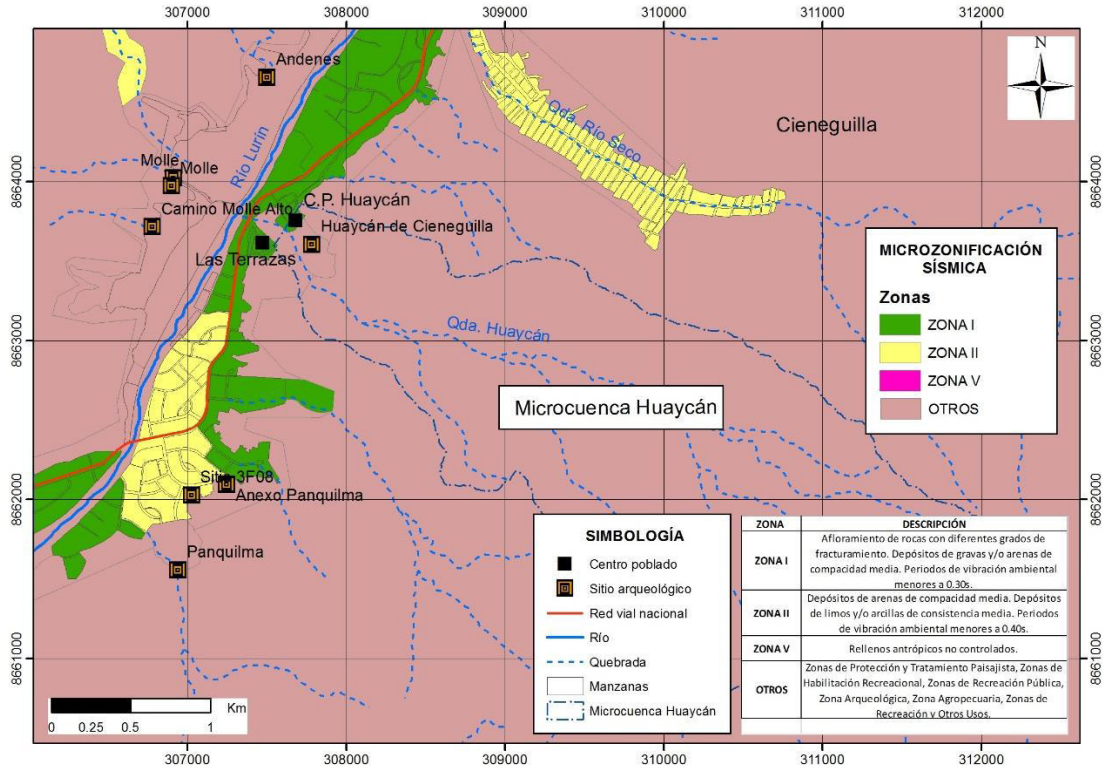


Figura 104. Microzonificación sísmica de la microcuenca Huaycán. Fuente: MVCS (2019).

Por otro lado, considerando el trabajo de intensidades máximas ejecutado por INDECI (2017) ante un sismo de 8.8 MW similar al terremoto de 1746, el distrito de Cieneguilla y la microcuenca Huaycán, estarían expuestas a intensidades mayores a VIII (MM). Estas intensidades actuarían como factores desencadenantes en la generación de caídas de rocas y derrumbes, así como procesos de licuefacción de suelos, asentamientos del terreno, entre otros procesos.

También es importante considerar que en los alrededores de la microcuenca Huaycán se han registrado sismos de moderada a gran intensidad. Estos sismos ocasionan procesos de vibración que podrían generar inestabilidad en el terreno, originando caídas de rocas y derrumbes.

Considerando el Mapa sísmico del Perú 2019 realizado por el Instituto Geofísico del Perú-IGP en los alrededores de la microcuenca Huaycán se tienen registros de sismos superficiales (profundidades menores a 60 km) e intermedios (profundidades entre 61 y 300 km) de hasta magnitud 5 (Fuente: IGP).

El sismo más próximo a la microcuenca Huaycán, es un evento intermedio de magnitud 4 a 4.9 ubicado a 290 m aproximadamente al sureste de la microcuenca en mención (figura 105).

Los sismos se producen en todo el territorio peruano. Mientras que las aceleraciones sísmicas son las encargadas de generar cambios temporales en el régimen de esfuerzos que se presentan en las laderas (normales o de corte), lo que puede generar su posterior inestabilidad (Mardones, 2019).

Los movimientos en masa más comunes generados por sismos son las caídas de rocas, deslizamientos de suelo (pendiente >15°), deslizamientos de roca (pendiente ≥40°), así como derrumbes, deslizamientos en bloques y avalanchas de tierra (Keefer, 1984).

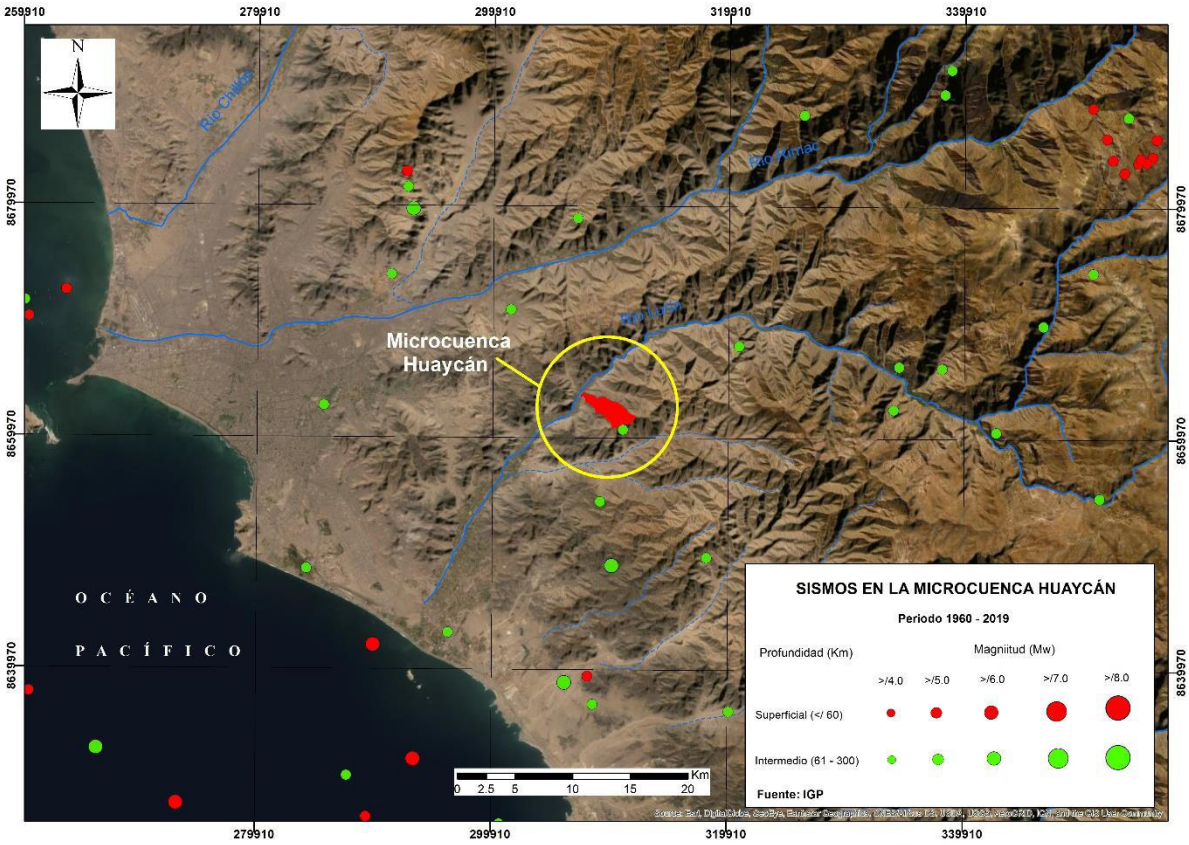


Figura 105. Registro de movimientos sísmicos en la microcuenca Huaycán y en su entorno.

También es importante considerar los estudios de neotectónica en el Perú realizado por Sebrier *et al*. (1982 y Macharé *et al*. (2009), así como trabajos de sismotectónica llevados a cabo por Tavera *et al*. (2001), los cuales han contribuido en la identificación de fallas activas en todo el territorio peruano. Estas fallas evidencian actividad durante el Cuaternario y muchas de éstas producen sismos continuamente.

En la figura 106 se muestran las fallas activas identificadas en los alrededores de la microcuenca Huaycán y que podrían generar sismos. Estos sismos podrían actuar como desencadenantes de caídas de rocas y derrumbes.

Cabe mencionar que las fallas activas se han recopilado del Mapa Neotectónico del Perú (versiones 2018 y 2020) elaborado por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (Ingemmet).

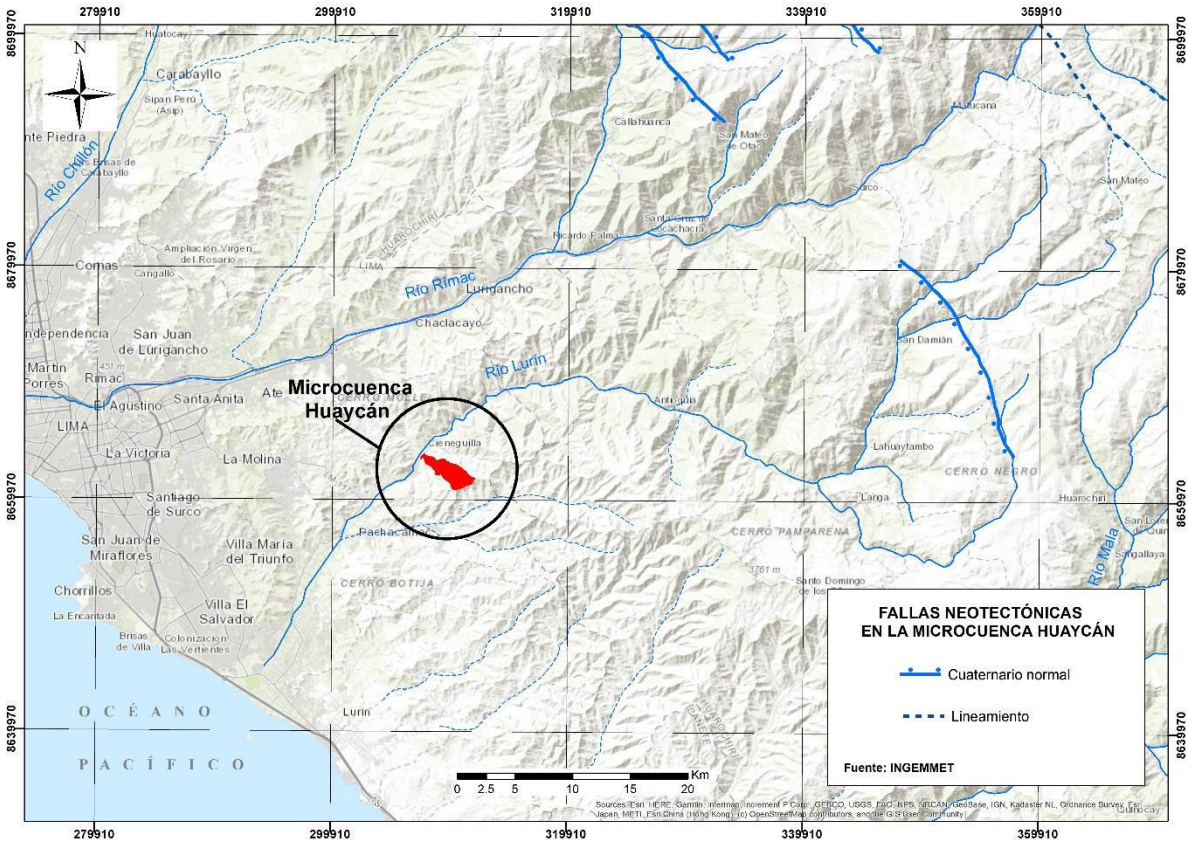


Figura 106. Distribución de fallas activas en los alrededores de la microcuenca Huaycán.

- **Precipitaciones pluviales**. Las lluvias excepcionales como las generadas por el fenómeno “El Niño”, así como las lluvias estacionales contribuyen en la generación de procesos tipo caídas de rocas y derrumbes en toda la microcuenca de la quebrada Huaycán.

Factores antrópicos

- **Ocupación inadecuada del territorio**. La Asociación de Vivienda Las Terrazas, el Centro Poblado Rural Autogestionario Huaycán de Cieneguilla y la zona arqueológica Huaycán de Cieneguilla se asientan en los cortes de laderas o próximas a las elevaciones; por ello las viviendas y la zona arqueológica pueden ser afectadas por eventos de tipo caídas de rocas y/o derrumbes (figura 107).

- **Cortes de ladera**. La ocupación del territorio genera cambios en el terreno natural como los cortes del talud realizados con la finalidad de construir vías de acceso y/o habilitación urbana, estas acciones modifican las condiciones intrínsecas del terreno y lo inestabilizan, generando derrumbes y caídas de rocas por acción del hombre.

Las excavaciones realizadas con el propósito de construir vías de acceso o para habilitación urbana generan cambios en el equilibrio de las laderas y podrían ocasionar caídas de rocas o derrumbes. Mientras que las excavaciones que generan mayores alteraciones en las laderas, son las realizadas en la parte baja o al pie de las laderas, debido a que estas zonas son las que soportan la mayor cantidad de tensión (Gonzáles de Vallejo *et al.*, 2002).

Los cortes de laderas influyen de manera directa en desestabilizar el terreno, generando material removido que podría ser movilizado por agentes externos, como las precipitaciones y la sismicidad.



Figura 107. Viviendas ubicadas en zonas inadecuadas debido a que podrían ser afectadas por caídas de rocas.

7.4. PELIGROS GEOHIDROLÓGICOS

De acuerdo al inventario de peligros geohidrológicos en la parte baja de la microcuenca Huaycán, se identificaron cuatro (4) ocurrencias de erosión fluvial y cinco (5) de inundación fluvial (figura 108).

En la zona baja de la quebrada Huaycán, específicamente en el rio Lurín, se han identificado procesos de erosión fluvial en las terrazas aluviales y/o fluviales, así como zonas susceptibles a inundación en temporada de lluvias y/o crecidas del río en mención.

Las erosiones e inundaciones de generan por la pendiente del terreno y la geomorfología. En el cauce del río Lurín se tienen terrazas bajas y llanuras de inundación que condicionan la ocurrencia de estos peligros.

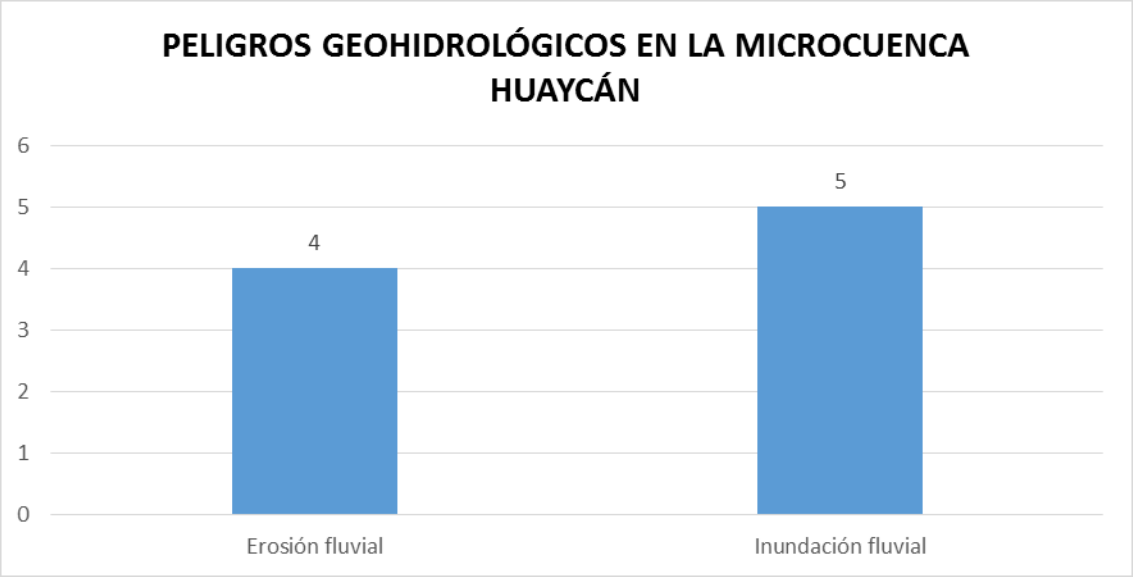


Figura 108. Peligros geohidrológicos en la microcuenca de la quebrada Huaycán.

7.4.1. Inundación fluvial

En la microcuenca Huaycán se han reconocido 5 ocurrencias de inundaciones fluviales en ambas márgenes del río Lurín (parte baja de la quebrada Huaycán).

Las inundaciones fluviales se originan debido a precipitaciones pluviales (lluvias) estacionales periódicas de carácter excepcional que ocurren en la parte alta del rio Lurín, estas aguas se concentran y canalizan por el curso del río, llegando en algunos sectores a sobrepasar la capacidad de carga del río y produciendo desbordes e inundaciones en terrazas bajas o llanuras de inundación próximas al cauce del río Lurín.

Por lo general, como parte de estos procesos de inundación se producen también el ensanchamiento del cauce del río y procesos de erosión fluvial en las terrazas bajas o llanuras de inundación, generando la destrucción de estas morfologías en parte o totalmente.

Para identificar estas zonas de inundación se utilizan criterios geológicos, hidrológicos, geomorfológicos y de cobertura vegetal. Las características geológicas corresponden al tipo del lecho del cauce y márgenes. Los criterios hidrológicos consisten en identificar procesos de inundaciones antiguos de carácter periódico y/o excepcional. Mientras que la geomorfología ayuda en la identificación de las geoformas o relieves como terrazas bajas de inundación, cauces antiguos, entre otros. Finalmente, la vegetación en las márgenes del río contribuye en determinar zonas inundables.

San Miguel (2019) realizó el análisis y fotointerpretación de fotografías aéreas en el periodo 1962 y 1971 e imágenes satelitales de los años 2009 y 2016, donde se evidencia el estrechamiento del cauce natural del río Lurín (figura 109).

Considerando estudios sobre inundaciones históricas, la fotointerpretación de fotografías aéreas de los años 1962 y 1971, el análisis de imágenes satelitales de los años 2017, 2018, 2020 y 2021, así como el mapa de susceptibilidad a las inundaciones y erosión fluvial de la región Lima (Luque *et al*., 2020) se identificaron zonas susceptibles a la ocurrencia de inundaciones fluviales, las que se ubican en ambas márgenes del río Lurín. En estos sectores podrían generarse inundaciones fluviales debido a que corresponden a terrazas bajas y llanuras de inundación ubicadas en ambas márgenes del río Lurín y que han sido afectadas por inundaciones en el pasado.

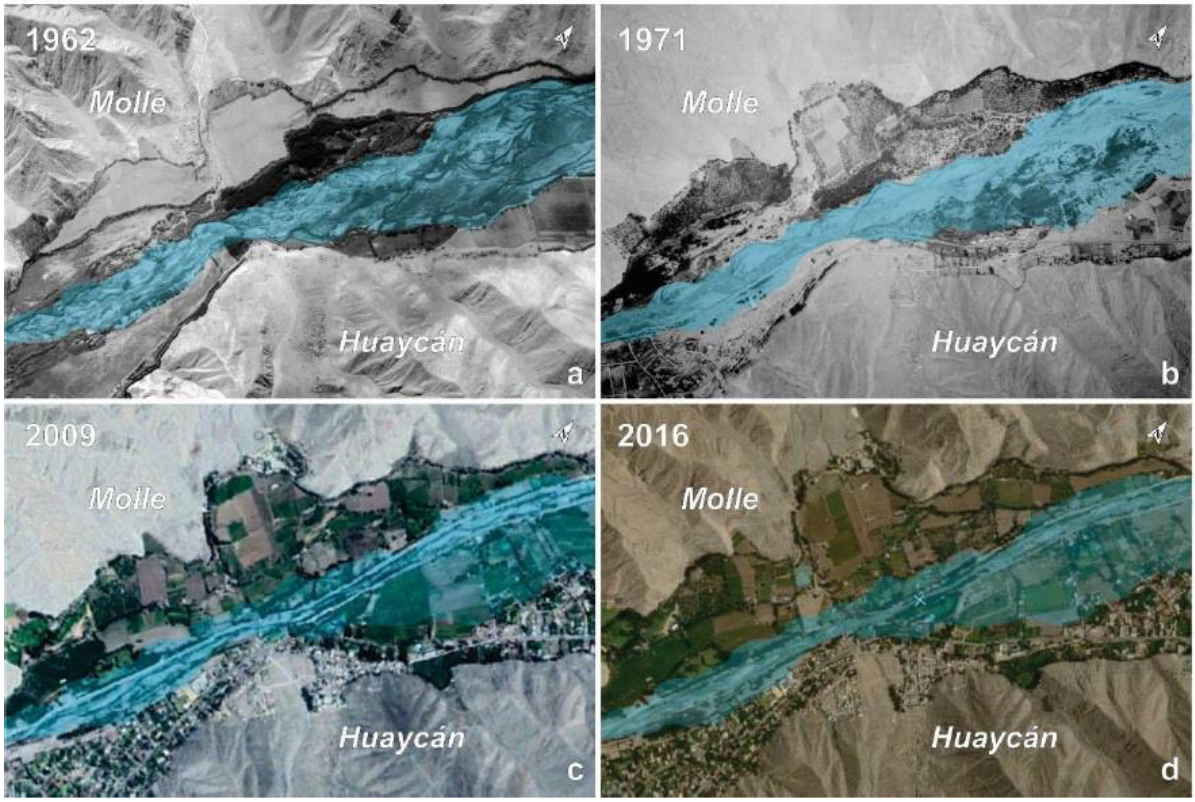


Figura 109. Análisis multitemporal en el cauce del río Lurín considerando fotografías aéreas e imágenes satelitales. El polígono de color celeste corresponde al cauce natural del río Lurín en el año 1962 y comparado con los años 1971, 2009 y 2016, en los cuales se observa el estrechamiento del cauce natural y la ocupación de zonas susceptibles a inundaciones fluviales. Fuente: San Miguel (2019).

El estudio realizado en la parte baja de la quebrada Huaycán posibilitó la identificación de terrazas con alturas que varían entre 2 y 5 metros, las cuales podrían ser afectadas por inundaciones fluviales, en estas zonas también se podrían producir procesos de erosión fluvial (figura 110).

Actualmente las terrazas fluviales ubicadas en ambas márgenes del río Lurín se encuentran cubiertas y/o rellenadas por depósitos antrópicos (material de desmonte), los cuales se han utilizado para la ocupación de zonas recreativas y el asentamiento de población.

El cauce principal del río Lurín se encuentra colmatado por depósitos fluviales, los cuales aumentarían la carga fluvial del río y podría generar mayor afectación en ambas márgenes, así como aguas abajo.

Cabe mencionar que en ambas márgenes del río Lurín, específicamente entre las quebradas Huaycán y Molle, no existen defensas ribereñas, las cuales podrían prevenir y/o mitigar inundaciones fluviales, así como procesos de erosión fluvial. También se ha implementado una vía de acceso temporal en el mismo cauce del río Lurín la cual podría ser destruida en temporada de lluvias y con la sobrecarga del río en mención.

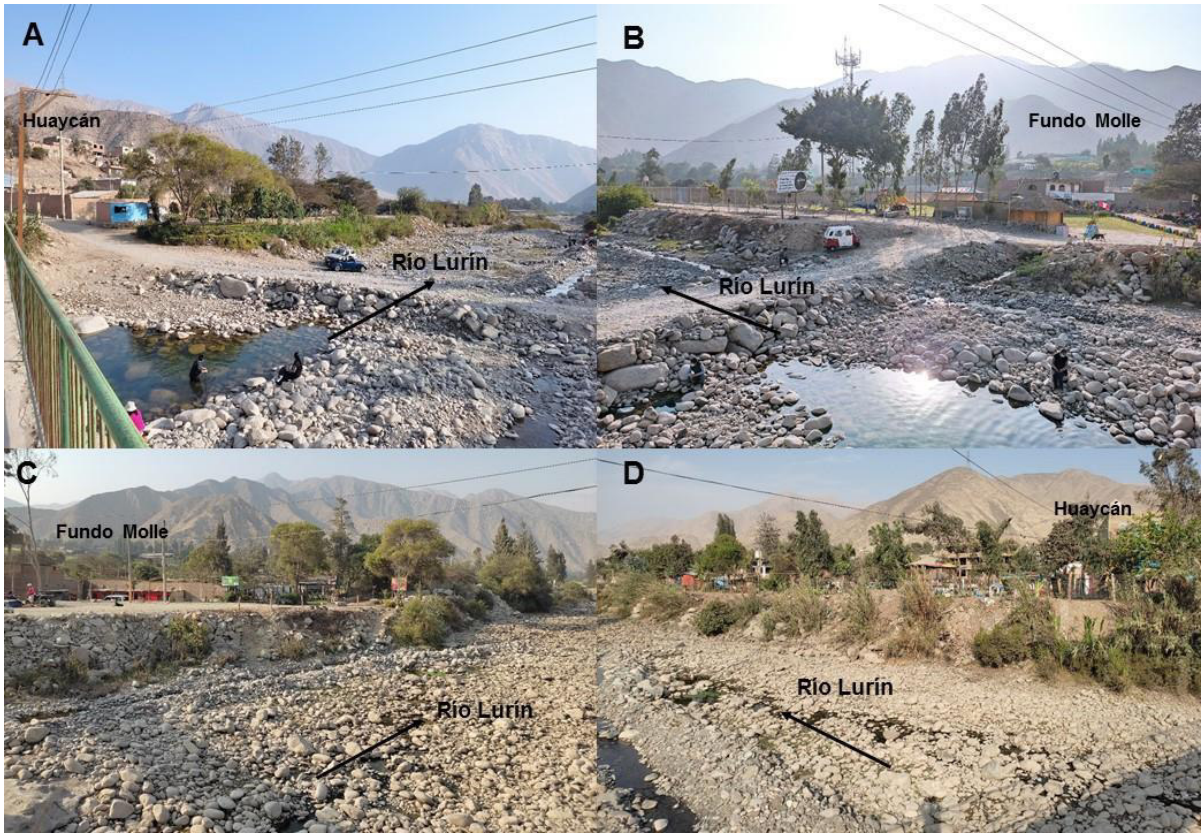


Figura 110. Zonas que podrían ser afectadas por inundaciones fluviales. Estos sectores se ubican en ambas márgenes del río Lurín: A) Terrazas de hasta 2.5 m de altura. B) Terrazas de hasta 2.4 m. C) Terrazas de hasta 2.7 m. D) Terrazas de hasta 2.8 m de altura.

Factores condicionantes de inundaciones y erosión fluvial

- **Pendiente del terreno**. En ambas márgenes del río Lurín se encuentran terrazas bajas o llanuras de inundación con pendiente muy baja (<1°) a baja (1°-5°). En temporada de crecida del río Lurín debido a lluvias estacionales o fenómeno El Niño, estas terrazas y llanuras podrían ser afectadas por inundaciones y erosión fluvial.

- **Geomorfología**. Se han identificado geoformas que corresponden a terrazas bajas y llanuras de inundación. Estos relieves debido a su morfología y proximidad al río Lurín podrían ser afectados por inundaciones y erosión fluvial en temporada de lluvias.

- **Geología**. Los depósitos aluviales corresponden principalmente a gravas y bloques de formas redondeadas a subredondeadas envueltos en una matriz arenosa. Estos depósitos presentan poca compactación, son permeables y no cohesivos. Estas características hacen que estos depósitos que conforman las terrazas aluviales sean susceptibles a inundación y erosiones fluviales. Mientras que las llanuras de inundación formadas por depósitos fluviales debido a su proximidad al río Lurín también podrían ser afectadas por estos procesos.

- **Cobertura vegetal**. La vegetación corresponde a las zonas agrícolas, parques y jardines urbanos ubicados en ambas márgenes del rio Lurín, y que se originan por el riego permanente mediante la canalización de las aguas del río Lurín. Este tipo de cobertura vegetal no brinda mayor protección a las terrazas bajas o llanuras de inundación, por ende, son susceptibles a inundaciones y erosiones fluviales.

Factores desencadenantes

- **Lluvias**. Las lluvias intensas prolongadas y/o excepcionales como las generadas por el fenómeno de “El Niño”, han generado la ocurrencia de inundaciones y erosión fluvial en el pasado y en la actualidad (tabla 24).
  Actualmente, las precipitaciones no superan los 0 mm (figura 111), sin embargo, éstas podrían aumentar durante la ocurrencia de fenómenos climáticos como “El Niño”.
  Las lluvias, considerando su volumen, intensidad y distribución, podrían generar inundaciones en zonas con condicionantes como los antes mencionados.

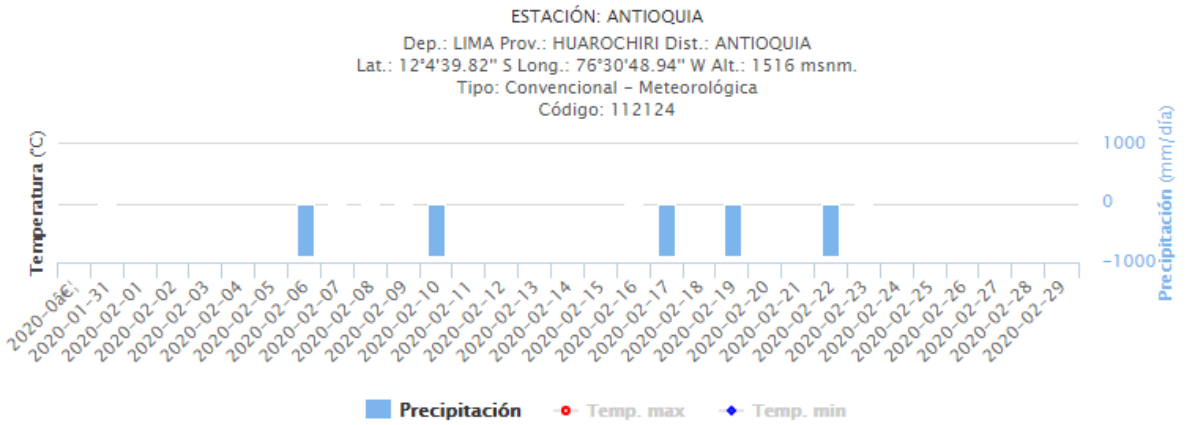


Figura 111. Datos de precipitación periodo enero-febrero 2020 tomados de la Estación Antioquía. Fuente: Senamhi.

Factores antrópicos

- **Ocupación inadecuada del territorio**. Es importante considerar que en ambas márgenes del río Lurín se asientan población, viviendas, terrenos de cultivo y zonas de recreación. También se encuentra un puente peatonal que une las localidades de Huaycán de Cieneguilla y Molle, cuyos pilares presentan daños que podrían generar su colapso durante la crecida del río en temporada de lluvias en la parte alta.
  También se ha implementado un camino rural entre Huaycán de Cieneguilla y Molle el cual atraviesa el cauce en estiaje del río Lurín, pero durante la crecida del río, se podría generar su destrucción.
  La ocupación urbana en zonas susceptibles a inundación y erosiones fluviales, es un factor a considerar, debido a que existe población expuesta a estos peligros y porque la actividad antrópica influye en la modificación del territorio, por ejemplo, el estrechamiento del cauce natural del río Lurín, debido a la ocupación de zonas rurales, terrenos de cultivo y zonas de recreación.

7.4.2. Erosión fluvial

Como parte de los trabajos de campo realizados en la parte baja de la Microcuenca Huaycán, se han identificado 4 ocurrencias de erosión fluvial. Estos procesos se originan principalmente por: las precipitaciones pluviales en la parte alta del río Lurín, las formas de relieve en el valle, el dinamismo de los ríos, las pendientes del terreno, el tipo de depósito que conforman las terrazas aluviales en las márgenes del río, la habilitación urbana en zonas propensas a erosión fluvial, la ausencia de medidas de prevención y el mal diseño de puentes.

Cabe mencionar que estos procesos están asociados a la dinámica fluvial del río Lurín, especialmente en temporadas de lluvias, en las cuales el río presenta caudales importantes que generan inundaciones y erosiones fluviales.

Los procesos de erosión fluvial se producen en sectores donde la velocidad del río incrementa, por ende, en estas zonas se deben implementar medidas de protección como defensas ribereñas (gaviones, muros, enrocados, entre otros) para mitigar estos procesos. Cabe mencionar que para implementar estas medidas se requieren de estudios detallados y dirigidos por especialistas.

En ambas márgenes del río Lurín existen terrazas bajas que podrían ser afectadas por procesos de erosión fluvial, por ejemplo, en el Fundo Molle ubicado frente a la quebrada Huaycán de Cieneguilla se han identificado terrazas bajas con alturas entre 2 y 5 metros susceptibles a erosión fluvial durante la crecida del río Lurín en temporada de lluvias (figura 112).

Estos procesos también han generado fallas estructurales y colapso parcial del puente que une Huaycán de Cieneguilla con el Fundo Molle (figura 113). Actualmente los pilares del puente peatonal se encuentran expuestos a erosión fluvial y en temporada de lluvias podrían colapsar. Por ello, se recomienda la implementación de un nuevo puente peatonal y/o vehicular, considerando los estudios pertinentes y dirigidos por especialistas.



Figura 112. Terrazas bajas en la margen derecha del río Lurín susceptibles a erosión fluvial. Se puede observar el cauce colmatado por depósitos fluviales.



Figura 113. Puente peatonal que une Huaycán de Cieneguilla con el Fundo Molle afectado por procesos de erosión fluvial. Se puede observar que los pilares se encuentran expuestos.

7.5. OTROS PELIGROS GEOLÓGICOS

La ocurrencia de los denominados otros peligros geológicos se debe principalmente a la geomorfología, litología y geodinámica de la microcuenca Huaycán. Estas condiciones hacen que el terreno sea susceptible a erosiones de laderas como: cárcavas y surcos, las cuales fueron identificadas en la microcuenca Huaycán, como parte de esta investigación.

En la zona de estudio se han registrado cuarenta y dos (42) ocurrencias de erosión en cárcavas en toda la microcuenca Huaycán (figura 114).

Cabe mencionar que estos procesos pueden generar la ocurrencia de movimientos en masa, como flujos de detritos, derrumbes y caídas de rocas, debido principalmente a su avance retrogresivo, así como el ensanchamiento y profundización de su cauce natural.



Figura 114. Otros peligros en la microcuenca de la quebrada Huaycán.

7.5.1. Erosión de laderas

Las erosiones de laderas identificadas en la zona de estudio corresponden a un total de cuarenta y dos (42) procesos que corresponden a erosión en cárcavas y surcos.

Las cárcavas son canales que se caracterizan por presentar cabeceras y paredes casi verticales, así como secciones longitudinales con una fuerte pendiente. Estos canales son producidos por la erosión del agua de escorrentía en temporada de precipitaciones pluviales a manera de lluvias.

Las cárcavas se han originado principalmente debido a:

- La acción erosiva de las lluvias en la parte alta de las cárcavas, generando un avance retrogresivo.
- La erosión en el fondo de la cárcava, así como en las paredes, por acción del agua y materiales como fragmentos de rocas y/o suelos.
- Los procesos de derrumbes en las paredes de las cárcavas por acción erosiva del agua de escorrentía.

Las cárcavas se inician a manera de canales pequeños, cuyas dimensiones pueden variar y/o aumentar en relación a la intensidad de la erosión, llegando a presentar hasta varios metros de profundidad. Las dimensiones de las cárcavas se relacionan directamente con la cantidad y velocidad del agua de escorrentía, la permeabilidad del terreno, el relieve y la cobertura vegetal (figura 115).

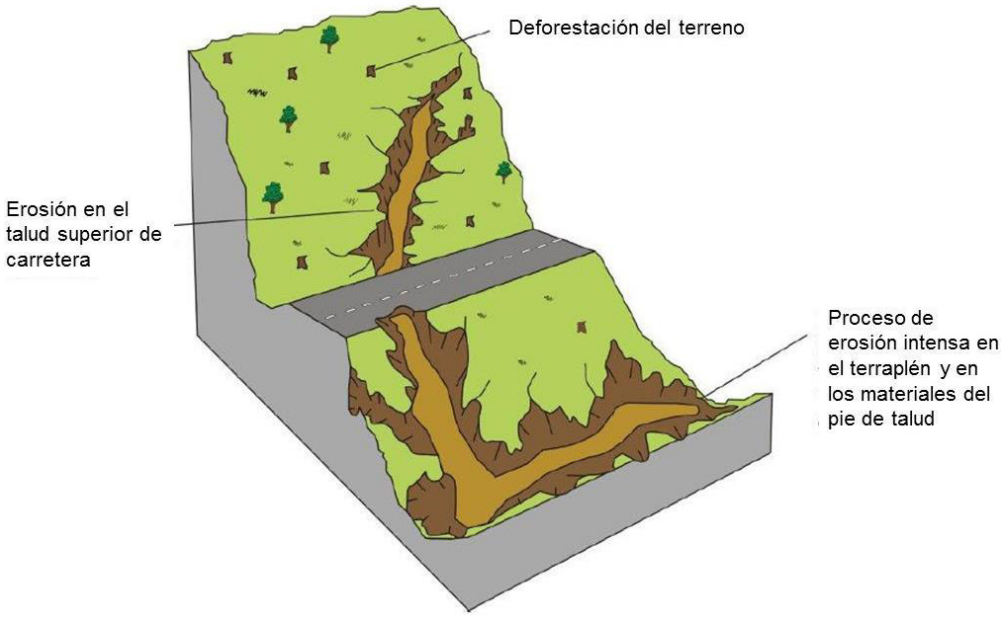


Figura 115. Erosión en cárcavas que afectan una carretera. Fuente: Luque *et al*. (2020).

Las cárcavas y surcos también se caracterizan porque pueden generar otros peligros como flujos de detritos, caídas de rocas y derrumbes (figuras 116 y 117).

Cabe mencionar que se han identificado erosión de laderas (cárcavas y surcos) en los afloramientos rocosos que corresponden a montañas, colinas y lomadas, identificadas en la parte alta, media y baja de la quebrada Huaycán (figura 118), así como en depósitos aluviales recientes, los cuales son fácilmente erosionables por acción hídrica.

Es importante considerar que estas cárcavas aportan material al cauce principal de las quebradas tributarias de la quebrada Huaycán, así como el aporte directo de material al cauce principal. Estos materiales podrían canalizarse por el lecho principal de la quebrada Huaycán generando flujos de detritos que se canalizarían hasta la parte baja y desembocadura de la quebrada, generando afectación en la población.



Figura 116. Erosión de laderas en los substratos rocosos intrusivos de la Superunidad Santa Rosa (margen izquierda de la quebrada Huaycán).



Figura 117. Cárcavas y surcos en la margen izquierda de la quebrada Huaycán. Se pueden observar pequeños conos aluviales formados por la depositación de materiales transportados por las cárcavas.

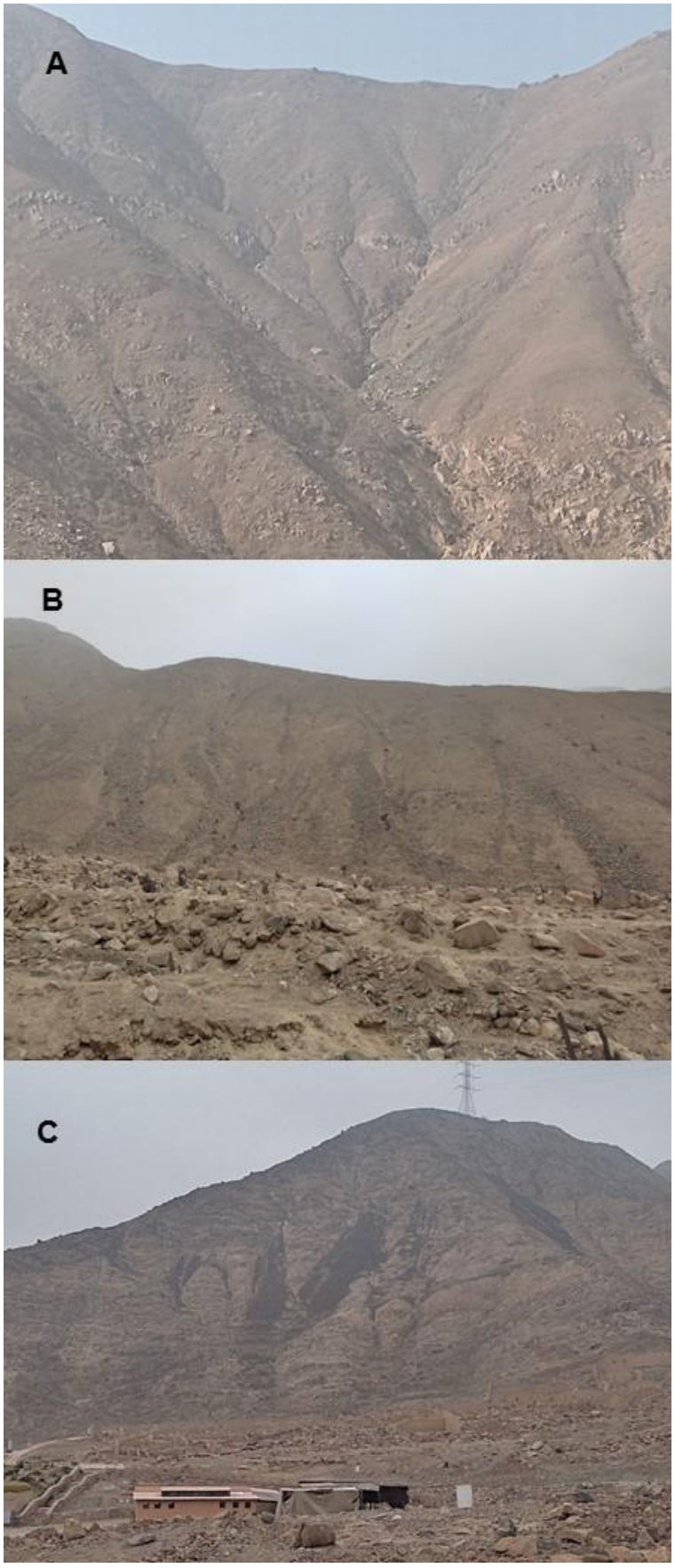


Figura 118. Procesos de erosión de laderas a manera de cárcavas en la microcuenca Huaycán. A). Cárcavas en la parte alta de la microcuenca Huaycán (Cerro Señal Perdida); B). Cárcavas en la parte media de la quebrada Huaycán (margen izquierda), se pueden observar depósitos coluviales en las laderas y C). Cárcavas en la parte baja de la microcuenca Huaycán (hacia el norte de la zona arqueológica Huaycán de Cieneguilla), se pueden observar depósitos coluviales en las laderas del Cerro Señal Perdida.

Factores condicionantes

- **Pendiente del terreno**. En la microcuenca Huaycán la pendiente es considerada como el factor intrínseco del terreno más importante para la generación de cárcavas. Las elevaciones, donde ocurren estos procesos, presentan pendiente del terreno fuerte a muy fuerte (15° a 45°).

- **Geomorfología**. Las geoformas propensas a cárcavas corresponden a montañas, colinas y lomadas modeladas en substratos intrusivos y volcánicos. Estas geoformas presentan pendiente fuerte a muy fuerte del terreno, las cuales son condicionantes para la generación de cárcavas.

- **Geología**. Litológicamente los afloramientos, donde se han identificado erosión de laderas, corresponden a rocas intrusivas de tipo tonalita, diorita y granodiorita pertenecientes a la Superunidad Santa Rosa y rocas volcánicas de tipo andesita pertenecientes a la Formación Chilca (Grupo Casma), las cuales se encuentran medianamente a muy fracturadas y moderadamente a altamente meteorizadas. Mientras que los depósitos aluviales corresponden a gravas y bloques de formas redondeadas a subredondeadas envueltos en una matriz arenoarcillosa. Los depósitos coluviales están conformados por gravas y bloques angulosos a subangulosos debido al poco transporte. Estos depósitos presentan poca compactación, son altamente permeables y no cohesivos.
  Estas características hacen que los afloramientos rocosos y depósitos recientes sean susceptibles a la generación de cárcavas y surcos.

- **Cobertura vegetal**. La zona de estudio se caracteriza por su escasa vegetación debido a las condiciones climáticas. Esta escasa cobertura vegetal permite que el terreno sea fácilmente erosionado por acción hídrica.

Factores desencadenantes

- **Precipitaciones pluviales**. Las lluvias excepcionales como las generadas por el fenómeno de “El Niño”, así como las lluvias estacionales, han generado la ocurrencia de erosión de laderas en el pasado y en la actualidad. Actualmente, las precipitaciones que ocurren en la zona de estudio generan erosión en cárcavas y surcos.
  Las lluvias, considerando su volumen, intensidad y distribución, podrían generar la ocurrencia de erosión de laderas.

CAPÍTULO VIII: ELEMENTOS EXPUESTOS ANTE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA MICROCUENCA HUAYCÁN

8.1. ZONA URBANA DE HUAYCÁN DE CIENEGUILLA

El crecimiento demográfico y la ocupación urbana inadecuada del territorio desde los años 1960 en la parte baja de la quebrada Huaycán de Cieneguilla (Bueno, 2012) ha generado el asentamiento de poblaciones en ambas márgenes de la quebrada Huaycán (figura 119).

La zona urbana de Huaycán de Cieneguilla se encuentra ubicada en la margen izquierda del río Lurín, en la parte baja y media de la cuenca. Políticamente se ubica en el distrito de Cieneguilla, provincia y región de Lima.

La población de esta zona urbana se asienta sobre terrazas aluviales formadas por el cono deyectivo de la quebrada del mismo nombre y está conformada por la Asociación de Vivienda Las Terrazas y el Centro Poblado Rural Autogestionario Huaycán de Cieneguilla, ubicadas en la margen izquierda y derecha, respetivamente, del cauce principal de la quebrada Huaycán. Estas poblaciones se encuentran expuestas a eventos geodinámicos como flujos de detritos, caídas de rocas y derrumbes desencadenados por lluvias extraordinarias y/o movimientos sísmicos (figura 120).



Figura 119. Análisis multitemporal de la ocupación urbana en la parte baja de la microcuenca Huaycán. Parte superior: fotografía aérea de 1962 (Servicio Aerofotográfico Nacional). Parte inferior: Imagen de Google Earth 2010. Tomado de Ruales *et al*. (2013).



Figura 120. Zonas urbanas expuestas a flujos de detritos, caídas de rocas y derrumbes en la microcuenca Huaycán.

8.2. ZONA ARQUEOLÓGICA HUAYCÁN DE CIENEGUILLA

La cuenca Lurín se caracteriza por la presencia de sitios arqueológicos en casi todas las quebradas, incluida la quebrada Huaycán. Marcone (2004) y Marcone & López-Hurtado (2002) indican que existen 24 sitios arqueológicos, desde la costa hasta Sisicaya. Mientras que, Bueno (1995) mencionó la existencia de 68 sitios de diferentes épocas.

La zona arqueológica Huaycán de Cieneguilla se ubica aproximadamente en la cuenca media del río Lurín (margen izquierda), específicamente en la parte baja de la quebrada Huaycán, a 439 m s.n.m. Se encuentra al inicio de la zona ecológica denominada Chaupiyunga, la cual se ubica entre los 500 a 2 000 m s.n.m. (Feltham, 2009). Políticamente este sitio arqueológico pertenece al distrito de Cieneguilla, provincia y región de Lima.

Limita por el norte con el Centro Poblado Rural Autogestionario Huaycán de Cieneguilla, por el sur con la quebrada Huaycán, por el este con el cerro Señal Perdida y por el oeste con la Asociación Las Terrazas de Cieneguilla y el cerro Mal Paso (figura 121).



Figura 121. Vista de la zona arqueológica Huaycán de Cieneguilla y las viviendas colindantes.

De acuerdo con Centeno (2015) la construcción de Huaycán de Cieneguilla se inició en el periodo Intermedio Tardío (1200 a 1430 d.C.) por los Ychsma y se extendió hasta el Horizonte Tardío (1470 a 1532 d.C.). El área arqueológica tiene una extensión de 16 hectáreas de área construida y una poligonal de intangibilidad de 31 hectáreas (figura 122).

Desde mediados de la década de 1960 la zona arqueológica fue subdividida en distintos sectores (figura 123). Jane Feltham (1983) realizó la sectorización del sitio arqueológico en cuatro (I-IV), esta subdivisión fue retomada en 1999 por Peter Eeckhout (Ruales *et al*., 2013).

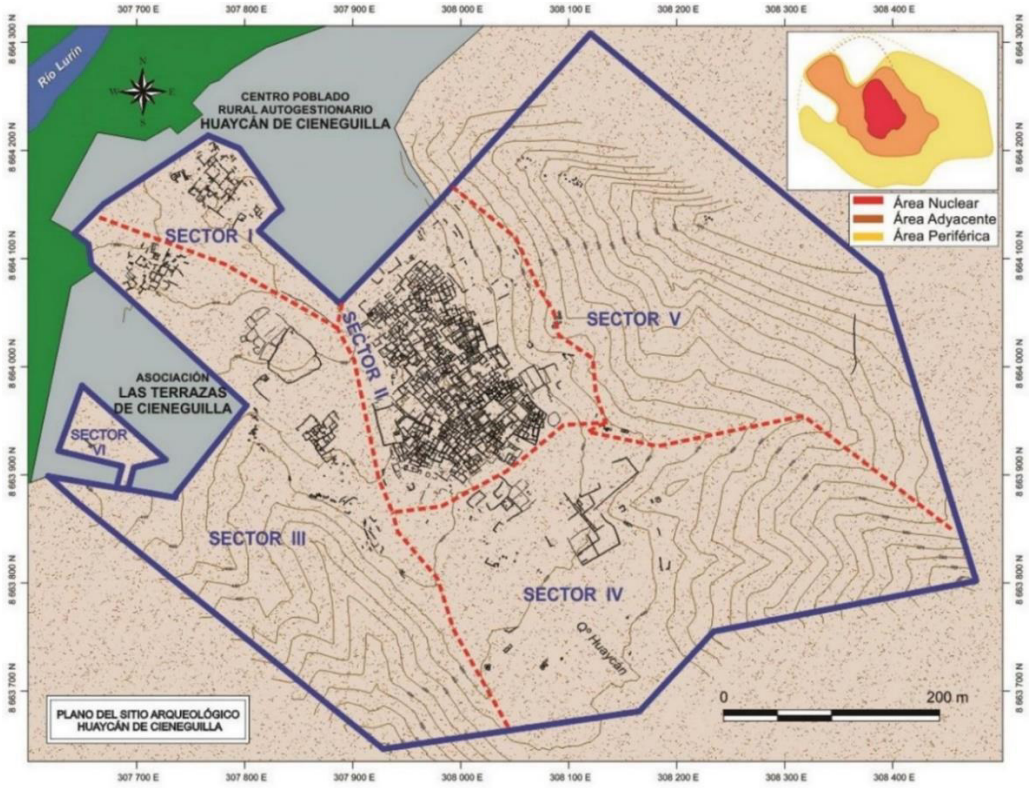


Figura 122. Sectores que conforman la zona arqueológica Huaycán de Cieneguilla. Tomado de Mackie & Ramos (2018).

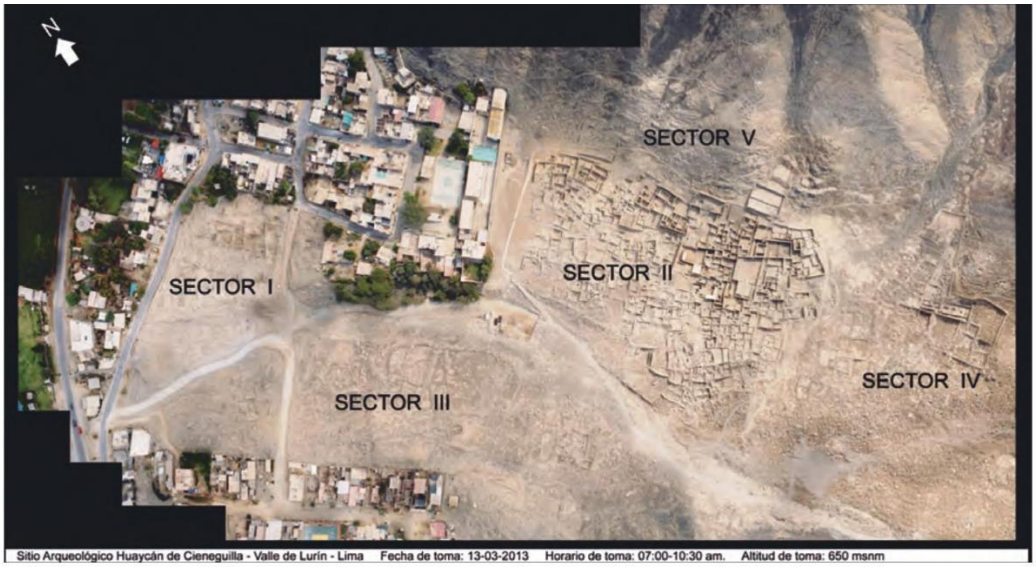


Figura 123. Vista aérea de la sectorización del complejo arqueológico Huaycán de Cieneguilla. Tomado de Ruales *et al*. (2013).

Rostworowski (1978) indica que el Señorío Ychsma se asentó en las cuencas bajas y medias de los ríos Rímac y Lurín, teniendo como sede central lo que actualmente es Pachacámac. La característica de la arquitectura se denominó *Pirámide con Rampa,* la cual consistía de una plataforma, rampa y patio delantero. Esta estructura fue muy representativa en la zona de Cieneguilla como en la parte media de la cuenca Lurín; los sitios arqueológicos se encuentran en la parte baja de los cerros, sobre los conos aluviales de las quebradas afluentes al valle principal. Por ejemplo, se tienen: Río Seco, Tijerales, Panquilma y Huaycán de Cieneguilla.

Una característica particular de Huaycán de Cieneguilla es que es una de las zonas con mayor extensión de su época, además de su complejidad arquitectónica comparada con otros sitios arqueológicos del valle del río Lurín, específicamente Cieneguilla. También cuenta con un modelo arquitectónico denominado *Patio con Friso* (Ruales *et al*. 2014a), posiblemente propio de Cieneguilla (figura 124). El



Figura 124. Patio con friso característico de la zona arqueológica de Huaycán de Cieneguilla.

Entre los años 1460 y 1470 el general Túpac Yupanqui incorporó al señorío Yschma al Imperio del Tahuantinsuyo y se convirtió en un centro ceremonial y administrativo principal de la provincia. Se construyó un templo llamado Punchao Cancha o *Recinto del día* (Rostworowski, 2002).

Una característica resaltante del valle del río Lurín es la existencia de caminos que se construyeron a la llegada de los incas (Calvo, 1984).

Durante el Horizonte tardío (circa 1470-1532 d. C.) un tramo del Qhapaq Ñan conectó Pachacámac con Hatun Xauxa. Las peregrinaciones partían de Pachacámac,

continuaban por Huaycán de Cieneguilla, para luego llegar a Sisicaya, Langa y Huarochirí, y finalmente llegar a Pariacaca y luego a Hatun Xauxa.

En todo el valle del río Lurín se puede identificar la influencia inca, a través de los cambios en la organización política, así como en la arquitectura y la cerámica. Por ejemplo, en Huaycán algunos de los edificios con rampa, construidos durante el Horizonte tardío, se caracterizan por la presencia de cerámica de estilo Inca. Esta influencia arquitectónica se muestra en la inclusión del adobe como material de construcción, así como una arquitectura de grandes dimensiones.

El 12 de noviembre de 1999 el Instituto Nacional de Cultura-INC (actualmente Ministerio de Cultura) mediante Resolución Directoral Nacional Nº 729/INC declaró al sitio arqueológico monumental de Huaycán como patrimonio cultural de la nación.

En el año 2007 se inició el Proyecto Integral Huaycán de Cieneguilla que se encontraba vinculado al Qhapaq Ñan del Ministerio de Cultura. Dicho proyecto tiene como objetivos la investigación, valoración, defensa y conservación de este sitio arqueológico, lo cual involucra a la población ubicada en los alrededores. El Proyecto Integral Huaycán de Cieneguilla tiene tres componentes principales: Investigación, conservación y sociocultural y cuenta con un equipo multidisciplinario y especializado.

El 13 de abril de 2009 la Superintendencia Nacional de Registros Públicos (SUNARP) inscribió en el Registro de predios al sitio arqueológico Huaycán de Cieneguilla, mediante el Título Nº 2009-00033528.

Los trabajos de campo realizados en la microcuenca Huaycán permitieron identificar peligros geológicos a los que está expuesta la zona arqueológica Huaycán de Cieneguilla. En este complejo arqueológico y alrededores se identificaron flujos de detritos o huaicos, caídas de rocas, derrumbes y cárcavas.

En la figura 125 se muestran algunas áreas del sitio arqueológico Huaycán de Cieneguilla que se encuentran expuestos a flujos de detritos, caídas de rocas y derrumbes. Cabe mencionar que en el Capítulo VII se caracterizaron los peligros geológicos identificados y que podrían generar daños en el complejo arqueológico en mención. Cabe mencionar que, la zona arqueológica se asienta sobre depósitos de flujos de detritos antiguos generados desde la parte alta de la microcuenca Huaycán y cuyos materiales fueron transportados hasta su desembocadura en el río Lurín.



Figura 125. Zona arqueológica Huaycán de Cieneguilla expuesta a flujos de detritos, caídas de rocas y derrumbes.

8.3. OBRAS DE INFRAESTRUCTURA

En la cuenca del río Lurín se han generado huaicos que se han canalizado por las diferentes quebradas que conforman la cuenca en mención. Estos procesos han destruido, en el pasado, la única vía de acceso entre las poblaciones rurales y la ciudad de Lima, así como afectación en las poblaciones asentadas en las desembocaduras de las quebradas ubicadas en las subcuencas Lurín bajo y medio (Allende, 2002).

Entre las obras de infraestructura que podrían ser afectadas por peligros geológicos en la microcuenca de la quebrada Huaycán, específicamente en la parte baja, se tienen: carreteras departamentales y vecinales, puentes peatonales, y tanques de almacenamiento de agua potable (figura 126).

En la parte baja de la microcuenca Huaycán se encuentra la red vial departamental que corresponde a la carretera Lima- Huarochirí (pavimento asfáltico) que une Lima Metropolitana con la provincia de Huarochirí. Esta vía departamental fue construida sobre depósitos aluviales antiguos generados en la parte alta de la microcuenca. Actualmente, el trazo de la carretera atraviesa el cauce principal de la quebrada en mención, por ello podría ser afectada por huaicos provenientes de la parte alta de la quebrada Huaycán.

También podrían ser afectadas las diferentes vías vecinales de La Asociación de Vivienda Las Terrazas y el Centro Poblado Rural Autogestionario Huaycán de Cieneguilla, así como las vías hacia la zona arqueológica Huaycán de Cieneguilla.

En el río Lurín, a la altura del kilómetro 27.5 de la carretera Lima- Huarochirí, existe un puente que une Huaycán de Cieneguilla con el Fundo Molle. Actualmente este puente se encuentra parcialmente dañado debido a procesos de erosión e inundación fluvial. Cabe mencionar que, en temporada de lluvias, el puente podría ser afectado nuevamente o colapsar, ante la crecida del río Lurín.

En el Centro Poblado Rural Autogestionario Huaycán de Cieneguilla se identificó un tanque de almacenamiento de agua ubicado en la parte alta del centro poblado en mención. Este tanque de agua potable podría ser afectado por caídas de rocas provenientes de la parte alta de las elevaciones ubicadas al sureste del centro poblado Huaycán.

Los peligros geológicos identificados en la microcuenca Huaycán podrían generar daños en la población y sus medios de vida, por ello la presente investigación identificó los elementos expuestos a estos peligros geológicos, los cuales corresponden a la Asociación de Vivienda Las Terrazas y el Centro Poblado Rural Autogestionario Huaycán de Cieneguilla), la zona arqueológica Huaycán de Cieneguilla y obras de infraestructura como carreteras, centro educativo, centro recreacionales, entre otros (figura 127).



Figura 126. Obras de infraestructura (carreteras, puente, etc.) expuestas a peligros geológicos en la microcuenca Huaycán.

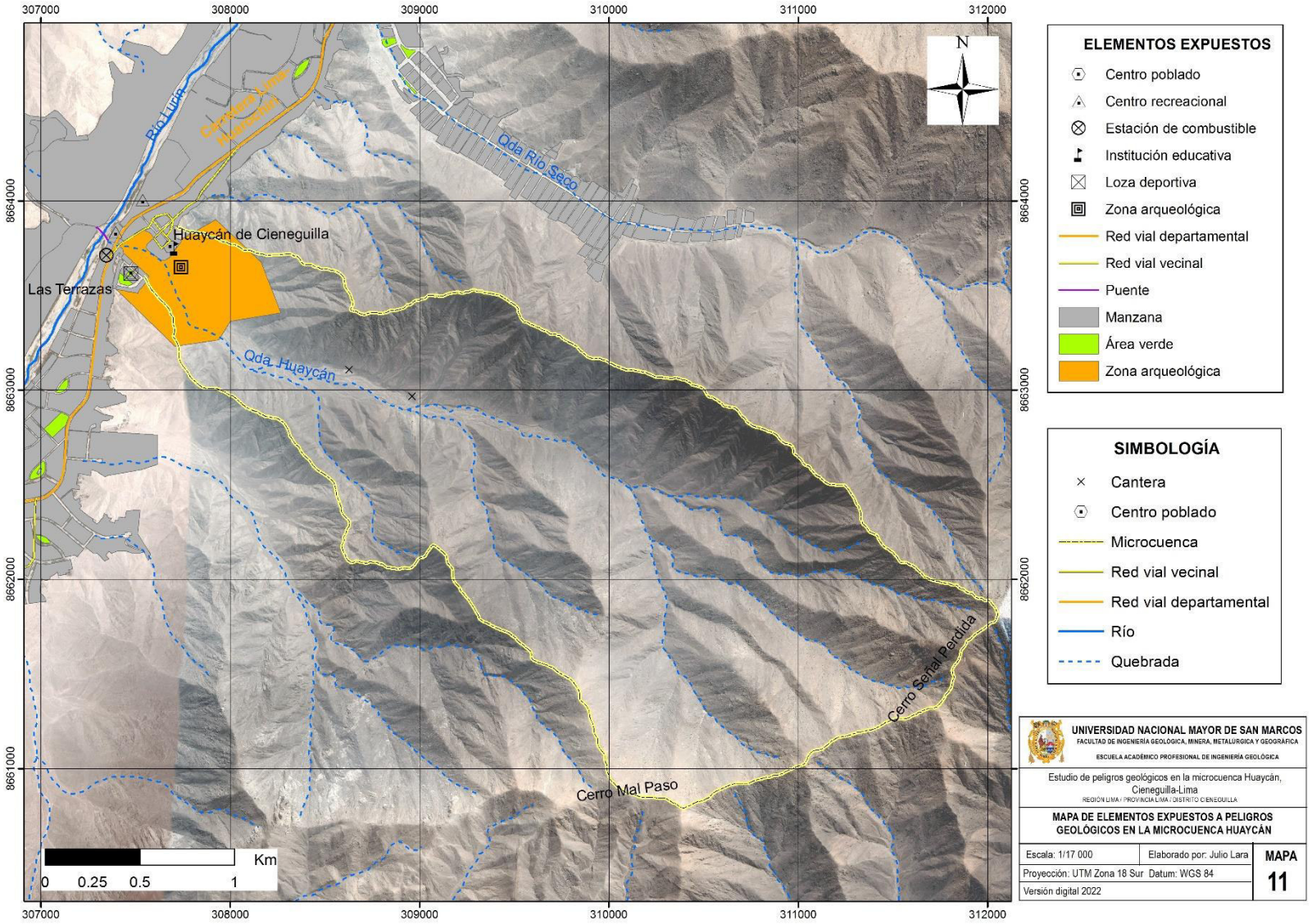


Figura 127. Mapa de elementos expuestos ante peligros geológicos en la microcuenca Huaycán.

CAPÍTULO IX: PROPUESTAS DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y/O PREVENCIÓN ANTE PELIGROS GEOLÓGICOS

9.1. MEDIDAS DE PREVENCIÓN EN EL PASADO

Los habitantes prehispánicos del complejo arqueológico Huaycán de Cieneguilla fueron conscientes de los peligros geológicos a los que estaban expuestos, por ello se asentaron sobre terrazas aluviales altas e implementaron algunas medidas de prevención y/o mitigación ante tales procesos. Estas obras aún se pueden observar en los alrededores del sitio arqueológico en mención (figura 128).

De acuerdo con San Miguel (2019) las medidas de prevención utilizadas en el complejo corresponden a: medidas ante huaicos y medidas ante derrumbes. Las obras preventivas ante huaicos corresponden a: muros de protección, diques y pozas colectoras. Mientras que las medidas utilizadas para la mitigación de derrumbes fueron: terrazas y muros de contención.

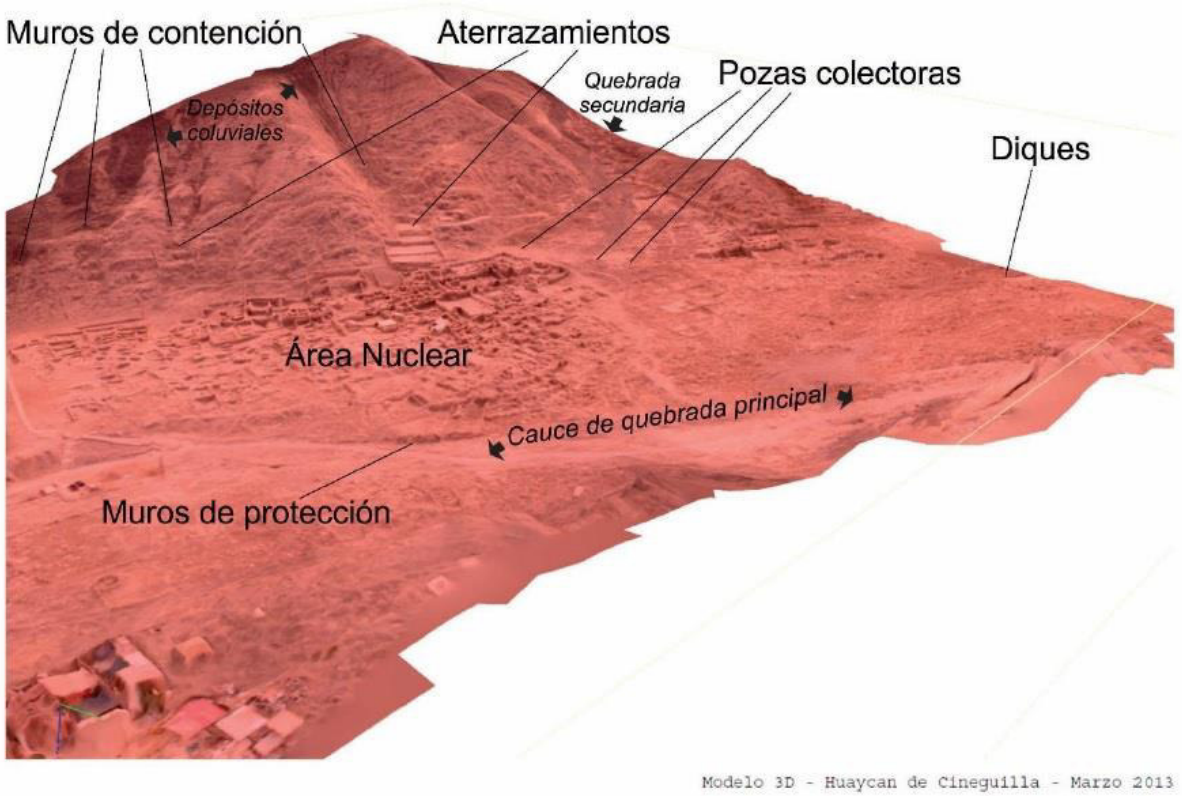


Figura 128. Medidas de prevención implementadas en la zona arqueológica Huaycán de Cieneguilla con el objetivo de proteger a la población e infraestructura del sitio en mención. Fuente: San Miguel (2019).

En la figura 129 se pueden apreciar los muros de protección, diques, pozas colectoras, así como muros de contención y terrazas construidos en el sitio arqueológico Huaycán de Cieneguilla.

Los muros de protección se encuentran próximos al cauce principal de la quebrada Huaycán y tienen alturas de hasta 2.40 m.

Los diques corresponden a muros de hasta 0.90 m de altura que se ubican en el lecho de la quebrada Huaycán y construidos de manera transversal.

Las pozas colectoras tenían por objetivo captar las aguas y/o lodo. Presentan diámetros entre 1 y 23 m.

Los muros de contención y terrazas se construyeron con la finalidad de estabilizar y/o mitigar los derrumbes provenientes de las laderas de los cerros. Las terrazas tienen entre 42 a 168 m^2. Mientras que los muros de contención tienen alturas de hasta 80 cm.



Figura 129. Obras de mitigación ante peligros geológicos identificadas en la zona arqueológica Huaycán de Cieneguilla: a. Muros de protección, b. Diques, c. Pozas colectoras y d. Muros de contención y terrazas. Fuente: San Miguel (2019).

9.2. MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y/O PREVENCIÓN

Las medidas propuestas en este capítulo tienen como finalidad prevenir, mitigar y/o controlar los daños que podrían generar los peligros geológicos identificados en la microcuenca Huaycán, como los procesos de tipo flujos de detritos, caídas de rocas y derrumbes.

En la figura 130 se muestra el esquema clásico de las medidas de mitigación que contribuyen en la reducción de los riesgos naturales (UNDRO, 1991). Las estrategias de mitigación deben buscar evitar que se generen nuevos riesgos (Fell *et al.*, 2008).

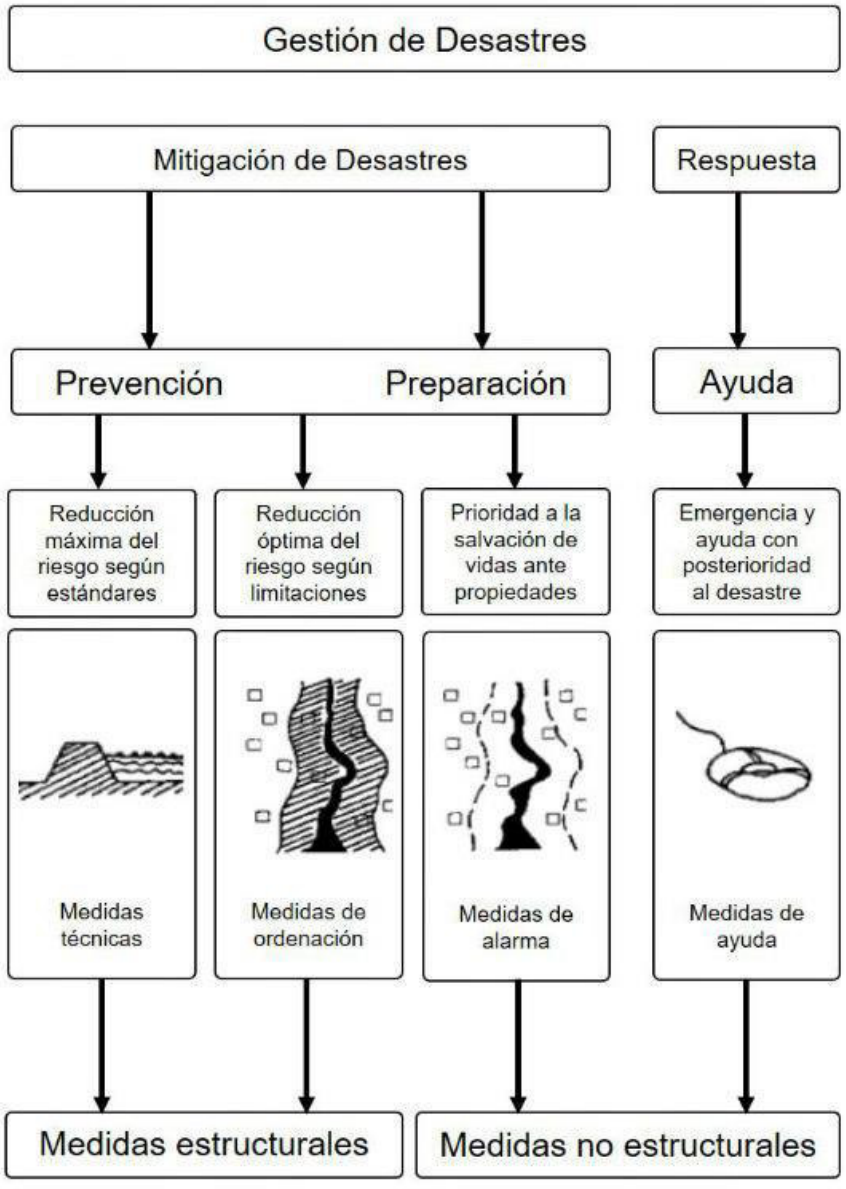


Figura 130. Medidas que contribuyen en la gestión de desastres. Modificado de UNDRO (1991).

De acuerdo con Llorente & Laín (2009) las medidas de mitigación pueden ser: preventivas y correctoras, las cuales se dividen en estructurales y no estructurales (figura 131).



Figura 131. Tipos de medidas de mitigación. Fuente: Llorente & Laín (2009).

Las medidas estructurales son importantes en lugares donde existen elementos expuestos a fenómenos naturales y donde es vital su implementación. Todas las medidas estructurales necesitan de estudios específicos considerando la magnitud e intensidad de los eventos que afectan o podrían generar daños.

De acuerdo con Llorente & Laín (2009) existen medidas preventivas estructurales como: barreras (muros, diques, presas, etc.), elementos de refuerzo (bulones, escolleras, etc.), canalizaciones, excavaciones, entre otras.

Mientras que las no medidas estructurales como la educación, el ordenamiento territorial, los sistemas de alerta temprana, entre otros, son por lo general medidas de bajo costo y muy rentables. Cabe mencionar que estas medidas buscan incrementar la protección del medio y el mejor uso del suelo, considerando los eventos que ocurren (Llorente & Laín, 2009).

Por ejemplo, se tienen medidas no estructurales como la educación y concientización social, legislación sectorial, ordenamiento y gestión territorial, planes de protección civil, sistemas de aviso y alerta (paneles informativos y alertas tempranas), entre otras.

9.3. MEDIDAS DE PREVENCIÓN EXISTENTES

Los trabajos de campo realizados en la microcuenca Huaycán permitieron identificar algunas obras de protección existentes, principalmente ante huaicos y caídas de rocas. Estas obras corresponden a muros de contención y enrocados.

Hacia la parte media de la microcuenca Huaycán se han identificado defensas a manera de enrocados construidos de manera artesanal y con la finalidad de mitigar los efectos generados por los huaicos (figura 132).

En la Asociación de Vivienda Las Terrazas se han identificado muros de sostenimiento y contención para la construcción de viviendas (figura 133). Cabe mencionar que existen actualmente viviendas asentadas sobre muros artesanales que podrían colapsar ante eventos sísmicos de gran magnitud (figura 134).

Mientras que en el Centro Poblado Huaycán de Cieneguilla se han identificado muros de contención construidos con el propósito de proteger a las viviendas de caídas de rocas (figura 135).

Finalmente, los habitantes prehispánicos del complejo arqueológico Huaycán de Cieneguilla construyeron algunas medidas de protección, por ejemplo, muros de contención ante la ocurrencia de caídas de rocas (figura 136).



Figura 132. Enrocado realizado en la parte media de la microcuenca Huaycán ante la ocurrencia de flujos de detritos.



Figura 133. Muros de sostenimiento y contención implementados para la construcción de viviendas en la Asociación de Vivienda Las Terrazas.



Figura 134. Muros de sostenimientos mal diseñados y que podrían colapsar ante un eventual evento sísmico.



Figura 135. Muros de contención construidos en el Centro Poblado Huaycán de Cieneguilla con la finalidad de evitar daños en las viviendas del centro poblado en mención.



Figura 136. Muros de contención construidos para la protección de la zona arqueológica Huaycán de Cieneguilla.

9.4. PROPUESTAS DE MEDIDAS ESTRUCTURALES PARA FLUJOS

Considerando la naturaleza de los flujos de detritos o huaicos, resulta lógico que las medidas estructurales propuestas sean transversales al cauce principal. Estas medidas estructurales brindan soluciones efectivas antes los huaicos. Cabe mencionar que es importante también implementar medidas no estructurales.

Las propuestas de obras de prevención recomendadas a las autoridades locales se pueden ejecutar de manera individual o combinada, dependiendo de las propiedades del terreno. Para realizar la ejecución de estas medidas se recomiendan realizar estudios geotécnicos a detalle y dirigidos por especialistas con la finalidad de realizar obras que resulten efectivas ante los peligros identificados.

Las medidas de prevención y mitigación ante flujos de detritos deben ser implementadas de manera integral con la finalidad de minimizar el peligro por flujos y los daños que podrían generar estos eventos a la población (figura 137).

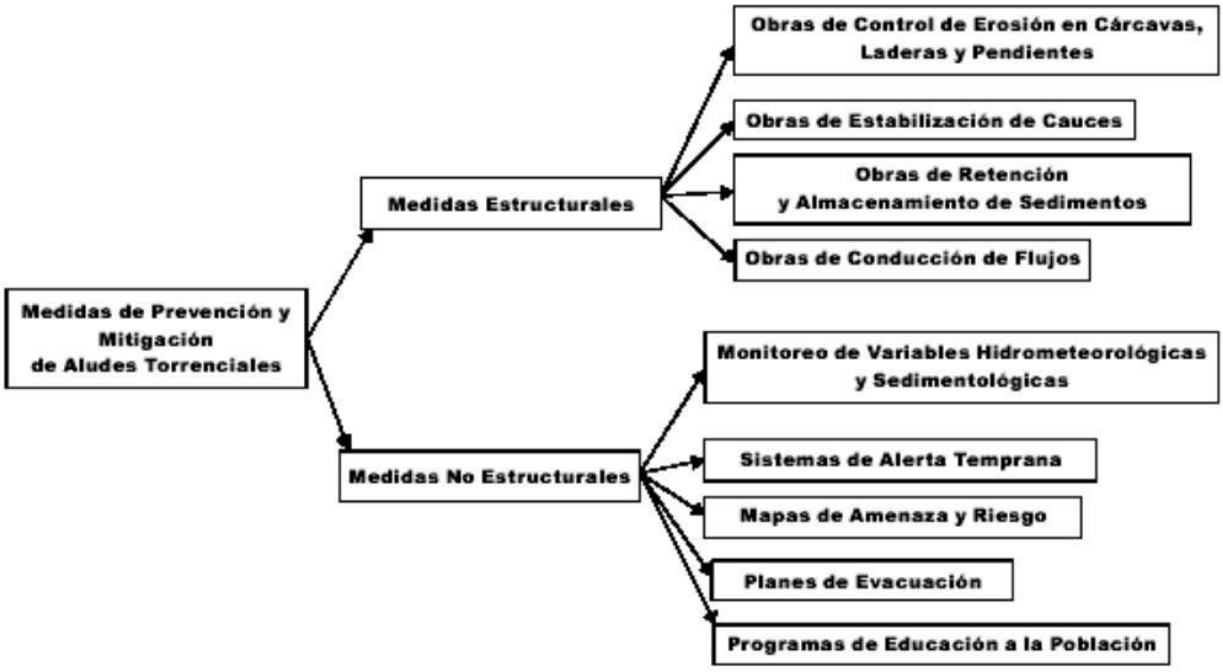


Figura 137. Medidas de prevención para flujos de detritos de acuerdo con López (2005).

9.4.1. Diques

Los diques son medidas estructurales de tipo transversal construidas con la finalidad de detener los sedimentos y agua generados en las quebradas o ríos, con el objetivo de mitigar los daños que puedan generar los huaicos.

Diques de mampostería

Son estructuras sólidas construidas de material rígido como el concreto o rocas que están sujetas a flexiones debido a que tienen que aguantar diferentes esfuerzos de empuje horizontal producidos por los sedimentos y agua transportados. Son consideradas como estructuras continuas que activamente se encuentran produciendo efectos de estabilización en el relieve.

Los diques de mampostería son utilizados en aquellos cauces cuyo lecho son total o parcialmente de roca. Estos diques construidos de concreto retienen las aguas, por ello durante su diseño se deben considerar la implementación de chorreras para liberar la presión de los sedimentos almacenados (figura 138).



Figura 138. Modelo de dique de rocas y concreto. Fuente: WordPress (2012).

Dique de gaviones

Los diques de gaviones son estructuras de gravedad y permanentes que consisten en cajas de forma rectangular hechas de alambres galvanizados que forman mallas hexagonales de triple torsión. Estos gaviones se rellenan con piedras de cantera u otro tipo de material similar que se pueda extraer del mismo entorno.

Por lo general, las medidas consideradas para su elaboración son 1x1x1m, y el diseño dependerá de las necesidades de la obra (figura 139).

La implementación de este tipo de estructuras genera beneficios como:

- La flexibilidad debido a que los gaviones permiten cierta deformación ante la presencia de presión, esta característica lo diferencia de los muros convencionales.
- La permeabilidad porque los muros de gaviones al estar hechos de rocas admiten el paso de las aguas por su diseño, impidiendo de esta manera la formación de presión hidrostática.
- La cimentación debido a que los gaviones no requieren cimentaciones en su diseño.
- Los costos porque el costo para la construcción de estas obras es relativamente bajo a comparación de otras estructuras.



Figura 139. Dique de gaviones. Fuente: WordPress (2012).

Presa de gaviones

Las presas de gaviones son estructuras diseñadas por gaviones y utilizadas para reducir la rapidez de los huaicos, así como contrarrestar su acción erosiva.

Estas estructuras permiten retener los materiales sólidos transportados por los flujos y así evitar que la acción erosiva del flujo incremente en profundidad y longitud el lecho o cauce de la quebrada por donde discurren los flujos (figura 140).



Figura 140. Presa de gaviones empleada para controlar flujos de detritos. Fuente: Osorio (2010).

9.4.2. Muro de contención con gaviones

Los muros de contención son diseñados para mitigar o contrarrestar la erosión lateral generada por los huaicos.

Para su elaboración se utilizan gaviones rellenados con rocas y por lo general tienen medidas de 1x1x1m que se pueden complementar con colchonetas de gaviones con el propósito de minimizar la erosión y desgaste del muro (figura 141).



Figura 141. Muro de contención hecho de gaviones con el propósito de impedir el socavamiento. Fuente: El Oficial (2021).

9.4.3. Canal de derivación

Los canales de derivación son sistemas de estructuras implementadas con la finalidad de poder desviar los flujos de agua y principalmente para poder proteger el cauce de la acción erosiva de las aguas. Pueden ser construidos en base a rocas o concreto (figura 142).

El uso de los gaviones es muy difundido debido a los beneficios que proporcionan como:

- La flexibilidad porque los gaviones pueden resistir ciertas deformaciones y sin embargo continúan siendo efectivos.
- La permeabilidad debido a que lo gaviones presentan espacios o intersticios que disipan la energía del agua y disminuyen la presión hidrostática.
- La resistencia ante las fuerzas que soporta la estructura.
- La permanencia porque la triple torsión evita que los gaviones se desarmen, además resisten la corrosión.
- El diseño fácil y económico que no requiere de mano de obra especializada y utiliza herramientas de uso básico.

Las colchonetas son contenedores de rocas diseñados a manera de armaduras de protección que consiguen ofrecer una resistencia equilibrada a los flujos. Su diseño consiste de celdas internas distribuidas de manera uniforme.



Figura 142. Canalización de cauce en base a gaviones. Fuente: EcoGreen Construcciones (2021).

9.4.4. Espigones

Son estructuras transversales considerablemente de comportamiento sólido, de forma alargada y diseñadas con el propósito de redireccionar las corrientes de agua y/o mitigar la erosión de materiales en el fondo del lecho. Los espigones o venas son construidos a un determinado ángulo con la dirección del flujo, se encuentran anclados a la orilla del canal y con una cabeza en la punta para el manejo del flujo (figura 143).

La finalidad de construir espigones consiste en desviar el flujo de zonas críticas para evitar la erosión y generar la estabilidad de dicha zona.

Los espigones se clasifican en permeables o impermeables considerando que puedan admitir o no el paso de las aguas por medio de su estructura.

Cabe mencionar que los espigones son muy rentables en su diseño y efectivos para mitigar los procesos erosivos.



Figura 143. Construcción de espigones. Fuente: Gobierno de Jujuy (2021).

9.4.5. Poza de sedimentación

Las pozas de sedimentación son utilizadas con la finalidad de detener y acumular los materiales transportados por los huaicos. Tienen como propósito detener los flujos y prevenir potenciales daños en la población y viviendas.

Para el diseño de estas estructuras se deben considerar las características geológicas, topográficas y de los materiales a utilizar para su construcción:

- Las características geológicas permitirán conocer la litología de la zona y determinar la capacidad portante con la finalidad de determinar la estructura ideal.
- La topografía permitirá delimitar el relieve del terreno con el objetivo de determinar la capacidad de almacenamiento y evaluar volúmenes.
- Los materiales requieren cumplir con las especificaciones técnicas para la elaboración de la estructura.

9.4.6. Barreras geodinámicas

Las barreras geodinámicas o mallas dinámicas son estructuras que tienen por finalidad la retención de materiales sólidos originados por los huaicos incluso las caídas de rocas (figura 144).



Figura 144. Barreras o mallas geodinámicas instaladas en Chosica. Fuente: Andina (2018).

Para el diseño e implementación de estas medidas se tienen que realizar trabajos geotécnicos que permitan el uso correcto y efectivo de estas estructuras.

El uso de este tipo de estructuras tiene ventajas como:

- La reducción de la duración en la construcción.
- Economizar costos comparado con estructuras como de concreto armado.
- Un impacto visual mínimo en el ambiente.
- El uso de barreras unitarias puede mitigar eventos de hasta 1 000 m^3, mientras que las barreras múltiples se usan para volúmenes de hasta miles de m^3.

En la actualidad se utilizan dos tipos de barreras geodinámicas: VX y UX, cuyo uso dependerá de la morfología de la zona.

Las barreras geodinámicas VX son empleadas en valle de tamaño estrecho y con forma de V. Estas estructuras se fijan en el substrato rocoso del valle mediante el uso de anclajes. Las barreras tipo VX presentan una longitud de hasta 15 metros y una altura de hasta 6 metros (figura 145).

Las barreras geodinámicas UX son utilizadas en cauces anchos y en forma de U. Estas barreras son fijadas de preferencia sobre dos apoyos en medio del cauce, también se emplean anclajes de cable espiral. Presentan longitudes de hasta 25 metros y una altura de hasta 6 m. (figura 146).

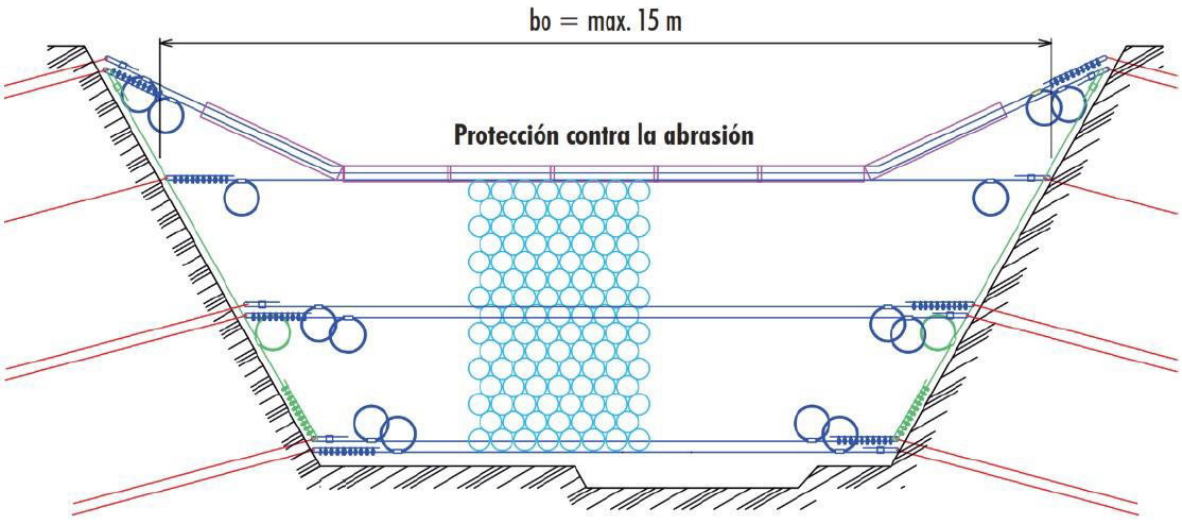


Figura 145. Barrera geodinámica VX. Tomado de Santuyo & Zambrano (2019). Fuente: GEOBRUGG (2018).

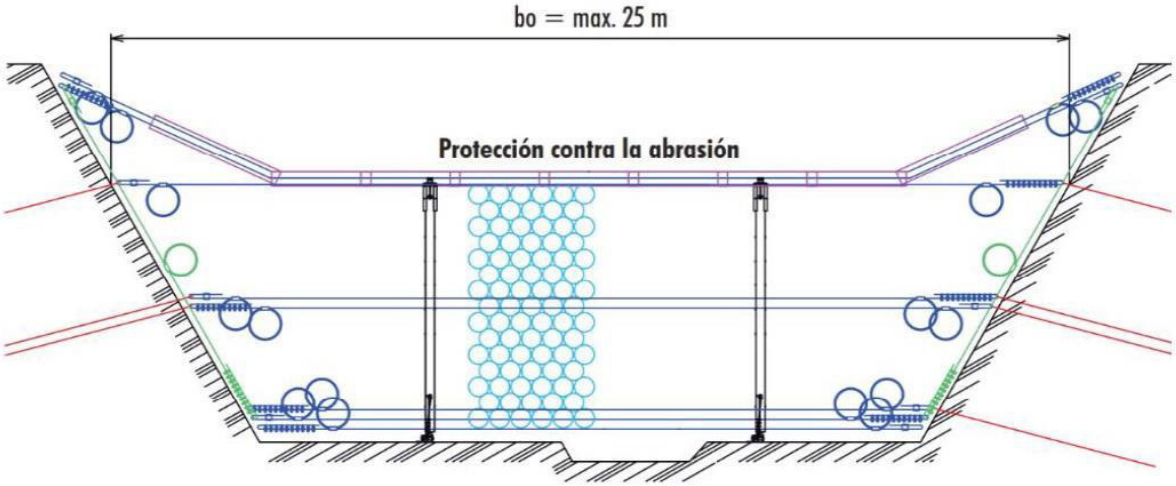


Figura 146. Barrera geodinámica UX. Tomado de Santuyo & Zambrano (2019). Fuente: GEOBRUGG (2018).

9.5. PROPUESTAS DE MEDIDAS ESTRUCTURALES PARA CAÍDAS DE ROCAS Y DERRUMBES

Las medidas de mitigación ante estos procesos se pueden ejecutar en terrenos con pendiente fuerte, con la finalidad de conseguir la estabilización del terreno. Las obras más utilizadas se indican en la figura 147.

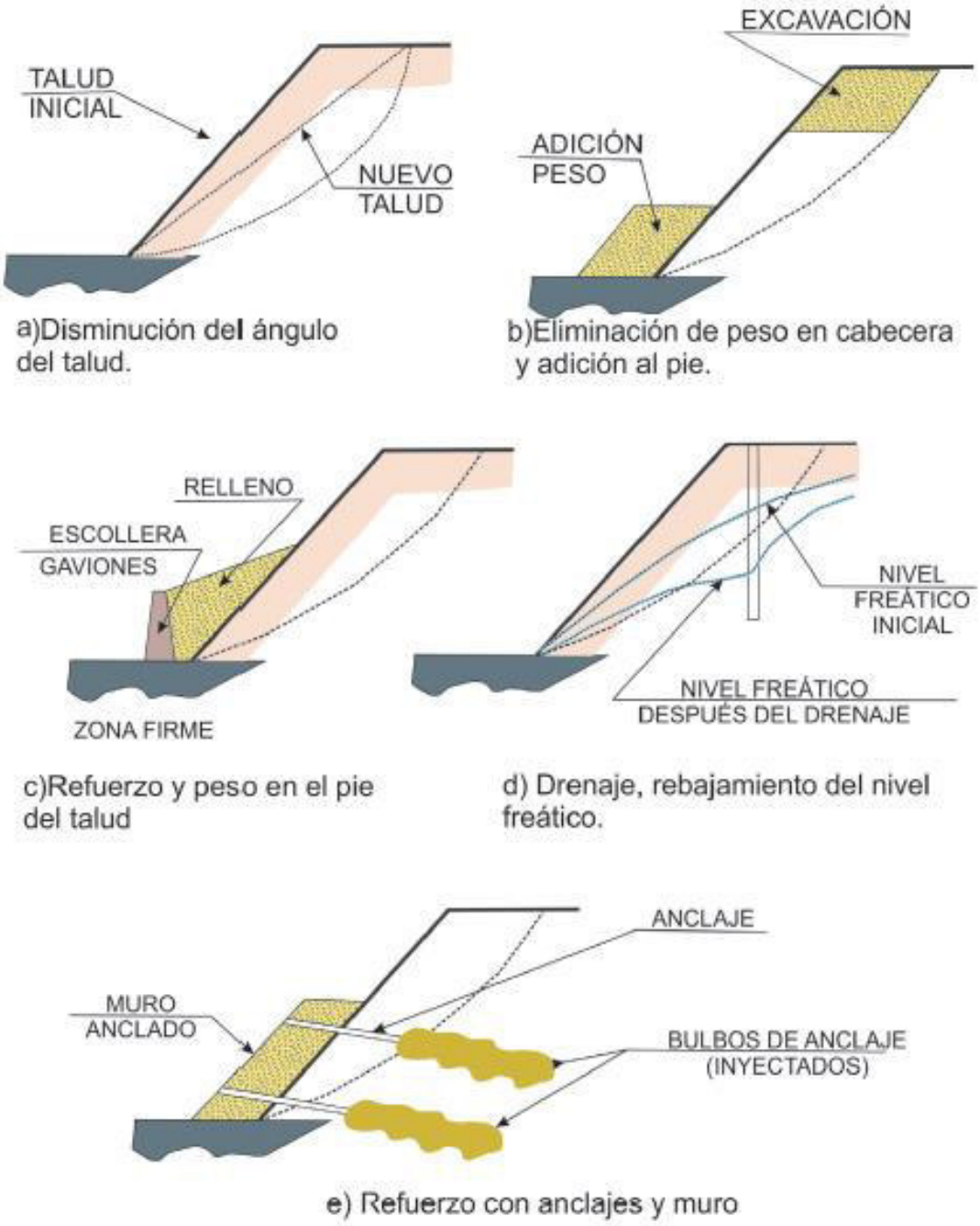


Figura 147. Obras empleadas para la estabilización de laderas. Fuente: Gonzáles de Vallejo et al. (2002).

Las medidas de mitigación que podrían ser utilizadas en las zonas afectadas por caídas de rocas y derrumbes son:

9.5.1. Banquetas

Estas medidas corresponden a la modificación de la geometría del talud con el propósito de estabilizar el ángulo de la ladera, esto se puede conseguir haciendo cortes del terreno y escalonamientos en forma de banquetas (figura 148).

Estas actividades buscan redistribuir las fuerzas debido al peso de los materiales, con el objetivo de conseguir la estabilización en la zona intervenida.

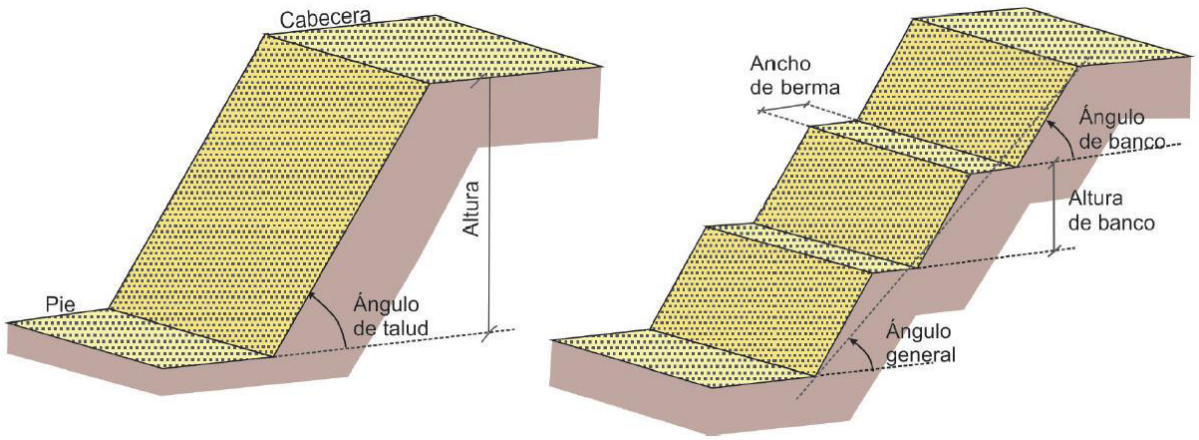


Figura 148. Laderas con ángulo uniforme y talud con banquetas o bermas. Fuente: Gonzáles de Vallejo et al. (2002).

9.5.2. Anclajes

Los anclajes se realizan con el objetivo de incrementar la resistencia al corte. Se utilizan anclajes hechos de acero que son fijados en substratos rocosos inalterables.

Estas obras de caracterizan porque actúan a tracción y brindan un esfuerzo contrario al movimiento, así como el incremento de la tensión normal sobre la superficie de rotura (figura 149).

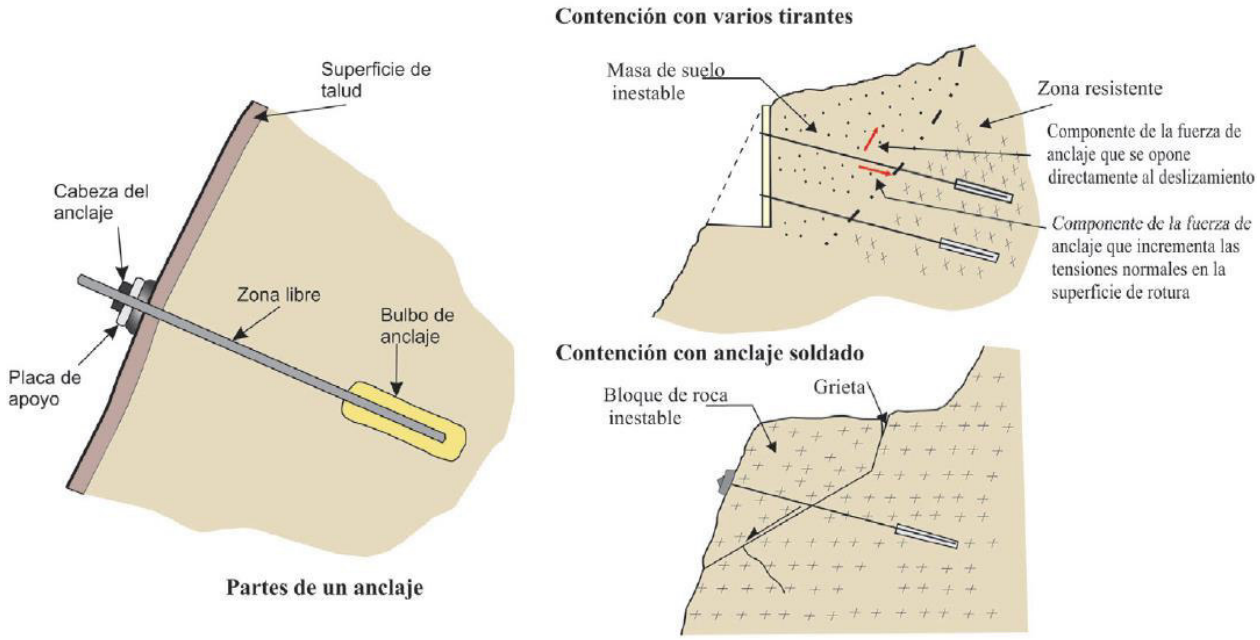


Figura 149. Partes de los anclajes y su método de uso.

9.5.3. Muros

Los muros se construyen al pie de las laderas con la finalidad de impedir el avance de materiales que puedan desprenderse o caer. La desventaja de utilizar estas obras rígidas es que pueden romperse por el impacto de los materiales.

Los muros pueden ser de sostenimiento, contención o revestimiento (figura 150).

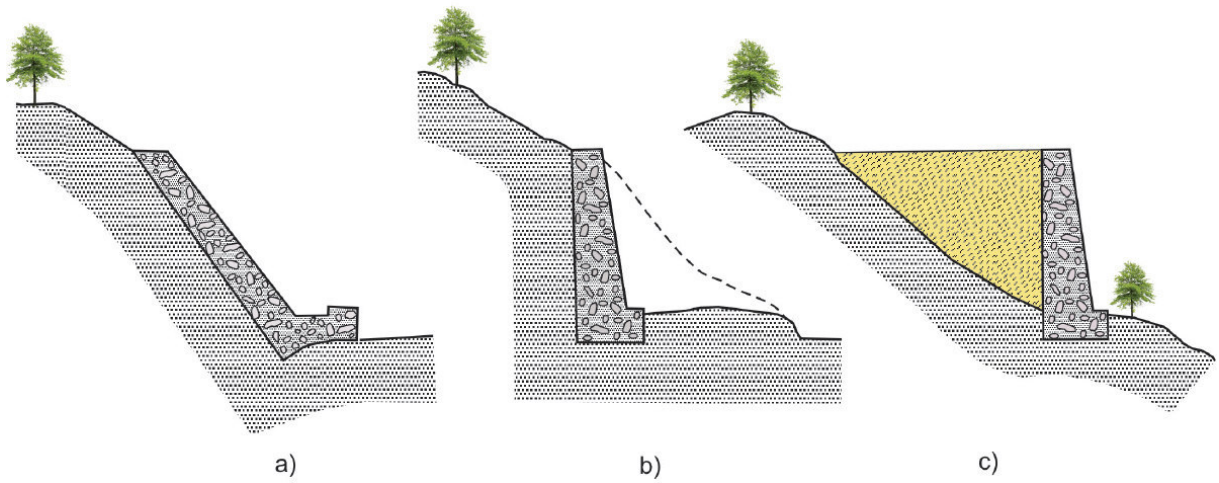


Figura 150. Tipos de muros: revestimiento (a), contención (b) y sostenimiento (c) de acuerdo con Jiménez *et al*. (1976).

9.6. PROPUESTAS DE MEDIDAS PARA EROSIÓN DE LADERAS

En la zona de estudio existen cárcavas y surcos que generan materiales sueltos los cuales son de fácil remoción por acción hídrica. En temporada de lluvias estas cárcavas podrían generar flujos de detritos y/o lodo. Por ello para el manejo y control de las cárcavas se recomiendan algunas medidas, como las que se detallan a continuación:

- Regeneración de la cobertura vegetal, preferentemente vegetación nativa, en los alrededores de las cárcavas con la finalidad de conseguir la estabilidad de estos procesos (figura 151).

- Conservación de la vegetación formada por pastos, malezas y arbustos con el objetivo de conseguir la estabilización del terreno y mitigar los procesos erosivos.

- Evitar las actividades antrópicas que generen el deterioro de la vegetación natural, como canteras para la extracción de material y la construcción de caminos rurales.

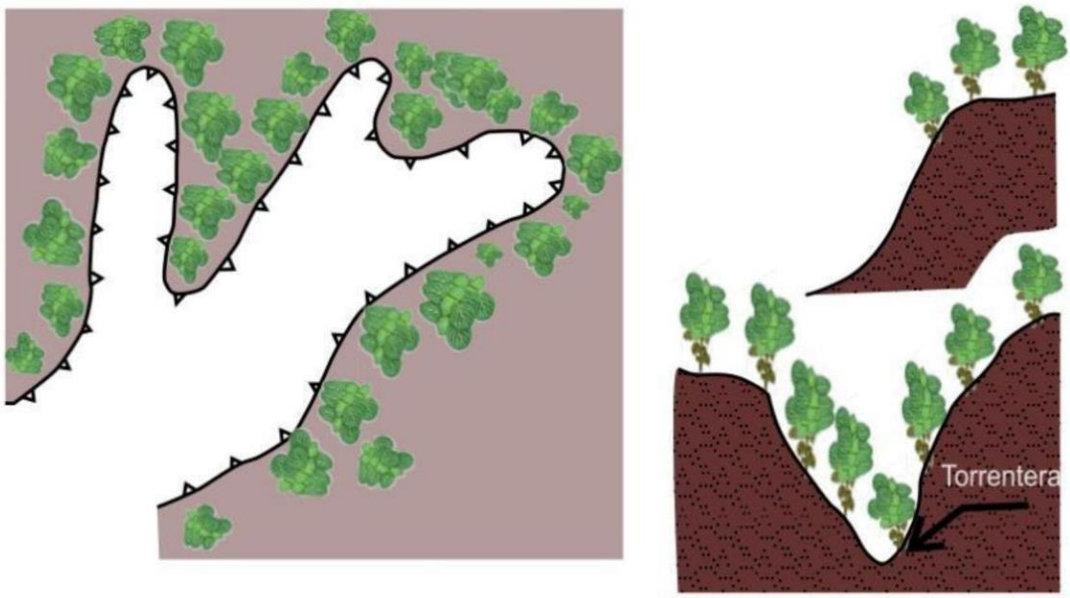


Figura 151. Reforestación en cabeceras y márgenes de cárcavas para aumentar la estabilidad del terreno.

9.7. PROPUESTAS DE MEDIDAS PARA INUNDACIONES Y EROSIONES FLUVIALES

En la parte baja de la microcuenca Huaycán, específicamente en el río Lurín se han identificado procesos de inundación y erosión fluvial, por ello se recomiendan las siguientes medidas:

- Realizar el encauzamiento y limpieza del cauce del río Lurín con el propósito de incrementar la capacidad de transporte de la carga sólida y líquida durante la temporada de lluvias que generan la crecida del río en mención.

- Implementar espigones laterales, enrocado o gaviones en sectores donde se han producido o se podrían producir procesos de inundación y erosión fluvial con la finalidad de evitar la erosión fluvial en las terrazas ubicadas en ambas márgenes del río en mención (figura 152).

- Construcción de diques de defensa o espigones con la finalidad de mitigar la erosión fluvial. Estas obras contribuyen en minimizar los procesos de erosión y desestabilización (figura 153).

- Realizar actividades para incrementar la presencia de vegetación ribereña como molle, sauce, carrizo, entre otras.



Figura 152. Implementación de muros de gaviones en las márgenes de un río.

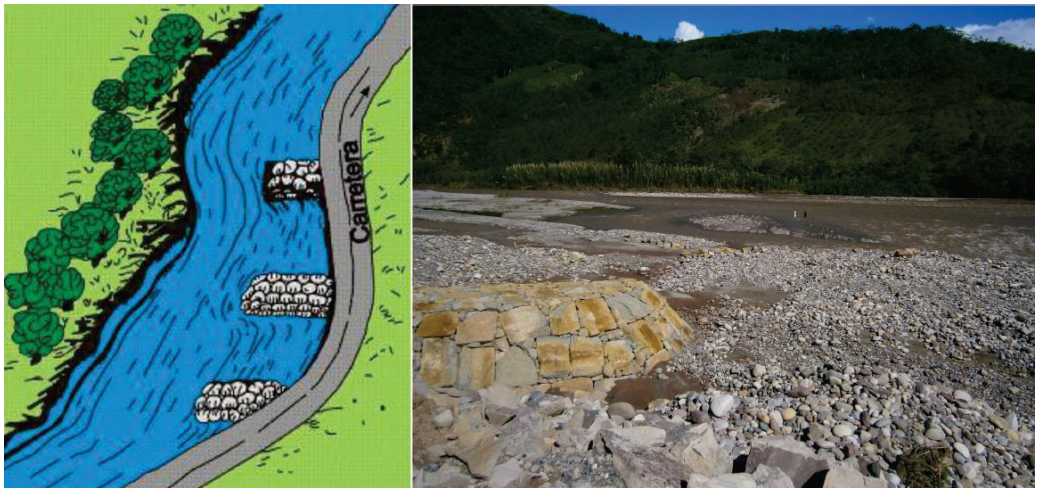


Figura 153. Espigones instalados para contrarrestar la erosión fluvial.

Las medidas estructurales propuestas anteriormente corresponden a alternativas de prevención ante peligros geológicos y peligros geohidrológicos, cuya ubicación es referencial y corresponden a diques, canales de derivación, banquetas, muros de contención y gaviones (figura 154).

Para la implementación de estas medidas estructurales, previamente se recomiendan realizar: estudios geotécnicos a detalle, estudios de estabilidad de taludes en las laderas de las elevaciones y simulaciones numéricas para flujos e inundaciones considerando distintos periodos de retorno en la microcuenca Huaycán y el río Lurín. El diseño de las estructuras debe ser ejecutado por especialistas que tengan el conocimiento técnico correspondiente.

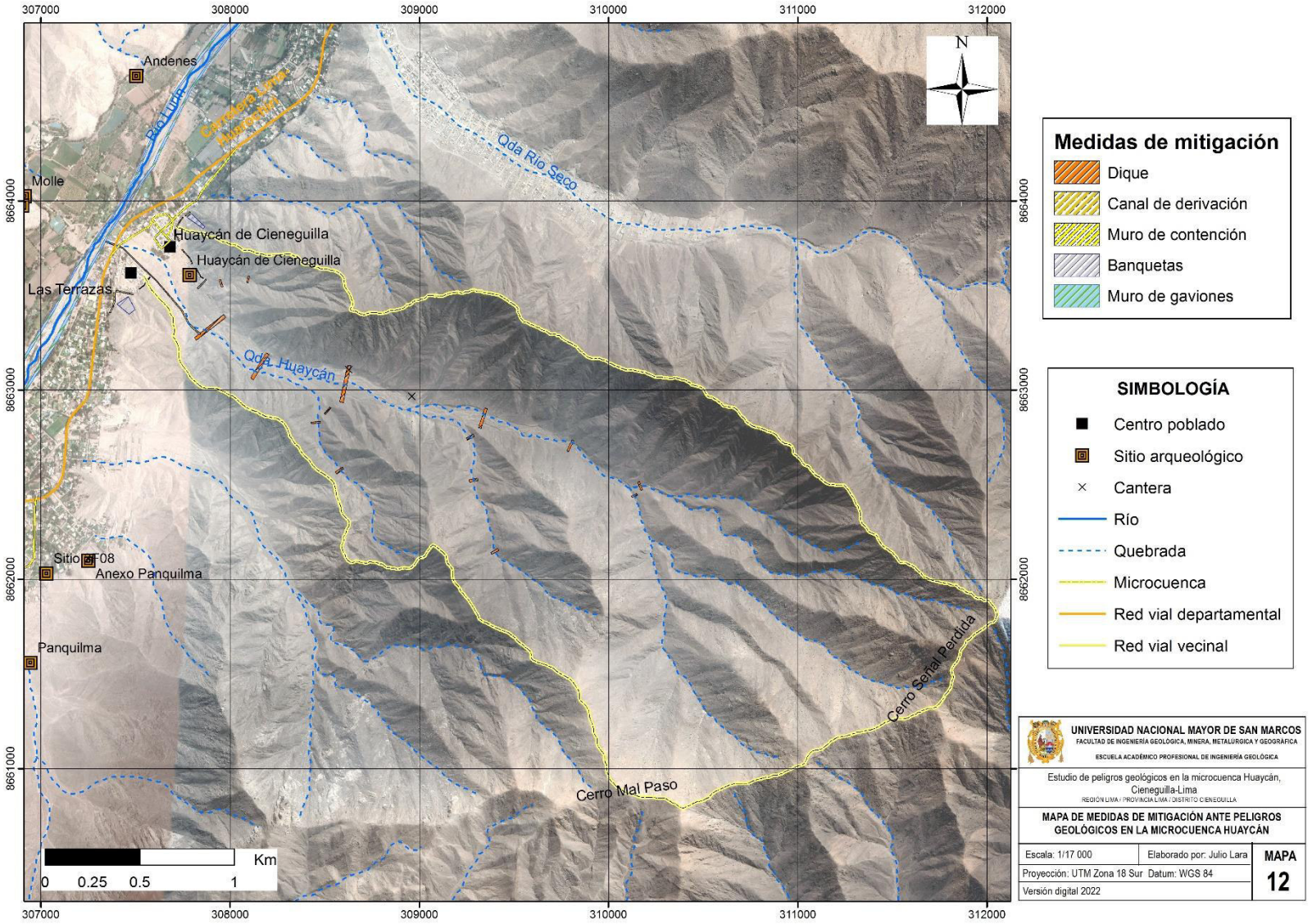


Figura 154. Mapa de medidas de mitigación ante peligros geológicos en la microcuenca Huaycán.

9.8. PROPUESTAS DE MEDIDAS NO ESTRUCTURALES

Las medidas no estructurales son por lo general de bajo costo y muy rentables. Estas medidas buscan principalmente la sensibilización y educación de la población, el ordenamiento territorial, así como la implementación de sistemas de alerta temprana, entre otros.

- Es importante implementar planes de emergencia locales, como parte de la gestión del riesgo local, a través de la identificación de lugares de resguardo y vías de escape ante la ocurrencia de peligros geológicos como flujos de detritos (huaicos), caídas de rocas y derrumbes. Estos planes deben ser socializados con la población de la Asociación de Vivienda Las Terrazas y el Centro Poblado Huaycán de Cieneguilla, y generar conciencia de los peligros a los que están expuestos y cómo prevenir daños y/o afectación. Las capacitaciones deben ser dirigidas por la Subgerencia de gestión del riesgo de desastres de la Municipalidad de Cieneguilla y recibir apoyo de otras instituciones competentes como el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI). Por ello se recomienda la creación de un comité local ante emergencias integrado por la población de los sectores mencionados, con la finalidad de coordinar con la Municipalidad la organización de simulacros y otras actividades de sensibilización de la población.

- La Municipalidad de Cieneguilla debe implementar una normativa que prohíba la expansión urbana en zonas de alto peligro, especialmente en las laderas de los cerros y cauce de las quebradas. Se recomienda implementar en los cerros, anuncios y/o letreros de advertencia donde se mencione sobre el peligro que existe en esa zona, por ejemplo, la ocurrencia de caída de rocas, derrumbes, entre otros. Es importante también planificar la reubicación de las viviendas ubicadas en el cauce de la quebrada Huaycán a zonas seguras.

- Realizar un programa integral para la implementación de las medidas de mitigación y/o prevención (estructurales) en la zona de estudio, con la finalidad de que la población se encuentre protegida ante la eventual ocurrencia de huaicos, así como también establecer las responsabilidades y prioridades de la Municipalidad de Cieneguilla.

- La Municipalidad de Cieneguilla tiene la responsabilidad de implementar los planes locales de prevención y emergencia con el soporte de la Municipalidad de Lima y el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), así como realizar la reubicación de las viviendas ubicadas en zonas de alto peligro, como el cauce de la quebrada Huaycán. De igual forma, los dirigentes locales y el comité de emergencia local deben implementar las normas y planes de prevención previamente dispuestos.

- La información generada por la estación meteorológica ubicada en la zona arqueológica Huaycán de Cieneguilla debe ser procesada de manera que contribuya en la identificación de lluvias extraordinarias o umbrales de lluvias que puedan generar huaicos desde la parte alta de la quebrada Huaycán. Esta información debe ser utilizada para informar a las autoridades competentes y población para mantenerse alertas, sobre todo en temporada de lluvias.

- Realizar mapas de peligros considerando escenarios de lluvias extremas en la microcuenca Huaycán, para ello se necesita información a detalle, como modelos digitales de alta resolución generadas por fotogrametría con drones, así como registros de máximas precipitaciones en 24 horas, entre otros.

- Elaborar estudios geotécnicos y de ingeniería a detalle, realizados por especialistas, con la finalidad de implementar las medidas estructurales de prevención, por ejemplo, para realizar la canalización de los flujos de detritos (huaicos), se necesitan modelamientos para avenidas utilizando caudales extremos de los últimos años en la quebrada Huaycán, con el propósito de proteger las zonas urbanas de los huaicos. Los modelos necesitan datos de lluvias máximas en 24 horas para 15 años como mínimo.

- Implementación de un Sistema de Alerta Temprana (SAT) integral que implique establecer equipos de monitoreo, sistemas de comunicación, señalización de rutas de escape y zonas seguras y simulacros con la población (figura 155).

- Elaborar en la microcuenca Huaycán una Evaluación de Riesgos (EVAR) por cada peligro geológico identificado en esta investigación, con la finalidad de determinar potenciales escenarios y la toma de decisiones.

- La Municipalidad de Cieneguilla debe incluir en sus planes y presupuesto anual trabajos de limpieza y descolmatación de la quebrada Huaycán antes de la temporada de lluvias, con la finalidad de retirar material que pueda ser canalizado por la quebrada y genere mayor afectación en la parte baja.

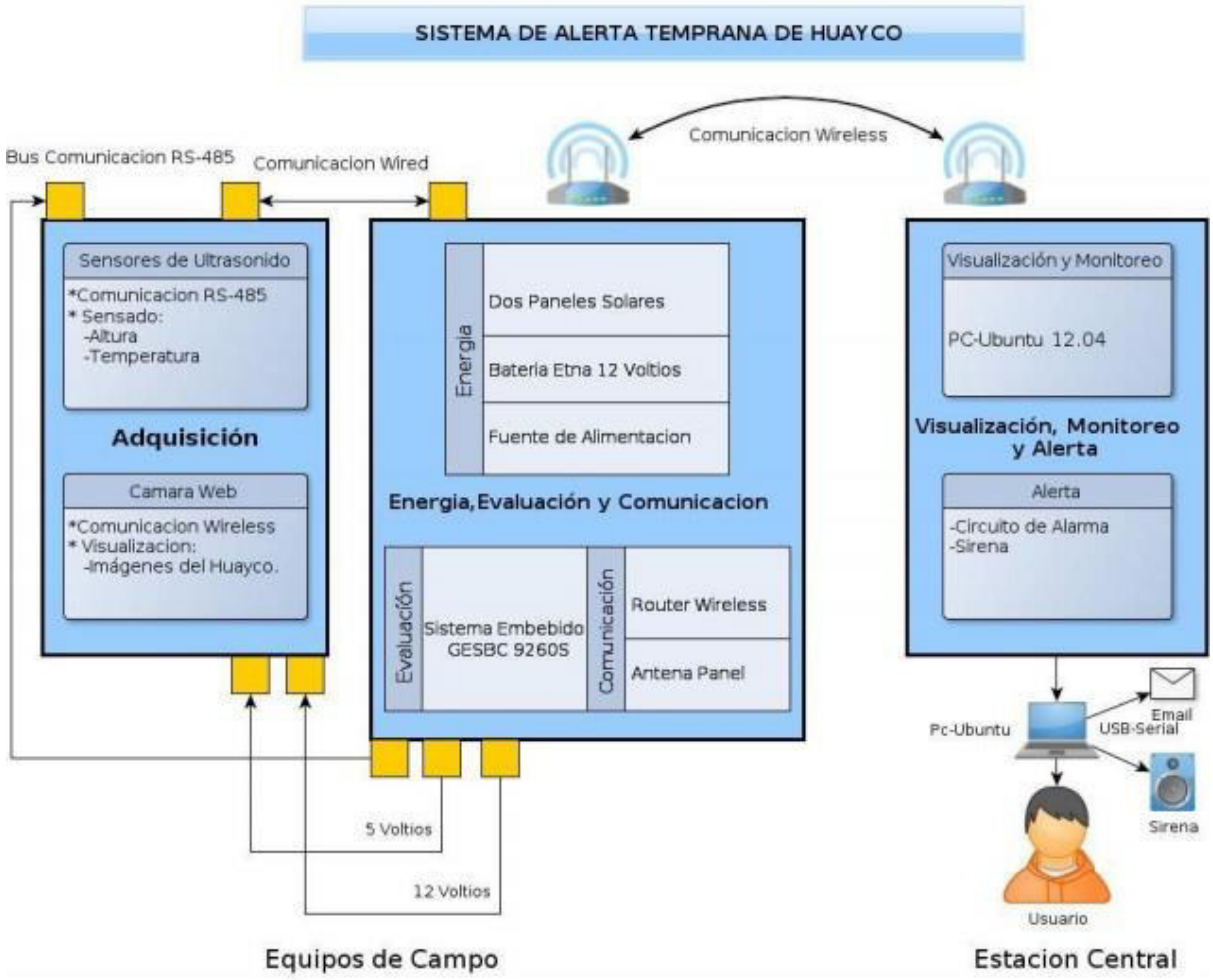


Figura 155. Modelo de un Sistema de Alerta Temprana. Fuente: Valdez (2015).

CONCLUSIONES

1. Los peligros geológicos identificados en la microcuenca Huaycán, según su origen corresponden a movimientos en masa, peligros geohidrológicos y otros peligros geológicos. Los movimientos en masa corresponden a flujo (flujos de detritos) y caída (caída de rocas y derrumbes). Mientras que los peligros geohidrológicos involucran inundaciones y erosiones fluviales. Finalmente, los denominados otros peligros corresponden a erosión de laderas (cárcavas y surcos).

2. Los trabajos de campo y gabinete en la microcuenca Huaycán permitieron identificar un total de 130 eventos de peligros geológicos. Los movimientos en masa suman un total de 79 procesos (60.8%); los otros peligros geológicos alcanzan un total de 42 ocurrencias (32.3%) y los peligros geohidrológicos suman un total de 9 eventos (6.9%).

3. Los movimientos en masa identificados en la microcuenca Huaycán corresponden a 42 ocurrencias de flujos de detritos, 23 eventos de tipo derrumbe y 14 procesos de caída de rocas. Los peligros geohidrológicos corresponden a 4 ocurrencias de erosión fluvial y 5 de inundación fluvial. Mientras que los otros peligros geológicos están representados por la ocurrencia de 42 eventos de erosión en cárcava.

4. La generación de los peligros geológicos en la microcuenca Huaycán se debe a factores condicionantes o intrínsecos como: la pendiente del terreno, la geología, la geomorfología y la cobertura vegetal.

5. Los factores desencadenantes que intervienen en la generación de peligros geológicos corresponden a las precipitaciones pluviales intensas (lluvias), prolongadas y/o excepcionales, como las generadas por el fenómeno “El Niño”, y la sismicidad.

6. Los factores antrópicos que generan peligros geológicos en la microcuenca Huaycán son: la ocupación inadecuada del territorio, los cortes de laderas y la explotación de canteras.

7. Los elementos expuestos identificados en la microcuenca Huaycán corresponden a la Asociación de Vivienda Las Terrazas, el Centro Poblado Rural Autogestionario Huaycán de Cieneguilla, la zona arqueológica Huaycán de Cieneguilla, la red vial departamental Lima-Huarochirí, así como las vías vecinales. La población, zona arqueológica y vías de acceso podrían ser afectados por los peligros geológicos identificados, ocasionando pérdidas humanas y materiales.

8. Para la mitigación y/o prevención de los peligros geológicos identificados en la zona de estudio, se recomienda implementar medidas estructurales y no estructurales. Para el diseño de las medidas estructurales se requieren estudios específicos considerando la magnitud e intensidad de los eventos que afectan o podrían generar daños. Mientras que las no medidas estructurales son por lo general de bajo costo y muy rentables.

9. Las medidas estructurales comprenden: diques, muros de contención, canales de derivación, espigones, pozas de sedimentación y barreras geodinámicas. Cabe mencionar que para realizar la ejecución de estas medidas se recomiendan realizar estudios geotécnicos a detalle con la finalidad de realizar obras que resulten efectivas ante los peligros identificados, estos trabajos deben ser dirigidos por especialistas.

10. Las medidas no estructurales corresponden a: implementar planes de emergencia locales, como parte de la gestión del riesgo local, implementar una normativa que prohíba la expansión urbana en zonas de alto peligro, implementar los planes locales de prevención y emergencia con el apoyo de la Municipalidad de Lima y el Instituto Nacional de Defensa Civil (Indeci), realizar mapas de peligros ante lluvias extremas, elaborar estudios geotécnicos y de ingeniería a detalle (realizados por especialistas), implementar un Sistema de Alerta Temprana (SAT) integral, así como la limpieza y descolmatación de la quebrada Huaycán antes de la temporada de lluvias.

11. Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámica actual, la alta susceptibilidad a los movimientos en masa y el registro histórico de peligros geológicos, la microcuenca Huaycán es considerada como zona crítica debido a la generación de flujos de detritos, derrumbes, caídas de rocas, inundación y erosión fluvial en temporada de lluvias intensas y/o excepcionales, así como movimientos sísmicos.

12. El mapa de peligros geológicos de la microcuenca Huaycán indica las zonas donde existe evidencia de procesos geodinámicos; por ello es una herramienta dinámica y útil en el ordenamiento territorial y contribuye a la gestión del riesgo de desastres.

13. La información generada en esta investigación contribuye en los planes locales de prevención de desastres de la Municipalidad Distrital de Cieneguilla y en realizar estudios geodinámicos a detalle en zonas críticas identificadas por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (Ingemmet). Esta información se pone a disposición del Instituto Nacional de Defensa Civil (Indeci) y Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (Cenepred), con la finalidad de poder intervenir en la zona crítica identificada en la microcuenca Huaycán.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar el mapa de peligros geológicos en la planificación urbana del distrito de Cieneguilla, especialmente en el ordenamiento territorial de la microcuenca Huaycán. Estos trabajos deben ser dirigidos por la Municipalidad de Cieneguilla.

2. Considerar las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas de las áreas de expansión urbana, antes de elegir la ubicación de urbanizaciones e infraestructuras que se tienen proyectadas. También se deben realizar estudios específicos como: estudios de suelos, capacidad portante, estabilidad de taludes, entre otros, con la finalidad de determinar el comportamiento de los suelos antes la ocurrencia de sismos de gran magnitud.

3. Implementar las propuestas de medidas de mitigación y/o prevención ante los peligros geológicos reconocidos en la microcuenca Huaycán, tanto las medidas estructurales y no estructurales, con la finalidad de prevenir futuros desastres que comprometan la seguridad física de la población asentada en la microcuenca Huaycán.

4. Realizar la limpieza y descolmatación de la quebrada Huaycán antes de la temporada de lluvias. Esta actividad debe estar cargo de la Municipalidad de Cieneguilla en apoyo y coordinación con la Municipalidad de Lima.

5. Es competencia de las autoridades locales la emisión de ordenanzas y normas que eviten la ocupación del territorio en áreas con peligros geológicos identificados, considerando el mapa de peligros de la microcuenca Huaycán, así como evitar la ocupación de la faja marginal del río Lurín y quebradas.

6. Gestionar ante la Autoridad Nacional del Agua-ANA la delimitación de la faja marginal intangible de la quebrada Huaycán, y restringir la construcción de viviendas u otras infraestructuras en esta faja.

7. Reubicar a la población, viviendas y otras infraestructuras ubicadas dentro de la faja marginal intangible de la quebrada Huaycán.

8. Realizar estudios geotécnicos a detalle con la finalidad de diseñar obras de prevención propuestas en las medidas estructurales del capítulo IX. Los estudios requieren ser ejecutados por técnicos con conocimientos en dichos estudios.

9. Elaborar en la microcuenca Huaycán una Evaluación de Riesgos (EVAR) por cada peligro geológico identificado en esta investigación, con la finalidad de determinar potenciales escenarios y la toma de decisiones.

10. Generar mapas de peligrosidad utilizando simulaciones numéricas ante flujos e inundaciones considerando distintos periodos de retorno en la microcuenca Huaycán y el

curso del río Lurín. Para ello se necesitan: un modelo de elevación digital de alta resolución y datos hidrometeorológicos. Se deben considerar también la cartografía de peligros geológicos realizados en este estudio y los daños producidos. Considerando los resultados del modelamiento numérico, se deben ejecutar trabajos a detalle para el diseño de las medidas de mitigación y determinar el tipo de material a utilizar en la construcción.

11. Realizar estudios de estabilidad de taludes en las laderas de las elevaciones colindantes a la Asociación de Vivienda Las Terrazas, el Centro Poblado Huaycán de Cieneguilla y la zona arqueológica Huaycán de Cieneguilla, donde existen materiales sueltos de fácil remoción hídrica, con el objetivo de implementar las medidas de mitigación ante caídas de rocas y derrumbes. Considerando también la información sobre las zonas susceptibles a los peligros identificados en esta investigación.

12. Ejecutar sistemas de drenaje pluvial en la Asociación de Vivienda Las Terrazas, el Centro Poblado Rural Autogestionario Huaycán de Cieneguilla y la zona arqueológica Huaycán de Cieneguilla.

13. Realizar campañas de sensibilización a la población, a través de capacitaciones, charlas, entre otros, con el propósito de educarla y de esta manera sepa cómo actuar ante la ocurrencia de peligros geológicos, así como conocer los peligros geológicos a los que están expuestos. De esta forma se podrían minimizar pérdidas de vidas humanas y económicas.

14. Llevar a cabo un Sistema de Alerta Temprana (SAT) en la microcuenca Huaycán con el objetivo de alertar a los pobladores con antelación ante la presencia de algún peligro geológico.

15. La Municipalidad de Cieneguilla debería implementar planes locales de prevención y emergencia con el soporte de la Municipalidad de Lima y el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), de tal manera que los dirigentes y el comité de emergencia local puedan implementar las normas y planes de prevención previamente dispuestos. Así como colocar letreros de advertencia sobre el peligro al que se encuentra expuesta la zona.

16. Integrar la mejora de la calidad de vida de la población del distrito de Cieneguilla en los planes de desarrollo e inversión de los tres niveles de gobierno.

17. Para iniciar con el cambio, se debe empezar por el nivel dirigente más alto del país y tiene que involucrar a las autoridades regionales, provinciales y distritales. Se debe considerar un proceso que garantice la seguridad física de la población que, a causa de la pobreza y la desatención de las autoridades, han sido impulsadas a ocupar zonas inadecuadas para su seguridad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar, G, Riquelme, R, Martinod, J. & Darrozes, J. (2013). Rol del clima y la tectónica en la evolución geomorfológica de los Andes Semiáridos chilenos entre los 27-32°S. Andean Geology. Revista Geológica de Chile, vol. 40 (1) (pág. 79-101).

Aguilar, V. & Mendoza, D. (2002) - Aproximación a un modelo de susceptibilidad a movimientos de masa en el eje cafetero, Colombia. Tesis Ingeniero Civil, Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, Cali, 214 p.

Albornoz, F. (2017). Geodinámica de laderas en el fiordo Comau, Región de Los Lagos, Chile. Tesis para optar al grado de Magíster en Geografía. Universidad de Chile, Santiago, 95 p.

Aleotti, P. (2004). A warning system for rainfall-induced shallow failures. Engineering Geology N°.73, Elsevier, p 247-265.

Alfaro, P., Alonso-Chaves, F., Fernández, C. & Gutiérrez-Alonso, G. (2013). La tectónica de placas, teoría integradora sobre el funcionamiento del planeta. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 21.2, 168-180. Tomado de: https://www.researchgate.net/figure/La-gravedad-es-fundamental-para-entender-el-porque-del-movimiento-de-las-placas_fig1_260552655.

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 para optar el grado de Magister en Geología mención en Geotecnia. Escuela de Post Grado U.N.M.S.M. Lima. 174 p.

Allende, T. (2002). Evaluación geológico-geodinámica de la cuenca del río Lurín, departamento de Lima. XI Congreso Peruano de Geología. Trabajos Científicos. Lima: Sociedad Geológica del Perú, p91.

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

Andres, N., Vegas Galdos, F., Lavado Casimiro, W. S., y Zappa, M. (2014). Water resources and climate change impact modelling on a daily time scale in the Peruvian Andes. Hydrological Sciences Journal, 59(11), 2043-2059.

Antayhua, Y., Tavera, H., Bernal, I., Palza, H. & Aguilar, V. (2002). Localización hipocentral y características de la fuente de los sismos de Maca (1991), Sepina (1992) y Cabanaconde (1988) Región del volcán Sabancaya (Arequipa). Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, vol. 93, p63-72.

AQUAFONDO (2015). Las Cuencas de Lurín, Rímac y Chillón, fuentes de agua para Lima y Callao. Tomado de: http://www.aquafondo.org.pe/pdf/aprende-mas/2._Las_Cuencas_de_Lima_- _Chillon_Rimac_y_Lurin.pdf

Arbolera, H. (2018). Calculo y zonificación de los tensores de esfuerzo generados por la placa Nazca en el Departamento del Valle del Cauca, Colombia. Universidad del Valle. Tomado de: https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/15457

Arche, A. (2010). Sedimentología: Del proceso físico a la cuenca sedimentaria. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, 2010. 1287 p. ISBN: 978-84-00-09145-3.

Borga, M., Stoffel, M., Marchi, L., Marra, F. y Jakob, M. (2014). Hydrogeomorphic response to extreme rainfall in headwater systems: flash floods and debris flows. Journal of Hydrology, 518, 194–205.

Bateman, A., Medina, M, Steiner, F. & Velasco, D. (2006). "Estudio Experimental sobre flujos granulares hiper-concentrados". XXII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Ciudad Guayana, Venezuela. pp. 1-10.

Barazangi, M. & Isacks, B. (1976). Spatial distribution of earthquakes and subduction of the Nazca plate beneath America. Geology 4:686-692.

Bemmelen, R. W. (1961). The scientific character of Geology. Journ. Geol. V. 69, pp. 453-454.
Bernal, I., Tavera, H. 2002. "Geodinámica, sismicidad y energía sísmica en Perú", Monografía IGP, CNDG, pp64.

Bevis M. & Isaacks L. (1984). Hypocentral trend surface analysis: probing the geometry of Beniof zones. J. Geophy. Res., 89, 6153-6170.

Bishop, P. (2007). Long-term landscape evolution: linking tectonics and surface processes. Earth Surface Processes and Landforms, 32: 329-365.

Blikra, L., Longva, O. & Braathen, A. (2006). Rock slope failures in Norwegian fjord áreas: Example, spatial Distribution and temporal Patttern. Lanslides from Massive Rock Slope Failure, 475-496.

Bloom, A. L. (1973). The Surface of the Earth. Prentice / Hall International, Inc., London. 152 p.

Bueno, R. (1995). Geomorfología, eventos climáticos y ocupaciones humanas en la comarca de Cieneguilla. Ciencias Sociales. Revista del Instituto de Investigaciones Histórico Sociales, 1(1), 103-118.

Bueno, A. (2008). Construcción y destrucción en los Andes: Terremotos, eventos geoclimáticos, calentamiento global y cambio climático, Investigaciones Sociales [Lima], 21, pp. 77-102.

Bueno, A. (2012). Prospecciones arqueológicas en la cuenca del río Lurín 1970-1993. Investigaciones Sociales, 16 (29), pp. 13-28. Lima.

Cardozo, C. (2013). Zonación de susceptibilidad por procesos de remoción en masa en la cuenca del río Tartagal, Salta (Argentina). Facultad de Matemática, Astronomía y Física. Instituto de Altos Estudios Espaciales Mario Gulich. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina. Tesis de Magister en Aplicaciones Espaciales de Alerta y Respuesta Temprana a Emergencias, 127 p.

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.

Ccente, E. & Cerpa, J. (2009). Peligros y amenazas del patrimonio en la quebrada Huaycán. Diagnóstico Territorial. Proyecto de Investigación Arqueológica y Puesta en Uso Social Huaycán de Cieneguilla. Proyecto Qhapaq Ñan. Instituto Nacional de Cultura. Lima. 92 p.

Celis, C. (2018). Susceptibilidad de remociones en masa y peligro de flujos en el frente cordillerano de Santiago, Región Metropolitana. Disponible en: http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/168618

CENEPRED (2019). Manual para la evaluación del riesgo originado por fenómenos naturales v3.0. Tomado de https://cenepred.gob.pe/web/manual-para-la-evaluacion-del-riesgo-originado-por-fenomenos-naturales-v3-0/

CENEPRED (2014). Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales – 2da Versión. Tomado de https://cenepred.gob.pe/web/manuales/

Centeno, E. (2015). Geomorfología y sistema constructivo de la Zona Arqueológica Huaycán de Cieneguilla. *Proyecto Integral Huaycán de Cieneguilla. Proyecto Qhapaq Ñan – Sede Nacional. Ministerio de Cultura. Tomado de: https://repositorio.cultura.gob.pe/handle/CULTURA/307*

Centro Peruano de Estudios Sociales (1994). Diagnóstico de la Calidad del Agua-Tomo II-Cuenca del Río Lurín. http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/diagnostico_calidad_aguatomo2/diagnostico_calidad_agua_cuenca_rio_lurin.pdf

Comunidad Andina, (2008) Pérdidas por desastres en Perú entre 1970–2006. http://www.comunidadandina.org/predecan/doc/r2/osso/Cons025-2006-CorporacionOSSO-Articulo-Peru.pdf. Accessed 2 September 2016

Costa, J. E., & Schuster, R. L. (1988). The formation and failure of natural dams. Geological society of America bulletin, 100(7), 1054–1068.

Cuevas, M. (2012). Análisis de susceptibilidad de remoción en masa en la localidad de Cocholgüe, Comuna de Tomé, Región del Biobío. Chile. Universidad de Concepción. Tesis para optar al título de Geógrafo, 164 p.

Crozier, M.J., & Glade, T. (1999). Frequency and magnitude of landsliding: Fundamental research issues, *en* Memorias, International Conference on Geomorphology, Bologna, p. 141–155.

Cruden, D. M. (1991). A Simple definition of a landslide: Bulletin of the International Association of Engineering Geology, v. 43, p. 27–29.

Cruden, D.M. & Varnes, D.J. (1996). Landslide Types and Processes. In: Turner, A.K. and Shuster, R.L., Eds., Landslides: Investigation and Mitigation, Transportation Research Board, Special Report No. 247, 36-75.

Dávila, J. (1999) - Diccionario geológico, 3a. ed. Lima: INGEMMET, 1006 p.

Dávila, J. (2006) - Diccionario geológico bilingüe español-inglés. Lima: [s.e.], 696 p.

Derruau, M. (1991). Geomorfología. Editorial Ariel Geográfica. Barcelona, España. 499 p.

Derruau, M. (1966). Geomorfología 5ª Edición. Editorial Ariel S.A. Barcelona. 435 p.

DesInventar, (2015). DesInventar – Inventory system of the effects of disasters, Corporación OSSA, Cali, Colombia. http: //desinventar.org. Accessed 12 December 2015

Dollfus, O. (1981). El Reto del Espacio Andino. Instituto de Estudios Peruanos. Lima. 141 p.

Duque, G. (2003). Manual de geología para ingenieros. Universidad Nacional de Colombia, Manizales. 455 p.

Eeckhout, P. (1997). Pachacamac (Côte centrale du Pérou): aspects du fonctionnement, du développement, et de l'influence du site durant l'Intermédiaire récent (ca 900-1470), Tesis de Doctorado. Université Libre de Bruxelles, Bruselas (inédito).

Einstein, H. (1997). Landslide risk - Systematic approaches to assessment and management, *en* Memorias, International Workshop On Landslide Risk Assessment, Honolulu, p. 25–50.

Felipe-Morales, C. (2012). Manual para Gestores del Agua de la Cuenca del Río Lurín- Centro para el Desarrollo y la Democracia. http://www.cgdd.org/valledelurin/images/documentos/manuales/ManualGesto resAgua.pdf

Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E. & Savage, W. (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use Planning on behalf of the JTC-1 Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes. Engineering Geology. No. 102, 83-84 pp.

Gallant, J. C., & Wilson, J. P. (2000). Primary topographic attributes. In J. P. Wilson, & J. C. Gallant, Terrain Analysis: Principles and Applications. New York: John Wiley & Sons. pp. 51-85.

Gillispie, Ch. (1951). Genesis and geology, a study in the relations of scientific thought, natural theology and social opinion in Great Britain, 1790-1850. Harvard Univ. Press. Cambridge, 1951.

Glade, T. & Crozier, M.J. (2005). The nature of landslide and hazard impact, *en* Glade, T., et al. ed., Landslide hazard and risk: Chichester, England, John Willey & Sons, p. 43–75.

Gómez, R. (2013). Huaycán de Cieneguilla, un sitio en el tramo del Qhapaq Ñan entre Xauxa y Pachacamac. Proyecto Qhapaq Ñan – Sede Nacional Ministerio de Cultura. Tomado de: https://qhapaqnan.cultura.pe/articulos/huayc%C3%A1n-de-cieneguilla-un-sitio-en-el-tramo-del-qhapaq-%C3%B1-entre-xauxa-y-pachacamac

Gonzáles de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L. & Oteo, C. (2002). Ingeniería Geológica. Editorial Pearson 744p.

Gutiérrez, M. (2008). Geomorfología. Pearson/Prentice Hall. Madrid, 898 p

Hardy, F. (1970). Suelos Tropicales con énfasis en América. Herrero Hermanos Sucesores. S.A. México, 1970, 34 p.

Hauser, A. (2000). Remociones en masa en Chile. Second ed. Boletín No.59. Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago. Actualizada 2000, 89 p.

Holmes, H. (1971). Geología Física. 6ª Edición. Edit. Omega S.A. Barcelona, 512 p.

Huggett, R. (2007). Fundamentals of Geomorphology. Second Edition. Routledge, Fundamentals of Physical Geography Series. New York. 488 p.

Hutchinson, J. (1968). Mass Movements, *en* Fairbridge, R.W., ed., 1968, The Encyclopedia of Geomorphology: New York, Reinhold Book Corporation, p. 688–695.

Hutchinson, J. (1988). Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology, *en* Memorias, 5th International Conference on Landslides, Lausanne, p. 3–35.

Hutchinson, M. & Gallant, J. (2000). Digital elevation models and representation of terrain shape. In J. P. Wilson, & J. C. Gallant, Terrain analysis: principles and applications (pp. 29-50). New York: John Wiley & Sons.

Hungr, O., Evans, S., Bovis, M., & Hutchinson, J. (2001). A review of the classification of landslides of the flow type: *Environmental and Engineering Geoscience*, v. 7(3), p. 221–238. doi: https://doi.org/10.2113/gseegeosci.7.3.221

Hungr, O. (2005). Classification and terminology, *en* Jakob, M., y Hungr, O., ed., Debris flow hazard and related phenomena: Chichester, Springer-Praxis, p. 9–23.

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (2021). Caracterización General del Escenario de Riesgo por Movimientos en Masa en Bogotá. Tomado de: https://www.idiger.gov.co/rmovmasa

Instituto Geofísico del Perú (2020). Informe Técnico N° 004-2020/IGP Análisis y evaluación de los patrones de sismicidad y escenarios sísmicos en el borde oocidental del Perú. Tomado de http://hdl.handle.net/20.500.12816/4893

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (1981) - Estudio Geológico-Tectónico del área de Lima. Convenio INGEMMET - C.N.D.C. Geol. Regional. Lima-Perú. 65 p.

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (2003). Estudio de riesgos geológicos del Perú: Franja N° 3. *INGEMMET, Boletín, Serie C:* Geodinámica, 28, 373 p., 17 mapas. https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/262

Instituto Nacional de Defensa Civil (2011). Manual de estimación del riesgo ante movimientos en masa en laderas. Lima. 93 p.

Instituto Colombiano de Geología y Minería (2004). Proyecto Compilación y Levantamiento de la Información Geomecánica: Propuesta Metodológica para el Desarrollo de la Cartografía Geomorfológica para la Zonificación Geomecánica - Volúmen I. Bogotá. 91 p.

Instituto Nacional de Estadística e Informática (2018). Resultados definitivos de los Censos Nacionales 2017: Provincia de Lima (en línea). Lima: INEI, 6 tomos. Disponible en: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1583/
Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (2009). Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres. UNISDR-20-2009 Ginebra. Naciones Unidas. 38pp.

Iverson, R. (1997). The physics of debris flows. Reviews of Geophysics, 35, 3. pp. 245–296.

Jarrard, R. (1986). Relations among subduction parameters. Rev. Geoph. 24:217-284.

Keefer, D. (1984). Landslides caused by earthquakes. Geological Society of America Bulletin, vol. 95, p. 406-421.

Lacasse, S. Eidsvik, U., Nadim, F., Hoeg, K., Blikra, L.H. 2008. Event tree analysis of Aknes rock slide hazard. IV Geohazards Quebec, 4th Canadian Conf. on Geohazards, 551-557.

Laín, L., Llorente, M., Díez, A., Rubio, J., Maldonado, A., Galera, J. y Arribas, J. (2005). Mapas de peligrosidad geológica en el Término Municipal de Albuñol. Documento Técnico IGME. Granada, España .162 pp.

Laín, L.; Llorente, M.; Díez, A.; Rubio, J. & Maldonado, A. (2011). Mapas de peligrosidad geológica en el término municipal de Albuñol (Granada). Madrid, Instituto
Geológico y Minero de España, 160 p. Informes Técnicos, 3.

Lara, M. (2007). Metodología para la evaluación y zonificación de Peligro de Remociones en Masa con Aplicación en la quebrada San Ramón, Santiago Oriente, Región Metropolitana. Tesis para optar el Grado de Magíster en Ciencias Mención Geología y Memoria para optar al título de Geólogo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
Departamento de Geología, 212 p.

León, W. & De la Cruz, O. (2003). Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Mala (26-j), Lurín (25-j) y Lima (25-l). *INGEMMET, Memorias Descriptivas*, 18 p., 8 mapas. https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/2121#files

Llorente, M. & Laín, L. (2009). Riesgos Geológicos: Técnicas de Análisis y Mitigación. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 2009. (17.3) 232-241 I.S.S.N.: 1132-9157. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3309131

Luis, R., De Stefano, R. & Fernández, D. (2018). Comparación de metodologías para la estimación de riesgos de movimientos en masas. Revista Obras Urbanas 71, https://www.obrasurbanas.es/obras-urbanas-no71/

Luque, G. (2012). Peligros por movimientos en masa en la quebrada Tinajas. *INGEMMET,* Informe Técnico N° A6600, 15 p. https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/1572#files

Luque, G.; Rosado, M.; Pari, W.; Peña, F. & Huamán, M. (2020). Peligro geológico en la región Lima. *INGEMMET, Boletín, Serie C:* Geodinámica*,* 76, 298 p., 9 mapas. https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/2571

Mackie & Ramos (2018). Reevaluando la ocupación inca en Huaycán de Cieneguilla. Qhapaq Ñan - Sede Nacional Ministerio de Cultura. Tomado de: https://qhapaqnan.cultura.pe/articulos/reevaluando-la-ocupaci%C3%B3n-inca-en-huayc%C3%A1n-de-cieneguilla

Marcone, G. (2004). Cieneguilla a la llegada de los Incas. Aproximaciones desde la Historia Ecológica y la Arqueología. En: Boletín del Instituto Francés de Estudios Andinos, 33: 3.

Marcone, G. & López-Hurtado, E. (2002). Panquilma y Cieneguilla en la discusión arqueológica del Horizonte Tardío de la Costa Central. Boletín de Arqueología, PUCP, 6: 375- 394.

Mardones, P. (2019). Análisis estadístico de precipitaciones desencadenantes de flujos de detritos en la región de Coquimbo. Tesis para obtener el título de Geóloga. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Geología. 132 p.

Martín-Serrano, A.; Salazar, A.; Nozal, F. & Suárez, Á. (2004). Mapa geomorfológico de España a escala 1:50.000. Guía para su elaboración. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid (España).

Medina, L.; Nuñez, M.; Vílchez, M.; Peña, F.; Gómez, H. & Sosa, N. (2021). Peligro geológico por movimientos en masa e inundación fluvial en la ciudad de Cusco. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 80, 206 p., 10 mapas.

Megahan, W. (1999). Sediment, sedimetation. *En: Environmental Geology. Encyclopedia of Earth Science. Springer, Dordrecht*, p 551–552.

Mergili, M., Marchant Santiago, C. I., & Moreiras, S. M. (2015). Causas, características e impacto de los procesos de remoción en masa, en áreas contrastantes de la región Andina; Universidad Nacional de Colombia; Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía; 24; 2; 7-2015; 113-131.

Ministerio de Cultura (2015). Huaycán de Cieneguilla. Investigaciones arqueológicas. Primera edición, Lima, diciembre de 2015. Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú Nº 2015-18450. ISBN: 978-612-4126-56-7. Impreso en los talleres de: Grafiluz R&S S.A.C. 106 p.

Municipalidad Metropolitana de Lima (2013). Monitoreo de los sectores críticos de la cuenca del río Lurín y la reducción de riesgos en el ámbito del gobierno metropolitano. Informe N° 058-2013/MML/SGDC/RHQM. 12p.

Muñoz, E. (2013). Susceptibilidad de remociones en masa y de respuesta sísmica asociada a fallas mayores en zonas urbanas. Estudio de caso en Viña del Mar, V Región. Magíster en Ciencias, Mención Geología.177 p.

Murphy, M., & Salvador, A. (1999). International Stratigraphic Guide - an abridged version. International Subcommission on Stratrigraphic Classification of IUGS International Commission on Stratigraphy. Episodes 255, Vol. 1, 255 - 271.

Myers, J. (1980). Geología de los cuadrángulos de Huarmey y Huayllapampa. INGEMMET. Bol. N° 33, Serie A. Lima-Perú. 172 p.

Núñez, S., Villacorta, S. & Huarez, C. (2015). Evaluación geodinámica de los flujos de detritos del 23/03/2015 entre las quebradas Rayos de Sol y Quirio (Chosica) y Cashahuacra (Santa Eulalia). INGEMMET. Informe Técnico N° A6680, 65 p. Tomado de: https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/1310

Ochoa, M. & Vilchez, M. (2019) - Peligro geológico en la región Ica. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 67, 218 p, 9 mapas.

Ochoa, M., Núñez, S., Moreno, J., Gómez, D., Medina, L., Vílchez, M., Rodríguez, R., Lara, J., Fabián, C. & Sosa, N. (2017a). Evaluación geológica de las zonas afectadas por El Niño Costero 2017 en las regiones Lima – Ica. INGEMMET. Informe Técnico N° A6768, 121 p. Tomado de: https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/818

Ochoa, M., Moreno, J., Medina, L., Rodríguez, R. & Fabián, C. (2017b). Peligros geológicos y geohidrogeológicos detonados por el evento del Niño Costero 2017 en la región Lima y parte de Ica. INGEMMET. Informe Técnico N° A6789, 121 p. Tomado de: https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/1024

Olaya, V. (2009). Basic land-surface parameters. In T. Hengl, & H. I. Reuter, Geomorphometry: concepts, software, applications - Developments in Soil Science Series (vol. 33, pp. 141-169). Amsterdam: Elsevier.

Oppikofer, T., Jaboyedoff, M., Blikra, L., Derron, M., & Metzger, R. (2009). Characterization and monitoring of the Aknes rockslide using terrestrial laser scanning. Natural Hazards Earth System Sciences, (9), Pág. 1003–1019. Recuperado de www.nat-hazards-earth-systsci.net/9/1003/2009/

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, 162 p.

Pérez-Peña, J., Azor, A., Azañón, J. & Keller, E. (2010). Active tectonics in the Sierra Nevada (Betic Cordillera, SE Spain): Insights from geomorphic indexes and drainage pattern analysis. Geomorphology, 119: 74-87.

Pitcher (1977). The Anatomy of a batholith. Journal of the Geol. Soc. of. London. VoL 135, part. 2, pp. 157-182-Londres-UK.

Popescu, M. (2002). Landslide Causal Factors and Landslide Remedial Options. Keynote Lecture, Proceedings 3rd International Conference on Landslides, Slope Stability and Safety Of Infra-Structures, Singapore, p. 61-81.

Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007). Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Servicio

Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No. 4, 432 p., 1 CD-ROM.

Pulgar, J. (1975). Geografía del Perú. Las ocho regiones naturales del Perú. Editorial Universo. Lima. 256 p.

Rostworowski, M. (2002). Pachacamac Obras Completas, Tomo II. Lima: Instituto de Estudios Peruanos, 404 p.

Ruales, M.; Ramos, M., Gómez, R.; San Miguel, R. & Solís, A. (2013). Organización espacial y conformación arquitectónica del sitio arqueológico Huaycán de Cieneguilla, Valle de Lurín. Cuadernos del Qhapaq Ñan [Lima], Año 1, N°2, pp. 68-118.

Sánchez, A., García, R. & Palma, A. (2003). La cuenca hidrográfica: unidad básica de planeación y manejo de recursos naturales. Primera edición. 47 p. ISBN 968-817-581-1.

San Miguel, R. (2016). Características naturales y flora presente en el entorno paisajístico de las zonas arqueológicas Huaycán de Cieneguilla y Molle. *Qhapaq Ñan-Sede Nacional.* Ministerio de Cultura. Tomado de https://qhapaqnan.cultura.pe/articulos/caracter%C3%ADsticas-naturales-y-flora-presente-en-el-entorno-paisaj%C3%ADstico-de-las-zonas

San Miguel, R. (2019). Aprendiendo del pasado: Prevención de riesgos ante fenómenos naturales en Huaycán de Cieneguilla. Proyecto *Qhapaq Ñan.* Ministerio de Cultura. Tomado de https://qhapaqnan.cultura.pe/articulos/aprendiendo-del-pasado-prevenci%C3%B3n-de-riesgos-ante-fen%C3%B3menos-naturales-en-huayc%C3%A1n-de

Sepúlveda, S. (1998). Metodología para evaluar el peligro de flujos de detritos en ambientes montañosos: Aplicación en la Quebrada Lo Cañas, Región Metropolitana. Memoria para optar al Título de Geólogo. Departamento de Geología, Universidad de Chile, 127 p.

Sepúlveda, S. & Lara, M. (2008). Remociones en masa, Apunte Curso Remociones en Masa, Departamento de Geología, Universidad de Chile, 63 p.

Sepúlveda, S., Náquira, V. & Arenas, M. (2011). Susceptibilidad de Remociones en Masa Costeras y Amenazas Asociadas en la Patagonia Chilena: El Caso del Área de Hornopirén (42ºS). Investigaciones Geográficas, 0 (43), Pág. 35-46. Recuperado de http://www.investigacionesgeograficas.uchile.cl/index.php/IG/article/view/18496/19529.

Servicio Geológico Colombiano (2012). Propuesta Metodológica Sistemática para la Generación de Mapas Geomorfológicos Analíticos Aplicados a la Zonificación de Amenazas por Movimientos en Masa, Escala 1:100.000. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano, Subdirección de Amenazas Geológicas y Entorno Ambiental, 123 p.

Shruthi, R.B.V., Kerle, N. & Jetten, V. (2011). Object-based gully feature extraction using high resolution imagery. Geomorphology, 134 (3-4), 260-268. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.07.003

Soberón Á. (2014). Gestión del Agua, Gobernanza y Competitividad- Modelo de desarrollo territorial de la cuenca de Lurín. Centro para el Desarrollo y la Democracia. http://www.cgdd.org/informes/LIBRO%20GESTION%20DEL%20AGUA.pdf

Stauder (1975) Subduction of the Nazca Plate under Perú as evidecenced by focal mechanisms and seismicity. J. Geophysical. Res. 80, 1053-1064.

Suárez D. (1998). Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Santa Fe, Colombia, 540 p.

Tarbuck, E. J.; Lutgens, F. K., & Tasa, D. (2005). Ciencias De La Tierra: Una introducción a la geología física. Pearson Educación S. A., Madrid, 2005, 8ª edición, 686 p.

Tavera, H. & Buforn, E. (1998). Sismicidad y sismotectonica de Perú. En: A. Udias y E. Buforn (ed.). Sismicidad y sismotectónica de Centro y Sudamérica. Física de la Tierra, UCM., N°10, 187-219.

Thornbury, W. (1966). Principios de Geomorfología. Editorial Kapelusz. Buenos aires, 644 p.

USGS (2004). Landslide Types And Processes. https://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/

USGS (2012). This Dynamic Earth: The Story of Plate Tectonics. Online edition. ISBN 0-16-048220-8. *Tomado de: https://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/historical.html#anchor9490426*

Valdez, A. (2015). Sistema de monitoreo y alerta temprana de aluviones en la quebrada Huaycoloro para el Instituto Geofísico del Perú y Sedapal. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero electrónico. Universidad Nacional de Ingeniería, 126 p.

Van Zuidam, R. (1973). Guide to Geomorphological photointerpretation. Subdepart. Geography, ITC, Enschede.

Van Zuidam, R. (1985). Aerial Photointerpretation in Terrain Analysis and Geomorphological Mapping. International Institute for Aeroespace survey and earth Science. ITC. Smiths Publishers. The Hague. The Netherlands, 442p.

Vargas, P. (2009). El cambio climático y sus efectos en el Perú. Serie de Documentos de Trabajo Working Paper. Documento de trabajo 14, julio 2009. BCRP. Lima, Perú. 59 p.

Varnes, D. (1958). Landslides types and processes, *en* Eckel, E.B., ed., Landslides and engineering practice, Special Report 28: Washington, DC, Highway Research Board, National Academy of Sciences, p. 20–47.

Varnes, D. (1978). Slope movements types and processes, *en* Schuster R.L., y Krizek R.J., ed, Landslides analysis and control: Washington D. C, National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 176, p. 9–33.

Verstappen, H. & Van Zuidam, R. (1991). The ITC system of geomorphology Survey: a basis for the evaluation of natural resources and hazards: ITC Publication, 10, 89 p.

Viers, G. (1973). Elementos de Geomorfología. 1ª edición en español. Oilos Tau S.A., Barcelona, 287 p.

Vilchez, M. & Sosa, N. (2021) - Peligro geológico por movimientos en masa en la ciudad de Arequipa. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 85, 236 p., 5 mapas.

Vilchez, M.; Sosa, N.; Pari, W. & Peña, F. (2020). Peligro geológico en la región Cusco. *INGEMMET, Boletín, Serie C:* Geodinámica e Ingeniería Geológica*,* 74, 202 p, 9 mapas.

Villacorta, S.; Rodríguez, C.; Peña, F.; Jaimes, F. & Luza, C. (2016). Caracterización geodinámica y dendrocronología como base para la evaluación de procesos geohidrológicos en la cuenca del río Mariño, Abancay (Perú). Serie Correlación Geológica (en línea), 32(1): 25-42. (consulta: 13 abril 2017).

Villacorta, S.; Núñez, S.; Tatard, 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., 07mapas

Villota, H. (1997). Una nueva aproximación a la clasificación fisiográfica del terreno. Revista CIAF, 15(1), 83-115.

Villota, H. (1991). Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. Santa fe de Bogotá, DC. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Subdirección de Docencia e Investigación, 184 p.

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

Wieczorek, G. (1996). Landslide Triggering Mechanisms in Landslides – Investigations and Mitigation. Special Report 247. A. K. Turner y R. L. Schuster, Editores. Transportation Research Board. National Research Council, National Academic Press, Washington, DC, USA, p.76-90.

Zavala, B.; Vílchez, M.; Rosado, M; Pari, W. & Peña, F. (2014). Estudio geoambiental en la cuenca del río Colca. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 57, 236 p.

ANEXOS

ANEXO 1: BASE DE DATOS DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA MICROCUENCA HUAYCÁN

N°	PELIGRO	TIPO DE PELIGRO	SUB TIPO DE PELIGRO	ESTE	NORTE	ALTITUD	PARAJE	DISTRITO	PROVINCIA	REGIÓN
1	Movimientos en masa	Flujo	Flujo de detritos	310030	8662541	711	Quebrada Huaycán	Cieneguilla	Lima	Lima
2	Movimientos en masa	Flujo	Flujo de detritos	310303	8662443	760	Quebrada Huaycán	Cieneguilla	Lima	Lima
3	Movimientos en masa	Flujo	Flujo de detritos	310713	8662412	845	Quebrada S/N	Cieneguilla	Lima	Lima
4	Movimientos en masa	Caída	Derrumbe	311245	8662321	1093	Cerro Señal Perdida	Cieneguilla	Lima	Lima
5	Otros peligros geológicos	Erosión de ladera	Erosión en cárcava	311224	8662432	1064	Cerro Señal Perdida	Cieneguilla	Lima	Lima
6	Otros peligros geológicos	Erosión de ladera	Erosión en cárcava	310988	8662541	994	Cerro Señal Perdida	Cieneguilla	Lima	Lima
7	Otros peligros geológicos	Erosión de ladera	Erosión en cárcava	310763	8662657	950	Cerro Señal Perdida	Cieneguilla	Lima	Lima
8	Movimientos en masa	Caída	Caída de rocas	310551	8662889	1002	Cerro Señal Perdida	Cieneguilla	Lima	Lima
9	Movimientos en masa	Caída	Derrumbe	310357	8662781	919	Cerro Señal Perdida	Cieneguilla	Lima	Lima
10	Otros peligros geológicos	Erosión de ladera	Erosión en cárcava	310280	8662886	905	Cerro Señal Perdida	Cieneguilla	Lima	Lima
11	Movimientos en masa	Flujo	Flujo de detritos	310499	8662364	804	Quebrada Huaycán	Cieneguilla	Lima	Lima
12	Movimientos en masa	Caída	Derrumbe	311564	8661898	1231	Cerro Señal Perdida	Cieneguilla	Lima	Lima
13	Movimientos en masa	Caída	Caída de rocas	311999	8661817	1512	Cerro Señal Perdida	Cieneguilla	Lima	Lima
14	Otros peligros geológicos	Erosión de ladera	Erosión en cárcava	311780	8661692	1428	Cerro Señal Perdida	Cieneguilla	Lima	Lima
15	Movimientos en masa	Caída	Derrumbe	311642	8661590	1364	Cerro Señal Perdida	Cieneguilla	Lima	Lima
16	Movimientos en masa	Caída	Caída de rocas	311442	8661633	1246	Cerro Señal Perdida	Cieneguilla	Lima	Lima
17	Otros peligros geológicos	Erosión de ladera	Erosión en cárcava	311545	8661355	1264	Cerro Señal Perdida	Cieneguilla	Lima	Lima
18	Movimientos en masa	Caída	Derrumbe	310926	8661839	1001	Cerro Señal Perdida	Cieneguilla	Lima	Lima
19	Movimientos en masa	Caída	Derrumbe	310626	8661766	955	Cerro Mal Paso	Cieneguilla	Lima	Lima
20	Otros peligros geológicos	Erosión de ladera	Erosión en cárcava	310985	8661276	1186	Cerro Mal Paso	Cieneguilla	Lima	Lima
21	Movimientos en masa	Caída	Derrumbe	310357	8661554	896	Cerro Mal Paso	Cieneguilla	Lima	Lima
22	Movimientos en masa	Caída	Caída de rocas	310820	8661089	1187	Cerro Mal Paso	Cieneguilla	Lima	Lima
23	Movimientos en masa	Flujo	Flujo de detritos	310397	8661463	914	Quebrada S/N	Cieneguilla	Lima	Lima
24	Otros peligros geológicos	Erosión de ladera	Erosión en cárcava	310215	8661104	1088	Cerro Mal Paso	Cieneguilla	Lima	Lima
25	Movimientos en masa	Caída	Caída de rocas	309964	8661704	1040	Cerro Mal Paso	Cieneguilla	Lima	Lima
26	Otros peligros geológicos	Erosión de ladera	Erosión en cárcava	310042	8661474	1024	Cerro Mal Paso	Cieneguilla	Lima	Lima

27	Otros peligros geológicos	Erosión de ladera	Erosión en cárcava	310457	8661050	1105	Cerro Mal Paso	Cieneguilla	Lima	Lima
28	Movimientos en masa	Caída	Derrumbe	310296	8661789	836	Cerro Mal Paso	Cieneguilla	Lima	Lima
29	Movimientos en masa	Caída	Caída de rocas	310055	8661962	934	Cerro Mal Paso	Cieneguilla	Lima	Lima
30	Movimientos en masa	Caída	Derrumbe	310175	8662065	813	Cerro Mal Paso	Cieneguilla	Lima	Lima
31	Movimientos en masa	Caída	Derrumbe	310276	8662172	775	Cerro Mal Paso	Cieneguilla	Lima	Lima
32	Movimientos en masa	Caída	Derrumbe	310649	8661939	888	Cerro Mal Paso	Cieneguilla	Lima	Lima
33	Otros peligros geológicos	Erosión de ladera	Erosión en cárcava	310467	8661929	877	Cerro Mal Paso	Cieneguilla	Lima	Lima
34	Movimientos en masa	Caída	Caída de rocas	309982	8662112	931	Cerro Mal Paso	Cieneguilla	Lima	Lima
35	Movimientos en masa	Flujo	Flujo de detritos	310247	8662045	787	Quebrada S/N	Cieneguilla	Lima	Lima
36	Movimientos en masa	Flujo	Flujo de detritos	310144	8662394	736	Quebrada S/N	Cieneguilla	Lima	Lima
37	Movimientos en masa	Flujo	Flujo de detritos	310188	8662492	737	Quebrada S/N	Cieneguilla	Lima	Lima
38	Movimientos en masa	Caída	Derrumbe	311247	8661885	1142	Cerro Señal Perdida	Cieneguilla	Lima	Lima
39	Otros peligros geológicos	Erosión de ladera	Erosión en cárcava	310936	8662204	937	Cerro Señal Perdida	Cieneguilla	Lima	Lima
40	Otros peligros geológicos	Erosión de ladera	Erosión en cárcava	311236	8661379	1168	Cerro Mal Paso	Cieneguilla	Lima	Lima
41	Otros peligros geológicos	Erosión de ladera	Erosión en cárcava	309921	8662317	816	Cerro Mal Paso	Cieneguilla	Lima	Lima
42	Movimientos en masa	Flujo	Flujo de detritos	309195	8662829	606	Quebrada S/N	Cieneguilla	Lima	Lima
43	Otros peligros geológicos	Erosión de ladera	Erosión en cárcava	309160	8662324	769	Cerro Mal Paso	Cieneguilla	Lima	Lima
44	Movimientos en masa	Flujo	Flujo de detritos	309290	8662602	640	Quebrada S/N	Cieneguilla	Lima	Lima
45	Movimientos en masa	Caída	Derrumbe	309724	8662213	891	Cerro Mal Paso	Cieneguilla	Lima	Lima
46	Otros peligros geológicos	Erosión de ladera	Erosión en cárcava	309403	8661889	833	Cerro Mal Paso	Cieneguilla	Lima	Lima
47	Movimientos en masa	Caída	Derrumbe	309822	8661785	962	Cerro Mal Paso	Cieneguilla	Lima	Lima
48	Otros peligros geológicos	Erosión de ladera	Erosión en cárcava	309488	8662324	748	Cerro Mal Paso	Cieneguilla	Lima	Lima
49	Otros peligros geológicos	Erosión de ladera	Erosión en cárcava	309128	8662538	693	Cerro Mal Paso	Cieneguilla	Lima	Lima
50	Otros peligros geológicos	Erosión de ladera	Erosión en cárcava	309073	8662724	645	Cerro Mal Paso	Cieneguilla	Lima	Lima
51	Movimientos en masa	Flujo	Flujo de detritos	309558	8662751	646	Quebrada Huaycán	Cieneguilla	Lima	Lima
52	Movimientos en masa	Flujo	Flujo de detritos	309848	8662680	681	Quebrada Huaycán	Cieneguilla	Lima	Lima
53	Movimientos en masa	Caída	Caída de rocas	309660	8662554	769	Cerro Mal Paso	Cieneguilla	Lima	Lima
54	Movimientos en masa	Caída	Derrumbe	309755	8662467	814	Cerro Mal Paso	Cieneguilla	Lima	Lima
55	Movimientos en masa	Caída	Derrumbe	309961	8662869	765	Cerro Señal Perdida	Cieneguilla	Lima	Lima

56	Otros peligros geológicos	Erosión de ladera	Erosión en cárcava	310097	8663021	891	Cerro Señal Perdida	Cieneguilla	Lima	Lima
57	Otros peligros geológicos	Erosión de ladera	Erosión en cárcava	309905	8663030	822	Cerro Señal Perdida	Cieneguilla	Lima	Lima
58	Movimientos en masa	Flujo	Flujo de detritos	309679	8662809	665	Quebrada S/N	Cieneguilla	Lima	Lima
59	Otros peligros geológicos	Erosión de ladera	Erosión en cárcava	309750	8662979	755	Cerro Señal Perdida	Cieneguilla	Lima	Lima
60	Movimientos en masa	Flujo	Flujo de detritos	309545	8662905	667	Quebrada S/N	Cieneguilla	Lima	Lima
61	Movimientos en masa	Caída	Derrumbe	309560	8663093	756	Cerro Señal Perdida	Cieneguilla	Lima	Lima
62	Otros peligros geológicos	Erosión de ladera	Erosión en cárcava	309776	8663214	879	Cerro Señal Perdida	Cieneguilla	Lima	Lima
63	Movimientos en masa	Flujo	Flujo de detritos	309228	8662986	634	Quebrada S/N	Cieneguilla	Lima	Lima
64	Otros peligros geológicos	Erosión de ladera	Erosión en cárcava	309499	8663238	826	Cerro Señal Perdida	Cieneguilla	Lima	Lima
65	Otros peligros geológicos	Erosión de ladera	Erosión en cárcava	309375	8663461	850	Cerro Señal Perdida	Cieneguilla	Lima	Lima
66	Movimientos en masa	Caída	Derrumbe	309502	8663333	881	Cerro Señal Perdida	Cieneguilla	Lima	Lima
67	Movimientos en masa	Flujo	Flujo de detritos	309188	8663194	672	Quebrada S/N	Cieneguilla	Lima	Lima
68	Movimientos en masa	Flujo	Flujo de detritos	308968	8663174	617	Quebrada S/N	Cieneguilla	Lima	Lima
69	Otros peligros geológicos	Erosión de ladera	Erosión en cárcava	309120	8663412	751	Cerro Señal Perdida	Cieneguilla	Lima	Lima
70	Movimientos en masa	Flujo	Flujo de detritos	308821	8663131	584	Quebrada S/N	Cieneguilla	Lima	Lima
71	Movimientos en masa	Caída	Derrumbe	308958	8663354	701	Cerro Señal Perdida	Cieneguilla	Lima	Lima
72	Otros peligros geológicos	Erosión de ladera	Erosión en cárcava	308752	8663335	697	Cerro Señal Perdida	Cieneguilla	Lima	Lima
73	Movimientos en masa	Flujo	Flujo de detritos	308675	8663092	549	Cerro Señal Perdida	Cieneguilla	Lima	Lima
74	Movimientos en masa	Caída	Derrumbe	308513	8663143	536	Cerro Señal Perdida	Cieneguilla	Lima	Lima
75	Movimientos en masa	Flujo	Flujo de detritos	308395	8663153	524	Quebrada S/N	Cieneguilla	Lima	Lima
76	Otros peligros geológicos	Erosión de ladera	Erosión en cárcava	308555	8663295	635	Cerro Señal Perdida	Cieneguilla	Lima	Lima
77	Otros peligros geológicos	Erosión de ladera	Erosión en cárcava	308327	8663259	568	Cerro Señal Perdida	Cieneguilla	Lima	Lima
78	Movimientos en masa	Caída	Derrumbe	308194	8663246	513	Cerro Señal Perdida	Cieneguilla	Lima	Lima
79	Movimientos en masa	Flujo	Flujo de detritos	308069	8663307	481	Quebrada S/N	Cieneguilla	Lima	Lima
80	Otros peligros geológicos	Erosión de ladera	Erosión en cárcava	308404	8663384	623	Cerro Señal Perdida	Cieneguilla	Lima	Lima
81	Movimientos en masa	Caída	Derrumbe	308943	8662813	622	Cerro S/N	Cieneguilla	Lima	Lima
82	Otros peligros geológicos	Erosión de ladera	Erosión en cárcava	308784	8662735	633	Cerro S/N	Cieneguilla	Lima	Lima
83	Movimientos en masa	Flujo	Flujo de detritos	308536	8662878	543	Quebrada S/N	Cieneguilla	Lima	Lima
84	Movimientos en masa	Flujo	Flujo de detritos	308544	8662614	572	Quebrada S/N	Cieneguilla	Lima	Lima

85	Otros peligros geológicos	Erosión de ladera	Erosión en cárcava	308940	8662149	788	Cerro S/N	Cieneguilla	Lima	Lima
86	Movimientos en masa	Caída	Caída de rocas	308884	8662537	689	Cerro S/N	Cieneguilla	Lima	Lima
87	Movimientos en masa	Flujo	Flujo de detritos	308758	8662372	632	Quebrada S/N	Cieneguilla	Lima	Lima
88	Movimientos en masa	Flujo	Flujo de detritos	308447	8662966	523	Quebrada S/N	Cieneguilla	Lima	Lima
89	Movimientos en masa	Flujo	Flujo de detritos	309035	8662941	592	Quebrada S/N	Cieneguilla	Lima	Lima
90	Movimientos en masa	Flujo	Flujo de detritos	308750	8662951	554	Quebrada Huaycán	Cieneguilla	Lima	Lima
91	Movimientos en masa	Flujo	Flujo de detritos	308202	8663055	499	Quebrada S/N	Cieneguilla	Lima	Lima
92	Otros peligros geológicos	Erosión de ladera	Erosión en cárcava	308035	8663004	553	Cerro S/N	Cieneguilla	Lima	Lima
93	Movimientos en masa	Flujo	Flujo de detritos	307947	8663188	475	Quebrada S/N	Cieneguilla	Lima	Lima
94	Otros peligros geológicos	Erosión de ladera	Erosión en cárcava	307848	8663071	545	Cerro S/N	Cieneguilla	Lima	Lima
95	Movimientos en masa	Caída	Caída de rocas	307780	8663185	528	Cerro S/N	Cieneguilla	Lima	Lima
96	Movimientos en masa	Flujo	Flujo de detritos	308467	8663064	523	Quebrada Huaycán	Cieneguilla	Lima	Lima
97	Movimientos en masa	Flujo	Flujo de detritos	308081	8663134	484	Quebrada Huaycán	Cieneguilla	Lima	Lima
98	Movimientos en masa	Flujo	Flujo de detritos	307856	8663339	457	Quebrada Huaycán	Cieneguilla	Lima	Lima
99	Otros peligros geológicos	Erosión de ladera	Erosión en cárcava	308121	8663450	538	Cerro S/N	Cieneguilla	Lima	Lima
100	Otros peligros geológicos	Erosión de ladera	Erosión en cárcava	308540	8663585	675	Cerro S/N	Cieneguilla	Lima	Lima
101	Movimientos en masa	Flujo	Flujo de detritos	307895	8663536	452	Quebrada S/N	Cieneguilla	Lima	Lima
102	Otros peligros geológicos	Erosión de ladera	Erosión en cárcava	308259	8663634	569	Cerro S/N	Cieneguilla	Lima	Lima
103	Movimientos en masa	Caída	Derrumbe	308073	8663650	516	Cerro S/N	Cieneguilla	Lima	Lima
104	Otros peligros geológicos	Erosión de ladera	Erosión en cárcava	308356	8663487	593	Cerro S/N	Cieneguilla	Lima	Lima
105	Movimientos en masa	Caída	Caída de rocas	308003	8663752	568	Cerro S/N	Cieneguilla	Lima	Lima
106	Movimientos en masa	Caída	Caída de rocas	307955	8663727	532	Cerro S/N	Cieneguilla	Lima	Lima
107	Movimientos en masa	Caída	Caída de rocas	307880	8663773	506	Cerro S/N	Cieneguilla	Lima	Lima
108	Otros peligros geológicos	Erosión de ladera	Erosión en cárcava	307828	8663707	455	Cerro S/N	Cieneguilla	Lima	Lima
109	Movimientos en masa	Flujo	Flujo de detritos	307722	8663621	431	Quebrada Huaycán	Cieneguilla	Lima	Lima
110	Movimientos en masa	Flujo	Flujo de detritos	307811.	8663469	446	Quebrada Huaycán	Cieneguilla	Lima	Lima
111	Otros peligros geológicos	Erosión de ladera	Erosión en cárcava	307720	8663344	481	Cerro S/N	Cieneguilla	Lima	Lima
112	Movimientos en masa	Caída	Caída de rocas	307696	8663426	460	Cerro S/N	Cieneguilla	Lima	Lima
113	Movimientos en masa	Flujo	Flujo de detritos	307637	8663582	428	Quebrada Huaycán	Cieneguilla	Lima	Lima

114	Otros peligros geológicos	Erosión de ladera	Erosión en cárcava	307619	8663502	452	Cerro S/N	Cieneguilla	Lima	Lima
115	Movimientos en masa	Flujo	Flujo de detritos	307730	8663523	435	Quebrada Huaycán	Cieneguilla	Lima	Lima
116	Otros peligros geológicos	Erosión de ladera	Erosión en cárcava	307775	8663269	488	Cerro S/N	Cieneguilla	Lima	Lima
117	Movimientos en masa	Flujo	Flujo de detritos	307585	8663694	412	Quebrada Huaycán	Cieneguilla	Lima	Lima
118	Movimientos en masa	Flujo	Flujo de detritos	307518	8663779	405	Quebrada Huaycán	Cieneguilla	Lima	Lima
119	Movimientos en masa	Flujo	Flujo de detritos	307436	8663743	399	Quebrada Huaycán	Cieneguilla	Lima	Lima
120	Movimientos en masa	Flujo	Flujo de detritos	307384	8663581	398	Quebrada Huaycán	Cieneguilla	Lima	Lima
121	Movimientos en masa	Flujo	Flujo de detritos	307691	8663936	401	Quebrada Huaycán	Cieneguilla	Lima	Lima
122	Geohidrológicos	Erosión fluvial	Erosión fluvial	307441	8663949	390	Río Lurín	Cieneguilla	Lima	Lima
123	Geohidrológicos	Erosión fluvial	Erosión fluvial	307303	8663817	385	Fundo Molle	Cieneguilla	Lima	Lima
124	Geohidrológicos	Erosión fluvial	Erosión fluvial	307198	8663625	378	Fundo Molle	Cieneguilla	Lima	Lima
125	Geohidrológicos	Erosión fluvial	Erosión fluvial	307279	8663692	384	Río Lurín	Cieneguilla	Lima	Lima
126	Geohidrológicos	Inundación fluvial	Inundación fluvial	307549	8664056	393	Río Lurín	Cieneguilla	Lima	Lima
127	Geohidrológicos	Inundación fluvial	Inundación fluvial	307497	8664206	395	Fundo Molle	Cieneguilla	Lima	Lima
128	Geohidrológicos	Inundación fluvial	Inundación fluvial	307747	8664408	401	Río Lurín	Cieneguilla	Lima	Lima
129	Geohidrológicos	Inundación fluvial	Inundación fluvial	307197	8663445	378	Río Lurín	Cieneguilla	Lima	Lima
130	Geohidrológicos	Inundación fluvial	Inundación fluvial	307044	8663436	376	Río Lurín	Cieneguilla	Lima	Lima