

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

**«ESTUDIO DE RIESGO
GEOLOGICO DE LA CUENCA
DEL RIO MALA»**

TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
GEÓLOGO

Presentada por: Bach. Sandra Paula Villacorta Chambi

LIMA - PERU

Julio 2003

DEDICATORIA

*A mis padres Georgina y Ricardo:
Guías y ejemplo permanente difícil
de igualar.*

*A mi amado Jorge: Apoyo
incondicional, comprensión y amor.*

*A mi hija Yamile: La razón de
mis esfuerzos y la fuerza que me
impulsa para seguir a pesar de todo.*

Contenido

RESUMEN.....	1
CAPITULO I	2
GENERALIDADES	2
1.1 ANTECEDENTES	2
1.2 OBJETIVOS Y ALCANCES DEL ESTUDIO	3
1.3 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	4
1.4 METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO	4
1.5 MAPA BASE	6
1.6 TRABAJOS ANTERIORES	6
CAPITULO II	8
CONCEPTOS GENERALES Y MARCO LEGAL DEL ESTUDIO.....	8
2.1 CONCEPTOS GENERALES	8
2.1.1 Peligrosidad	8
2.1.2 Vulnerabilidad	9
2.1.3 Riesgo	9
2.1.3.1 Principales procesos naturales causantes de riesgos	11
2.1.3.2 Riesgo Geológico	12
A.1 Factores naturales	12
A.2 Factores antrópicos	13
2.2 MARCO LEGAL AMBIENTAL	13
CAPITULO III	25
MARCO GEOGRÁFICO Y SOCIO-ECONÓMICO	25
3.1 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD	25
3.2 FISIOGRAFÍA.....	27
3.3 CONDICIONES CLIMÁTICAS	27
3.3.1 Zonación climática de la cuenca	27
3.3.2 Temperatura	28
3.3.3 Humedad relativa	28
3.4 LÍMITES Y DIVISIÓN POLÍTICA.....	28
3.5 ASPECTOS SOCIO-ECONÓMICOS	29
3.5.1 DEMOGRAFÍA	29
3.5.2 SALUD.....	29

3.5.3	EDUCACIÓN	31
3.5.4	VIVIENDA	31
3.5.5	INFRAESTRUCTURA Y DESARROLLO	31
3.6	ACTIVIDAD PRODUCTIVA	31
3.6.1	ACTIVIDAD AGRÍCOLA	34
3.6.2	ACTIVIDAD GANADERA	34
3.6.3	ACTIVIDAD MINERA	34
3.7	PATRIMONIO ARQUEOLÓGICO Y GEOLÓGICO	36
3.7.1	ÁREAS ARQUEOLÓGICAS	36
3.7.2	ÁREAS GEOLÓGICAS TURÍSTICAS	38
3.8	ECOSISTEMAS, FLORA Y FAUNA	41
3.8.1	FLORA	41
3.8.2	FAUNA	42
	3.8.2.1 AVES	42
	3.8.2.2 MAMÍFEROS	43
	3.8.2.3 ANFIBIOS Y REPTILES	43
	3.8.2.4 COMUNIDADES HIDROBIOLÓGICAS	45

CAPITULO IV **48**

HIDROGRAFÍA E HIDROLOGÍA **48**

4.1	HIDROGRAFÍA	48
4.2	HIDROMETEOROLOGÍA	49
4.2.1	Pluviometría y registro de caudales	50
	4.2.1.1 Análisis pluviométrico de las precipitaciones medias mensuales	50
	4.2.1.2 Análisis de probabilidades	56
	4.2.1.3 Análisis de las descargas medias mensuales y totales anuales	58
4.2.2	Comportamiento estacional del río Mala	58
4.2.3	PROBABILIDAD DE CRECIDAS	62

CAPITULO V **64**

GEOMORFOLOGÍA **64**

5.1	UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	64
5.1.1	PLANICIE COSTANERA	64
	5.1.1.1 Playas	65
	5.1.1.2 Colinas	65
	5.1.1.3 Pampas costaneras	65
5.1.2	FLANCO OCCIDENTAL ANDINO	67
5.1.3	VALLES	67
	5.1.3.1 Valle inundable	67
	5.1.3.2 Valle cañon	67
	5.1.3.3 Valles glaciares	67

5.1.4	SUPERFICIE DE COLINAS Y MESETAS VOLCÁNO-SEDIMENTARIAS	69
5.1.5	MORRENAS, BOFEDALES Y LAGUNAS.....	69
5.1.6	ZONA DE ALTAS CUMBRES	71
5.2	ANÁLISIS HÍDRICO BAJO EL ENFOQUE GEOMORFOLÓGICO	71
5.2.1	PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS	71
5.2.1.1	Superficie de la cuenca	73
5.2.1.2	Perimetro de la cuenca	73
5.2.1.3	Forma de la cuenca	74
5.2.1.4	Sistema de drenaje	74
5.2.1.5	Elevación de los terrenos	76
5.2.1.6	Rectángulo equivalente	78
5.2.1.7	Declividad de los alveos	82
5.2.1.8	Declividad de los terrenos	82
5.2.1.9	Coeficiente de torrencialidad	84
5.2.1.10	Coeficiente de masividad.....	84
CAPITULO VI.....		86
ESTRATIGRAFÍA Y CONDICIONES ESTRUCTURALES		86
6.1	ESTRATIGRAFÍA	86
6.1.1	FAJA DE LA COSTA.....	86
6.1.2	SECTOR OCCIDENTAL.....	89
6.2.	ROCAS INTRUSIVAS	92
6.2.1	Rocas intrusivas hipabisales	92
6.2.2	Rocas intrusivas plutónicas	92
6.3	CONDICIONES ESTRUCTURALES.....	93
6.3.1	Anticlinal de Ayarhuayque	93
6.3.2	Plegamientos del Área de Santiago-San Lorenzo-Carhuapampa	93
6.3.3	Plegamientos del Área de Viscas-Quiripa-Quinocay	93
6.3.4	Plegamientos del Área de Huampará-Huañec-Ayavirí	94
6.3.5	La Falla de Huampará	94
6.3.6	Fallamientos y sinclinales de la zona de Mala	94
CAPITULO VII		95
GEODINÁMICA		95
7.1	CLASIFICACIÓN GEODINÁMICA DE ROCAS Y DEPÓSITOS SUPERFICIALES	95
7.1.1	UNIDAD I: DEPÓSITOS SUPERFICIALES	95
7.1.1.1	Depósitos Eólicos	95
7.1.1.2	Depósitos fluvioglaciares y depósitos glaciares	95
7.1.1.3	Depósitos Aluviales y fluviales	95
7.1.1.4	Depósitos Proluviales, Coluviales.....	96
7.1.1.5	Depósitos Marinos.....	96

7.1.2	UNIDAD II: ROCAS INTRUSIVAS	96
7.1.3	UNIDAD III: ROCAS VOLCÁNICAS LÁVICAS	96
7.1.4	UNIDAD IV: ROCAS VOLCANO - SEDIMENTARIAS	97
7.1.5	UNIDAD V: ROCAS SEDIMENTARIAS	97
	7.1.5.1 Areniscas cuarzosas, limolitas y lutitas (V-1):	97
	7.1.5.2 Calizas, areniscas y lutitas (V-2):	97
7.2	GEODINÁMICA EXTERNA	98
7.2.1	PELIGROS GEOLOGICOS DE REMOCION EN MASA	98
	7.2.1.1 Caídas	98
	7.2.1.2 Deslizamientos	103
	7.2.1.3 Flujos	109
	7.2.1.4 Movimientos Complejos	112
7.2.2	OTROS PELIGROS GEOLÓGICOS	116
	7.2.2.1 Arenamientos	116
	7.2.2.2 Erosión de Laderas	116
	7.2.2.3 Erosión Fluvial	118
7.3	GEODINÁMICA INTERNA	120
7.3.1	Actividad sísmica	120
	7.3.1.1 Historia sísmica del área	120
	7.3.1.2 Sismicidad regional	129
	7.3.1.3 Sismos destructores	129
7.3.2	Estudio sísmico probabilístico para la determinación del Riesgo sísmico	130
	7.3.2.1 Aceleración y periodos de retorno	130
	7.3.2.2 Zonificación sísmica	132
7.3.3	TSUNAMIS	132
	7.3.3.1 Registro de Tsunamis en la cuenca del río Mala	137
CAPITULO VIII		139
ANÁLISIS AMBIENTAL		139
8.1	CONSIDERACIONES GEOLÓGICO-AMBIENTALES	139
8.2	GEOQUÍMICA DE AGUAS Y SEDIMENTOS EN LA CUENCA DEL RÍO MALA	140
8.2.1	Muestreo	140
	8.2.1.1 Descripción de estaciones de muestreo	141
	8.2.1.2 Mediciones en campo	148
8.2.2	Análisis	148
	8.2.2.1 Análisis de muestras de agua	148
	8.2.2.2 Análisis de muestras de sedimentos	154
8.3	EVALUACIÓN DE CALIDAD DE AGUAS Y SEDIMENTOS	161
8.4	INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA AMBIENTAL DE LOS PARÁMETROS MAS IMPORTANTES	162
8.4.1	Sub.-cuenca del río San Lorenzo	162
8.4.2	Sub.-cuenca del río Ayavirí	162

8.4.3	Cuenca media y baja del río Mala	163
8.5	MEDIDAS PREVENTIVAS PARA LA CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE	163
CAPITULO IX.....		164
EVALUACIÓN DEL PELIGRO, VULNERABILIDAD Y RIESGO, EN EL ÁREA DE ESTUDIO		164
9.1	EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE	164
9.2	CARTOGRAFIADO DE PELIGROS GEOLÓGICOS	165
9.3	CÁLCULO DE LA PELIGROSIDAD, VULNERABILIDAD Y RIESGO	166
9.3.1	Análisis estadístico de las fichas de inventario y de la información existente	166
9.3.1.1	Ocurrencia de peligros geológicos según la litología	167
9.3.1.2	Ocurrencia de peligros geológicos según la pendiente de los terrenos	167
9.3.1.3	Ocurrencia de peligros geológicos según la precipitación ...	171
9.3.1.4	Ocurrencia de peligros geológicos según la sismicidad	171
9.4	ANÁLISIS DE LA SUCEPTIBILIDAD	174
9.4.1	Valoración de unidades diferenciadas en Mapas de los factores más influyentes en la ocurrencia de peligros geológicos	174
9.4.1.1	Valores asignados en el Mapa Litológico	174
9.4.1.2	Valores asignados en el Mapa de Pendiente de los terrenos	175
9.4.1.3	Valores asignados en el Mapa de Precipitación	175
9.4.1.4	Valores asignados en el Mapa de Sismicidad	175
9.4.2	Valoración total	176
9.4.3	Sobreposición y corrección	177
9.5	PELIGROSIDAD	177
9.6	CÁLCULO DE LA VULNERABILIDAD	177
9.6.1	Vulnerabilidad de las obras de infraestructura	177
9.6.2	Vulnerabilidad de la población	180
9.7	CÁLCULO Y ZONIFICACIÓN DEL RIESGO GEOLÓGICO	180
9.7.1	Zonas de riesgo muy bajo	181
9.7.2	Zonas de riesgo bajo	181
9.7.3	Zonas de riesgo medio	182
9.7.4	Zonas de riesgo alto	182
9.7.5	Zonas de riesgo muy alto	182
CAPITULO X:		184
MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE RIESGOS GEOLÓGICOS		184
10.1	MEDIDAS PREVENTIVAS DE PROTECCIÓN	184
10.1.1	Para inundaciones, huaycos y erosión fluvial	184
10.1.2	Erosión de Laderas	185
10.1.3	Para áreas con deslizamientos	186

10.1.4 Para sismos y tsunamis	187
10.2 MEDIDAS CORRECTIVAS	188
10.2.1 En laderas	189
10.2.1.1 Medidas destinadas a limitar el escurrimiento superficial ...	189
10.2.1.2 Conservación de suelos mediante acciones forestales	189
10.2.2 En taludes	190
10.2.2.1 Corrección por modificación de la geometría del talud.	190
10.2.2.2 Corrección por drenaje	193
10.2.2.3 Corrección por elementos resistentes	196
10.2.2.4 Correcciones superficiales	214
10.2.3 EN CAUCES	216
CONCLUSIONES	218
RECOMENDACIONES	220
BIBLIOGRAFÍA	221

RELACIÓN DE CUADROS

- 2.1 Factores a considerar en la evaluación de la vulnerabilidad
- 2.2 Principales procesos naturales causantes de riesgos
- 2.3 Principales factores condicionantes para la ocurrencia de riesgo geoambiental
- 3.1 Estaciones meteorológicas en la cuenca del río Mala
- 3.2 Zonación climática en la cuenca del río mala
- 3.3 Provincias y distritos presentes en la cuenca del río Mala
- 3.4 Distribución poblacional por provincias y distritos de la cuenca del río Mala
- 3.5 Distribución de la PEA por provincias y distritos de la cuenca del río Mala
- 3.6 Colegios en la cuenca del río Mala
- 3.7 Vivienda en la cuenca del río Mala
- 4.1 Características de la red hidrográfica de la cuenca del río Mala
- 4.2 Precipitaciones totales mensuales (mm) estación Huarochirí
- 4.3 Precipitaciones totales mensuales (mm) estación Ayavirí
- 4.4 Análisis de probabilidades de la cuenca del río Mala-Estación Ayavirí
- 4.5 Descargas medias mensuales y anuales de la cuenca del río Mala-Estación La Capilla (1938-1998)
- 4.6 Periodos que comprende el ciclo hidrológico del río Mala
- 4.7 Máximas avenidas probables del río Mala
- 5.1 Orden y longitud de los ríos en la cuenca del río Mala
- 5.2 Áreas parciales entre curvas de nivel para la cuenca del río Mala
- 5.3 Parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Mala
- 7.1 Sismos destructores que han afectado diferentes áreas de la cuenca del río Mala y aledañas
- 7.2 Aceleraciones máximas esperadas para diferentes periodos de retorno
- 7.3 Magnitudes de un Tsunami de acuerdo a las alturas máximas alcanzadas por las olas
- 7.4 Principales Tsunamis ocurridos en el Perú
- 8.1 Ubicación de estaciones de muestreo y mediciones hechas en el campo
- 8.2 Parametros medidos en laboratorio
- 8.3 Resultado del análisis de metales disueltos y metales totales en la cuenca del río Mala-Julio 2002
- 8.4 Resultados del analisis de sedimentos de la cuenca del río Mala

- 9.1 Número total de ocurrencias de peligros geológicos en la cuenca del río Mala
- 9.2 Número de ocurrencia de peligros geológicos de acuerdo a la litología
- 9.3 Número de ocurrencias de peligros geológicos de acuerdo a la pendiente de los terrenos
- 9.4 Número de ocurrencia de peligros geológicos de acuerdo a la precipitación
- 9.5 Número de ocurrencias de peligros geológicos de acuerdo a la sismicidad
- 9.6 Valores asignados en el mapa litológico de acuerdo a unidades litológicas
- 9.7 Valores asignados en el mapa de pendiente de los terrenos, de acuerdo a grado de pendiente
- 9.8 Valores asignados en el mapa de precipitación de acuerdo a la precipitación total anual
- 9.9 Valores asignados en el mapa sísmico de acuerdo a intensidades máximas
- 9.10 Grados de Suceptibilidad en la cuenca del río Mala
- 9.11 Daños ocasionados por peligros geológicos en obras de infraestructura
- 9.12 Valores asignados en el mapa de infraestructura
- 9.13 Valores asignados en el mapa de población
- 9.14 Grados de Vulnerabilidad en la cuenca del río Mala
- 9.15 Grados de Riesgo Geoambiental en la cuenca del río Mala

RELACIÓN DE GRÁFICOS

- 4.1 Precipitación media mensual-Estación Huarochiri
- 4.2 Precipitación media mensual-Estación Ayaviri
- 4.3 Descargas medias mensuales-Estación La Capilla
- 4.4 Descargas totales Anuales-Estación La Capilla
- 5.1 Curvas hipsométricas características del ciclo de erosión de una cuenca higrógráfica.
- 5.2 Curva hipsométrica de la cuenca del río Mala
- 5.3 Rectángulo equivalente de la cuenca del río Mala
- 8.1 Variación de los valores de pH en muestras de agua de la cuenca del río Mala
- 8.2 variación de los valores de Cu en muestras de agua de la cuenca del río Mala

- 8.3 Variación de los valores de Pb en muestras de agua de la cuenca del río Mala
- 8.4 Variación de los valores de SDT en muestras de agua de la cuenca del río Mala
- 9.1 Porcentajes de peligros geológicos en la cuenca del río Mala
- 9.2 Porcentajes de peligros geológicos de acuerdo a la litología
- 9.3 Porcentajes de peligros geológicos de acuerdo a la pendiente de los terrenos
- 9.4 Porcentajes de peligros geológicos de acuerdo a la precipitación
- 9.5 Porcentajes de peligros geológicos de acuerdo a la sismicidad
- 9.6 Porcentajes de daños a obras de infraestructura por peligros geológicos

RELACIÓN DE FIGURAS

- 3.1 Mapa de ubicación y acceso
- 3.2 Mapa de zonas con vegetación.
- 3.3 Mapa de ubicación de ruinas arqueológicas y áreas geoturísticas.
- 6.1 Columna estratigráfica generalizada de la cuenca del río Mala
- 7.1 Principales causas de las caídas de rocas.
- 7.2 Elementos y mecanismos de un deslizamiento.
- 7.3 Block diagrama de un deslizamiento.
- 7.4 Distribución de los sismos destructores en el Perú.
- 7.5 Distribución de los sismos destructores en la cuenca del río Mala.
- 7.6 Regionalización sísmica del Perú mediante intensidades.
- 7.7 Regionalización sísmica de la cuenca del río Mala mediante intensidades.
- 7.8 Distribución de intensidades máximas en el Perú.
- 7.9 Distribución de intensidades máximas en la cuenca del río Mala.
- 7.10 Mapa de aceleraciones (mili gals) - 30 años.
- 7.11 Mapa de aceleraciones (mili gals) - 50 años.
- 7.12 Mapa de aceleraciones (mili gals) - 100 años.
- 7.13 Mapa de aceleraciones espectrales e intensidades máximas
- 8.1 Mapa de ubicación de puntos de muestreo.
- 10.1 Efecto de una escollera sobre la resistencia del terreno.
- 10.2 Ubicación de la escollera.
- 10.3 Esquema de un talud con bermas intermedias.

- 10.4 Detalles de una canaleta de drenaje superficial.
- 10.5 Disposición del sistema de drenaje en taludes no homogéneos.
- 10.6 Esquema de drenaje de un talud minero por medio de drenes californianos.
- 10.7 Instalación de varios niveles de pozos bombeados en las distintas fases de la excavación.
- 10.8 Posición óptima de una galería de drenaje.
- 10.9 Drenaje de superficie de deslizamiento desde una galería de drenaje.
- 10.10 Disposición de zanjas de drenaje en un talud.
- 10.11 Zanjas de talud.
- 10.12 Dren tipo espina de pescado.
- 10.13 Detalles de un anclaje y ejemplos de aplicación.
- 10.14 Contención de un deslizamiento mediante un muro.
- 10.15 Relleno estabilizador sostenido por el muro
- 10.16 Tipos de muros.
- 10.17 Muro de tierra armada.
- 10.18 Detalle de muro de tierra armada.
- 10.19 Muros de gravedad.
- 10.20 Muros de espesor máximo
- 10.21 Muro en L
- 10.22 Muros de concreto armado tipo flexión.
- 10.23 Muros de contrafuertes.
- 10.24 Muro jaula compuesto de celdas superpuestas.
- 10.25 Muros de apoyo.
- 10.26 Muros de apoyo con sacos de suelo-cemento.
- 10.27 Ejemplos de muros de pantalla.
- 10.28 Muros de gaviones.
- 10.29 Ubicación de gaviones.
- 10.30 Instalación de capas de drenaje detrás del muro.
- 10.31 Ejemplo de muros con pilote.

RELACION DE LAMINAS

1. Mapa de población. 1:200,000
2. Mapa de ubicación de obras de infraestructura. 1:200,000

3. Mapa de clasificación climática. 1:200,000
4. Mapa geomorfológico. 1:200,000
5. Mapa geológico. 1:200,000
6. Mapa de valores de pH en muestras de agua
7. Mapa de valores de SDT en muestras de agua
8. Mapa de valores de Pb en muestras de agua
9. Mapa de valores de Mn en muestras de sedimentos
10. Mapa de valores de Zn en muestras de sedimentos
11. Mapa de unidades litológicas. 1:200,000
12. Mapa de pendientes de los terrenos. 1:200,000
13. Mapa de precipitación total anual. 1:200,000
14. Mapa de zonificación sísmica. 1:200,000
15. Mapa de inventario de peligros geológicos. 1:200,000
16. Mapa de susceptibilidad. 1:200,000
17. Mapa de vulnerabilidad. 1:200,000
18. Mapa de Riesgo geológico. 1:200,000

ANEXOS

Resultado de análisis químicos (Laboratorio de Espectrometría-FIGMM-UNI)

AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo, fué posible gracias al Instituto Geológico, Minero y Metalurgico (INGEMMET), que en el marco de su programa de apoyo a tesis, me permitió desarrollar el «*ESTUDIO DE RIESGO GEOLOGICO DE LA CUENCA DEL RÍO MALA*», durante el desarrollo del «ESTUDIO DE RIESGOS GEOLOGICOS DEL PERÚ-FRANJA N° 03», efectuado por la DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL del INGEMMET.

Mi mayor agradecimiento a las autoridades del INGEMMET, en la persona del Ing. Hugo Rivera Mantilla, Director Ejecutivo del INGEMMET, por todo el apoyo para concluir la presente tesis de investigación. Gracias mil.

Al Ing Antonio Guzmán Martínez, Director de Geología Ambiental y mi asesor de tesis en el INGEMMET cuyas orientaciones y consejos, me dieron una mejor visión, sobre el campo de la Ingeniería Geológica. Muchas gracias.

A los profesionales de la DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL. En primer lugar agradezco al Ing. Lionel Fídel, por su asesoría, sus críticas y consejos, que fueron fundamentales para guiar esta investigación. Así mismo agradezco a los Ings: Segundo Núñez, Marco Rivera, Walter Pari y Bilberto Zavala; su amistad y compañerismo, me brindaron un ambiente cálido, esencial para concluir con tranquilidad mi trabajo.

A mis asesores académicos: el Ing Carlos Vallejo Cortez y el Ing. David Rojas Caballero, por su interés y apoyo incondicional para llevar a buen término éste trabajo de Tesis, les agradezco enormemente.

Un agradecimiento muy especial al Ing. Atilio Mendoza Apolaya, Director del Instituto de Minería y Medio Ambiente de la FIGMM-UNI, que colaboró con mi trabajo desde que nació la idea de este proyecto hasta su conclusión. Gracias de verdad.

No puedo dejar de agradecer al Ing. Oscar Palacios Moncayo por sus orientaciones, a mi amiga la dibujante Rosa Velito Rivera por sus esfuerzos para concluir los mapas del estudio y a las demas personas que colaboraron conmigo durante el desarrollo de esta Tesis.

RESUMEN

La presente Tesis, está orientada al planeamiento de la ocupación y desarrollo territorial de una cuenca, en base a la influencia del Riesgo producto de las condiciones geológicas y antrópicas, ha sido dividida en 10 capítulos: En los capítulos I, II y III se tratan aspectos generales del estudio, encontrándose que la cuenca del río Mala, por su ubicación geográfica, condiciones climáticas, demográficas, etc; es un área en crecimiento poblacional y económico, con recursos inexplorados e inexplorados.

En los capítulos IV y V, se evalúan aspectos hidrológicos y geomorfológicos, determinándose por los parámetros y análisis efectuado, que en oportunidades de crecidas de agua, en general se generaría una respuesta rápida de los ríos de la cuenca, que favorece la erosión fluvial y los desbordes.

En los capítulos VI y VII se presentan los aspectos geológicos y geodinámicos determinándose que los peligros geológicos de remoción en masa, son los que tienen mayor recurrencia y se manifiestan principalmente en la cuenca media y alta.

En el capítulo VIII se presentan los resultados de análisis ambiental del estado de la cuenca, que incluye aspectos sobre muestreo de aguas y sedimentos, determinándose en general que no existen peligros de contaminación en la cuenca, siendo el único impacto negativo el provocado por el hombre a la actividad agrícola, en el área de la cuenca baja.

Teniendo el marco general ya especificado, en el capítulo IX se analiza la peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo presentes en la cuenca, en relación a los procesos geodinámicos encontrados y a los generados por la actividad antrópica; para presentar luego la zonificación del riesgo geológico, encontrándose que las zonas de riesgo muy alto se ubican entre las localidades de Sangallaya y Huampará de la provincia de Huarochirí.

Finalmente en el capítulo XI se presentan alcances sobre medidas de prevención o mitigación para las zonas más vulnerables.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

Conocedores de que la cuenca del río Mala, una de las 53 principales cuencas de la Vertiente Pacífica del Perú, carece de estudios geodinámicos en el ámbito regional o local, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) a través de la Dirección de Geología Ambiental en el año 2002, contempló la realización del «Estudio de Riesgo Geológico de la cuenca del río Mala» con fines de Tesis, durante la ejecución del estudio «Riesgos Geológicos del Perú. Franja N° 03 (paralelos 12-14°)».

Dicho estudio se ha realizado en el marco del convenio UNI-INGEMMET, en el que se brinda apoyo a tesis de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), para optar el título profesional de Ingeniero Geólogo de la Escuela Profesional de Geología, de la Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica.

En la presente Tesis, se da énfasis en la planificación de la prevención de desastres naturales en la cuenca del río Mala, demostrándose que es afectada por más de un problema de geodinámica externa e interna (huaycos, inundaciones, inestabilidad de taludes, sismos).

Entre Enero y Setiembre del 2002, la consultora Walsh Perú SA. realizó el «Estudio de Impacto Ambiental y Social de los Transportes de Gas Natural y Transporte de Líquidos de Gas, Camisea-Lima, Variantes Pacobamba-Chilca» en el que se evaluó el posible impacto a generarse en la construcción de vías de acceso para el Proyecto Camisea en el trayecto señalado, donde se atraviesa parte de la cuenca baja del río Mala.

En Septiembre de 1976, la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN, actualmente Instituto Nacional de los Recursos Naturales (INRENA) realizó el estudio «Inventario Evaluación y Uso Racional de los Recursos Naturales de la Costa: Cuencas Mala-Chilca y Omas», donde se presenta datos sobre el potencial

de los recursos naturales de estos valles y los problemas que afectan el uso de su territorio.

1.2 OBJETIVOS Y ALCANCES DEL ESTUDIO

El objetivo general del presente estudio es evaluar la presencia de fenómenos naturales y antrópicos, en el territorio de la cuenca del río Mala, para determinar la recurrencia de los fenómenos naturales peligrosos y conocer el grado de riesgo, peligrosidad y vulnerabilidad al que están sometidos los centros poblados, zonas agrícolas, asentamientos mineros y obras de infraestructura que se ubican y proyectan en ella, para colaborar a un planteamiento de desarrollo territorial de la cuenca; considerando que en la mayoría de las cuencas hidrográficas del Perú es donde ocurren o se generan eventos geodinámicos destructivos.

Objetivos específicos desarrollados en el presente estudio son:

Determinar el estado físico del territorio de la cuenca.

Inventariar los fenómenos naturales y antrópicos, que afectan y han afectado a la cuenca.

Determinar los recursos naturales de la cuenca.

Evaluar el estado de centros poblados y obras de infraestructura.

Analizar la vulnerabilidad de centros poblados, mineros, industriales, etc. ante la ocurrencia de fenómenos naturales.

Establecer las fuentes de contaminación natural y antropogénica analizando los impactos generados.

Establecer parámetros de prevención ante la ocurrencia de las diferentes clases de fenómenos naturales que afecten a la cuenca.

Efectuar el zoneamiento del Riesgo Geológico en la cuenca.

Proponer medidas preventivas y correctivas frente a la ocurrencia de desastres naturales actuales y potenciales en la cuenca.

Presentar los resultados del estudio y su interpretación para optar el Título Profesional de Ingeniero Geólogo.

1.3 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

El estudio geoambiental de la cuenca del río Mala, se justifica porque en él se busca resolver las siguientes interrogantes: ¿Cuál es la zonificación del riesgo geológico, en el área de la cuenca del río Mala?, ¿Dónde se encuentran las zonas más afectadas y dónde podrían ocurrir daños en el futuro?, ¿Cuáles son los peligros geológicos y/o antrópicos presentes en ella? ¿Existe contaminación ambiental en la cuenca del río Mala? ¿Que medidas de mitigación y control se pueden realizar?.

Los resultados del presente estudio mediante la identificación, calificación, evaluación y de los peligros geológicos permitira localizar y caracterizar, las posibles poblaciones afectadas y/o susceptibles a Riesgo geoambiental y sugerir medidas preventivas y de corrección de los daños producidos por desastres naturales y antrópicos. Dichas medidas pueden ser adoptadas por los gobiernos locales en la planificación territorial de los diferentes centros urbanos de la cuenca y en elaboración de planes de acción para el tratamiento de áreas afectadas. Esto redundará en beneficio de los habitantes de dichas áreas, así como en la preservación de la calidad de los recursos naturales.

Además este estudio puede ser utilizados por los organismos encargados de planificación del uso de la tierra, preparación y respuesta a desastres, servicios públicos, seguridad nacional y comunitaria (INDECI, INRENA, PRONAMACH, etc); como apoyo en la elaboración de trabajos de ordenamiento territorial de la cuenca. También podría servir en la preparación de proyectos de inversión para solicitar financiamiento bancario.

1.4 METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO

La metodología del estudio ha comprendido tres fases: Gabinete I, Fase de Campo y Gabinete II.

Basándose en las observaciones y evaluaciones hechas se han establecido las medidas alternativas de prevención y corrección.

Gabinete I: Ha consistido en:

1. Recopilación y selección del material bibliográfico existente sobre el área de estudio:

Información geológica y cartográfica.

Información hidro-meteorológica.

Información sísmica.

Información minera de actividades económicas

Información sobre aspectos socio-económicos

2. Interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales (Landsat TM).

3. Preparación de información básica para los trabajos de campo.

Planificación del trabajo de campo.

Elaboración de mapas preliminares (geológico, hidrográfico, plano de ubicación, etc).

Establecimiento de probables puntos de muestreo.

Trabajo de Campo: La fase de campo ha comprendido las siguientes actividades:

Cartografiado e inventario de áreas susceptibles a la ocurrencia de fenómenos de geodinámica externa.

Inventario de fenómenos naturales y antropicos ocurrentes en el área de estudio.

Inventario y evaluación preliminar de los daños sobre infraestructura y población.

Inventario de zonas arqueológicas y áreas geológicas de interés turístico.

Muestreo sistemático de aguas, suelos y sedimentos.

Gabinete II: En esta fase, con la información obtenida en el campo, se realizaron las siguientes actividades:

1. Ensayos de laboratorio:

Análisis de aguas:

Análisis químicos de sólidos totales y sólidos disueltos

Análisis de sedimentos:

Análisis químicos por elementos contaminantes

2. Procesamiento e interpretación de datos

Tratamiento de información proveniente de laboratorios.

Tratamiento de información hidrológica.

Tratamiento de información sísmica.

Análisis e integración de información obtenida en el trabajo de campo, gabinete y laboratorio.

3. Evaluación de zonas críticas.

4. Preparación de mapas, cuadros, figuras y gráficos.

5. Redacción de la tesis.

1.5 MAPA BASE

En la ejecución del estudio, se han utilizado como base, mapas fotogramétricos editados por el IGN a escala 1:100,000; fotos aéreas e imágenes satelitales del área de estudio, para delimitar la cuenca del río Mala; y generar los mapas de pendientes, geológico, litológico, geomorfológico, de infraestructura, vegetación, etc.

1.6 TRABAJOS ANTERIORES

Existen varios estudios efectuados en la cuenca, entre ellos:

- o «Estudio Geológico Preliminar de la Zona Nor-Este de Mala» ARIZOLA, V. (1961).
- o «Características hidrogeológicas del valle de Mala» de Guizado, A. (1975),
- o «Inventario, Evaluación y Uso Racional de los Recursos Naturales de la Costa, Cuencas Mala, Chilca y Asia-Omas» de ONERN (1976)
- o «Geología de los Cuadrángulos de Matucana y Huarochirí» por Salazar, H. (INGEMMET, 1983)
- o «Geología de los Cuadrángulos de Mala, Lunahuaná, Tupe, Conayca, Chincha, Tantará y Castrovirreyna» por Salazar, H. et al. (INGEMMET, 1993).

- o «Estudio de Impacto Ambiental y Social de los Transportes de Gas Natural y Transporte de Líquidos de Gas, Camisea-Lima, Variantes Pacobamba-Chilca» 2002, por la consultora Walsh Perú SA para Transportadora Gasificadora del Perú (TGP).

CAPITULO II

CONCEPTOS GENERALES Y MARCO LEGAL DEL ESTUDIO

Para lograr los objetivos trazados en el presente estudio, es necesario conocer algunos conceptos generales, utilizados durante el desarrollo del mismo.

2.1 CONCEPTOS GENERALES

En el estudio, prevención y mitigación de los riesgos geológicos, se han adoptado los métodos y técnicas de análisis usados en diferentes ramas de la Ingeniería ligadas al área industrial, defensa civil, compañías de seguro, etc, utilizando para ello una terminología propia en la definición de la peligrosidad, la vulnerabilidad y el riesgo.

A continuación se presenta la definición de cada concepto según su uso mas extendido.

2.1.1 Peligrosidad: P

Es la probabilidad de ocurrencia de un proceso de una intensidad determinada dentro de un periodo de tiempo y dentro de un área específica (Varnes, 1984, Barbat, 1998). Para su evaluación es necesario conocer:

Donde y cuando ocurrieron los procesos en el pasado.

La intensidad y magnitud que tuvieron.

Las zonas en que pueden ocurrir procesos futuros.

La frecuencia de ocurrencia (solo estimable si se conocen los parámetros temporales del proceso, por ejemplo: período de retorno(*) de los sismos, inundaciones, etc; a partir de datos históricos).

Para el propósito de toma de decisiones en una planificación territorial a nivel regional, la peligrosidad raramente está basada estrictamente en información histórica, generalmente el valor de ésta es reajustada tomando en cuenta la información disponible en el momento (Young, 1979; Binswanager, 1980)

(*): El concepto de período de retorno o de recurrencia de un fenómeno natural indica el tiempo que puede transcurrir entre un fenómeno y otro de similar intensidad. Es una estimación que presupone la posibilidad de repetición del suceso en función de la información histórica existente, por lo tanto, posee un grado de incertidumbre manifiesta y su utilización debe realizarse con sumo cuidado (siempre puede ocurrir un fenómeno de mayor intensidad).

2.1.1.1 Peligros naturales Para Petak (1982) los peligros naturales son todos los fenómenos atmosféricos, hidrológicos, geológicos que por su severidad y frecuencia pueden afectar de manera adversa a los seres humanos, a sus estructuras o actividades.

2.1.1.2 Peligros geológicos Según Burton (1978) son aquellos elementos del medio ambiente físico perjudiciales al hombre y causados por fuerzas ajenas a él.

2.1.2 Vulnerabilidad: V

Es el grado de daños o pérdidas potenciales en un elemento o conjunto de elementos como consecuencia de la ocurrencia de un fenómeno de intensidad determinada. Los elementos expuestos pueden ser personas, bienes, propiedades, infraestructuras, servicios, que pueden sufrir las consecuencias, directas o indirectas de un proceso geológico, en una determinada zona. En el cuadro N° 2.1 se presentan los factores a considerar en la evaluación de la vulnerabilidad.

2.1.3 Riesgo: R

Es la probabilidad de que eventos peligrosos produzcan pérdidas de vidas humanas, propiedades, capacidad productiva, etc en una determinada área sujeta a peligrosidad (Smith, 2001).

Según Varnes, (1984), se define como el grado de pérdidas esperado durante un periodo de tiempo dado como consecuencia de la ocurrencia de un determinado proceso. Es una pérdida potencial, evaluada a partir de la expresión:

$$R = P \times P_e$$

Donde P es la peligrosidad y P_e las pérdidas esperadas.

Según las definiciones de la UNESCO (1984) el riesgo se evalúa de la siguiente expresión:

$$R = P \times V \times E$$

Donde E es la exposición de los elementos en riesgo, P es la peligrosidad y V es la vulnerabilidad.

Un aspecto importante es diferenciar un riesgo actual de uno potencial. Los riesgos actuales están acompañados de daños (aunque no necesariamente en todo su potencial), tal el caso de la explotación de un acuífero contaminado. Los daños asociados a un determinado proceso geológico dependen de:

La velocidad, magnitud y extensión del proceso, por ejemplo los movimientos de un terreno pueden ocurrir de forma violenta y catastrófica (terremotos, deslizamientos repentinos, hundimientos) o de manera lenta (flujos, reptación de suelos, subsidencias, etc.)

La posibilidad de prevención y predicción y el tiempo de aviso, algunos procesos como terremotos o avenidas repentinas no pueden ser previstos, disponiéndose de muy poco o ningún tiempo para alertas.

La posibilidad de actuar sobre el proceso y controlarlo o de proteger los elementos expuestos a sus efectos.

Por otro lado, un riesgo potencial implica la posibilidad de que un fenómeno tenga lugar, por ejemplo un poblado localizado en las cercanías de un volcán actualmente inactivo.

Cuadro N° 2.1
FACTORES A CONSIDERAR EN LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

Vulnerabilidad	Daños o pérdidas	Factores determinantes
Social	Muertos y desaparecidos. Heridos y discapacitados. Personas sin vivienda. Personas sin trabajo. Epidemias y enfermedades. Pérdida de elementos del Patrimonio cultural.	Intensidad y velocidad del fenómeno. Densidad poblacional. Vulnerabilidad de obras de infraestructura. Tiempo de aviso. Sistemas de emergencia y respuesta.
Estructural	Daños sobre edificios y estructuras. Daños sobre el contenido de los mismos. Pérdida de beneficios. Efectos sobre las personas.	Intensidad y velocidad del fenómeno. Tipo y características de las obras de infraestructura. Concentración en áreas de población.
Económica	Costos de reposición, reparación o mantenimiento de estructuras, instalaciones o propiedades, sistemas de comunicación, electricidad, etc. Reducción del valor de los bienes. Interrupción de los sistemas de transporte. Pérdidas de productividad del suelo agrícola o industrial. Pérdida de ingresos por impuestos. Pérdidas en la productividad humana. Pérdidas en beneficios comerciales. Pérdidas en la recaudación de impuestos. Costos de medidas preventivas o de mitigación. Pérdida de calidad de aguas y contaminación.	Tipo y Vulnerabilidad de las Obras de infraestructura. Densidad poblacional y Concentración en áreas de población. Tiempo de aviso y respuesta de los Sistemas de emergencia. Intensidad, velocidad y dimensiones del fenómeno. Contaminación por residuos sólidos en ríos y sus afluentes.

(Modificado de Smith. 2001).

2.1.3.1 Principales procesos naturales causantes de riesgos

Pueden ser divididos en tres grandes grupos: Procesos geodinámicos externos, procesos geodinámicos internos y procesos hidrometeorológicos.

En el cuadro N° 2.2 se observa de manera resumida dichos procesos.

**CUADRO N° 2.2
PRINCIPALES PROCESOS NATURALES CAUSANTES DE RIESGOS**

Procesos geodinámicos externos	Deslizamientos y desprendimientos. Hundimientos y subsidencias. Erosión. Expansividad y colapsividad de suelos.
Procesos geodinámicos internos	Terremotos y tsunamis. Vulcanismo. Diapirismo.
Procesos hidrometeorológicos	Lluvias torrenciales y precipitaciones intensas. Inundaciones y avenidas. Procesos de arroyada. Huracanes. Tornados. Sequías

(Modificado de Smith. 2001).

2.1.3.2 Riesgo Geológico

Riesgo geológico es todo proceso, evento o suceso en el medio geológico, natural, inducido o mixto, que puede generar un daño social, estructural o económico de alguna área o región determinada y en cuya predicción, prevención o corrección deben emplearse criterios apropiados.

Las condiciones ambientales en cualquier momento reflejan la influencia humana y también la de los procesos y fenómenos naturales que se han sucedido durante la larga historia evolutiva de la Tierra.

Estos fenómenos pueden ser rápidos, (terremotos, erupciones volcánicas) o lentos (erosión de playas, etc). Pueden afectar sectores relativamente específicos, como un derrumbe o un deslizamiento, o grandes regiones, como las inundaciones.

A) Principales factores condicionantes para la ocurrencia de riesgo Geológico

Los factores que propician la ocurrencia de riesgo geológico, son de dos tipos: Factores naturales y factores antrópicos.

A.1 Factores naturales

Estos se pueden diferenciar en estáticos y dinámicos.

A.1.1 Factores naturales estáticos: Son Factores geológicos–geotécnicos inherentes (factores de sitio). Se dividen en:

Geomorfológicos: Fisiografía (forma y pendiente del terreno); grado de erosión del suelo.

Litológicos: Tipo de roca y/o suelo (Tienen diferente grado de erosión, permeabilidad, fracturamiento, espesor).

Estructurales: Presencia y distribución de fracturas (buzamiento, rumbo y foliación favorables a la pendiente), fallas (antiguas o activas), plegamientos, etc.

A.1.2 Factores naturales dinámicos: Del entorno geográfico. Entre ellos se consideran a las variaciones climatológicas, regímenes hidrológicos, meteorológicos, hidrogeológicos y sísmicos.

Estos factores dependen en mayor grado de su ubicación geográfica, parámetros meteorológicos y sismicidad de la región.

A.2 Factores antrópicos

Los factores antrópicos están generalmente relacionados a la interacción del hombre con el medio natural, como en la construcción de obras civiles, minería, actividad agrícola, asentamientos poblacionales en un territorio, que en algunos casos crea situaciones de potencial riesgo, generando mecanismos que se manifiestan en forma idéntica a los desencadenantes del fenómeno natural. Dentro de los factores antrópicos que colaboran en el desencadenamiento de fenómenos de geodinámica externa se tienen: La deforestación masiva, la ampliación de terraplenes al pie de los taludes, el cierre de cauces naturales, canalizaciones forzadas o mal calculadas, mal manejo del sistema de riego, etc.

En el cuadro N° 2.3 se presentan las características principales de los factores naturales y de los factores antrópicos que inducen la ocurrencia del riesgo geológico.

2.2 MARCO LEGAL AMBIENTAL

Como en el presente estudio se tocan aspectos relacionados al cuidado del medio ambiente, a continuación se dan a conocer las normas legales que rigen actualmente en nuestro país, aplicables a este estudio.

En primer lugar, se tienen las leyes especificadas en la CONSTITUCIÓN POLÍTICA DEL PERÚ de 1993:

En el título I: de la persona y de la sociedad, Capítulo II: *De los Derechos Sociales y Económicos*, en el artículo 21º, sobre el Patrimonio Cultural de la Nación, se refiere que:

CUADRO N° 2.3
PRINCIPALES FACTORES CONDICIONANTES PARA LA OCURRENCIA DE RIESGO GEOAMBIENTAL

CARACTERÍSTICAS		PELIGROS GEOLÓGICOS INDUCIDOS
FACTORES NATURALES ESTÁTICOS		
LITOLOGÍA DEL SUBSTRATO	Rocas o formaciones geológicas susceptibles a erosión hídrica; rocas meteorizadas y/o fuertemente fracturadas de mala calidad; substrato rocoso con perfiles de meteorización altos (suelos residuales).	Erosión de laderas, deslizamientos, derrumbes, reptación de suelos, hundimientos.
TIPO DE SUELOS	Suelos superficiales de poco espesor cohesivos y no cohesivos, sujetos a cambios de volumen por saturación de agua, cambios de temperatura.	Erosión de laderas, reptación de suelos, deslizamientos y derrumbes.
PENDIENTE DEL TERRENO	Grado de pendiente favorable al movimiento (laderas, acantilado, terraza); Pendiente del cauce o valles fluviales.	Deslizamientos, derrumbes, caídas de rocas, en valles de moderada a fuerte pendiente.
DISCONTINUIDADES FAVORABLES EN LAS ROCAS	Estratificación y buzamiento de las rocas con orientación favorable; tipos de fracturamientos principales en el substrato (roturas: planares, en cuña, por vuelco y globales en macizos rocosos muy diaclasados).	Caídas de rocas, vuelcos, deslizamientos planares o pandeos (de bloques o estratos); deslizamiento o derrumbes en cuñas y movimientos complejos.
GEOMORFOLOGÍA	Formas de relieve en general: valles con laderas de fuerte pendiente, valles encañonados, valles estrechos inundables; laderas o frentes escarpados; acantilados rocosos; plano-depresiones; Cuestas, etc.	Deslizamientos y caídas; inundaciones por efectos pluviales y fluviales.
FACTORES NATURALES DINÁMICOS, CLIMÁTICOS E HIDROLÓGICOS		
PRECIPITACIONES PLUVIALES	Índices de pluviosidad alta o lluvias excepcionales (El Niño). Aumentan las subpresiones del terreno al infiltrarse por discontinuidades, grietas y la sobrecarga debido a su propio peso. Absorción de agua por minerales arcillosos, en suelos cohesivos, produciendo hinchamiento de los mismos.	Flujos (flujos de lodo, huaycos, aluviones), deslizamientos y movimientos complejos, caídas (derrumbes), erosión de laderas.
DINÁMICA FLUVIAL Y MARINA	Según la intensidad de la corriente causan socavamiento en el pie de los taludes, disminuyendo o eliminando su soporte e incrementando a la vez el esfuerzo de corte en los materiales. La acción de los ríos se incrementa durante las máximas avenidas, mientras que el fuerte oleaje contribuye al modelado de los acantilados costeros.	Erosiones fluviales en riberas de ríos y costeras (acantilados); inundaciones fluviales a lo largo de valles, lagunares y costeras; derrumbes en las márgenes fluviales y como consecuencia generación de huaycos.
AGUAS SUBTERRANEAS	Producen disolución y cambios fisico-químicos en las rocas, afectando su composición. En regiones kársticas producen hundimiento de cavernas. El agua de infiltración produce expansión y contracción de suelos, en periodos alternantes de lluvia (lluvias estacionales a excepcionales) y periodos largos de sequía. Aumento de la presión intersticial o de poros de suelos por cambios bruscos en el nivel freático (saturación).	Deslizamientos y/o movimientos complejos, derrumbes, hundimientos de tierras, en laderas de valles.

CARACTERÍSTICAS		PELIGROS GEOLÓGICOS INDUCIDOS
HIELO Y NIEVE	Acción hielo-deshielo de terrenos saturados. Los glaciares modelan valles con paredes rocosas escarpadas. Disgregación mecánica por repetida y rápida	Flujos y movimientos complejos desde lentos hasta extremadamente violentos (reptación, solifluxión; aluviones);
SISMICIDAD, FALLAS ACTIVAS Y VULCANISMO		
SISMOS, TSUNAMIS Y ACTIVIDAD VOLCANICA	Deformaciones y movimientos de tierras a lo largo de fallas (FALLAS ACTIVAS, durante la ocurrencia de grandes sismos. Licuefacción de suelos (arenas saturadas sin drenaje y arcillas). Actividad volcánica o sismo-volcánica asociada, modifican laderas que forman sus conos y los materiales depositados sobre ellos (coluvios, nieve o hielo).	Factores desencadenantes de grandes deslizamientos, desprendimientos, flujos y movimientos complejos; y/o avalancha de escombros; inundaciones costeras en el caso de tsunamis o maremotos.
ACTIVIDAD BIOLÓGICA Y PRESENCIA DE VEGETACIÓN		
No constituye factor determinante, pero si condicionan de forma notable la acción de otros factores.		Erosión de laderas; deslizamientos, derrumbes.
SUBSIDENCIA REGIONAL		
Asociada a fenómenos sismo-tectónicos, que producen cambios en los niveles del mar y la tierra, en		Procesos lentos de reptación o deslizamiento de tierras.
FACTORES ANTRÓPICOS		
EXCAVACIONES	Modificación de la estabilidad de laderas naturales y variación de su estado de equilibrio, creados por la construcción de carreteras, canales, etc.	Caidas (caída de rocas y derrumbes); deslizamientos en taludes de redes viales.
VOLADURAS	Vibraciones producidas actúan como pequeños sismos, cuya consecuencia inmediata es la ampliación del fracturamiento preexistente en material rocoso, generando nuevas áreas potenciales de deslizamientos (obras civiles en general).	Caidas de rocas, vuelcos, deslizamientos de rocas en taludes de cortes de carretera, canales.
SOBRECARGAS	Incremento del peso debido a diferentes tipos de construcciones sobre terrenos naturales (rellenos y terraplenes) inestables.	Hundimientos de tierras; deslizamientos.
ACTIVIDAD MINERA	Explotación de canteras no metálicas, minería a tajo abierto y minería subterránea (mediana y gran minería). Hundimiento de galerías de explotación abandonadas (pequeña, mediana y gran minería).	Caidas (caída de rocas y derrumbes) en labores mineras; vuelcos o toppling en canteras o tajos abiertos; deslizamientos y movimientos complejos.
APROVECHAMIENTO DE RECURSOS HIDRICOS	Irrigación de grandes áreas de cultivo en terrenos sumamente permeables. Explotación de aguas subterráneas.	Deslizamientos, derrumbes, hundimientos y movimientos complejos, en laderas de valles.
GENERADOS POR EL COLAPSO DE ALGUNA INFRAESTRUCTURA EXISTENTE	Ruptura de una presa o embalse artificial, presa de relaves, por inducción sísmica y/o volcánica.	Huaycos y/o aluviones; inundaciones.

(Modificado de "Estudio de Riesgo Geológico del Perú, Franja N° 01" INGEMMET, Dirección de Geología Ambiental, 2001).

«Los yacimientos y restos arqueológicos, construcciones, monumentos, lugares, documentos bibliográficos y de archivo, objetos artísticos y testimonios de valor histórico, expresamente declarados bienes culturales, y provisionalmente los que se presumen como tales. son patrimonio cultural de la Nación, independientemente de su condición de propiedad privada o pública. Están protegidos por el Estado.

La ley garantiza la propiedad de dicho patrimonio. Fomenta conforme a ley, la participación privada en la conservación, restauración, exhibición y difusión del mismo, así como su restitución al país cuando hubiere sido ilegalmente trasladado fuera del territorio nacional».

En el título III: DEL REGIMEN ECONÓMICO, Capítulo II: *Del ambiente y los recursos naturales*, artículos 66º, 67º y 68º sobre los recursos naturales, se refiere que:

Artículo 66º. - Los recursos naturales renovables y no renovables son patrimonio de la Nación. El Estado es soberano en su aprovechamiento.

Por ley orgánica se fijan las condiciones de su utilización y de su otorgamiento a particulares. La concesión otorga a su titular un derecho real, sujeto a dicha norma legal.

Artículo 67º. - El Estado determina la política nacional del ambiente. Promueve el uso sostenible de sus recursos naturales.

Artículo 68º.- El Estado está obligado a promover la conservación de la diversidad biológica y de las áreas naturales protegidas.

En el título IV: *De la estructura del Estado*, Capítulo XIV, artículos 188º, 189º , 190º y 197 dice:

Artículo 188º.- La descentralización es un proceso permanente que tiene como objetivo el desarrollo integral del país.

Artículo 189º.- El territorio de la República se divide en regiones, departamentos, provincias y distritos, en cuyas circunscripciones se ejerce el gobierno unitario de manera descentralizada y desconcentrada.

Artículo 190º.- Las Regiones se constituyen por iniciativa y mandato de las poblaciones pertenecientes a uno o más departamentos colindantes.

Las provincias y los distritos contiguos pueden asimismo integrarse o cambiar de circunscripción.

Artículo 197°. - Las regiones tienen autonomía política, económica y administrativa en los asuntos de su competencia.

Les corresponden, dentro de su jurisdicción, la coordinación y ejecución de los planes y programas socioeconómicos regionales, así como la gestión de actividades y servicios inherentes al Estado, conforme a ley.

En Setiembre del año 1990, se aprueba el CÓDIGO DEL MEDIO AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES (Decreto legislativo N° 613), donde, se establece la necesidad de preservar el medio ambiente. En dicho documento, se señala:

En el Título preliminar, artículos II, IV, VIII, IX, XI:

Artículo II.- Patrimonio Común de la Nación

El medio ambiente y los recursos naturales constituyen patrimonio común de la Nación. Su protección y conservación son de interés social y pueden ser invocados como causa de necesidad y utilidad públicas.

Artículo IV.- Ambito del territorio nacional

El territorio de la República comprende a su patrimonio ambiental.

Artículo VIII.- Formación de conciencia sobre la protección ambiental como deber del Estado

Es deber del Estado formar conciencia acerca de la importancia del medio ambiente, promoviendo la transmisión de los conocimientos, el desarrollo de las habilidades y destrezas y la formación de valores, en torno de los procesos ecológicos esenciales, los sistemas vitales de la diversidad biológica y del uso sostenido de los recursos.

La educación ambiental es parte integrante de los programas educativos en todos los niveles.

Artículo IX.- Son consideradas ilegítimas las Acciones que impliquen el exterminio de la flora o fauna

Ninguna consideración o circunstancia pueden legitimar o excusar acciones que pudieran implicar el exterminio de especies o subespecies vegetales o animales.

Artículo XI.- La preservación del ambiente y el uso sostenible de los recursos naturales es de carácter obligatorio

El mantenimiento de los procesos ecológicos esenciales, la preservación de la diversidad genética y la utilización sostenida de las especies, de los ecosistemas y de los recursos naturales renovables en general, es de carácter obligatorio.

La utilización de los recursos naturales no renovables debe efectuarse en condiciones racionales y compatibles con la capacidad de depuración o recuperación del ambiente y de regeneración de dichos recursos.

En el capítulo II: *De la planificación ambiental*, artículo 7º: Criterios para el Ordenamiento Ambiental, se señala que:

Para el ordenamiento ambiental, la autoridad competente considerará fundamentalmente los siguientes criterios:

1. La naturaleza y características de cada ecosistema.
2. La aptitud de cada zona en función de sus recursos naturales, la distribución de la población y las actividades económicas predominantes.
3. Los desequilibrios existentes en los ecosistemas por efecto de los asentamientos humanos, de las actividades económicas o de otras actividades humanas o fenómenos naturales.
4. El equilibrio indispensable de los asentamientos humanos y sus condiciones ambientales.
5. El impacto ambiental de nuevos asentamientos humanos, obras o actividades.
6. La capacidad asimilativa del área.
7. Los hábitos y costumbres de cada región.

En el capítulo X: *De las áreas naturales protegidas (ANP)*, artículos 51, 52 y 55 se señala:

Artículo 51º.- Áreas Naturales Protegidas (ANP). Carácter Público

Son áreas naturales protegidas las extensiones del territorio nacional que el Estado destine a fines de investigación, protección o manejo controlado de sus ecosistemas, recursos y demás riquezas naturales.

Las áreas naturales protegidas son de dominio público y constituyen muestras representativas del patrimonio natural de la Nación. Se establecen con carácter definitivo.

La comunidad tiene derecho a participar en la identificación, delimitación y resguardo de estas áreas y la obligación de colaborar en la consecución de sus fines.

Artículo 52º.- Inclusión de las ANP en la Carta Nacional y en todos los mapas

En la Carta Nacional y en todos los mapas del país que divulguen con fines científicos, técnicos, educativos, turísticos, comerciales o de cualquier otra índole, deben figurar las áreas naturales protegidas por el Estado.

Artículo 55º.- Objetivos Generales de las ANP

Son objetivos generales de las áreas naturales protegidas los siguientes:

- a) Proteger y mejorar la calidad del medio ambiente.
- b) Proteger y conservar muestras de la diversidad natural.
- c) Mantener los procesos ecológicos esenciales y detener el deterioro de los mismos.
- d) Conservar, incrementar, manejar y aprovechar sostenidamente los recursos naturales renovables.
- e) Preservar, conservar, restaurar y mejorar la calidad del aire, de las aguas y de los sistemas hidrológicos naturales.
- f) Conservar, restaurar y mejorar la capacidad productiva de los suelos.
- g) Proteger y conservar muestras representativas de cada una de las especies de flora y fauna nativas y de su diversidad genética.
- h) Proteger, conservar y restaurar paisajes singulares
- i) Conservar formaciones geológicas, geomorfológicas y fisiográficas.

j) Proteger, conservar y restaurar los escenarios naturales donde se encuentren muestras del patrimonio cultural de la Nación o se desarrollen acontecimientos gloriosos de la historia nacional.

En el capítulo XV: *De la prevención de los desastres naturales* artículos 91 y 92 dice:

Artículo 91°.- Acción conjunta de la población

Todas las entidades nacionales, públicas y privadas, personas naturales o jurídica, están obligadas a participar en la prevención y solución de los problemas producidos por los desastres naturales.

Artículo 92°.- Sistema Nacional de Defensa Civil

Es responsabilidad del Estado a través del Sistema Nacional de Defensa Civil, coordinar con los sectores público y privado, la formulación, ejecución y actualización de los planes respectivos para afrontar desastres naturales o inducidos, que puedan producirse en cualquier área del país, así como la ejecución de acciones orientadas a la atención y rehabilitación de las áreas afectadas.

Por otro lado en la LEY GENERAL DE AGUAS (Decreto Ley N° 17752, año 1969), se señala:

En el Título I: *Disposiciones generales*, artículos 1°, 2°,3°, 4°,5° y 10°:

Artículo 1°.- Inalienabilidad e imprescriptibilidad de las aguas. Finalidades

Las aguas, sin excepción alguna, son de propiedad del Estado y su dominio es inalienable e imprescriptible. No hay propiedad privada de las aguas ni derechos adquiridos sobre ellas. El uso justificado y racional del agua, sólo puede ser otorgado en armonía, con el interés social y el desarrollo del país.

Artículo 2°.- Deber del Estado en cuanto a los recursos hídricos

En armonía con las finalidades señaladas en el artículo anterior, en cuanto a los recursos hídricos, el Estado deberá:

- a) Formular la política general de su utilización y desarrollo;
- b) Planificar y administrar sus usos de modo que ellos tiendan a efectuarse en forma múltiple, económica y racional;

- c) Inventariar y evaluar su uso potencial;
- d) Conservar, preservar e incrementar dichos recursos; y
- e) Realizar y mantener actualizados los estudios hidrológicos, hidrobiológicos, hidrogeológicos, meteorológicos, y demás que fuesen necesarios en las cuencas hidrográficas del territorio nacional.

Artículo 3°.- Prioridades por sistemas hidrográficos, cuencas, valles y distritos de riego

En los planes de inversión en que las aguas intervienen o son necesarias como factor de desarrollo, la Autoridad de Aguas, en coordinación con los demás organismos del Sector Público, señalará en orden de las prioridades por sistemas hidrográficos, cuencas, valles y distritos de riego, para lo que tendrá en cuenta principalmente los programas y acciones de Reforma Agraria, los problemas de orden económico y social y la política general de desarrollo.

Artículo 4°.- Ambito de la Ley

Las disposiciones de la presente Ley comprenden las aguas marítimas, terrestres y atmosféricas del territorio y espacio nacionales; en todos sus estados físicos, las que con carácter enunciativo pero no limitativo son:

- a) Las del mar que se extiende hasta las 200 millas;
- b) Las de los golfos, bahías, ensenadas y esteros;
- c) Las atmosféricas;
- d) Las provenientes de las lluvias de formación natural o artificial;
- e) Los nevados y glaciares;
- f) Las de los ríos y sus afluentes; las de los arroyos, torrentes y manantiales y las que discurren por cauces artificiales;
- g) Las de los lagos, lagunas y embalses de formación natural o artificial;
- h) Las subterráneas;
- i) Las minero medicinales;
- j) Las servidas;
- k) Las producidas; y

l) Las de desagües agrícolas, de filtraciones y drenaje.

Artículo 5°.- Propiedad del Estado

Son igualmente de propiedad inalterable e imprescriptible del Estado:

- a) La extensión comprendida entre la baja y la alta marea, más una faja no menor de 50 metros de ancho paralela a la línea de alta marea;
- b) Los terrenos marginales marítimos que se reservan por razones de Seguridad Nacional o uso público;
- c) Los álveos o cauces de las aguas;
- d) Las áreas ocupadas por los nevados y los cauces de los glaciares;
- e) Los estratos o depósitos por donde corren o se encuentran las lagunas subterráneas;
- f) Las islas existentes y las que se formen en el mar, en los lagos, lagunas o esteros o en los ríos, siempre que no procedan de una bifurcación de las aguas, al cruzar las tierras de propiedad de particulares; y
- g) Los terrenos ganados por causas naturales o por las obras artificiales, al mar, a los ríos, lagos o lagunas, esteros y otros cursos o embalses de agua.

El Poder Ejecutivo determinará las zonas ribereñas o anexas a ellas que deben ser reservadas para la defensa nacional, servicios públicos, de saneamiento, ornato, recreación y otros.

Artículo 8°.- Límites máximos permisibles en aguas, sedimentos y plantas.

8.1 Límites máximos permisibles en aguas

las aguas se clasifican en 6 clases:

I : Aguas de abastecimiento doméstico con simple desinfección.

II : Aguas de abastecimiento doméstico con tratamiento equivalente a procesos combinados de mezcla y coagulación, sedimentación, filtración y cloración aprobados por el Ministerio de Salud.

III : Aguas para riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales.

IV: Aguas de zonas recreativas de contactos primarios (baños y similar)

V: Aguas de zona de pesca de mariscos bivalvos.

VI: Aguas de zona de preservación de fauna acuática y pesca recreativa.

Artículo 10°.- Entes encargados de la conservación y preservación

El Ministerio de Agricultura y de Pesquería en cuanto a la conservación e incremento, y el Ministerio de Salud en lo que respecta, a la preservación de los recursos hídricos, están obligados a:

- a) Realizar los estudios e investigaciones que fuesen necesarios;
- b) Dictar las providencias que persigan, sancionen y pongan fin a la contaminación, o pérdida de las aguas, cuidando su cumplimiento;
- c) Desarrollar acción educativa y asistencia técnica permanentes para formar conciencia pública sobre la necesidad de conservar y preservar las aguas; y
- d) Promover programas de forestación de cuencas, defensa de bosques, encauzamiento de cursos de agua y preservación contra su acción erosiva.

En el Título VI: *De las propiedades marginales*, artículo 79 se especifica que:

Artículo 79°.- Propiedades aledañas a los álveos naturales

En las propiedades aledañas a los álveos naturales se mantendrá libre la faja marginal de terreno necesaria para el camino de vigilancia y en su caso, para el uso primario del agua, la navegación, el tránsito, la pesca u otros servicios.

Las dimensiones de la faja, en una o en ambos márgenes, serán fijadas por la Autoridad de Aguas, respetando en lo posible, los usos y costumbres establecidos. Podrá también dicha Autoridad, cuando fuera necesario, fijar la zona sujeta a servidumbre de abrevadero. En todos estos casos no habrá lugar a indemnización por la servidumbre pero quienes usaren de ellas, quedan obligados, conforme al derecho común, a indemnizar los daños que causaren, tanto en las propiedades sirvientes como en los cauces públicos o en las obras hidráulicas.

En el TITULO VII: *De los estudios y obras*, en el Capítulo III: De las Obras de Defensa, Encauzamiento y Avenamiento, artículos 96 y 97 dice:

Artículo 96°.- Obras de defensa

Ningún propietario podrá oponerse a que en las márgenes de los ríos y demás álveos naturales se realicen obras de defensa para proteger de la acción de las aguas a otros predios o bienes. En caso que la obra defienda también el predio en cuya margen se construye, su propietario contribuirá a sufragar los gastos respectivos en la proporción correspondiente que fijará la Autoridad de Aguas. El Estado podrá asumir parte de estos gastos cuando se trate de unidades agrícolas familiares.

Artículo 97°.- Defensa de las márgenes

Los usuarios defenderán las márgenes en toda la longitud que queda bajo la influencia de una bocatoma. La Autoridad de Aguas fijará en cada caso, la extensión por defender así como el tipo y características de las obras respectivas.

Esto nos permite concluir que el Estado es el encargado de proteger el patrimonio cultural histórico y natural de nuestro territorio, siendo necesario que los gobiernos regionales y el gobierno central, planifiquen políticas que promuevan el desarrollo sostenible, estimulando y dando oportunidades y beneficios a los esfuerzos y acciones de los pobladores de una región, que propicien dichas políticas.

CAPITULO III

MARCO GEOGRÁFICO Y SOCIO-ECONÓMICO

3.1 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

El área de estudio se ubica en la costa central del Perú, específicamente en el departamento de Lima, al Sureste de la provincia de Lima; extendiéndose desde el nivel del mar hasta la línea de cumbres de la cordillera Occidental de los Andes, que constituyen la divisoria continental de las aguas.

Geográficamente se encuentra localizada entre las coordenadas:

75°57' y 76°39' de Longitud Oeste y
11°56' y 12°57' de Latitud sur.

El acceso más importante desde la ciudad de Lima, es por la carretera Panamericana Sur (asfaltada) hasta el distrito de Mala (Km 90), desde donde parte la carretera Mala-Calango (afirmada) que se extiende a lo largo del valle del río Mala y llega hasta el pueblo de Alloca (en la parte media de la cuenca, sin continuar a la parte alta (Fig N° 3.1).

Otras vías importantes son las carreteras:

Lima-Huarochirí, que parte desde La Molina en dirección a Cieneguilla (tramo asfaltado), desde donde se dirige a Huarochirí (tramo afirmado) y que permite el acceso a la parte alta de la cuenca;

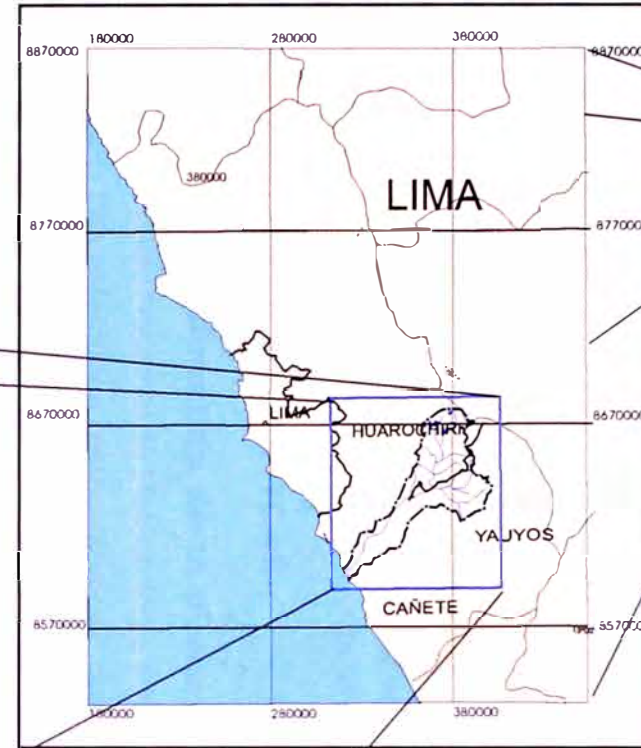
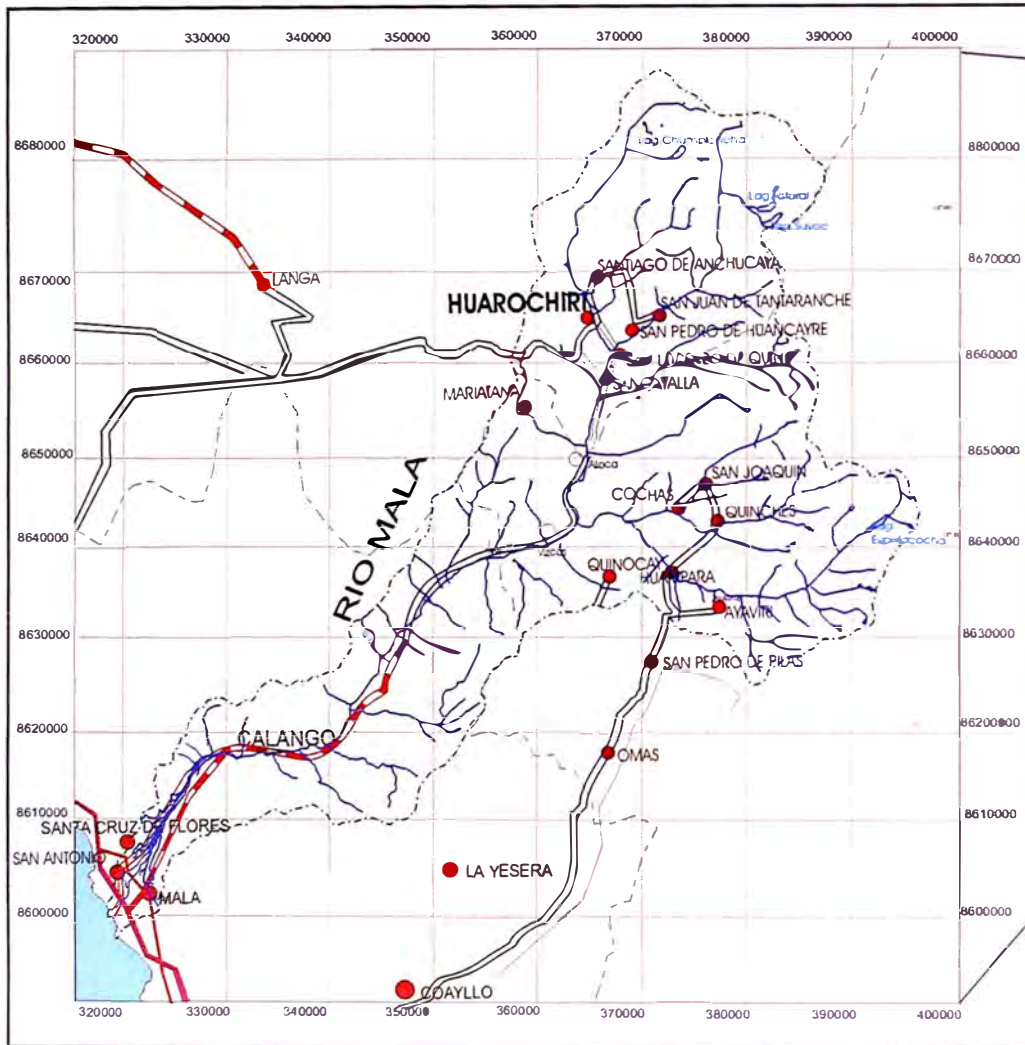
Chilca-Santo Domingo de los Olleros-Huarochirí (Afirmada), que también permite llegar a las localidades ubicadas en la cuenca alta;

Asia-Omas-San Joaquín (afirmada), vía que permite el acceso a los diferentes distritos ubicados en la cuenca media del río Mala.

LEYENDA

-  PUEBLO
-  CAPITAL PROVINCIAL
-  CAPITAL DISTRITAL
-  RIO
-  LÍMITE DE LA CUENCA
-  CARRETERA ASFALTADA CON SEPARADOR
-  CARRETERA AFIRMADA
-  CARRETERA SIN AFIRMAR
-  TROCHA CARROZABLE
-  LÍMITE DEPARTAMENTAL
-  LÍMITE PROVINCIAL

ESCALA GRAFICA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA MINERA Y METALÚRGICA
 ESCUELA DE GEOLOGÍA
 INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO



DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL
 TESIS DE GRADO
 "ESTUDIO DE RIESGO GEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RIO MALA"
MAPA DE UBICACIÓN
 Por: Bach. Sandra Paula Villacorta Chambi

Julio 2003

FIG. N° 3.1

3.2 FISIOGRAFÍA

Las altitudes en la cuenca del río Mala, varían entre 0 y 5800 msnm, presentando entre los 0 y 2000 msnm una fisiografía desértica, caracterizada por un relieve plano ondulado formado por promontorios medianos a altos de pendientes suaves a abruptas.

Entre los 2000 y 4000 msnm la fisiografía está caracterizada por cerros de pendientes abruptas y mesetas cortadas por valles en forma de «V».

Sobre los 4000 msnm, la fisiografía es de altiplanicies y cerros bajos ondulados intercalados con valles en forma de «U» (Valles glaciares).

3.3 CONDICIONES CLIMÁTICAS

3.3.1 Zonación climática de la cuenca

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, (SENAMHI), tiene en el área de estudio tres estaciones meteorológicas, dos en la región sierra y una en la costa. (Cuadro N°3.1).

CUADRO N° 3.1
ESTACIONES METEOROLÓGICAS EN LA CUENCA DEL RÍO MALA

ESTACIÓN	COORDENADAS		ALTITUD msnm	UBICACIÓN		
	LATITUD	LONGITUD		Dpto.	Provincia	Distrito
CALANGO	12° 32'	76° 33'	305	LIMA	CAÑETE	CALANGO
HUAROCHIRI	12° 06'	76° 14'	3190	LIMA	HUAROCHIRI	HUAROCHIRI
AYAVIRÍ	12° 23'	76° 08'	3228	LIMA	HUAROCHIRI	HUAROCHIRI

Tomando como referencia el mapa de clasificación climática del Perú elaborado por SENAMHI, basado en información climática recopilada durante 20 años (1965-1984) y utilizando el sistema de clasificación de climas de Werren Thornthwaite, en el cuadro N° 3.2 se resumen las características principales de las zonas climáticas diferenciadas y sectorizadas en el **Mapa de clasificación climática de la cuenca del río Mala**.(Lámina N°03).

**CUADRO N°3.2
ZONACIÓN CLIMÁTICA EN LA CUENCA DEL RÍO MALA**

ZONA CLIMÁTICA	ALTITUD (msnm)	DESCRIPCIÓN	LUGARES REPRESENTATIVOS
$E_{(o)}B'_1H_3$	0-2000	Zona desértica semicálida con deficiencia de lluvias en todas las estaciones del año y con humedad relativa calificada como húmeda.	Mala, Santa Cruz de Flores, San Antonio, Calango.
$C_{(o,i,p)}B'_2H_3$	2000-3000	Zona semiseca, templada, con deficiencia de lluvias en otoño, invierno y primavera. Con humedad relativa calificada como húmeda.	Quinocay, San Joaquín, Quinchas, Cochas, Huampara, San Lorenzo de Quinti, Sangallaya.
$C_{(o,i,p)}C'H_3$	3000-4000	Zona de clima frío, semiseco, con deficientes lluvias en otoño, invierno y primavera, con humedad relativa calificada como seca.	Santiago de Anchucaya, San Pedro de Huancayre, Ayaviri, Huarochiri, San Juan de Tantaranche, Huañec.
$C_{(o,i)}C'H_2$	4000-5000	Zona de clima seco, frío, deficiencias de lluvias en otoño e invierno.	Laguna Suyoc, Laguna, Chumpicocha, Laguna Totoral.
$B_{(o,i)}D'H_3$	> 5000	Zona de clima lluvioso, semifrío, deficiencias de lluvias en otoño e invierno.	Zona de altas cumbres.

3.3.2 Temperatura

De las estaciones meteorológicas ubicadas en la cuenca del Río Mala controladas por el SENAMHI, se deduce que la temperatura anual promedio es de 19.2°C, con una temperatura máxima de 26.5°C y mínima de 10.5°C.

3.3.3 Humedad relativa

La humedad relativa promedio anual del aire es de 79.5% (Estación de Calango) y la humedad máxima que se produce entre las horas de la mañana (AM) y la tarde (PM), puede presentar valores máximos de 84% (mes de Julio.)

3.4 LÍMITES Y DIVISIÓN POLÍTICA

La cuenca limita por el norte con las cuencas de los ríos Lurín (márgen derecha), Rímac y Mantaro (ambas limitan con las cabeceras del río Mala), por el sur con las cuencas de los ríos Asia-Omas y Cañete (ambas por la márgen izquierda), por el Este con la cuenca del río Cañete (márgen izquierda), y por el Oeste con la quebrada de Chilca, la cuenca del río Lurín (márgen izquierda) y el Océano Pacífico.

Políticamente forma parte de las provincias de Cañete, Huarochirí y Yauyos pertenecientes al departamento de Lima. A continuación en el cuadro N° 3.3 se muestra los distritos presentes en la cuenca, por provincias.

Cuadro N° 3.3
Distritos presentes en la cuenca del río Mala, por provincias

PROVINCIA	DISTRITOS
Cañete	Calango Santa Cruz de Flores San Antonio Mala
Yauyos	Huampara Quinocay Ayaviri Quinchas Cochashuañec San Joaquín
Huarochirí	Mariatana Huarochirí Santiago de Anchucaya San Juan de Tantarache San Pedro de Huancayre San Lorenzo de Quinti Sangallaya

3.5 ASPECTOS SOCIO-ECONÓMICOS

3.5.1 DEMOGRAFÍA

Tomando como referencia los informes del INEI, el área de la cuenca del río Mala presenta una población total de 41 276 habitantes.

En comparación a la población total del Perú (26 749 000: INEI, proyección al 2002), el número de habitantes de la cuenca es muy bajo, representando alrededor del 0.15% de la población peruana. En la lámina N° 01 se presenta el **Mapa de población de la cuenca del río Mala** y en el cuadro N° 3.4 se presenta la distribución distrital de la población en las provincias pertenecientes al área de estudio.

En el cuadro N° 3.5 se muestra la población económicamente activa (PEA) presente en la cuenca del Río Mala.

3.5.2 SALUD

Los servicios sanitarios de la región están a cargo del área hospitalaria de Cañete, la que a su vez depende de la zona de salud de Ica-Chilca. Bajo la jurisdicción del área hospitalaria, funcionan centros de salud en Mala, Santa Cruz de Flores y en Calango, postas médicas en San Vicente de Azpitia, Quinocay, Huampará, Quinchas, Huañec, San Joaquín y en algunos caseríos como Cuculí, Vizcas y Quiripa. Hacia el norte de la cuenca se encuentra el hospital de Matucana que por la falta de vías no es accesible a los pobladores de la cuenca alta.

CUADRO N°3.4

DISTRIBUCIÓN POBLACIONAL POR PROVINCIAS DE LA CUENCA DEL RIO MALA

PROVINCIA	DISTRITOS	HABITANTES (Proy al 2002)	DENSIDAD POBLACIONAL(Habit./Km2)
Cañete	Calango	2266	4.33
	Santa Cruz de Flores	2230	20.11
	San Antonio	3261	86.71
	Mala	21928	69.6
Yauyos	Huampara	431	8.83
	Quinocay	724	4.57
	Ayaviri	841	3.74
	Quinches	1154	11.83
	Cochas	148	6.74
	Huañec	482	10.04
	San Joaquín	189	5.19
Huarochiri	Mariatana	1559	5.23
	Huarochiri	2014	10.04
	Santiago de Anchucaya	624	3.11
	San Juan de Tantarache	512	6.23
	San Pedro de Huancayre	295	3.22
	San Lorenzo de Quinti	1779	21.01
	Sangallaya	839	10.2
TOTAL		41276	

(Fuente: INEI 2002)

CUADRO N°3.5

DISTRIBUCIÓN DE LA PEA POR PROVINCIAS DE LA CUENCA DEL RIO MALA

PROVINCIA	DISTRITOS	HABITANTES (Censo de 1993)	PEA	%
Cañete		2070	812	39
	Santa Cruz de Flores	2131	748	35
	San Antonio	2811	1010	36
	Mala	18712	6050	32
Yauyos	Huampara	411	155	38
	Quinocay	688	312	45
	Ayaviri	798	362	45
	Quinches	1132	577	51
	Cochas	136	56	41
	Huañec	456	148	33
	San Joaquín	168	93	55
Huarochiri	Mariatana	1444	571	40
	Huarochiri	2045	902	44
	Santiago de Anchucaya	603	247	41
	San Juan de Tantarache	495	187	38
	San Pedro de Huancayre	278	110	40
	San Lorenzo de Quinti	1750	588	34
	Sangallaya	803	344	43
	TOTAL	36931	13162	

Fuente: (INEI 2002)

3.5.3 EDUCACIÓN

En las provincias que se encuentran dentro de la cuenca del río Mala, la educación impartida, se da en los niveles de inicial, primaria, secundaria y CEO (Centro de Educación Ocupacional). En Huarochirí y Cañete se dan las tres primeras, mientras que en Yauyos solo los niveles de inicial y primaria.

En el cuadro N° 3.6 se muestran los colegios existentes en el área de estudio indicando la provincia y distrito a los que pertenecen así como el nivel impartido.

3.5.4 VIVIENDA

La información obtenida corresponde al Censo Nacional de Población realizado en el año 1993 y en el cuadro N° 3.7, se muestra los datos del Censo de vivienda realizado el mismo año, (número de viviendas y si cuentan con servicios de agua, luz y desagüe).

De este cuadro se observa que en la provincia de Cañete las viviendas cuentan con servicios públicos en mayor proporción que en las provincias de Huarochirí y Yauyos.

3.5.5 INFRAESTRUCTURA Y DESARROLLO

En la cuenca del río Mala se hallan ubicadas dos sub estaciones eléctricas: La sub estación La Capilla, en el distrito de Calango y la subestación Bujama en el distrito de Mala. Hasta mediados del año 1994 funcionaron dos centrales hidroeléctricas una en Ayavirí y otra en Huarochirí ahora inactivas. Actualmente solo se encuentra una central térmica en el distrito de Mala. (MEM, 2001). La infraestructura vial, se menciona en el acápite 3.1.

En la lámina N° 02 se presenta el **Mapa de ubicación de obras de infraestructura de la cuenca del río Mala.**

3.6 ACTIVIDAD PRODUCTIVA

En la cuenca del río Mala la actividad productiva predominante es la agricultura y en menor escala se tiene a la ganadería y el comercio.

**CUADRO N° 3.6
COLEGIOS EN LA CUENCA DEL RÍO MALA**

Nombre del Centro Educativo	Prov	Distrito	Nivel
CEI N° 20589 Carhuapampa	Huarocharí	San Lorenzo de Quinti	INI
EE N° 20590 Santa María de Huanchac	Huarocharí	San Lorenzo de Quinti	PM
EE N° 20673 Quiripa	Huarocharí	Sangallaya	PM
EE N° 20553 Julio Cesar Tello Rojas	Huarocharí	Huarocharí	PM
EE N° 20846 Huachipampa	Huarocharí	San Lorenzo de Quinti	PM
EE N° 20655 Palermo	Huarocharí	San Lorenzo de Quinti	PM
C.E. 20542 Carampoma	Huarocharí	Huarocharí	PM
C.E. 20553 Julio Cesar Tello	Huarocharí	Huarocharí	PM
C.E. 20591 San Lorenzo de Quinti	Huarocharí	San Lorenzo de Quinti	PM
C.E. 20602 Cocachacra	Huarocharí	Huarocharí	PM
C.E. 20607 Anchucaya	Huarocharí	Huarocharí	PM
C.E. 20615 Surco	Huarocharí	Huarocharí	PM
C.E. 20897 Nieve Nieve	Huarocharí	Huarocharí	PM
C.E. 20955-13 Saracoto chico	Huarocharí	Huarocharí	PM
CE Santa Cruz	Huarocharí	Huarocharí	SC
CE San Lorenzo de Quinti	Huarocharí	San Lorenzo de Quinti	SC
C.E. Apóstol Santiago de Anchucaya	Huarocharí	Huarocharí	SC
C.E. Santa Cruz de Huarocharí	Huarocharí	Huarocharí	SC
CEO Anchucaya	Huarocharí	Santiago de Anchucaya	CEO
CEO Huarocharí	Huarocharí	Huarocharí	CEO
CEO San Lorenzo de Quinti	Huarocharí	San Lorenzo de Quinti	CEO
CE San Juan de Tantarache	Huarocharí	S.J. De Tantarache	SC
CEI 323	Cañete	Mala	INI
CEI 412	Cañete	Santa cruz de flores	INI
CEI 512	Cañete	Mala	INI
CEI 464	Cañete	Calango	INI
CE 20179	Cañete	San Antonio	PM
CE 20210	Cañete	Calango	PM
CE 20237	Cañete	Mala	PM
CE 20890	Cañete	Mariatana	PM
CE 20961	Cañete	Mariatana	PM
CE 21015	Cañete	Mala	PM
CE Dionisio Manco Campos	Cañete	Mala	PA
CE 20130	Cañete	Calango	SC
CE 20927	Cañete	Mala	SM
CE Dionisio Manco Campos	Cañete	Mala	SC
CE San Antonio de Padua	Cañete	San Antonio	SC
CE Dionisio Manco Campos	Cañete	Mala	SC
C.E.O. San Juan bautista	Cañete	Mala	CEO
N° 406	Yauyos	Ayaviri	INI
N° 409	Yauyos	Quinches	INI
N° 598-5	Yauyos	Quinocay	INI
N° 20691	Yauyos	Ayaviri	PM
N° 20699	Yauyos	Huampara	PM
N° 20707	Yauyos	Huañec	PM
Apostol Santiago	Yauyos	Quinches	SC
Huampará	Yauyos	Huampara	SC
Julio jimenez porras	Yauyos	Huañec	SC

Donde:

INI: Inicial

PM: Primaria

SC: Secundaria

Fuente: MINISTERIO DE EDUCACIÓN (2003).

CUADRO N° 3.7
VIVIENDA EN LA CUENCA DEL RÍO MALA

Prov.	Distritos	Total de Viviendas Particulares	Viviendas con abastecimiento de agua	Viviendas con alumbrado eléctrico	Viviendas con servicio de desagüe	Viviendas sin agua, desagüe y alumbrado eléctrico (%)	Hogares con al menos un artefacto electrodom (%)
Cañete	Calango	689	93	91	60	25.1	87.4
	San Antonio	899	425	251	402	10.3	86.7
	Santa Cruz de Flores	779	284	380	207	5.2	89.5
	Mala	4782	1958	2459	1038	3.2	87.4
Yauyos	Huampara	251	69	0	0	25.4	54
	Quinocay	251	69	0	0	25.4	54
	Ayaviri	381	111	178	44	6.1	69
	Quinches	645	116	3	47	8.8	52.5
	Cochas	59	1	0	1		72.2
	Huañec	296	111	0	23	14.6	66.9
	San Joaquin	90	50	1	0	12.7	79.4
Huarochiri	Mariatana	525	0	2	0	50.7	81.4
	Huarochiri	1040	210	349	207	37.9	76.4
	Santiago de Anchucaya	229	2	1	2	9.2	76.9
	San Juan de Tantarache	209	54	1	54	60.4	79.9
	San Pedro de Huancayre	115	68	0	68	4.9	85.2
	San Lorenzo de Quinti	864	237	217	198	24.8	78.7
	Sangallaya	466	1	57	1	56.7	72

3.6.1 ACTIVIDAD AGRÍCOLA

El valle del río Mala ubicado en la cuenca baja, posee condiciones muy buenas para la agricultura intensiva bajo un sistema mixto de riego especialmente para frutales. Entre los principales cultivos destacan: maíz, algodón, plátano, manzano, durazno, higo, cítricos, vid, granada, camote, yuca, cebolla, haba, espárrago y arveja.

La actividad agrícola desarrollada en el valle del río Mala abastece de manera relativamente importante a la ciudad de Lima, siendo la comunidad campesina agrícola más importante la C.C. de San Marcos de la Aguada que posee grandes extensiones de terrenos de cultivo y que utiliza mayores recursos tecnológicos en su desarrollo.

En la cuenca media y alta, la actividad agrícola se desarrolla, especialmente entre los distritos de Huarochirí y Sangallaya y ente Huampatrá y Ayavirí, destacando los cultivos de papa, olluco, yuca, cebolla, alverja y haba. En la Figura N° 3.2 se muestran las zonas con vegetación en la cuenca del río Mala, que incluye las zonas agrícolas y de pastizales.

3.6.2 ACTIVIDAD GANADERA

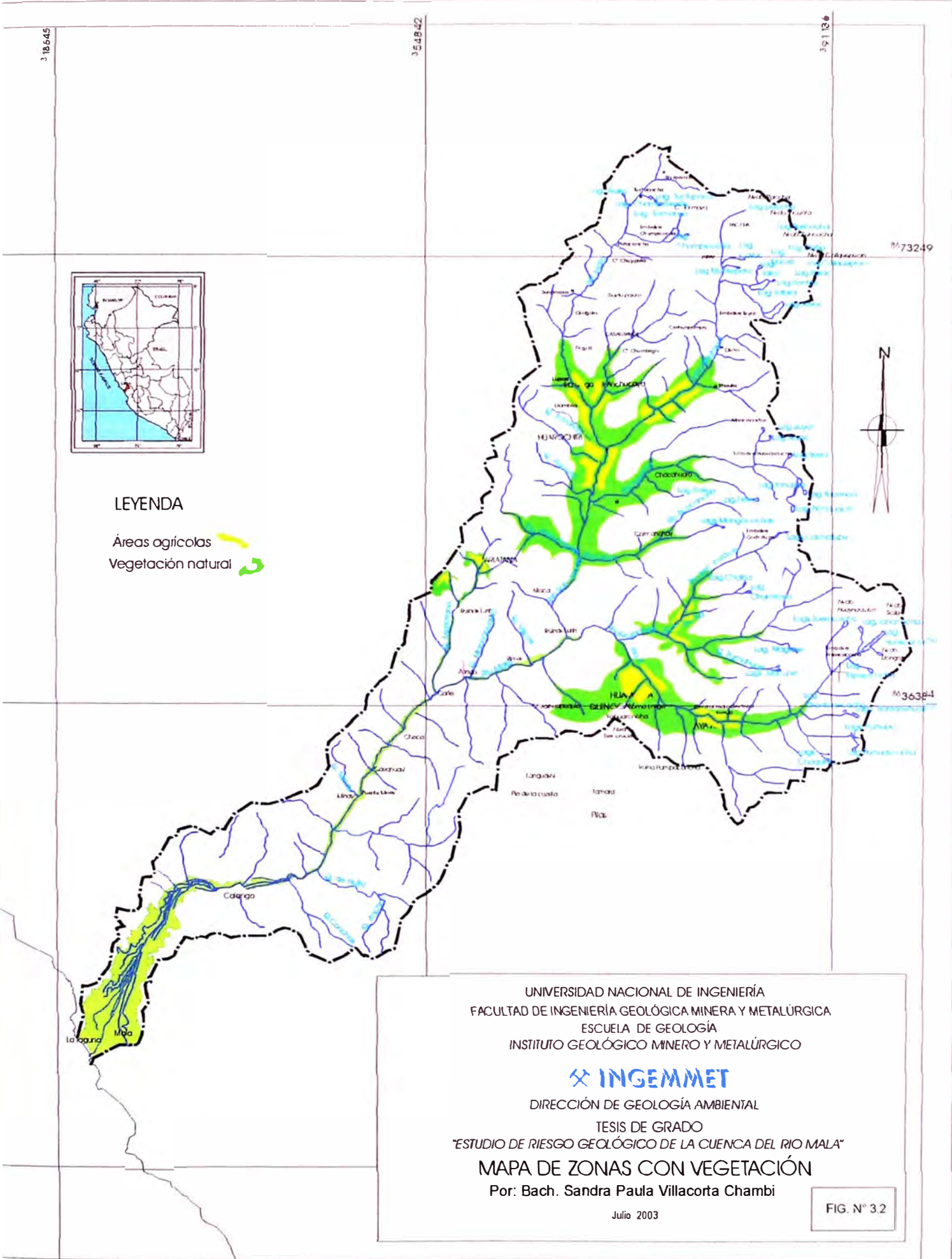
En la cuenca baja, se desarrolla gran actividad ganadera, habiéndose establecido centros de explotación avícola o ganadera (vacunos para leche y porcinos, ganado equino y caprino) A medida que se va ascendiendo las condiciones climáticas y ambientales van cambiando, así en la cuenca media se desarrollan, pastos naturales, que hacen factible la explotación extensiva.

En la cuenca alta, siendo las condiciones climáticas y ambientales más severas, la actividad ganadera se vé limitada llegando a ser escasa o nula.

3.6.3 ACTIVIDAD MINERA

La actividad minera en el área de la cuenca del río Mala, es muy escasa, existiendo algunas pequeñas minas paralizadas, prospectos de poco interés comercial (por su escaso volumen y agotamiento de reservas) y otros que requieren mayor exploración.

Entre las minas metálicas abandonadas se encuentran: **Perdida, Jupay, Poma Largo, Sto, Toribio, Sta. Elena, San Bernardo**, todas ubicadas en las nacientes del



LEYENDA

- Áreas agrícolas
- Vegetación natural

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA MINERA Y METALÚRGICA
 ESCUELA DE GEOLOGÍA
 INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO

 DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL
 TESIS DE GRADO
 "ESTUDIO DE RIESGO GEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RIO MALA"
MAPA DE ZONAS CON VEGETACIÓN
 Por: Bach. Sandra Paula Villacorta Chambi
 Julio 2003

FIG. N° 3.2

Río Mala, conociéndose por referencias bibliográficas que fueron trabajadas en tiempos coloniales.

Entre las zonas de alteración que deberían explorarse por minerales metálicos, se puede mencionar a la zona de alteración de Runcho, situada en las cabeceras del río San Joaquín (Cuenca alta).

Respecto a los depósitos no metálicos en la zona, aún no explotados, sobresalen los materiales de construcción, calizas, arcillas, y en menor proporción, la sal gema y las rocas ornamentales que podrían ser explotadas con provecho económico, debido a sus volúmenes, y facilidades de acceso y extracción.

Entre los materiales de construcción destacan la arena y grava que yacen conformando acumulaciones aluviales y torrenciales. Ocurren en la cuenca, en gran volumen, localizándose principalmente a lo largo de los ríos y quebradas tributarias y en el cauce medio del río Mala. Las arcillas son del tipo corriente, por lo que su principal uso estaría orientado a la fabricación de ladrillos. Estos materiales cubren satisfactoriamente las necesidades locales.

Existen depósitos de caliza en diferentes puntos de la cuenca alta, y pertenecen a las formaciones: Chulec, Pariatambo y Jumasha. La caliza extraída podría emplearse en la fabricación del cemento y en menor grado en la confección de ladrillos calcáreos.

3.7 PATRIMONIO ARQUEOLÓGICO Y GEOLÓGICO

3.7.1 ÁREAS ARQUEOLÓGICAS

Dentro de la cuenca del río Mala, se han ubicado las siguientes ruinas arqueológicas (Fig. N° 3.3):

Ruinas de San Vicente de Azpitia, ubicadas en la ciudad de San Vicente de Azpitia, distrito de Santa Cruz de Flores. Consiste de un conjunto habitacional compuesto por estructuras de forma cuadrangular. Este sitio arqueológico es del Período Histórico de Los Desarrollos Regionales (0-600 d.C). el estado de conservación es malo.

Ruinas de Santa Cruz de Flores, ubicadas en la ciudad de Santa Cruz de

Flores, distrito del mismo nombre. Consiste de un conjunto habitacional compuesto por recintos de forma cuadrangular y tamaños variados. Este sitio arqueológico es del Período Histórico de Los Estados Regionales (110-1470 d.C). El estado de conservación es regular.

Ruinas de Huayiata, localizadas a 2.9 km al sur del caserío de Coñe, siguiendo la ruta Coñe-Calango, en la margen izquierda de la Qda Chirimoyal. Consiste en un conjunto de estructuras cuadrangulares dispersas en un área de 20 m² compuesto por estructuras de forma cuadrangular. No se conoce la cronología del sitio arqueológico y su estado de conservación es malo.

Ruinas Lurín, situadas en la ladera baja del cerro Laguna, en la margen derecha del río San Lorenzo. 5.2 km al sur del caserío de Alloca. Corresponde a restos de muros de piedra muy destruidos por los campos de cultivo existentes en el área. No se conoce la cronología del sitio arqueológico.

Ruinas Caserón, ubicadas en la parte alta del cerro Sanincachi; a 8.4 km al sur del distrito de Mariatana. No se conoce la cronología del sitio arqueológico y tampoco se tienen más datos de estas ruinas.

Ruinas Yarunga, ubicadas en la ciudad de Quinchas. Corresponden a ruinas pre-incaicas, no teniéndose mayor información sobre ellas.

3.7.2 ÁREAS GEOLÓGICAS TURÍSTICAS

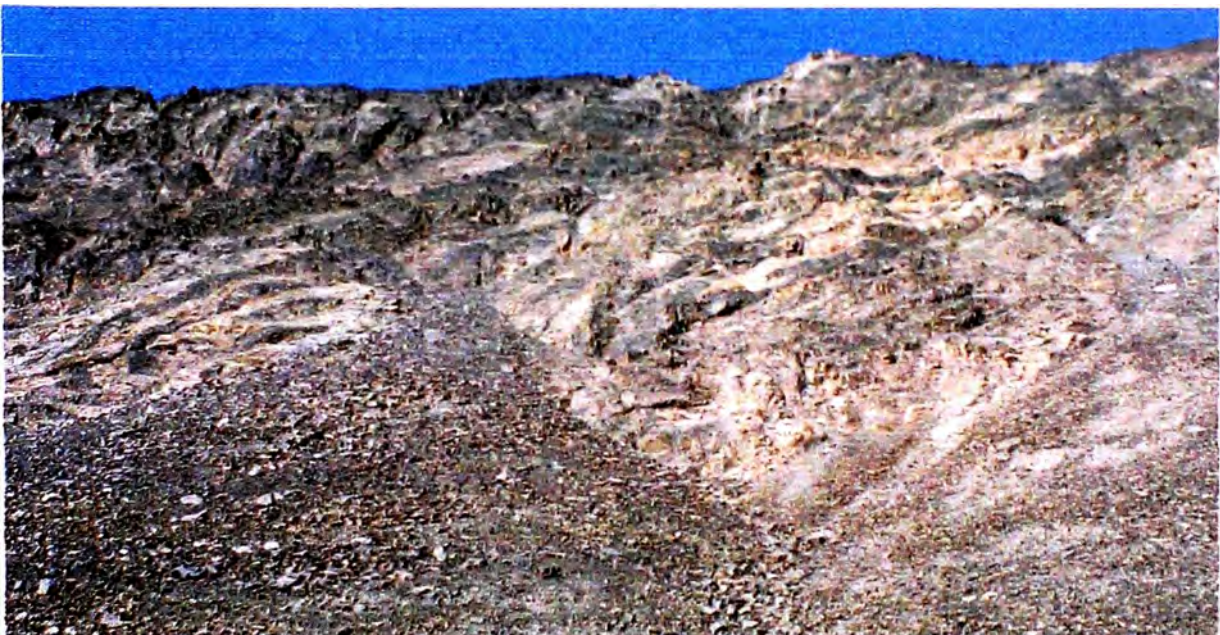
En la cuenca del Río Mala se encuentran áreas y/o monumentos geológicos que por su belleza paisajística e interés científico deberían ser considerados e incorporados como áreas naturales intangibles y gestionar un uso y promoción adecuada de ellas como recursos geoturísticos. Se destacan las siguientes áreas:

Bosque de rocas (afloramiento de tobas) a 1.3 km al NW del caserío de Alloca (Fotos 3.1 y 3.2).

Afloramiento de diques hipabisales, intrusiones subvolcánicas tipo enjambre de diabasa que se encuentran cortando a la superunidad Cochahuasi, en la localidad de La Capilla, distrito de Calango, provincia



Fotos N° 3.1 y 3.2
Dos vistas del Bosque de rocas de Alloca, constituido por un afloramiento de rocas volcánicas de la Formación Tantará.



Fotos N° 3.3 y 3.4

Dos vistas del Afloramiento de diques hipabisales tipo enjambre, constituido por intrusiones de diabasa, que cortan a rocas intrusivas de la super-unidad Cochahuasi, y está ubicado en inmediaciones de la localidad de La Capilla, distrito de Calango.

de Cañete (Fotos 3.3 y 3.4).

3.8 ECOSISTEMAS, FLORA Y FAUNA

Para tener una idea de la distribución y estado de conservación de la flora y fauna dentro de la cuenca, se presenta la siguiente información extraída del «Estudio de Impacto Ambiental y Social de los Transportes de Gas Natural y Transporte de Líquidos de Gas, Camisea-Lima, Variantes Pacobamba-Chilca» (Walsh Perú SA. 2002). En dicho estudio se realizó la evaluación de las especies animales y vegetales presentes en el tramo Pacobamba-Chilca, que incluye parte de la cuenca del río Mala.

Esto ha permitido completar la información acerca de la flora y fauna presente en la cuenca media y alta, descrita en el estudio publicado por ONERN en 1976 titulado: «Inventario, Evaluación y Uso Racional de los Recursos Naturales de la Costa Cuencas Omas, Mala y Chilca».

3.8.1 FLORA

En la zona comprendida entre el litoral y los 1000 msnm., se han encontrado cerca de la primera tillandsiales, que constituyen el tipo de vegetación más representativo en el desierto costero peruano. Están compuestos por plantas bromeliáceas del género **tillandsia s.p.**, Se ha podido encontrar dos tipos de **tillandsiales: tillandsia Palacea y tillandsia latifolia var. latifolia.**

En las zonas ribereñas, de ambos márgenes del río Mala, se han encontrado plantas de **Pájaro bobo (Tessaria integrifolia) y Carrizo (Gynerium sp.)**

En las lomas aledañas al río, se desarrollan arbustos estacionales aprovechados por ganado equino y caprino, como: **Poa annua, Festuca australis, Crotón sp, Heliotropium sp, Capparis ovalifolia sp, Caesalpinia tinctoria, Acacia macracantha, (huarango), Prosopis juliflora, Distichlis spicata (grama salada), Salicornia fruticosa, Scirpus sp. (el junco).** Dichas plantas, alcanzan su máximo desarrollo entre Julio y Noviembre, sobretudo en años excepcionalmente húmedos; debido a que su formación está ligada a la condensación de las neblinas invernales provenientes del mar.

Entre los 1000 y 2000 msnm se han podido observar áreas de vegetación medianamente densa a densa, encontrándose a las especies vegetales siguientes:

Cereus macrostibas, Cereus candelaris, Jatropha macracantha, Baccharis sp, malvastrum spp, Salix sp, Arundo donax, Baccharis spp, Schinus molle, Acacia macracantha, Salicornia

Entre 2000 y 3000 msnm se ha podido encontrar a las especies vegetales siguientes:

Puya sp, Agave americana, Opuntia lagopus, Ambrosia peruviana, Erodium cicutarum, Malvastrum spp, Bidens sp, Bidens andicola, Medicago hispica, Calceolaria sp, Viguiera sp, Baccharis sp, Datura stramonium, carica condicans, Sambucus peruvianus, Caesalpineia tinctoria y Almus jorullensis.

Se puede encontrar, entre 3000 y 3800 msnm a las siguientes especies vegetales:

Lupinus sp, Muticia viciaefolia, Baccharis sp, Calceolaria sp, Bidens andicola, Stypha brachyphilla, Festuca spp, Bromus sp, Poa annua, Bromus lanatus, Hordeum muticum, Alchemilla pinnata, Calamagrostis spp, Almus jorullensis, Sambucus peruvianus, Cassia latepetiolata, polylepis sp, Barnadesis dombeyana sp, y colletia spinosa.

Entre los 3800 y los 5000 msnm, correspondiente a las partes mas altas de la cuenca, las especies vegetales naturales son muy pobres mayormente de tipo arrosetado y cespitoso (para defenderse de las bajas temperaturas). Entre las principales especies se ha observado a las que pertenecen a los géneros: **Aciachne, Distichia, Werneria, Lucilia, Alchemilla y Xaxifraga**. Entremezcladas con esta vegetación, también se encuentran algunas gramíneas que se desarrollan formando matas dispersas conocidas comúnmente como ichuales y pajonales.

3.8.2 FAUNA

En el área de la cuenca del río Mala, se distinguen las siguientes especies:

3.8.2.1 AVES

En el área de la cuenca del Río Mala, se han registrado 5 familias y 6 especies de aves. Destacan el Chisco (*Minus longicaudatus*), especie de la Familia Mimidae con una distribución limitada a Ecuador y Perú, y el Huerequeque (*Burhinus superciliaris*) de la Familia Burhinidae, ave nocturna que restringe su distribución a Ecuador, Chile y Perú.

La cuenca del Río Mala presenta buenas condiciones de refugio y oferta alimenticias para las diferentes especies de aves mencionadas.

Algunas de ellas son endémicas a determinado tipo de hábitat, presentando una distribución restringida y una sensibilidad alta, media o baja a los cambios del ambiente.

Las **Áreas Endémicas** son zonas donde existe un alto grado de endemismo y las especies incluidas dentro de estas áreas son prioritarias para la conservación.

3.8.2.2 MAMÍFEROS

En la cuenca del río Mala se han registrado un total de 9 especies de mamíferos. Entre ellas 5 especies de roedores: *Phyllotis andium*, *Oryzomys xantheolus*, *Rattus rattus*, *Mus musculus* y *Lagidium peruanum* (Vizcacha); una especie de marsupial, la Muca (*Didelphis albiventris*); y una especie de quiróptero, el murciélago hematófago (*Desmodus rotundus*). Entre los roedores, ***Phyllotys amicus*** es importante por ser una especie endémica de la costa peruana que prefiere zonas muy áridas y rocosas. La especie exótica de rata (*Rattus rattus*) se registró cerca de las zonas de cultivos entre los distritos de Mala y San Vicente de Aspitia. La especie de roedor *Lagidium peruanum* (Vizcacha), se registró ampliamente en la cuenca media y alta como se observó en la localidad de Ayavirí (Foto 3.5)

La especie hematófaga *Desmodus rotundus*, de amplia distribución, se registró en zonas de monte ribereño y cultivos con presencia de ganado. A lo largo del valle del río Mala, entre Calango y Mala se ha registrado la presencia del Zorro Costeño (*Lycalopex sechurae*). Este último y el **Zorro Costeño Gris** (*Lycalopex griseus*) están siendo afectados por la cacería de los pobladores locales.

Cuatro especies de quirópteros, se encuentran en situación vulnerable en la costa peruana por el deterioro de su hábitat: *Platalina genovensium*, *Amorphochillus schnablī*, *Tomopeas ravus* y *Mormopterus kalinowski* (Ascorra, 1996), son especies endémicas de la costa y las vertientes occidentales, y potencialmente habitan el área de estudio en las zonas periféricas a lomas y valles.

3.8.2.3 ANFIBIOS Y REPTILES

Se registraron un total de 19 especies entre anfibios y reptiles: una especie de anfibio, ocho especies de lagartijas y diez de serpientes. El único anfibio registrado



Foto N° 3.5
Vizcacha observada cerca de la ciudad de Ayaviri. Carretera Huampará-Ayaviri.

es el Sapo de Lima (*Bufo limensis*) Además, se registraron dos lagartijas comprendidas en dos familias: *Phyllodactylus lepidopygus*, y *Microlophus tigris*.

También se ha encontrado la Lagartija de Cabeza Roja (*Dicrodon heterolepis*), la Lagartija de Gramadales (*Microlophus thoracicus*), la Culebra de Costa (*Oxyrhopus fitzingeri fitzingeri*) y la Víbora de Costa (*Bothrops roedingeri*).

Las especies de anfibios y reptiles se ven afectados por las actividades de agricultura y ganadería. Según la categorización de INRENA, hay dos especies consideradas en situación indeterminadas: la Lagartija Cabeza Roja o Cañán (*Dicrodon heterolepis*) y la Lagartija de Lomas (*Microlophus tigris*).

Los fenómenos de remoción en masa en la cuenca del río Mala afectarían al Sapo de Lima (*Bufo limensis*), por alteración de su hábitat.

La «lagartija de Arenales» (*M. theresiae*) y la Lagartija Cabezona (*C. aspersa*) son especialmente sensibles ante alguna alteración de su hábitat. Debido a su estrecho rango de distribución en la costa central y su preferencia por los hábitats desérticos. Estas lagartijas como en el caso anterior de (*M. tigris*), utilizan las rocas como refugios y puntos de termoregulación, siendo los afloramientos rocosos uno de los factores limitantes de su presencia en un lugar determinado.

3.8.2.4 COMUNIDADES HIDROBIOLOGICAS

a) PLANCTON

se han encontrado 12 especies de algas pertenecientes a las Divisiones Cyanophyta (3), Bacillariophyta (5) y Chlorophyta (4) en total para las dos estaciones de muestreo ubicadas en el río Mala. La primera estación en el río Mala presenta a *Microcystis aeruginosa* como especie dominante con una concentración baja, mientras que la segunda estación presenta *Navicula spp.* (Bacillariophyta) y *Cladophora insignis* (Chlorophyta de tipo filamentosa) con una mayor concentración de estas comunidades en esta zona. Las diatomeas (Bacillariophyta) tienden a adherirse a las algas filamentosas para evitar ser arrastradas. Esto quizá sea provocado por un aumento de la carga orgánica (presencia de ganado y contaminación por desechos domésticos orgánicos). Esta es una característica de algunas zonas de los ríos de la costa aledañas a zonas de cultivo, donde muchos pobladores además de dedicarse a la actividad agrícola también poseen ganado, que utiliza el agua del río para beber

y depositar sus desechos, lo que aumenta la carga orgánica en estas áreas.

Las diferencias en las dos estaciones a pesar de su cercanía probablemente se debe a que los ambientes lóticos (áreas drenadas por cursos de agua corriente unidireccionales) tiene la propiedad de autodepurarse debido al constante movimiento de sus aguas.

Durante la época seca (invierno y primavera) las aguas del río Mala disminuyen su caudal, presentando aguas claras, de coloración verdosa y transparente por lo general total (hasta 1m) debido a la poca profundidad permitiendo el paso de la luz de manera más efectiva y, por tanto, el desarrollo de comunidades planctónicas más diversas, pudiendo encontrarse mayores concentraciones en las pozas remanentes de la crecida de estos ríos. Durante la crecida del río la diversidad y las concentraciones tienden a disminuir notablemente debido al aumento del caudal, y por una consecuente disminución de la transparencia.

b) BENTOS

La diversidad de organismos bentónicos es baja con un total de 13 especies en las dos estaciones ubicadas en el río Mala. La mayoría de especies son insectos, principalmente en formas larvarias, con 9 especies; el resto de formas está constituido por 2 especies de crustáceos y 2 de caracoles.

Entre los insectos, el grupo con mayor abundancia lo constituye *Tricorythodes* sp. (familia Tricorythidae), indicadores de aguas ligeramente contaminadas, notándose en la segunda estación. El segundo grupo con mayor abundancia lo constituye los gasterópodos de la especie *Physa* sp., cuyo elevado número en la primera estación indicaría contaminación por materia orgánica. Estos resultados estarían relacionados al aumento de la carga orgánica del río Mala por presencia de ganado.

El «camarón de río» (*Cryphiops caementarius*) es una especie de importancia para los pobladores ribereños (económica y nutricional), y está presente en el río Mala. *Cryphiops caementarius* es la especie de camarón de río más abundante y ampliamente distribuida en nuestro país, encontrándosele desde los 6° 32' Lat. Sur, en el departamento de Lambayeque, hasta los 33° Lat. Sur en Chile.

c) PECES

La diversidad de peces es naturalmente baja en el río Mala. En la presente evaluación se reporta la presencia de 4 especies de peces, distribuidas en 4 familias

y 4 órdenes. De estas especies, 3 forman parte de la ictiofauna nativa de los ríos de la costa del Perú y una ha sido introducida de Centroamérica con fines ornamentales. Las especies nativas son el «bagre» o «life» (*Trichomycterus punctulatus*), el «pejerrey de río» (*Basilichthys archaeus*), y la «mojarra» (*Aequidens rivulatus*). La especie que ha sido introducida es el «guppy» (*Poecilia reticulata*).

Las especies más abundantes en términos de número de individuos registrados en las capturas son *Aequidens rivulatus* con 52% y *Poecilia reticulata* con 40%. Las otras dos especies se presentan en un porcentaje de 3% cada una. Las estaciones en el río Mala registraron 2 especies cada una.

Algunas de estas especies son eventualmente utilizadas para el consumo humano, entre éstas tenemos a *Aequidens rivulatus*, *Trichomycterus punctulatus* y *Basilichthys archaeus*, pero ninguna es comercializada de manera masiva.

Acerca de la especie introducida, el «guppy» (*Poecilia reticulata*) es la especie más frecuente encontrada en los ríos de costa, y también en algunos ambientes de selva alta como en la cuenca del río Perené. Esta especie ha sido introducida con fines ornamentales.

CAPITULO IV

HIDROGRAFÍA E HIDROLOGÍA

4.1 HIDROGRAFÍA

El río Mala, uno de los 53 ríos de la vertiente del Pacífico u Occidental del Perú; se encuentra situado en el sector central de la costa peruana.

La red hidrográfica de la cuenca está constituida principalmente por el río Mala, que es el curso principal y sus tributarios de régimen permanente. En segundo lugar están los cursos de régimen estacional y los de régimen esporádico.

El **curso principal** tiene su origen en una serie de lagunas ubicadas en la parte alta de la cuenca, las que alimentan con las precipitaciones estacionales a los ríos Aguaquirí-Atunga, Acacuche-Carhuapampa y Mala, que a su vez forman al río San Lorenzo (río formador por la margen derecha del río Mala). Por otro lado los ríos Quinches y Ayaviri originan al río Huampará (formador por la margen izquierda). Los ríos Huampará y San Lorenzo en su confluencia, aguas arriba de Vizcas, originan al río Mala, nombre con el cual desemboca en el Océano Pacífico.

Los cursos de régimen estacional, son quebradas que tienen su origen en altitudes de aproximadamente 4000 msnm, presentando escorrentía únicamente durante la época de avenidas. El resto del año las aguas de filtraciones que afloran en las partes altas de estas quebradas y las aguas de escurrimiento subterráneo, se explotan con gran intensidad en la parte media y baja de estas quebradas con fines agrícolas. Entre estos cursos se encuentran las quebradas:

Sullamarca, Shaihuanca-Carhuacancha, Pumapampa, Pumahuasi, etc.

Los cursos de régimen esporádico, se presentan cuando ocurre la presencia de años húmedos o cuando se presenta el fenómeno «El Niño».

El deshielo de los nevados ubicados dentro de la cuenca tiene muy poca incidencia en el escurrimiento pues son muy escasos.

En el cuadro N°4.1 se muestran las características principales de la red hidrográfica del río Mala.

Cuadro N° 4.1
CARACTERÍSTICAS DE LA RED HIDROGRÁFICA DE LA CUENCA DEL RÍO

Nombre del río	Extensión de la cuenca (Km ²)			Longitud (Km)	Pendiente promedio
	Húmeda	Seca	Total		
Mala (hasta su desembocadura)	1585	719.95	2304.95	126,5	4.58
Mala (hasta la Capilla)	1585	450	2035	96	5.3
a. Acacuhe	236	—	236	32	7.2
b. Aguaquiri	284	—	284	36	6.4
c. Tantará	142	1	143	24	10.3
d. Quinches	522	23	545	37	8.4
· Huañec	219	3	222	24	10.2
· Ayaviri	282	7	289	31	8.2

Modificado de ONERN, 1977

4.2 HIDROMETEOROLOGÍA

Los ríos y quebradas pertenecientes a la cuenca del río Mala, se caracterizan por ser de régimen irregular y de carácter torrencioso, alimentando sus cursos de agua principalmente de las precipitaciones estacionales que ocurren en su parte alta, y concentrando las descargas durante 3 o 4 meses al año, principalmente de diciembre a marzo, periodo durante el cual se estima que discurre del 60 al 70% del volumen total anual, presentando caudales mínimos de Julio a Octubre.

Ocasionalmente, cuando se presentan años húmedos o el Fenómeno El Niño, esta cuenca se activa y conduce agua, favoreciendo la formación de flujos de lodo que incrementan la escorrentía superficial.

Comprende una área de 2304.95 Km² (6,690 Ha) que representa alrededor del 0.17% de la superficie total del territorio nacional. De su extensión total solo 1585 Km² es decir el 68.8% corresponde a la cuenca imbrífera o húmeda, encontrándose

por encima de los 2500 msnm, cota límite del área seca y a partir de la cual puede considerarse que la precipitación pluvial es un aporte efectivo al escurrimiento superficial.

Su forma es irregular, asemejándose en general a la de todas las cuencas de la costa, es decir ancha en la parte alta de la cuenca y estrecha en la desembocadura. El mayor ancho de Este a Oeste es de 47 Km y el mayor largo de Norte a Sur es de 48 Km.

El río Mala cuenta con un área de drenaje total de 2035 Km² y una longitud de recorrido desde sus nacientes de 126.5 Km, presentando un pendiente promedio de 4.58% la que aumenta en ciertos sectores de los ríos Tantará, Quinches hasta 10%.

El curso del río Mala es bastante sinuoso, su dirección inicial es de NE-SW cambiando de rumbo a la altura de San Juan de Correviento (Calango) hasta desembarcar en el mar, entre la playa La Laguna y el AAHH.Salitre.

En la parte inferior del valle y como resultado de la disminución de la pendiente, se ha formado un pequeño cono de deyección, producto de la acumulación de los materiales depositados por el río.

4.2.1 Pluviometría y registro de caudales

La información pluviométrica del área de la cuenca, se obtuvo del Instituto Nacional de los Recursos Naturales (INRENA) y del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). En la lámina N° 13 se muestra el **Mapa de precipitación total anual de la cuenca del río Mala**, obtenido en base a los datos pluviométricos registrados en las diferentes estaciones ubicadas en la cuenca y alrededores.

La información hidrológica del río Mala corresponde a las descargas diarias controladas en las estación de aforo de La Capilla del año de 1939 a 1993.

4.2.1.1 Análisis pluviométrico de las precipitaciones medias mensuales

Para una evaluación preliminar a nivel mensual, en los cuadros N° 4.2 y N° 4.3 se muestra los valores de precipitación total mensual, de las estaciones Huarochirí y Ayavirí (SENAMHI) para el periodo de registros: 1964 a 1991 y 1964 a 1994, respectivamente.

El análisis de estos datos mediante gráficos e histogramas ha permitido apreciar el grado de irregularidad de las precipitaciones en el río Mala, a nivel mensual, de lo que se puede resumir:

Estación Huarochirí:

El año mas lluvioso: 1967, 492 mm de precipitación total anual.

El año menos lluvioso: 1978, 150.2 mm de precipitación total anual.

Media del mes mas lluvioso: Marzo, 79.88 mm

Media del mes menos lluvioso: Julio, 0.01 mm

Mes de mayor lluvia registrada: Enero de 1976, 166.4 mm

Precipitación media anual: 289.96 mm

Estación Ayavirí:

El año mas lluvioso: 1973, 752.9 mm de precipitación total anual.

El año menos lluvioso: 1965, 150.2 mm de precipitación total anual

Media del mes mas lluvioso: Marzo, 152.03 mm

Media del mes menos lluvioso: Junio, 0.01mm

Mes de mayor lluvia registrada: Marzo de 1977, 303 mm

Precipitación media anual: 505.77 mm

En los gráficos N° 4.1 y 4.2 se presenta la variación de la precipitación media mensual para las estaciones referidas durante el período especificado en los cuadros N° 4.2 y N° 4.3.

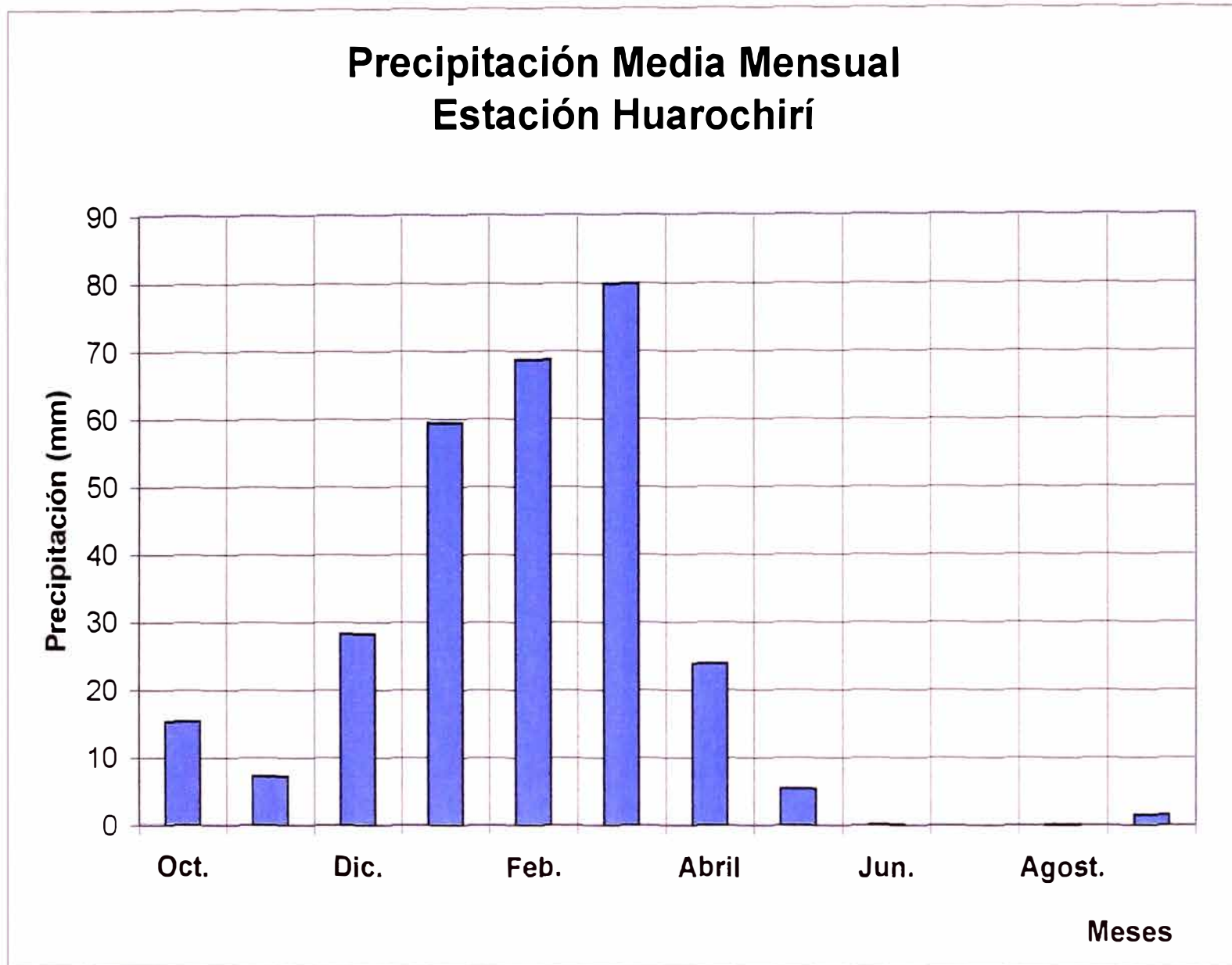
CUADRO N° 4.2
Precipitaciones totales mensuales (mm) Estación Huarochiri

Año	MESES												TOTAL ANUAL
	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Marz.	Abril	May.	Jun.	Jul.	Agost.	Set.	
1964	7.00	8.80	30.70	25.20	76.70	91.00	34.50	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	275.90
1965	0.00	0.00	21.20	76.20	81.70	45.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.40	231.20
1966	92.40	19.60	21.40	65.30	52.40	98.50	17.90	2.40	0.00	0.00	0.00	0.00	369.90
1967	34.90	14.20	9.60	106.00	155.40	133.00	16.40	18.60	0.10	0.10	0.00	3.70	492.00
1968	6.60	9.20	11.20	47.80	22.00	38.00	10.00	15.60	0.00	0.00	0.00	0.10	160.50
1969	6.20	25.80	95.60	17.50	68.20	125.60	12.60	0.00	0.10	0.00	0.10	0.00	351.70
1970	6.20	5.60	21.20	102.80	29.80	26.70	28.20	7.80	0.10	0.10	0.10	8.40	237.00
1971	0.40	0.00	29.00	25.00	75.20	108.40	15.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	253.30
1972	7.80	3.00	25.20	49.00	93.20	154.80	11.80	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	346.80
1973	9.40	0.00	28.60	85.60	39.40	99.70	54.60	0.00	0.00	0.00	2.60	11.40	331.30
1974	0.00	2.80	16.20	57.60	95.80	147.60	29.60	0.00	0.00	0.00	0.00	3.80	353.40
1975	0.00	0.00	39.10	24.00	28.20	130.20	22.40	5.60	3.60	0.00	0.00	2.80	255.90
1976	0.00	1.00	10.00	166.40	91.00	65.20	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	348.60
1977	0.00	10.00	5.60	39.60	97.80	107.20	2.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	262.40
1978	1.00	2.20	0.00	34.20	37.20	35.20	38.40	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	150.20
1979	4.90	0.60	0.00	5.90	32.50	135.50	3.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	182.90
1980	5.00	0.00	0.00	92.30	3.20	55.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.20	159.90
1981	0.00	5.50	118.10	12.90	138.10	102.70	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	382.30
1982	51.50	24.20	10.60	31.20	83.30	21.10	22.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	244.00
1983	0.00	0.00	68.30	47.40	53.90	75.40	50.00	42.60	0.00	0.00	0.00	0.00	337.60
1984	126.20	20.30	33.70	52.40	138.50	72.10	17.20	14.20	0.00	0.00	0.00	0.00	474.60
1985	0.00	2.00	30.00	13.20	58.40	74.80	16.60	4.80	0.01	0.00	0.00	0.00	199.81
1986	0.00	12.40	39.10	137.20	96.40	57.30	121.20	18.60	0.00	0.00	0.00	0.00	482.20
1987	3.40	3.40	9.60	142.70	61.20	10.40	30.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	261.10
1988	2.40	0.00	52.40	50.30	100.80	56.80	29.60	18.40	0.00	0.00	0.00	0.00	310.70
1989	0.00	0.00	0.00	78.60	106.60	108.40	19.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	313.50
1990	24.80	30.50	63.30	29.10	0.00	24.70	22.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	195.20
1991	38.40	0.60	2.30	46.70	8.10	35.40	21.40	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	154.90
N° datos	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00
Promedio	15.30	7.20	28.29	59.36	68.75	79.88	23.88	5.45	0.14	0.01	0.17	1.53	289.96
Máximo	126.20	30.50	118.10	166.40	155.40	154.80	121.20	42.60	3.60	0.10	2.60	11.40	492.00
Mínimo	0.00	0.00	0.00	5.90	0.00	10.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	150.20
Desv.Est.	29.97	9.11	28.94	41.68	41.02	41.95	23.39	9.79	0.68	0.03	0.61	2.94	97.93

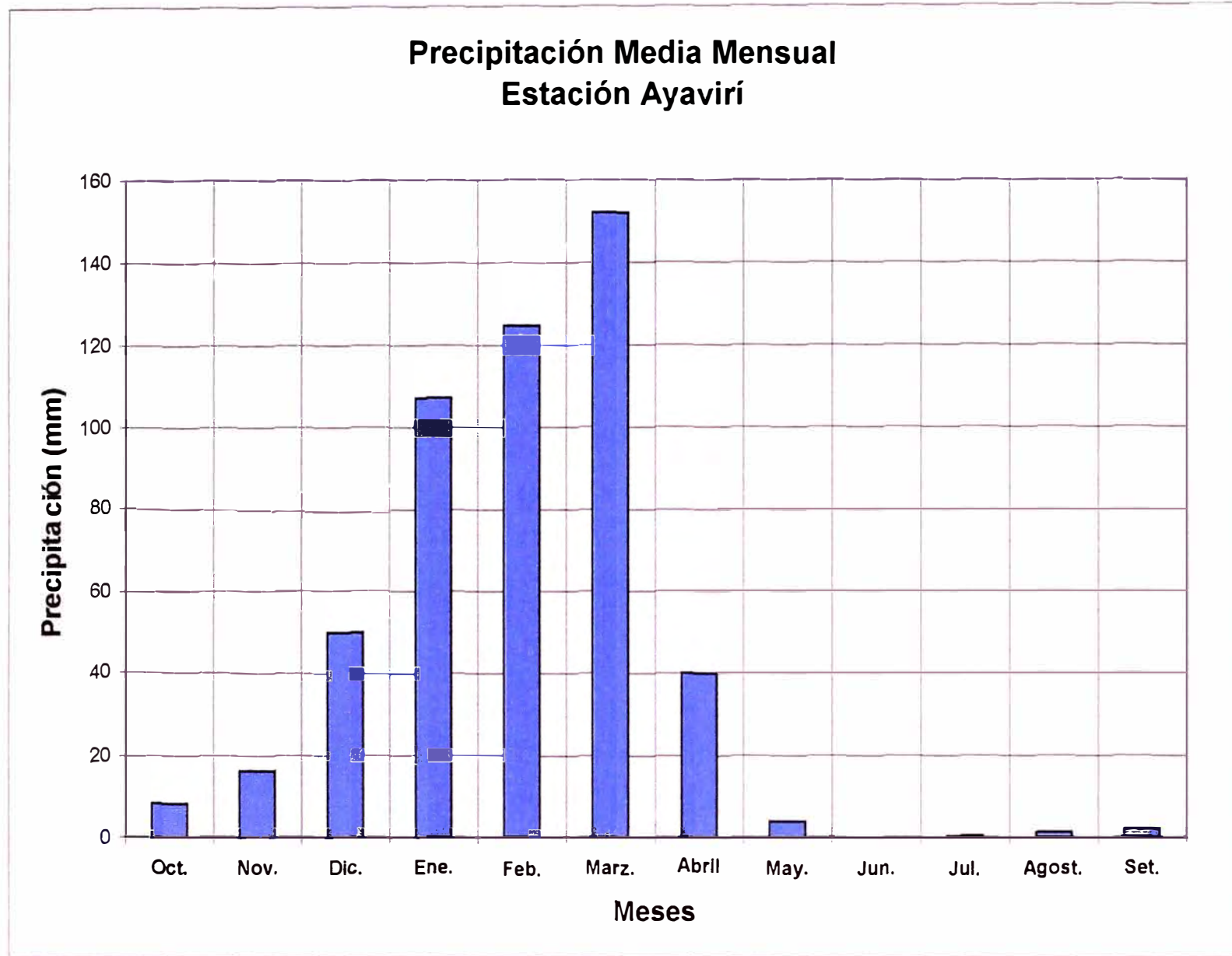
CUADRO N° 4.3
Precipitaciones totales mensuales (mm) Estación Ayaviri

AÑO	MESES												TOTAL ANUAL
	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Marz.	Abril	May.	Jun.	Jul.	Agost.	Set.	
1964	0.00	0.20	93.00	26.20	77.70	115.70	71.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	383.90
1965	0.00	0.00	12.70	47.30	27.90	19.60	42.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	150.20
1966	24.00	10.40	40.00	84.90	45.00	118.20	37.30	1.10	0.00	0.00	0.00	0.70	361.60
1967	21.70	3.30	35.40	225.60	261.40	126.40	54.70	2.00	0.00	0.00	0.60	0.50	731.60
1968	5.50	3.60	23.10	40.30	40.00	78.90	15.10	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	207.00
1969	0.60	56.50	208.20	47.00	122.10	202.90	5.90	0.30	0.00	8.20	0.00	0.00	651.70
1970	0.00	21.60	25.40	208.10	144.50	121.80	53.80	15.60	0.00	0.00	0.00	0.00	590.80
1971	0.00	0.00	47.30	138.10	151.60	230.10	49.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	616.70
1972	2.40	0.00	5.80	126.20	211.30	236.00	99.30	0.00	0.00	3.40	0.00	5.30	689.70
1973	21.90	12.60	83.50	239.90	201.50	156.50	14.70	6.20	0.00	0.00	2.80	13.30	752.90
1974	3.00	27.00	27.60	103.60	92.30	168.60	10.60	6.60	0.00	0.00	3.10	0.00	442.40
1975	6.10	14.80	65.10	99.80	80.90	188.40	72.70	9.10	0.00	0.00	7.60	3.60	548.10
1976	0.00	0.00	56.40	167.80	138.70	140.20	12.70	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	516.10
1977	0.00	49.70	13.00	223.80	83.80	303.00	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	693.30
1978	3.20	0.00	58.50	90.80	93.20	77.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	338.70
1979	0.00	0.00	0.00	40.60	158.50	105.70	101.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	405.90
1980	0.00	0.00	0.00	62.60	209.20	205.50	16.60	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	494.30
1981	4.80	17.20	35.40	83.60	237.50	93.20	40.70	0.00	0.00	0.00	1.70	0.00	514.10
1982	11.40	56.10	33.30	74.50	119.90	142.20	37.30	1.60	0.00	0.00	0.00	4.00	480.30
1983	1.80	9.10	43.30	64.80	89.90	154.10	25.90	6.00	0.00	0.10	0.90	0.00	395.90
1984	4.50	11.70	44.10	93.80	83.90	123.50	18.70	5.60	0.00	0.00	2.60	3.00	391.40
1985	8.90	11.00	125.00	62.20	101.70	142.60	21.80	7.00	0.00	0.00	0.00	2.50	482.70
1986	1.40	13.70	112.20	157.70	180.00	168.70	49.20	6.50	0.00	0.00	8.90	0.00	698.30
1987	9.45	25.66	57.03	122.01	140.42	172.82	32.25	3.21	0.01	0.10	6.23	2.23	571.42
1988	9.68	17.25	49.68	138.22	151.87	161.98	47.15	1.20	0.00	0.00	2.36	4.15	583.54
1989	11.45	35.58	71.05	119.89	184.11	215.69	51.02	5.62	0.01	0.00	1.46	2.70	698.58
1990	3.80	42.40	31.80	101.90	19.40	119.80	30.40	8.50	0.00	0.00	0.80	8.50	367.30
1991	68.40	0.00	0.00	28.70	74.90	143.80	60.60	2.40	0.00	0.00	0.00	0.00	378.80
1992	14.40	4.40	15.20	27.30	30.50	81.10	4.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	177.80
1993	11.70	45.30	89.20	99.00	140.40	227.90	81.10	10.10	0.00	0.00	0.00	11.80	716.50
1994	8.13	15.21	49.06	172.50	164.40	171.00	45.00	22.10	0.00	0.00	0.00	0.00	647.40
N° datos	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00
Promedio	8.33	16.27	50.04	107.06	124.47	152.03	39.98	3.92	0.01	0.38	1.26	2.03	505.77
Máximo	68.40	56.50	208.20	239.90	261.40	303.00	101.10	22.10	0.30	8.20	8.90	13.30	752.90
Mínimo	0.00	0.00	0.00	26.20	19.40	19.60	4.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	150.20

Gráficos N° 4.1



Gráficos N° 4.2



4.2.1.2 Análisis de probabilidades

Se ha escogido para el análisis estadístico de los datos pluviométricos a la estación Ayaviri (cuadro N° 4.4), por ser presentar los valores más altos. Para esto se ha aplicado la ley de probabilidades mediante el cálculo de la desviación estándar (S) y el coeficiente de variabilidad (V), donde:

Para $n > 30$:

$$S = \frac{\sqrt{\sum (X_i - X)^2}}{n} \quad y \quad V = \frac{s \times 100}{X}$$

n = Número de observaciones

X = Valor promedio de las observaciones

X_i = Valores observados

Para $n < 30$:

$$S = \frac{\sqrt{\sum (X_i - X)^2}}{n-1}$$

Como $n = 31$ valores (Periodo de 1948-1994), del cuadro N° 08 se tiene:

$$S = \frac{\sqrt{835494.06}}{31} = 29.845 \text{ mm / año}$$

$$y \quad v = \frac{29.485 \times 100}{505.77} = 5.83\%$$

Luego:

$$X + S = 505.77 + 29.485 = 535.255$$

$$X - S = 505.77 - 29.485 = 476.285$$

Luego, existen 5 valores, entre 535.255 y 476.285, los cuales representan el 16 % del total de observaciones. Es decir que existe un 16% de probabilidad de que ocurran precipitaciones entre 535.255 y 476.285 mm/año

Cuadro N° 4.4
Análisis de probabilidades de la cuenca del río Mala
Estación Ayaviri

N°	Año	Prec. (Xi)	(Xi-X)	(Xi-X) ²
1	1964-65	383.9	-121.87	14852.30
2	1965-66	150.2	-355.57	126430.02
3	1966-67	361.6	-144.17	20784.99
4	1967-68	731.6	225.83	50999.19
5	1968-69	207	-298.77	89263.51
6	1969-70	651.7	145.93	21295.56
7	1970-71	590.8	85.03	7230.10
8	1971-72	616.7	110.93	12305.46
9	1972-73	689.7	183.93	33830.24
10	1973-74	752.9	247.13	61073.24
11	1974-75	442.4	-63.37	4015.76
12	1975-76	548.1	42.33	1791.83
13	1976-77	516.1	10.33	106.71
14	1977-78	693.3	187.53	35167.50
15	1978-79	338.7	-167.07	27912.38
16	1979-80	405.9	-99.87	9974.02
17	1980-81	494.3	-11.47	131.56
18	1981-82	514.1	8.33	69.39
19	1982-83	480.3	-25.47	648.72
20	1983-84	395.9	-109.87	12071.42
21	1984-85	391.4	-114.37	13080.50
22	1985-86	482.7	-23.07	532.22
23	1986-87	698.3	192.53	37067.80
24	1987-88	571.42	65.65	4309.92
25	1988-89	583.54	77.77	6048.17
26	1989-90	698.58	192.81	37175.70
27	1990-91	367.3	-138.47	19173.94
28	1991-92	378.8	-126.97	16121.38
29	1992-93	177.8	-327.97	107564.32
30	1993-94	716.5	210.73	44407.13
31	1994-95	647.4	141.63	20059.06
	X =	505.77	Suma =	835494.06

4.2.1.3 Análisis de las descargas medias mensuales y totales anuales

Con la finalidad de establecer de manera general el comportamiento hídrico del río Mala, se han analizado mediante variables estadísticas los datos de descargas medias mensuales registradas por el SENAMHI entre los años 1938 – 1998, en la estación hidrométrica de La Capilla (Calango) ubicada geográficamente en las coordenadas: 12°25' de latitud Sur y 76°24' de longitud Oeste, a 350 msnm.

Para los fines de análisis de probabilidades, se ha considerado el año hidrológico, que se inicia en Octubre concluyendo en el mes de Septiembre del año entrante, por considerarse que se ajusta más al comportamiento típico del ciclo Hidrológico.

En el cuadro N° 4.5 se muestra los registros de descargas medias mensuales y totales anuales del período especificado, observándose que en el mes de marzo se produce la mayor descarga promedio con 61.599 m³/seg y que presenta descargas mínimas bastante bajas, en su mayoría del orden de 1 m³/seg, durante los meses de Julio a Septiembre, siendo la mínima descarga promedio 1.552 m³/seg en el mes de Septiembre. Asimismo, se puede observar que el valor del caudal mensual máximo se obtuvo durante el mes de Febrero del año hidrológico 1983-84 con un promedio de 180.31 m³/seg. El valor mínimo promedio fue de 0.56 m³/seg registrado en el mes de Septiembre del año hidrológico de 1969-70. Así mismo se observa que la descarga media anual: 207.839 m³/seg (17.32 m³/seg mensuales) y equivale a un volumen de 6554.41 m³.

El gráfico N° 4.3 muestra el histograma de descargas medias mensuales, notándose una mayor descarga entre los meses de Diciembre a Abril.

En el gráfico N° 4.4, se presentan las descargas totales anuales, observándose la irregularidad de los valores a través de los años y que en los años de 1993-94 y 1945-46 en que se presentó el fenómeno de «El «Niño», se alcanzaron los mayores valores de precipitación anual.

4.2.2 Comportamiento estacional del río Mala

Mediante el análisis de los hidrogramas de descargas diarias se ha dividido el régimen natural del río Mala en cuatro períodos, que conforman un ciclo anual en las variaciones: un periodo de avenidas, uno de estiaje y dos transicionales entre los anteriores.

Gráfico 4.3

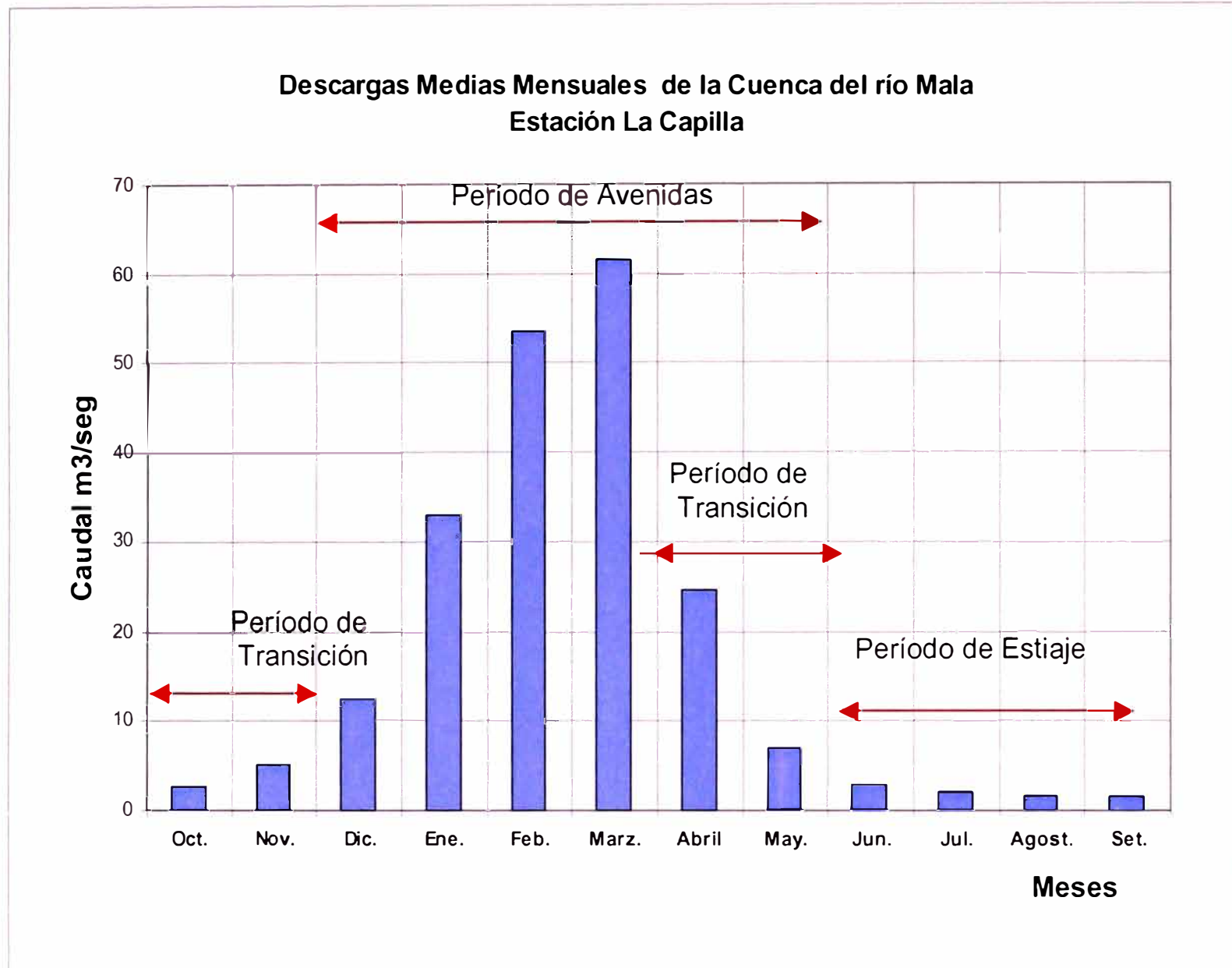
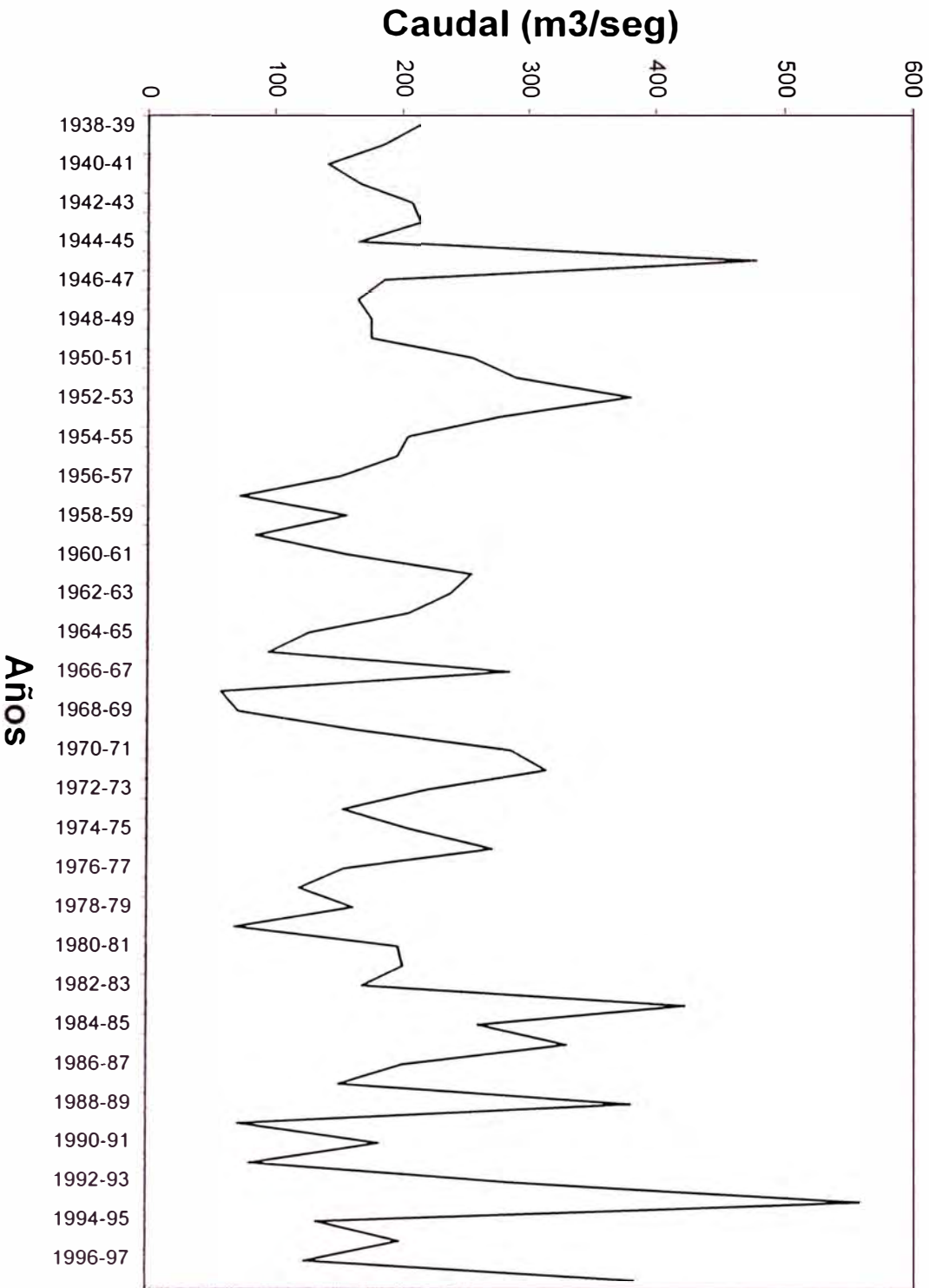


Gráfico 4.4

Descargas Totales Anuales del río Mala



El periodo de avenidas, se considera que se inicia con los primeros repuntes de descargas y finaliza al presentarse el último pico notable del hidrograma. El período transicional entre avenida y estiaje empieza a finalizar el período de avenidas y termina cuando los valores de caudales empiezan a bajar notoriamente, haciéndose casi constantes en el periodo de estiaje.

El período transicional entre estiaje y avenida empieza al presentarse los primeros incrementos de caudal y termina al manifestarse los repuntes mas importantes que indican el inicio del periodo de avenidas.

Del análisis se ha establecido que las fechas de inicio para cada uno de estos periodos conforman variables, independientes entre sí, que se ajustan muy bien a la función de distribución normal. De allí se destaca que el río Mala descarga el 70% de su volumen promedio anual durante el periodo de avenidas y solo el 6% durante el periodo de estiaje (ONERN, 1976).

El gráfico N° 4.3 ilustra claramente el comportamiento típico de las descargas mensuales del río Mala. En el cuadro N° 4.6 se presentan los valores medios y los límites para los periodos hidrológicos del ciclo anual.

Cuadro N° 4.6
PERIODOS QUE COMPRENDE EL CICLO HIDROLÓGICO DEL RÍO MALA

Descripción	Periodo de Avenidas		Periodo Trancisional		Periodo de Estiaje		Periodo Trancisional	
	inicio	final	inicio	final	inicio	final	inicio	final
Fecha promedio	31-Nov	31-Abr		15-jun		31-Set		31-Nov
Duración media	5 meses		1 ½ meses		3 ½ meses		2 meses	
volumen descargado	70%		16 %		6 %		8 %	

Modificado de ONERN, 1977

4.2.3 PROBABILIDAD DE CRECIDAS

En el cuadro N° 4.7 se presentan los valores de las máximas avenidas probables para distintos períodos de retorno, en la cuenca del río Mala. (ONERN, 1977)

CUADRO N°4.7
MÁXIMAS AVENIDAS PROBABLES DEL RÍO MALA

Período de retorno (Años)	Máximas avenidas probables (m3/Seg)
100	276
50	262
20	238
10	216
5	190

Fuente: ONERN,1977

CAPITULO V

GEOMORFOLOGÍA

El reconocimiento geomorfológico en el área de la cuenca, tiene como objetivos reconocer, delimitar y clasificar las principales formas de relieve, así como las características del drenaje existente en ella. En la lámina N° 04 se presenta el **Mapa geomorfológico de la cuenca del río Mala**, donde se muestran las unidades geomorfológicas que a continuación se describen.

5.1 UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

En la zona de estudio se han diferenciado las siguientes unidades geomorfológicas:

Planicie costanera

Flanco occidental andino

Valles

Superficie de colinas y mesetas volcáno-sedimentarias

Morrenas, bofedales y lagunas

Zona de altas cumbres

Estas unidades conforman un relieve variado que va desde extensas planicies eólicas, aluviales y torrenciales, hasta abruptas y escarpadas vertientes montañosas.

5.1.1 PLANICIE COSTANERA

Conformada por una estrecha franja longitudinal paralela a la cadena andina con una anchura variable entre 5 y 30 Km. Se encuentra limitada al oeste por el litoral Pacífico y al este por el conjunto de cerros bajos correspondientes al Batolito de la Costa.

Presenta un territorio de relieve moderado, en el cual destacan las siguientes sub-unidades:

Playas

Colinas

Pampas costaneras

5.1.1.1 Playas

Esta sub-unidad corresponde a la superficie plana, ubicada en la zona litoral del río Mala. Está conformada por depósitos eólicos y marinos. La línea de playa tiene una orientación aproximada de NW –SE.

En la cuenca del río Mala se encuentran las playas: La Laguna y Las Totoritas. (Foto N° 5.1)

5.1.1.2 Colinas

Representadas por afloramientos intrusivos de poca elevación, que se hallan dentro de la planicie costanera o de abanicos aluviales antiguos y valles cerca al litoral y que han quedado como monte isla, remanentes de los procesos denudativos. Ejemplos de esta sub-unidad se tienen en los cerros Laguna y la Cruz, ubicados al oeste de la ciudad de Mala. (Foto N° 5.2)

5.1.1.3 Pampas costaneras

Se localizan entre el borde litoral y el Flanco Andino Occidental. Se caracterizan por presentar una superficie relativamente plana y amplia. En la zona de estudio están conformadas por los depósitos aluviales acarreados por el río Mala, ubicados entre la ciudad de Mala y la localidad de San Vicente de Azpitia, en la margen izquierda del río Mala, donde se han formado extensas áreas agrícolas.

El abanico aluvial del río Mala presenta espesores bajos terminando en playa, en forma de superficies planas de poca extensión. (Foto N° 5.3)



Foto N° 5.1 Playa Las Totoritas, ubicada en el distrito de Mala.



Foto N° 5.2 Colinas que afloran en litoral de Mala. También se observa la desembocadura del río Mala.

5.1.2 FLANCO OCCIDENTAL ANDINO

Corresponde a cadenas de cerros de poca altura, que se levantan al Este de las pampas costaneras entre los 800 m y los 3800 msnm. Se encuentra constituido por formaciones sedimentarias de ambiente marino, volcánicas, volcano-sedimentarias y por macizos ígneos correspondientes al Batolito de la Costa. Esta unidad está disectada por el río Mala y por sus tributarios, que han labrado valles profundos, encañonados.

5.1.3 VALLES

Esta unidad agrupa a todos los valles labrados por la red de drenaje del río Mala. En la cuenca alta y media muchos de ellos son encañonados y profundos haciéndose más amplios, a medida que se aproximan a la faja costanera. Dentro de ellos existen dos sub-unidades:

5.1.3.1 Valle inundable

Esta unidad es susceptible a inundarse durante la crecida del río Mala. Se caracteriza por presentar una topografía plana donde el cauce del río divaga o migra. Se encuentra entre la desembocadura y la localidad de Azpitia.

5.1.3.2 Valle cañon

Esta geoforma es característica de ríos juveniles donde estos siguen controles estructurales y litológicos, presentando un perfil transversal en forma de «V» con paredes verticales y laderas abruptas labradas a lo largo y de manera transversal a las estructuras presentes en el área. El río Mala presenta la etapa de valle cañon entre Calango y Vizcas. Otros ríos de la cuenca alta, como Huampará y Tantaré también se presentan encañonados. (Foto N° 5.4)

5.1.3.3 Valles glaciares

Ocupan las zonas más altas de la cuenca y no están controladas por patrón estructural alguno. Se han adecuados a las pendientes existentes en el flanco occidental de la divisoria. Se caracterizan por su lecho amplio y presentan forma casi en «U» y labrada por la actividad glacial (Foto N° 5.5).



Foto N° 5.3 Pampas Costaneras cerca al litoral de mala



Foto N° 5.4
Valle cañón observado
a lo largo de la cuenca
media del río Mala

5.1.4 SUPERFICIE DE COLINAS Y MESETAS VOLCÁNO-SEDIMENTARIAS

Esta unidad está conformada por lomadas, pampas y colinas de laderas de baja pendiente disectadas por los ríos tributarios ubicados en la cuenca alta, y mesetas cortadas por valles glaciares. Se ubica en la cuenca alta del río Mala, ocupando el área comprendida desde las nacientes hasta el límite con el flanco occidental andino, entre los 3500 y 5800 msnm.

La zona de colinas, son superficies locales, suaves a moderadamente inclinadas, constituidas por materiales producto de la antigua actividad y volcánica que dió lugar a depósitos de flujos piroclásticos intercalados con secuencias de rocas sedimentarias como limolitas y areniscas. Se observan entre los distritos de Santiago de Anchuacaya y Mariatana, donde se manifiestan a manera de lomas de suave pendiente cuyas alturas se encuentran entre 3800 a 4400 msnm.

La zona de mesetas, corresponde a geoformas muy localizadas que poseen formas planas a manera de mesas con una inclinación suave de 4°-6° y grosores de 30 a 50 m., como la superficie observada entre las ciudades de San Joaquín y Ayavirí, la cual se encuentra muy erosionada por el hielo y disectada por pequeñas quebradas de corto recorrido.

En ésta unidad se encuentra la sub-unidad Morrenas, Bofedales y Lagunas.

5.1.5 MORRENAS, BOFEDALES Y LAGUNAS.

Esta unidad se encuentra ubicada entre los 4500 y 5800 msnm, y está conformada por geoformas glaciares, como valles en «U», lagunas como: Chumpicocha, Total y Suyoc, morrenas producto del acarreo y depósitos fluvioglaciares antiguos los cuales rellenan depresiones (Foto N° 5.6).

Las morrenas presentan formas elongadas de poca pendiente, estando constituidas por bloques heterométricos y subangulares en matriz de arena, limo y arcilla de color rojizo.

La zona de bofedales y lagunas se ubica en las nacientes del río Mala, aproximadamente a 4500 msnm. Son superficies planas a moderadamente onduladas muy locales ubicadas a inmediaciones de las nacientes del río Mala, formando zonas inundables por precipitaciones pluviales intensas en época de lluvias. (Fotos N° 5.7 y 5.8)



Foto N° 5.5 Valle glaciar en las nacientes del río Mala, localidad de San Juan de Tantarancheprovincia de Huarochiri.



Foto N° 5.6 Zona de lagunas. Se observa en la foto a la laguna Paccha y al fondo nevado Vicunita.

5.1.6 ZONA DE ALTAS CUMBRES

Esta zona corresponde a las cumbres más altas, por encima de los 5000 msnm. Presenta topografía abrupta y restos de nieves perpetuas, conformada por los nevados ubicados en las nacientes del río Mala.

El área total de nevados cubre una extensión aproximada de 19 km². Los nevados presentes son: Ticlla, Llongote, Collquepucro, Vicuña, Suiricocha Huaynacutuni, Yaduñe y Runcho siendo el primero, el más alto, con una altura de 5897 msnm.

5.2 ANÁLISIS HÍDRICO BAJO EL ENFOQUE GEOMORFOLÓGICO

A través del análisis de las variables geomorfológicas de la red de drenaje de un sistema hidrológico, se puede obtener fundamentos que expliquen su hidrodinámica. Gran parte de los estudios en cuencas fundamentan su análisis hidrodinámico a partir de considerar variables geomorfológicas cualitativas y cuantitativas, teniéndose en cuenta, que la red hidrológica es una expresión del relieve (VERSTAPPEN, 1983; STRAHLER, 1987).

Por otro lado, el recurso hídrico es un elemento fundamental en el análisis del medio ambiente, que se relaciona de manera múltiple con la vegetación, las formas del relieve, el suelo y las formas de producción del hombre. (KENNETH, et. al., 1992). Por ello es muy importante el cálculo de los parámetros geomorfológicos en el estudio de una cuenca hidrográfica.

A continuación se presentan los principales parámetros geomorfológicos, calculados en la cuenca del río Mala.

5.2.1 PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS

El estudio de los parámetros geomorfológicos, busca establecer las relaciones entre el régimen hidrológico, las características geomorfológicas y los procesos geodinámicos en el área de la cuenca del río Mala.

Para esto mediante el uso del programa ARC/INFO, se efectuaron las mediciones del área, perímetro, y longitud de los ríos de la cuenca. El programa ARC/INFO es un software especializado, usado en los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Los SIG son herramientas informáticas capaces de almacenar y analizar datos



Fotos N° 5.7 y 5.8 Dos vistas de la Zona de Morrenas. La Primera observada, en el mes de Agosto y la segunda en el mes de Junio, entre las localidades de San Juan de Tantaranche y San Lorenzo de Quinti, provincia de Huarochirí.

(SIG). Los SIG son herramientas informáticas capaces de almacenar y analizar datos georeferenciados (mapas), generando modelos geográficos, que son procesados mediante el computador. Los valores obtenidos sirven para calcular los índices que permiten determinar las variaciones o cambios posibles en la geomorfología del área de la cuenca.

Los parámetros geomorfológicos más resaltantes son los siguientes:

5.2.1.1 Superficie de la cuenca

Puede ser caracterizada mediante los siguientes parámetros:

a) Área total de la cuenca

Representa el área total de la cuenca, comprendida entre la divisoria de aguas hasta la desembocadura en el mar; siendo el principal sistema de drenaje el río Mala. El área total es de 2304.95 Km².

b) Área de la cuenca de recepción

Es el área de la cuenca donde ocurre la mayor cantidad promedio de precipitación y está determinada en una estación de aforos en el río principal. Según esto la extensión de la cuenca de recepción del río Mala, hasta la estación de aforo de La Capilla, es de 2035 km² (ONERN, 1976).

c) Área de la cuenca húmeda

Es el área de la cuenca donde la precipitación media anual está por encima de los 200 mm. De acuerdo a esto la extensión de la cuenca húmeda del río Mala es de 1585 km² (ONERN, 1976)

5.2.1.2 Perímetro de la cuenca

La medición del perímetro de la cuenca es importante para estimar el tiempo de concentración de la misma, que será menor cuanto más se semeje a un círculo. La cuenca del río Mala tiene un perímetro aproximado de 315.797 Km.

5.2.1.3 Forma de la cuenca

Esta se expresa mediante los siguientes parámetros:

A. Coeficiente de compacidad (Kc)

Es la relación entre el perímetro y el área de una circunferencia cuya área es igual a la de la cuenca.

$$Kc = 0.28P / \sqrt{A}$$

$$Kc = 0.28(315.797) / \sqrt{2304.95}$$

$$Kc = 1.84$$

Cuando el valor de Kc se aproxima a la unidad, la cuenca tiene una forma aproximadamente circular y habrá mayores oportunidades de crecientes. Para la cuenca en estudio, el valor hallado de kc = 1.89 es mayor que la unidad, lo que concuerda con su forma irregular y alargada.

B. Factor de forma (Ff)

Es la relación entre el ancho medio de la cuenca (Am) y la longitud del curso de agua más largo (Río Mala). El ancho medio se obtiene dividiendo el área de la cuenca entre la longitud del río.

$$Ff = \frac{Am}{L} = \frac{A/L}{L} = \frac{A}{L^2} = \frac{2304.95}{(131.75)^2}$$

$$Ff = 0.13$$

Este es un parámetro que sirve para comparar dos cuencas del mismo tamaño: si el factor de forma de una de ellas, es más alto que el de la otra, la primera estará sujeta a más crecientes.

5.2.1.4 Sistema de drenaje

Está constituido por el curso principal del río Mala y sus tributarios. Se consideran aquí los siguientes parámetros:

A. Grado de ramificación

Es el número de bifurcaciones que tienen los tributarios, enumerados en forma ascendente desde la divisoria de aguas hasta llegar al curso principal.

Siguiendo los criterios de STRAHLER, A. (1952) para jerarquizar o encontrar el grado de ramificación, se ha determinado que el río Mala es de 6° orden.

En el cuadro 5.1 se muestra los valores obtenidos para longitud y orden de los ríos de la cuenca del río Mala.

Cuadro N° 5.1
Orden y longitud de los ríos en la Cuenca del río Mala

Orden	N° de ríos	ΣLongitudes (Km)
1er	1626	3.054.084
2do	228	608.366
3er	56	371.918
4to	6	66.150
5to	2	27.344
6to	1	70.740
TOTAL	1919	Li = 4198.602

B. Densidad de drenaje (Dd)

Indica la relación entre la longitud total de los cursos de 1er al 6to orden de régimen efímero intermitente y perennes en el área de la cuenca.

$$Dd = \frac{Li}{A} = \frac{4198.602km}{2304.95km^2} = 1.82km / km^2$$

Donde Li es la sumatoria de las longitudes de los ríos del mayor al menor orden.

Según ASCUE (1998) los valores de Dd mas altos alcanzan a la unidad. Luego el valor obtenido para la cuenca del río Mala, indica una densidad de drenaje media.

C. Extensión media de escurrimiento superficial (Es)

Indica la distancia media en línea recta que tendrá que recorrer el agua precipitada hasta llegar a un curso de agua.

$$Es = A / 4Li = \frac{2304.95km^2}{4(4198.602km)} = 137.25m$$

Este parámetro indica que el agua de lluvia recorrerá 137.25 m como promedio antes de llegar a un curso de agua. Nos da una idea de la concentración rápida del agua y menor pérdida por evapotranspiración en la superficie.

D. Frecuencia de los ríos (Fr)

Relaciona el número total de cursos de agua efímeros, intermitentes y perennes de la cuenca, con respecto al área total de la misma.

$$Fr = N^{\circ}r/a$$

Donde:

Fr : Frecuencia de ríos

N°r: Número de ríos

A: Área de la cuenca

Entonces: $Fr = 1919 \text{ ríos} / 2304.95 \text{ km}^2 = 0.83 \text{ ríos/km}^2$

5.2.1.5 Elevación de los terrenos

Permite establecer la declividad de la cuenca con respecto a las variaciones altitudinales. Existen los siguientes parámetros relativos a la elevación de los terrenos:

a) Altitud media de la cuenca (H)

Se obtiene mediante la siguiente relación:

$$H = \frac{\sum (h_i \cdot S_i)}{A}$$

Donde:

h_i = Altitud media de cada área parcial comprendida entre las curvas de nivel. Se toma con respecto a la desembocadura.

S_i = Área parcial entre curvas de nivel.

A = Área total de la cuenca

En el cuadro N° 5.2 se muestra las áreas parciales entre curvas de nivel separadas cada 1000 m, para la cuenca del río Mala.

Cuadro N° 5.2
Áreas parciales entre curvas de nivel

Intervalo	Área parcial Si (Km ²)	%	% Áreas acumuladas	Altitud hi	hiXSi
0 -1000	213.64	9	9	500	106820
1000-2000	309.71	13	22	1500	464565
2000-3000	355.23	15	37	2500	888075
3000-4000	449.89	20	57	3500	1574615
4000-5000	946.87	42	99	4500	4260915
5000-5800	29.61	1	100	5400	159894
Total	2304.95	100			7454884

Del cuadro N° 5.2 se obtiene:

$$H = \frac{7454884}{2304.95}$$

$$H = 3234.3 \text{ msnm.}$$

b) Polígono de frecuencia de altitudes

Es un diagrama que relaciona las superficies parciales de una cuenca (en porcentaje) y las alturas relativas a dichas áreas comprendidas entre las curvas de nivel.

c) Curva Hipsométrica

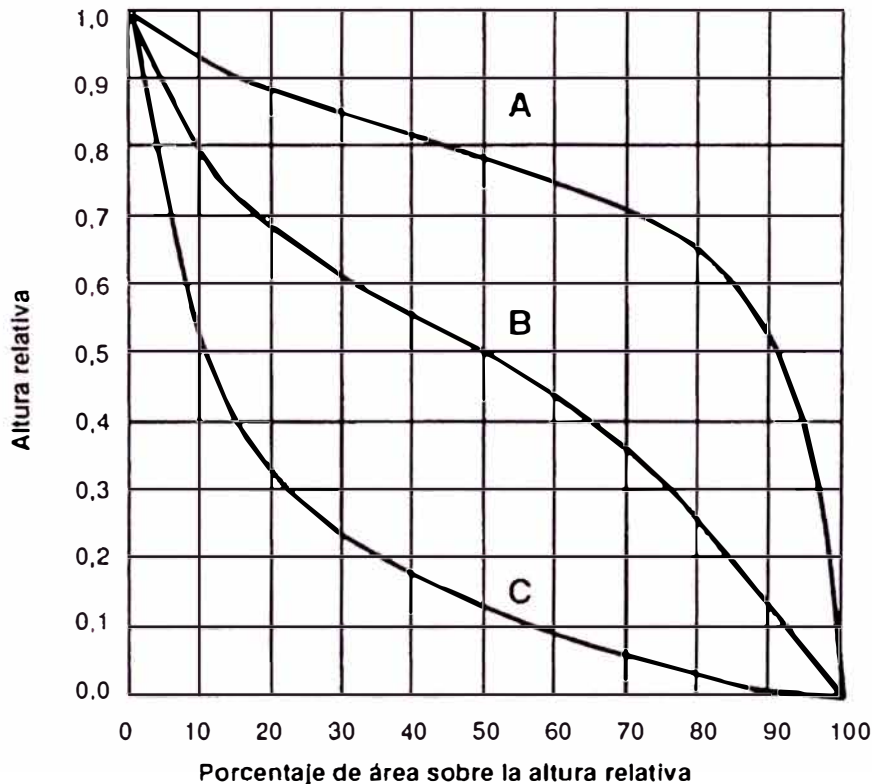
Es un gráfico que representa la proporción de superficie con relación a la altitud. Representa, en el eje vertical las altitudes y en el eje horizontal las superficies en Km² o en porcentajes acumulativos.

Según, Llamas (1993), La curva hipsométrica, refleja el ciclo erosivo por el que atraviesa una cuenca hidrográfica. En el gráfico N° 5.1, se presenta las Curvas hipsométricas características del ciclo de erosión de una cuenca hidrográfica, en el que la curva superior (curva A) refleja una cuenca con un gran potencial erosivo; la curva intermedia (curva B) es característica de una cuenca en equilibrio; y la curva inferior (curva C) es típica de una cuenca que ya fue erosionada. Esto representaría distintas fases de la vida de los ríos:

- curva A: fase de juventud
- curva B: fase de madurez
- curva C: fase de vejez

Gráfico N° 5.1

Curvas hipsométricas características del ciclo de erosión de una cuenca hidrográfica



(Fuente: LLamas, J., Hidrología general, 1993).

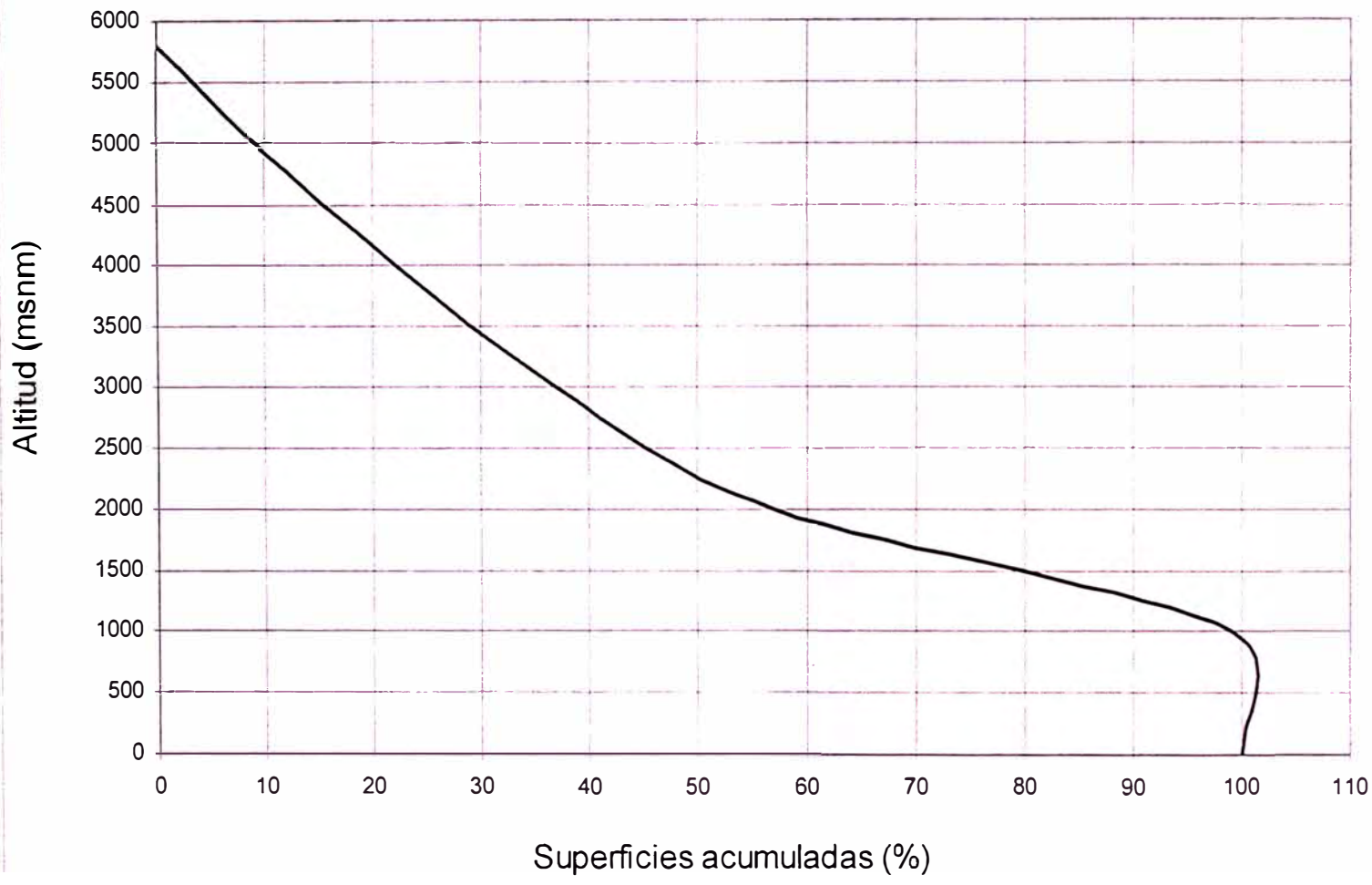
En el gráfico N° 5.2 se muestra la curva hipsométrica correspondiente a la cuenca del río Mala, que comparada con el gráfico N° 5.1, permite deducir que esta se aproxima a una etapa de juventud que está evolucionando hacia una etapa de madurez; presentando un alto nivel erosivo.

5.2.1.6 Rectángulo equivalente

Es un rectángulo que tiene la misma superficie de la cuenca, el mismo coeficiente de compacidad e idéntica repartición hipsométrica.

Los lados del rectángulo equivalente están dados por las siguientes relaciones:

Gráfico N° 5.2
Curva Hipsométrica de la cuenca del río Mala



$$L = \frac{Kc\sqrt{A \times 1}}{1.12} + \left[\sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc} \right)^2} \right]$$

$$I = \frac{Kc\sqrt{A \times 1}}{1.12} - \left[\sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc} \right)^2} \right]$$

Siendo: Kc = coeficiente de compacidad

A = área de la cuenca

L = lado mayor del rectángulo equivalente

I = lado menor del rectángulo equivalente

Entonces conociendo A y Kc para la cuenca del río Mala tenemos:

$$L = 1.84 \frac{\sqrt{2304.85}}{1.12} \times 1 + \left[\sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{1.84} \right)^2} \right]$$

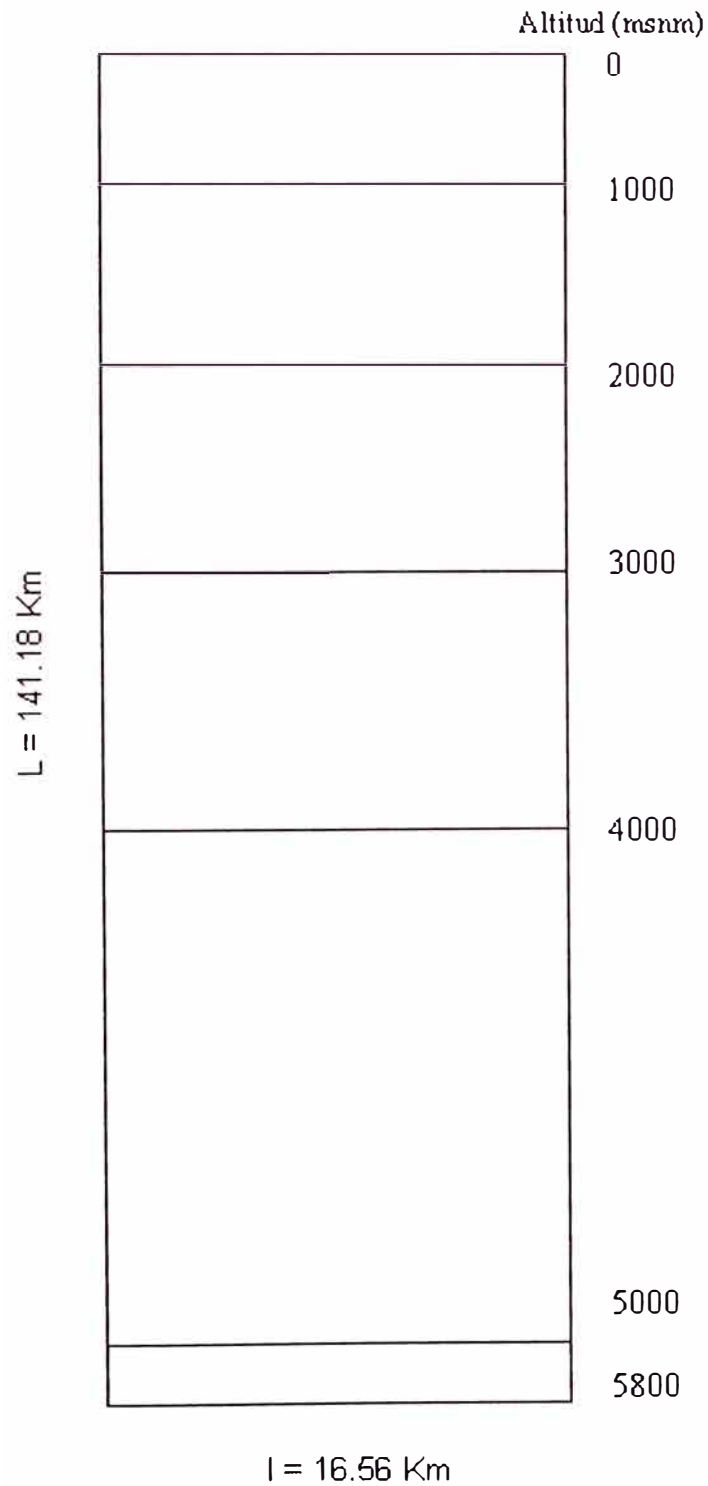
$$L = 78.87 \times 1.79 = 141.18 Km$$

$$I = 1.84 \frac{\sqrt{2304.85}}{1.12} \times 1 - \left[\sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{1.84} \right)^2} \right]$$

$$I = 78.87 \times 0.21 = 16.56 km$$

Con los valores obtenidos se realizó el gráfico N° 5.3.

Gráfico N° 5.3
RECTÁNGULO EQUIVALENTE DE LA CUENCA DEL RÍO MALA



5.2.1.7 Declividad de los alveos

El agua superficial concentrada en los lechos fluviales discurre con una velocidad que depende directamente de la declividad de estos, así a mayor declividad, habrá mayor velocidad de escurrimiento. Uno de los parámetros usados para el cálculo de la declividad de los álveos es la pendiente media del río.

A Pendiente media del río: (I_c)

Este parámetro se emplea para determinar la declividad de un curso de agua entre dos puntos y se determina mediante la siguiente relación:

$$I_c = \frac{(HM - Hm)\%}{1000L}$$

I_c = pendiente media del río

L = longitud del río más largo en metros.

HM y Hm son la altitud máxima y mínima en metros, del lecho del río, referidas al nivel medio de las aguas de mar.

$$I_c = \frac{5800 - 0}{1000(131.71)}$$

$$I_c = 4.4\%$$

5.2.1.8 Declividad de los terrenos

Esta característica influye directamente en el escurrimiento superficial, controlando en gran parte su velocidad y afectando al tiempo que el agua de lluvia demora en concentrarse en los lechos fluviales que forman la red de drenaje de la cuenca. En cuencas pequeñas, el tiempo utilizado en el escurrimiento superficial constituye una parte significativa del tiempo total necesario para que el agua llegue a la desembocadura, en tanto que para cuencas grandes este valor se torna menos significativo.

Existen diferentes métodos pero el más usado es el **Método del índice de pendiente de la cuenca (I_p)**, que se basa en mediciones efectuadas en el rectángulo equivalente. Se expresa mediante la siguiente relación:

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \times \sum 1 - N \sqrt{\frac{B_i(A_n - A_{n-1})}{1000}}$$

Donde:

N = Número de curvas de nivel en el rectángulo equivalente.

B_i = Fracción del área total de la cuenca comprendida entre las cotas A_n y

A_{n-1}

A_n, A_{n-1} = Valor de las cotas de las «n» curvas de nivel consideradas.

L = Longitud del lado mayor del rectángulo equivalente

Hallando $B_i = B_1, B_2, B_3, B_4, B_5$ y B_6

0 – 1000:	$B_1 = \frac{213.64}{2304.95}$	=	0.09
1000 – 2000:	$B_2 = \frac{309.71}{2304.95}$	=	0.13
2000 – 3000:	$B_3 = \frac{355.23}{2304.95}$	=	0.15
3000 – 4000:	$B_4 = \frac{449.89}{2304.95}$	=	0.20
4000 – 5000:	$B_5 = \frac{946.87}{2304.95}$	=	0.41
5000 – 5800:	$B_6 = \frac{29.61}{2304.95}$	=	0.01

También:

$$\begin{aligned} A_2 - A_1 &= 1000 - 0 = 1000 \\ A_3 - A_2 &= 2000 - 1000 = 1000 \\ A_4 - A_3 &= 3000 - 2000 = 1000 \\ A_5 - A_4 &= 4000 - 3000 = 1000 \\ A_6 - A_5 &= 5000 - 4000 = 1000 \\ A_7 - A_6 &= 5800 - 5000 = 800 \end{aligned}$$

Luego:

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{141.18}} \times \left[\sqrt{\frac{0.09 \times 1000}{1000}} + \sqrt{\frac{0.13 \times 1000}{1000}} + \sqrt{\frac{0.15 \times 1000}{1000}} + \sqrt{\frac{0.20 \times 1000}{1000}} + \sqrt{\frac{0.41 \times 1000}{1000}} + \sqrt{\frac{0.01 \times 1000}{800}} \right]$$

$$I_p = \frac{1}{11.88} \times [0.30 + 0.37 + 0.39 + 0.44 + 0.64 + 0.11]$$

$$I_p = 0.19$$

Por lo tanto el promedio de pendientes en la cuenca es de 19%. Para cuencas cuya velocidad de colmatación es media este valor varía entre 12 y 18% (Ascue, 1998), por lo que se deduce que 19% indica una velocidad de colmatación mayor y comportamiento geodinámico mas activo.

5.2.1.9 Coeficiente de torrencialidad (Ct)

Es la relación entre el número de cursos de agua de primer orden y el área total de la cuenca. Expresa la capacidad de erosión de la cuenca, pues los cauces de primer orden implican fuertes pendientes.

$$Ct = N^{\circ}r/A$$

Donde:

Ct : Coeficiente de torrencialidad

N°r: Número de ríos de primer orden

A: Área de la cuenca

Entonces: Ct = 1626 /2304.95

De acuerdo a esto la frecuencia de los ríos de la cuenca estudiada es de 0.71 ríos/Km²

5.2.1.10 Coeficiente de masividad (Cm)

Es la relación entre la altitud media y el área total de la cuenca (H). Expresa la capacidad de erosión de la cuenca, pues los cauces de primer orden implican fuertes pendientes.

$$Cm = \frac{H}{A}$$

Donde:

H : Altitud media de la cuenca

A: Área de la cuenca

$$\text{Entonces: } C_m = \frac{3234.24 \text{ m}}{2304.95 \text{ Km}^2}$$

De acuerdo a esto el coeficiente de masividad de la cuenca del río Mala es de 1.40 m/Km². de la fórmula, se deduce que para las cuencas con acción erosiva actual, los valores son mayores a 1 m/Km².

En el cuadro N° 5.3 se muestra un resumen de los parámetros geomorfológicos calculados:

**CUADRO N°5.3
PARÁMETROS GEOMORFOLOGICOS
DE LA CUENCA DEL RÍO MALA**

Parámetros de Superficie	
Área total de la cuenca (A)	2304.95 Km ²
Área de la cuenca de recepción (Ar)	2035 Km ²
Área de la cuenca húmeda (Ar)	1585 Km ²
Perímetro de la cuenca: 315.797 Km	
Parámetros de la forma de la cuenca	
Coeficiente de compacidad (Kc)	1.84
Factor de forma (Ff)	0.13
Parámetros relativos al sistema de drenaje	
Grado de ramificación (Gr)	6to orden
Densidad de drenaje (Dd)	1.82 Km/Km ²
Extensión media superficial (Es)	137.25 m
Frecuencia de ríos (Fr)	0.83 ríos/Km ²
Parámetros relativos a la Elevación de los terrenos	
Altitud media de la cuenca (H)	3234.24 m
Parámetros relativos a la Declividad de los álveos	
Pendiente media del río (Ic)	4.4 %
Coeficiente de torrencialidad: 0.71 m/Km²	
Coeficiente de masividad: 1.40 m/Km²	
Parámetros relativos a la Declividad de los terrenos	
Índice de Pendiente de la cuenca (Ip)	19%

CAPITULO VI

ESTRATIGRAFÍA Y CONDICIONES ESTRUCTURALES

6.1 ESTRATIGRAFÍA

Esta sección describe en forma resumida la columna estratigráfica del área de estudio, la que está formada por formaciones sedimentarias, volcano-sedimentarias, volcánicas y unidades intrusivas (Fig N° 6.1), cuyas edades van desde el Cretáceo inferior al Cuaternario reciente.

En la lámina N° 05 se presenta el **Mapa geológico de la cuenca del río Mala**. A continuación se presentan las principales características estratigráficas diferenciadas en dos sectores de la cuenca: Faja de la costa y Sector occidental.

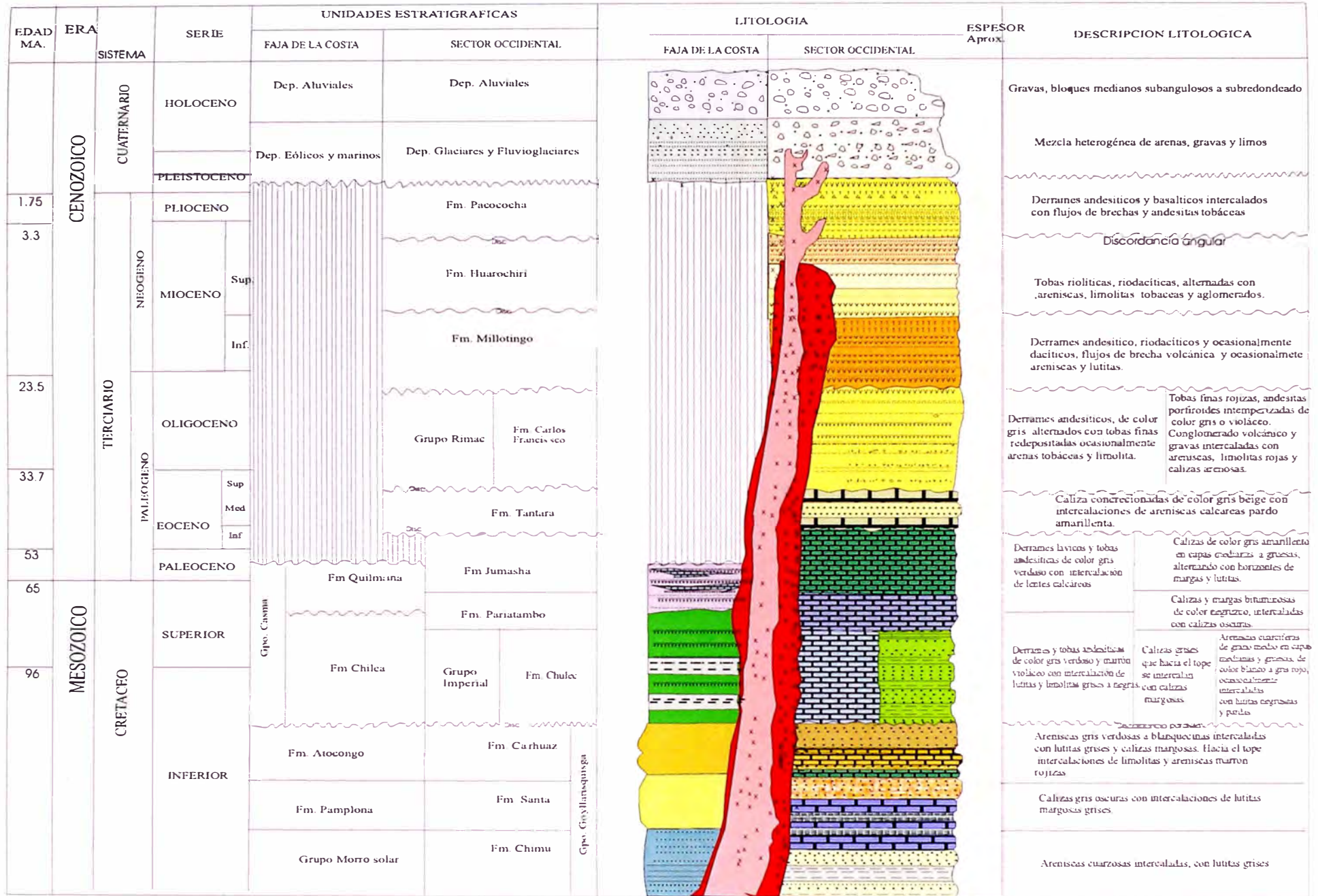
6.1.1 FAJA DE LA COSTA

En esta zona afloran las siguientes unidades estratigráficas:

6.1.1.1 Grupo Morro Solar: Conformado por rocas de las formaciones Salto de Fraile, Herradura y Marcavilca, que en conjunto constituyen una secuencia de areniscas, lutitas y ocasionales horizontes volcánicos. Su coloración varía de blanco grisáceo a pardo claro y se le asigna una edad de Cretáceo inferior (SALAZAR, H. et al., 1993).

Los únicos afloramientos de este grupo en la cuenca en estudio, se ubican en la margen derecha del río Mala, entre las localidades de Condoray y Limón, en el distrito de San Vicente de Azpitia. Presenta frecuentes escarpes y un grado de fisuración bastante elevado.

6.1.1.2 Formación Pamplona: Formada en la base por lutitas y hacia el tope por calizas. Sobreyace en forma concordante y transicional a la Formación Marcavilca del Grupo Morro Solar. Se considera que su edad es Cretáceo inferior (SALAZAR, H. et al., 1993).



INTRUSIVOS
 Terciarios
 Batolito de la Costa

FIG. N° 6.1

En la cuenca del Río Mala esta formación tiene exposición limitada, aflorando principalmente en el cerro Higuerón, en el distrito de San Vicente de Azpitia.

6.1.1.3 Formación Atocongo: consiste en calizas compactas de color gris oscuro a azulinas estratificadas en bancos gruesos.

Se le considera de edad Cretáceo inferior. sobreyace en concordancia sobre la Formación Pamplona (SALAZAR, H. et al., 1993).

En el área de estudio, esta formación tiene exposición limitada aflorando sólo en el cerro Higuerón, al oeste del caserío Limón, distrito de Calango.

6.1.1.4 Grupo Casma: Conformado por las formaciones Chilca y Quilmaná.

La **Formación Chilca**, consiste de derrames lávicos andesíticos, brechas piroclásticas, de coloraciones entre gris verdosas y marrón violáceos con intercalaciones de lutitas y limolitas grises a negras. Se le asigna una edad de Aptiano-Albiano inferior a medio (SALAZAR, H. et al., 1993).

En el área de estudio aflora en forma de colinas de poca elevación, en la margen izquierda del río Mala, entre Pampa Hermosa y la Hacienda Tutumo en el distrito de San Antonio. Se presentan cubiertas por materiales cuaternarios de origen eólico.

La **Formación Quilmaná**, está constituida por derrames y tobas andesíticas de color gris verdoso en interestratificación con lentes calcáreos. El grupo sobreyace en concordancia sobre la Formación Chilca y se le considera depositado en el Cretáceo superior (SALAZAR, H. et al., 1993).

Afloramientos de este grupo ocurren en ambas márgenes del río Mala, a la altura de Cruz Blanca (Dist. de Santa Cruz de Flores, Prov. Cañete); en el Cerro Minay cerca al caserío de Corral Quemado (Dto. de Calango, prov. Cañete) y en el Cerro Lúcumo a la altura del caserío de Pongo (Dto. de Quinocay, Prov. Yauyos).

6.1.1.5 Depósitos Cuaternarios: son los siguientes:

Depósitos Eólicos y marinos, ubicados en la zona de estudio, en las playas y cubriendo sectores de algunas colinas aisladas en las pampas costaneras.

Depósitos Aluviales, conformados por una mezcla heterogénea de bolones, cantos, gravas, arenas, limos y arcillas con alta o mediana consolidación. Los fragmentos de mayores tamaños corresponden a rocas intrusivas, volcánicas y

sedimentarias. Constituyen terrazas aluviales, erosionadas por las quebradas actuales. En la zona de estudio se encuentran, en la cuenca media e inferior del río Mala.

6.1.2 SECTOR OCCIDENTAL

En este sector afloran las siguientes unidades estratigráficas:

6.1.2.1 Grupo Goyllarisquizga: Consiste en una secuencia de rocas sedimentarias principalmente areniscas cuarzosas intercaladas con lutitas y calizas (SALAZAR, H.,1983)

En el cerro Collquepucro, cerca del nevado del mismo nombre, se le ha encontrado de manera indiferenciada correspondiendo a una secuencia clástica-calcárea, infrayacente a una serie de calizas albianas. Su edad se ha establecido como Neocomiano-Aptiano.

En algunos sectores de la cuenca alta se pueden diferenciar a sus formaciones: Chimu, Santa y Carhuaz.

La **Formación Chimú**, está constituida por areniscas cuarzosas, con intercalaciones de lutitas grises (SALAZAR, H.,1983)

Aflora en la cuenca alta entre las localidades de Carhuapampa y San Juan de Tantarache (Dist. de San Juan de Tantarache). Su edad se ha estimado en Valanginiano inferior a medio.

La **Formación Santa**, está conformada por calizas gris con intercalaciones de lutitas grises margosas. Se le asigna una edad de Valanginiano superior (SALAZAR, H.,1983).

Aflora sólo en la cuenca alta, cerca la localidad de Huachos, en ambos márgenes del río Carhuapampa.

La **Formación Carhuaz**, está conformada por areniscas gris verdosas a marrón rojizo con intercalaciones de lutitas negruzcas, calizas margosas y limolitas. Se le asigna una edad de Valanginiano superior-Aptiano. Yace concordante a la Formación Santa (SALAZAR, H.,1983).

Aflora en la cuenca media y alta; entre las localidades de Viscas y Huampará.

6.1.2.2 Grupo Imperial: Conformado en la base por calizas grises que hacia el tope se intercalan con calizas margosas. Se le asigna una edad de Aptiano su-

perior-Albiano inferior y es correlacionable a la Formación Chulec. Yace concordante a la Formación Carhuaz (SALAZAR, H.,1983).

Aflora en el cerro Churo Churo entre las localidades de Corina y Casca (Cuenca media).

6.1.2.3 Formación Chulec: Depositada paralelamente, al Grupo Imperial y conformada por calizas grises intercaladas con calizas margosas y margas pardas grisáceas. Se le asigna una edad de Albiano medio. Yace concordante a la Formación Carhuaz (SALAZAR, H.,1983).

En la cuenca del río Mala aflora sólo en el cerro Milaucro entre el Nevado Collquepucro y la laguna del mismo nombre (nacientes del río Mala).

6.1.2.4 Formación Pariatambo: Conformada por calizas y margas bituminosas de color negruzco, intercaladas con calizas oscuras. Se le asigna una edad de Albiano medio. Yace concordante a la Formación Chulec, e infrayace a la Formación Jumasha (SALAZAR, H.,1983).

En la cuenca del río Mala aflora solo en el cerro Ninaucro entre el Nevado Collquepucro y la laguna del mismo nombre (nacientes del río Mala).

6.1.2.5 Formación Jumasha: Constituida por calizas grises a gris amarillentas. Infrayace en concordancia sobre las capas de la Formación Pariatambo. Se le ha asignado una edad Albiano superior-Turoniano. (SALAZAR, H.,1983).

En la zona de estudio aflora en la cuenca alta, zona Nor-Oriental en el nevado Paccha, casi al límite de la cuenca.

6.1.2.6 Formación Tantara: Se conoce con este nombre a una secuencia de rocas volcánicas constituidas por derrames lávicos andesíticos y flujos de brechas gris verdosos a violáceos. Su edad está considerada como Eoceno superior. Se encuentra suprayaciendo de forma discordante sobre la Formación Jumasha y la Formación Quilmaná. (SALAZAR, H.,1983).

6.1.2.7 Grupo Rimác: Constituido por una secuencia de lavas y tufos andesíticos, tobas riolíticas y dacíticas, intercalados con areniscas limolíticas gris verdosas a rojizas, limolitas abigarradas y areniscas feldespáticas. Yace de manera discordante sobre la Formación Tantaré e infrayace también en discordancia a la Formación Millotingo. Su edad más probable es Eoceno-Oligoceno (SALAZAR, H.,1983).

Aflora ampliamente en la cuenca alta del río Mala.

6.1.2.8 Formación Carlos Francisco: Constituida por tobas rojizas, andesitas porfiroides gris verdosas a violáceas, conglomerado volcánico en intercalación con areniscas, limolitas rojas y calizas arenosas. Yace de manera discordante sobre la Formación Jumasha e infrayace también en discordancia a la Formación Millotingo. Su edad mas probable es Eoceno-Oligoceno (SALAZAR, H.,1983).

Aflora sólo en la cuenca alta del río Mala, encontrándose en la zona de las nacientes, entre los parajes de Pampacancha y Panteón.

6.1.2.9 Formación Millotingo: Constituida por lavas andesíticas, riodacíticas y traquiandesíticas. Yace discordantemente sobre el Grupo Rímac. Su edad ha sido señalada como Oligoceno superior-Mioceno inferior (SALAZAR, H.,1983).

En el área de estudio aflora en las cabeceras de la cuenca, muy cerca de las lagunas que conforman las nacientes del río Mala.

6.1.2.10 Formación Huarochirí: Constituida por tobas riolíticas y riodacíticas alternadas con horizontes de areniscas, limolitas, aglomerados. Yace en discordancia sobre la Formación Millotingo y en otros sectores sobre el Grupo Rímac. Se estima su edad como Mioceno superior (SALAZAR, H.,1983).

Aflora en la cuenca alta, entre Pacomanta y Huarochirí y tiene una amplia extensión entre la localidad de Pampacancha y Chaquiscocha del distrito de Ayavirí.

6.1.2.11 Formación Pacococha: Constituída por derrames lávicos de composición andesítica y basáltica intercalados con flujos de brechas volcánicas y tobas andesíticas. Su edad más probable es Mio-Plioceno (SALAZAR, H.,1983).

Aflora sólo en el Cerro Ayarhuayque, en la cuenca alta, zona Norte.

6.1.2.12 Depósitos Cuaternarios: Constituidos por:

Depósitos Aluviales, Constituyen terrazas aluviales, erosionadas por las quebradas actuales, de la cuenca media y alta del río Mala.

Depósitos Fluviales, compuestos por bolones, cantos y gravas de rocas intrusivas y volcánicas, transportadas por los ríos a grandes distancias en el fondo de los valles y depositados en forma de terrazas o playas. Son materiales no consolidados.

Se encuentran en las terrazas mas recientes del río Mala y de sus ríos tributarios de la cuenca alta y media.

Depósitos Fluvioglaciares, constituidos por material producto de diferentes etapas de glaciación, acarreados y depositados por la corriente de los ríos de la cuenca alta.

Se encuentran en las terrazas aluvionales cerca de las nacientes del río Mala, extendiéndose hasta la cuenca alta en el cauce de los ríos formadores Ayavirí, Tantará, Quinches y San Lorenzo.

6.2. ROCAS INTRUSIVAS

Las rocas intrusivas encontradas en la cuenca del río Mala, se pueden subdividir en dos grupos: Hipabisales y Plutónicas.

6.2.1 Rocas intrusivas hipabisales

Corresponden a cuerpos subvolcánicos que se presentan en forma de diques o pequeños stocks, de manera aislada en la zona alta de cuenca. De acuerdo a su composición varían de básicas a ácidas, habiéndose encontrado intrusiones menores de diorita, tonalita, granodiorita, monzonita, en el sector de Cachipampa (Distrito. De Ayavirí) y en el nevado Collquepucro (NE de la cuenca alta); así como otros cuerpos intrusivos de riódacita y andesita en las inmediaciones de Mesapata y Totoral (naciente del río Mala). Se encuentran intruyendo a las formaciones descritas anteriormente y algunos diques hipabisales mas jóvenes intruyen a cuerpos intrusivos plutónicos.

6.2.2 Rocas intrusivas plutónicas

Las rocas intrusivas plutónicas se hallan representadas por el conjunto de intrusiones del Batolito de la Costa, cuyas clasificaciones petrológicas varían entre diorita, tonalita, gabrodioritas, granodioritas, monzogranito y monzodioritas. Estos cuerpos intrusivos se encuentran formando parte de las super-unidades **Jecuan, Patap, Cochahuasi, Tiabaya, Incahuasi**, aflorando en ambos márgenes del río Mala desde la faja costanera hasta Alloca, en la cuenca media e inferior. Presentan en general forma alargada en sentido NO-SE, y se distribuyen paralelamente al río Mala. Dataciones radiométricas han proporcionado datos de edades entre 134 y 66 MA para las unidades señaladas.

6.3 CONDICIONES ESTRUCTURALES

La tectónica andina provocó el levantamiento de los andes, plegamiento y deformación de las secuencias mesozoicas y terciarias originando estructuras de rumbo NW-SE.

Los movimientos tectónicos fueron seguidos de procesos de erosión originando disconformidades entre:

Rocas del cretáceo inferior y calizas del cretáceo superior.

Secuencias carbonatadas y volcano-sedimentarias del Terciario (Fase Peruana y Fase incaica).

Entre las rocas volcano-sedimentarias del Terciario inferior y las del Terciario medio (Fase Poroche)

Entre las rocas volcánicas del Mioceno y las del Plioceno inferior (Fase Quechuana).

Las principales estructuras en la cuenca del río Mala son:

6.3.1 Anticlinal de Ayarhuayque

Se trata de una estructura angosta conformada por rocas plegadas de la Formación Chimú, cubiertas por los volcánicos Terciarios de la Formación Pacococha. Se ubica en el cerro Ayarhuayque al extremo norte de la cuenca, en las nacientes del río Mala.

6.3.2 Plegamientos del Área de Santiago-San Lorenzo-Carhuapampa

Se trata de un sistema de anticlinales y sinclinales simétricos, localmente asimétricos con ejes de orientación NW-SE. Estas estructuras se encuentran en la zona norte de la cuenca alta, entre los distritos de Santiago de Anchucaya y San Lorenzo de Quinti; extendiéndose hasta la localidad de Carhuapampa. Afectan a rocas cretácicas.

6.3.3 Plegamientos del Área de Viscas-Quiripa-Quinocay

Se trata de un sistema de pliegues asimétricos poco reconocibles con ejes de orientación NW-SE y pliegues menores disarmónicos. Afecta a rocas cretácicas. Se han ubicado en la cuenca media del río Mala.

6.3.4 Plegamientos del Área de Huampará-Huañec-Ayaviri

Se trata de anticlinales y sinclinales con ejes de orientación NW-SE que afectan a rocas volcánicas de edad Terciaria. Se han ubicado en la cuenca alta del río Mala, entre las localidades de Huampará, Huañec y Ayaviri en la provincia de Yauyos.

6.3.5 La Falla de Huampará

Pone en contacto a los volcánicos del grupo Rímac con las formaciones cretáceas Santa, Carhuaz e Imperial.

6.3.6 Fallamientos y sinclinales de la zona de Mala

En la cuenca baja del río Mala, en las inmediaciones de la localidad de Mala, se ha encontrado fallamiento en bloques, conformando fallas longitudinales y transversales a la dirección del río. También se encuentran sinclinales de buzamientos suaves cuyo eje tiene un rumbo NW-SE que pliega a rocas volcánicas y sedimentarias de edad cretácica.

CAPITULO VII

GEODINÁMICA

7.1 CLASIFICACIÓN GEODINÁMICA DE ROCAS Y DEPÓSITOS SUPERFICIALES

El tipo de roca, tiene influencia sobre la susceptibilidad de ocurrencia de los fenómenos de remoción en masa, estabilidad de taludes, resistencia contra el intemperismo. Por ello teniendo en cuenta, las semejanzas litológicas y sus propiedades geotécnicas, se han agrupado los principales tipos de rocas y materiales inconsolidados, en las unidades mostradas a continuación.

7.1.1 UNIDAD I: DEPÓSITOS SUPERFICIALES

Se clasifican de acuerdo a su origen en:

7.1.1.1 Depósitos Eólicos

En la cuenca del río Mala, estos depósitos son susceptibles a la ocurrencia de arenamientos que interrumpen las vías de acceso cerca al distrito de Mala.

7.1.1.2 Depósitos fluvioglaciares y depósitos glaciares

Medianamente compactos y de permeabilidad baja a media. Se encuentran estables en el área de estudio.

7.1.1.3 Depósitos Aluviales y fluviales

Su permeabilidad es media a alta y su compactación es baja a nula. Son susceptibles a la ocurrencia de huaycos y flujos de lodo.

7.1.1.4 Depósitos Proluviales, Coluviales.

Los depósitos proluviales medianamente consolidados a muy consolidados, susceptibles a la erosión.

Los depósitos coluviales son medianamente consolidados y pueden ser estables en el caso de materiales susceptibles a erosión sea fluvial o pluvial, cuando los materiales son finos y según donde se les localice.

7.1.1.5 Depósitos Marinos

Son estables a las condiciones geodinámicas, salvo en el caso de movimientos sísmicos de gran intensidad que podrían originar licuefacción. Se encuentran en la zona litoral pegados a la costa entre la Hacienda la Laguna y la Isla Pan de Azúcar.

7.1.2 UNIDAD II: ROCAS INTRUSIVAS

Las rocas intrusivas pertenecientes al Batolito de la Costa y los cuerpos subvolcánicos o hipabisales ubicados en la cuenca del río Mala, presentan un grado de fracturamiento y alteración, moderado y alta dureza. En los taludes son estables, pero en ocasiones son proclives a la formación de bloques, la caída de estos fragmentos forma acumulaciones de depósitos coluviales en las bases de los cerros, siendo susceptibles a variados fenómenos geodinámicos principalmente caída de rocas y derrumbes.

La resistencia de estos materiales varía con la composición, textura y localización, presentando en general, valores de cohesión entre 35-55 Mpa, ángulos de fricción entre 34°- 45°, resistencia a la compresión entre 100 y 350 N/mm² (Hoek y Bray, 1981; Giani 1992; Willye 1996)

7.1.3 UNIDAD III: ROCAS VOLCÁNICAS LÁVICAS

Corresponden a las formaciones Pacococha, Millotingo y Tantará. La naturaleza litológica y las condiciones estructurales, sísmicas e hidrológicas de la cuenca alta, donde aflora esta unidad, hace que puedan ser susceptibles a caídas de rocas y derrumbes, sobre todo si se encuentran fracturadas o alteradas. Los valores de resistencia a la compresión para estas rocas, se encuentran entre 50 a más de 280 N/mm² y los valores para ángulos de fricción entre 20°- 45°, (Hoek y Bray, 1981; Sowers, 1981)

7.1.4 UNIDAD IV: ROCAS VOLCANO - SEDIMENTARIAS

Esta Unidad está representada por el Grupo Rimac, la Formación Huarochiri, y el Grupo Casma (Hacia la costa) estando constituidas por derrames y tufos andesíticos, tobas riolíticas, intercalados con areniscas, limolitas, lutitas y lentos calcáreos.

Los parámetros de resistencia en éste tipo de rocas son variables; por un lado para las tobas, aglomerados y tufos el ángulo de fricción varía entre 10°- 30°, resistencia a la compresión entre 5-100, N/mm² mientras que para las areniscas limolitas y lutitas el ángulo de fricción varía entre 25°-35°, resistencia a la compresión entre 5-170 N/mm². Los fenómenos de geodinámica externa más comunes en esta unidad, son las caídas de rocas, derrumbes y erosión de laderas.

7.1.5 UNIDAD V: ROCAS SEDIMENTARIAS

Se le ha dividido en 2 grupos:

7.1.5.1 Areniscas cuarzosas, limolitas y lutitas (V-1):

Está representada por el Grupo Morro Solar, las formaciones Chimu y Carhuaz. Desde el punto de vista geodinámico, estos tipos de roca son susceptibles a caídas de roca, derrumbes y erosión. Las areniscas son las rocas más competentes, presentando valores de resistencia a la compresión entre 20-170 N/mm²; ángulo de fricción entre 34°- 46° y grado de cohesión entre 10-30 Mpa; mientras que las limolitas y lutitas presentan valores de resistencia a la compresión entre 5 y 100 N/mm², valores para ángulo de fricción entre 25°- 35° y grado de cohesión entre 1-20 Mpa. (Hoek y Bray, 1981; Giani, 1992).

7.1.5.2 Calizas, areniscas y lutitas (V-2):

La resistencia de las rocas a la compresión de estos tres tipos de roca es variable, así para las calizas se tiene valores de resistencia a la compresión entre 30-250 N/mm²; ángulo de fricción entre 34°- 45° y grado de cohesión entre 10-30 Mpa; para las areniscas valores de resistencia a la compresión entre 20-170 N/mm²; ángulo de fricción entre 34°- 46° y grado de cohesión entre 10-30 Mpa y para las lutitas valores de resistencia a la compresión entre 5 y 100 N/mm², valores para ángulo de fricción entre 25°- 35° y grado de cohesión entre 1-20 Mpa. (Hoek y Bray, 1981; Giani, 1992).

Estos tipos de roca son susceptibles a fenómenos geodinámicos externos de tipo deslizamientos, desprendimientos de roca, derrumbes y erosión. Pertenecen a esta sub unidad, el Grupo Imperial y las formaciones: Pamplona, Atocongo, Chulec, Pariatambo y Jumasha.

En la lámina N° 11 se muestra el **Mapa de unidades litológicas de la cuenca del río Mala**, donde se presenta la distribución de dichas unidades en el área de estudio.

7.2 GEODINÁMICA EXTERNA

7.2.1 PELIGROS GEOLOGICOS DE REMOCION EN MASA

Se describe en este acápite, los principales peligros geológicos de remoción en masa ocurrentes en la cuenca del río Mala, de acuerdo a la Clasificación de Varnes (1978). Se han reconocido 70 caídas (36 Caída de rocas y 34 derrumbes), 03 deslizamientos, 39 flujos (37 huaycos y 02 flujos de lodo) y 9 movimiento complejos.

7.2.1.1 Caídas

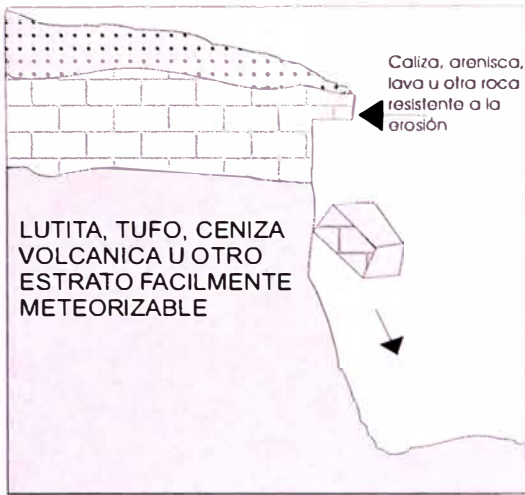
Se diferencia dos tipos de caídas:

a) Caída de rocas

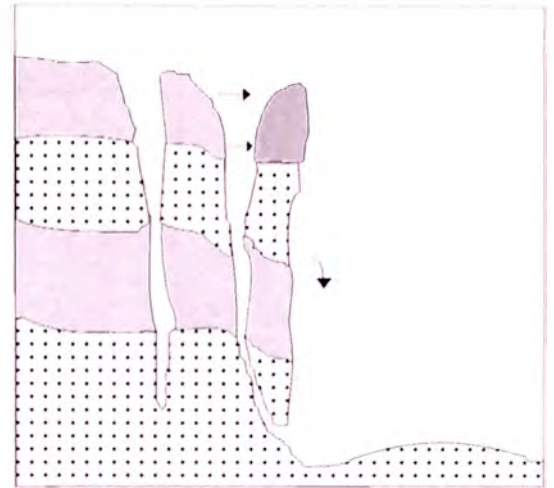
El fenómeno de caída o desprendimiento de rocas, depende principalmente de la composición, presencia de discontinuidades en las rocas; pendiente, efectos climáticos y sobrefracuramiento por voladura (corte artificial del talud) (Fig. N° 7.1 y Fotos N° 7.1, 7.2).

En la cuenca del río Mala, se producen caídas de rocas principalmente en rocas volcanosedimentarias del Grupo Rímac y en rocas intrusivas (Super unidades del Batolito de la Costa). En la mayoría de los casos, los desprendimientos de rocas se producen donde los sistemas o familias de diaclasas ayudados por procesos avanzados de disyunción y exfoliación, dejan numerosos bloques suspendidos, fáciles de desprenderse ante la menor incentivación sísmica.

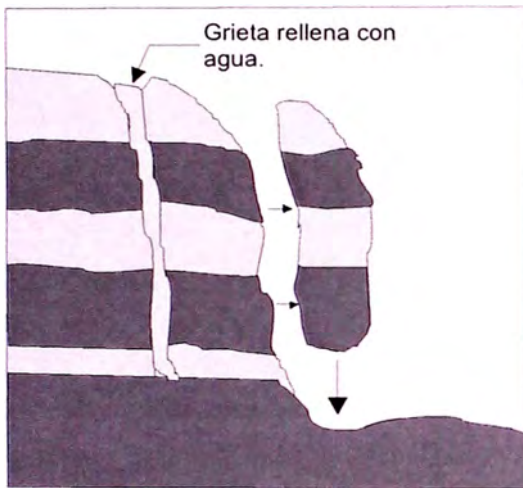
En la cuenca del río Mala, se han registrado 36 ocurrencias de caídas de rocas principalmente en la parte alta y media.



A. Meteorización diferencial



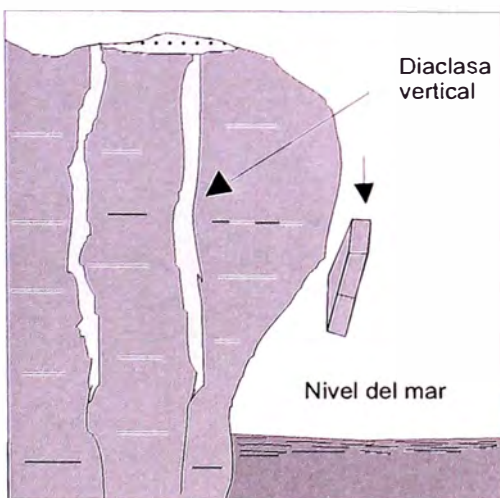
B. Efecto del hielo en roca homogénea diaclasada



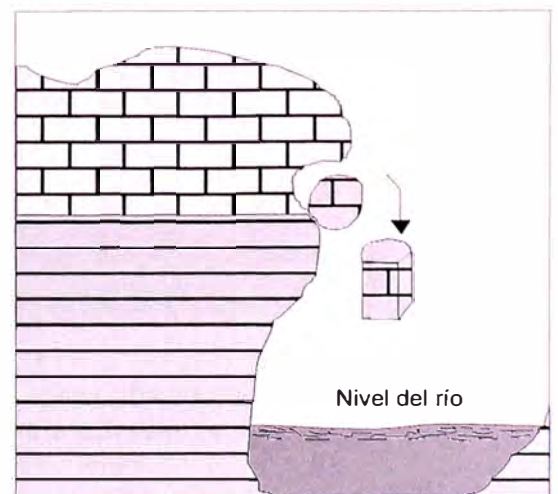
C. Roca homogénea diaclasada
La presión hidrostática actúa sobre los bloques sueltos



D. Roca Homogénea diaclasada.
Bloques sueltos por voladuras.



E. Cualquier roca Homogénea diaclasada o estrato resistente subyacida por roca fácilmente erodable. Acantilado



F. Cualquier roca homogénea diaclasada o estrato resistente subyacida por roca fácilmente erodable. Escarpe.

Fig. N° 7.1 Principales causas de las caídas de rocas



Foto N° 7.1
Caída de rocas a la altura del Km 12
de la carretera Huampara-Pilas



Foto N° 7.2
Caída de rocas ubicada, a la altura del Km 21
de la carretera Cayahuasi-Viscas, cerca al
poblado de Viscas.



Foto N° 7.3
Caida de rocas en el Sector Pongo, a la altura del Km 15 de la carretera Cayahuasi-Viscas. Se observa los bloques suspendidos, en ladera de pendiente abrupta.

Las poblaciones expuestas a este fenómeno son: Pongo, Cayahuasi, Pacomanta, Raquipa, Ayavirí, Cochas, San Joaquín, Huañec, Totoral bajo, Villa Paraíso-Playa La Ensenada y Playa Las Lagunas. También, los terrenos de cultivo adyacentes a los parajes de Corre Viento, Cayahuasi, Chucuniya y Ollacanchi.

La ocurrencia de caídas de rocas puede interrumpir el tránsito de vehículos en:

La carretera Panamericana sur (Entre los Kms 80-90);

Las carreteras afirmadas: Huarochirí-Quiripa-Huanchac, San Lorenzo de Quinti-Sangallaya-San Lázaro de Escomarca, Huañec-Quinchés, Quinchés-Huampará, Calango-Cayahuasi y un tramo de la carretera Huampará-Pilas (Foto N° 7.1).

Las trochas carrozables: Quinocay-Abra tres cruces, Huampará-Cochas, Cayahuasi-Viscas-Alloca (Foto N° 7.2).

b) Derrumbes

Se presentan como movimientos de masa de pequeñas dimensiones, con modificación de la topografía local por desplome, interviniendo para su ocurrencia factores como:

Baja consistencia, meteorización o alteración de las rocas o substrato.

Familias de discontinuidades favorables a roturas planares, cuñas, vuelcos o mixtas.

Saturación de suelos poco consolidados por filtraciones de aguas de lluvia o de riego en laderas de valles con presencia de cultivos.

Socavamiento fluvial en el pie de laderas, márgenes de valles o acantilados costeros.

Terrenos con erosión de laderas con ausencia o carencia de vegetación.

Deforestación de tierras, voladura o corte artificial del talud, etc.

En el área de estudio, los derrumbes tienen una amplia distribución a lo largo del río Mala y de sus principales afluentes. Se ha registrado 35 ocurrencias de derrumbes, principalmente en la parte alta y media de la cuenca del río Mala. La mayoría de ellos ocurre en afloramientos de rocas volcánico-sedimentarias del Grupo Rímac en sectores con fuerte pendiente y moderada a alta meteorización, por erosión pluvial;

otros son ocasionados por erosión fluvial, como los que se encuentran en terrazas aluviales en ambos márgenes del río Mala.

Otros derrumbes aislados han sido ocasionados por corte artificial del talud de la carretera, o por filtraciones de aguas de canales de riego mal impermeabilizados.

Las localidades expuestas a este fenómeno son: Huanchac, Raquipa, Huampará, Cochabamba, San Joaquín, Huancayo y Playa La Virgen. También, están expuestos los terrenos de cultivo ubicados entre Huarochirí, San Lorenzo de Quinti, Sangallaya y Raquipa.

Las carreteras afectadas por derrumbes son:

San Lorenzo de Quinti-Sangallaya-San Lázaro de Escobar (afirmada)
(Foto N° 7.3),

Huarochirí-Sangallaya (afirmada) (Foto N° 7.4),

Quinocay-Abra Tres Cruces (trocha carrozable),

Abra Tres Cruces-Ayaviri (afirmada),

Ayaviri-Huampará-Cochabamba (trocha carrozable) (Foto N° 7.5),

Cochabamba-San Joaquín (afirmada),

Carretera de acceso a Playa la Virgen (afirmada).

También se vería afectado un canal de riego cerca a la localidad de Huaccta, en el margen derecho del río Huampará.

7.2.1.2 Deslizamientos

Los deslizamientos constituyen las formas de remoción en masa en las que volúmenes de dimensión considerable o pequeña de suelo y/o roca, se desprenden y deslizan pendiente abajo, como una sola unidad (o en forma escalonada), de forma lenta o rápida (reacción violenta), a lo largo de una o varias superficies o planos de deslizamiento.

A. Partes de un deslizamiento:

Corona: Material inalterado adyacente a las partes más altas del escarpe principal.



Foto N° 7.4
Derrumbe ubicado en las afueras de la ciudad de Sangallaya, a la altura del Km 0.8 de la Sangallaya-San Lorenzo de Quinti. Afecta a esta carretera en un tramo de 100 m.

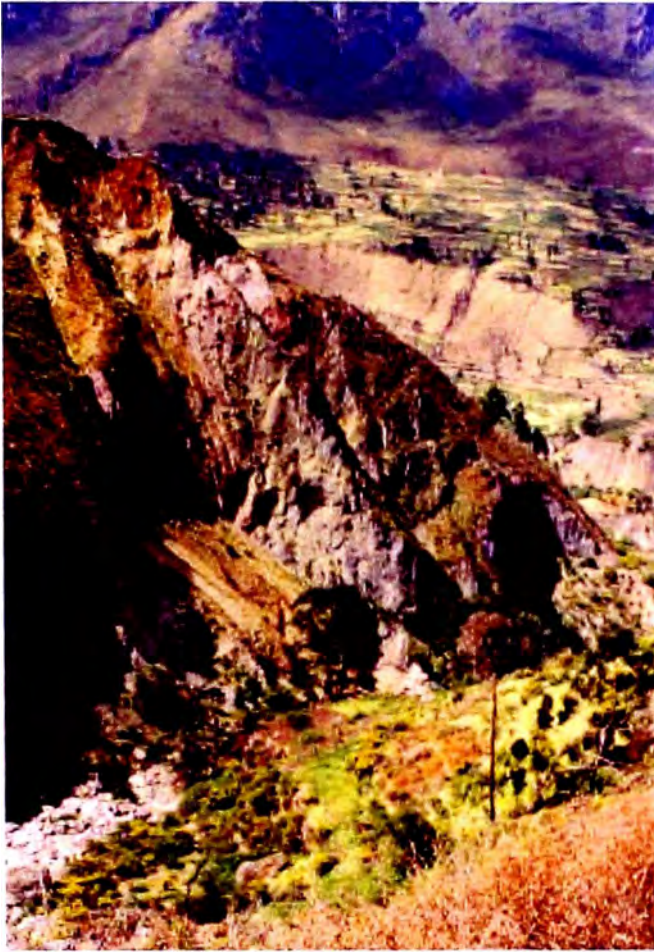


Foto. N° 7.5
Derrumbe en la Quebrada
Canyaca, a la altura del Km
3.9 de la carretera
Huarochiri-Sangallaya.



Foto. N° 7.6
Derrumbe en la margen derecha del río Huampara-Ayaviri,
a 1 Km al SE del poblado de Huampara.

Escarpe Principal: Superficie inclinada en el talud natural a lo largo del derrumbe causado por el desplazamiento del suelo y/o roca, desprendido del terreno original.

Escarpe secundario: Superficie inclinada en el talud original producida por movimientos diferenciales dentro del material que se desliza. Puede formarse uno o más escarpes secundarios.

Cabeza: Superficie del material que se mueve a lo largo del escarpe principal.

Cima: Punto más alto entre el material perturbado y el escarpe principal.

Base de la superficie de falla: Superficie de intersección entre la parte inferior de la superficie de ruptura y la superficie original del terreno.

Punta: El punto del talón que se encuentra a más distancia de la cima.

Costado: Un lado del deslizamiento.

Superficie original del terreno: la pendiente que existía antes de que ocurriera el deslizamiento.

En la figura N° 7.2 se observa un block diagrama de un deslizamiento y en la N° 7.3 sus partes principales y mecanismos que favorecen su ocurrencia.

Los deslizamientos están asociados a:

Áreas con inestabilidad de laderas o taludes.

Diferentes tipos de substrato rocoso (principalmente sedimentario y volcánico) y de depósitos superficiales (suelos), con características geológicas, hidrogeológicas y geotécnicas desfavorables que cooperan o propician su ocurrencia.

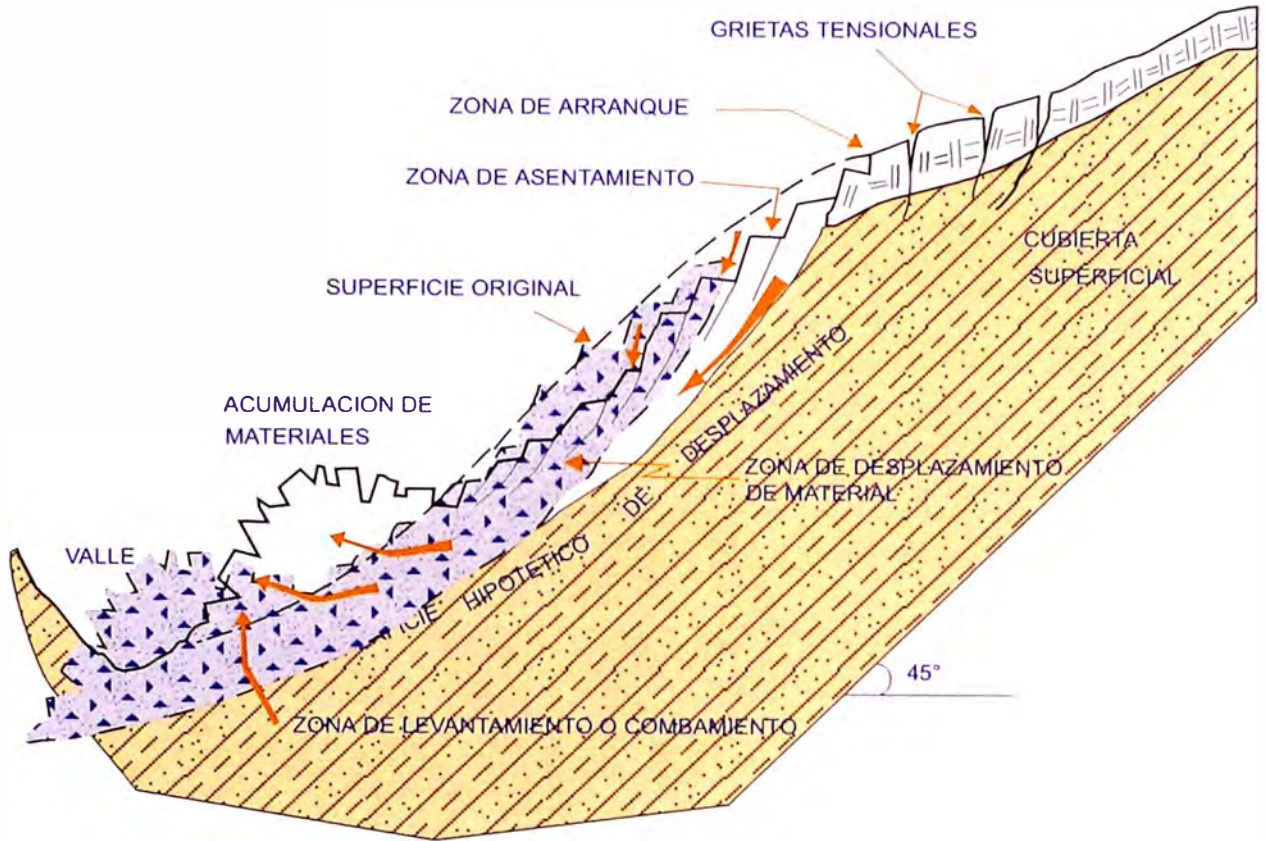
Áreas sujetas a variaciones climáticas estacionales (principalmente lluvias).

Modificaciones artificiales de los taludes naturales, al construir carreteras o al uso indiscriminado del agua para riego.

Zonas de antiguos deslizamientos, reactivadas natural o artificialmente.

En la cuenca del río Mala son poco frecuentes y se localizan en la cuenca alta, sobre depósitos cuaternarios fluvio-glaciares y rocas volcano-sedimentarias del

A. VISTA EN SECCION



B. VISTA EN PLANTA

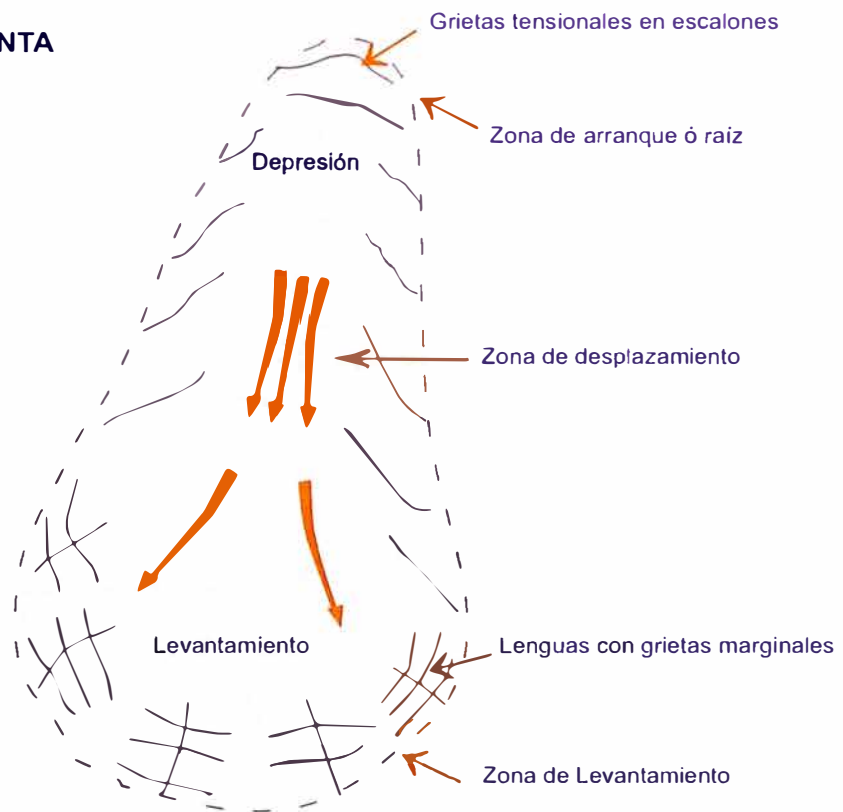


Fig. N° 7.2 Elementos y mecanismos de un deslizamiento

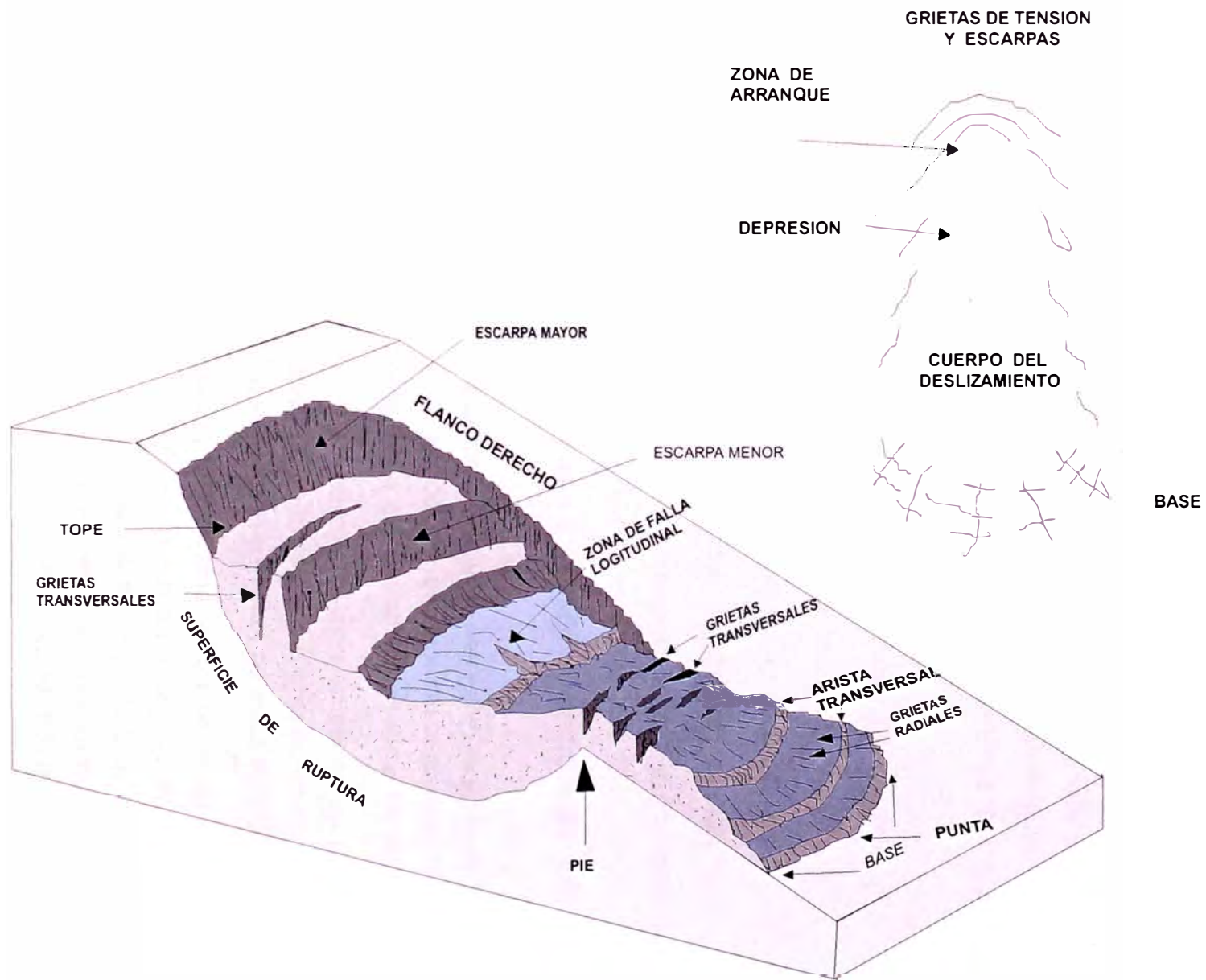


Fig. N° 7.3 Block-diagrama de un deslizamiento

Grupo Rímac. Se trata de antiguos deslizamientos reactivados por la construcción de trochas carrozables de acceso, precipitaciones pluviales y filtraciones de agua de riego en laderas de fuerte pendiente; hoy inactivos y estabilizados por la vegetación. Corresponden a 3 zonas, la primera de ellas entre las localidades de Chani, Raquipa y Cruzpampa, perteneciente al distrito de Sangallaya. Están actualmente inactivos y estabilizados por la vegetación, pero según referencias de los pobladores fueron de alcance local. De reactivarse por incentivación sísmica, causaría el represamiento del río San Lorenzo, lo que afectaría a las zonas de cultivo entre los Km 4,4 al 9,5 de la trocha de acceso San Lorenzo de Quinti-Quiripa.

La segunda zona se ubica en la margen izquierda del río Huañec, a 1 km al Oeste del poblado de Huañec. Su alcance fue local. Su reactivación comprometería la seguridad de zonas de cultivo cercanos al poblado.

La última zona se encuentra a 2.5 Km al Norte de la Ciudad de Huampará, en el distrito del mismo nombre. Aquí de ocurrir una reactivación podrían ser afectadas la trocha carrozable Quinches-Huampará en un tramo de 500 m y zonas de cultivo (Foto N° 7.6).

Las comunidades expuestas a este tipo de fenómeno son:

Chani, Raquipa, Cruzpampa, Huanchac, Huaccta y Huampará, terrenos de cultivo aledaños a tales localidades

Las trochas carrozables afectadas son:

San Lorenzo de Quinti-Quiripa,

Huañec-Quinches y

Quinches-Huampará.

7.2.1.3 Flujos

La palabra «flujo» puede ser entendida como el movimiento de un material fluido, sobre una capa rígida (HUNGR, O et al, 2000). En el área de la cuenca del Río Mala ocurren flujos de dos tipos: Huaycos (debris flow), y Flujos de lodo (Mud flows).



Foto N° 7.7
Deslizamiento ubicado entre los poblados de Raquipa y Cruz Pampa, que afectó terrenos en ese sector. Actualmente inactivo.

a) **Huaycos**

Los huaycos, son flujos de materiales sólidos (bloques, árboles, etc) que pueden alcanzar una fuerza destructiva imposible de detener afectando o cortando carreteras, puentes, áreas de cultivo y áreas pobladas o asentamientos de poblacionales rurales.

Su ocurrencia es muy frecuente. De acuerdo a su frecuencia pueden ser: periódicos, ocasionales y excepcionales.

Los huaycos periódicos se repiten con mayor frecuencia y causan mayores daños. Ocurren en quebradas donde se presentan altos índices de pluviosidad estacional, erosión de laderas, relieves de moderada a fuerte pendiente que favorecen el arrastre de sólidos de diferente tamaño.

Los huaycos ocasionales pueden o no generarse con lluvias estacionales y su frecuencia es menor. Su ocurrencia es similar a la de los huaycos periódicos.

Los huaycos excepcionales tienen un período de retorno mayor y están relacionados a variaciones climáticas importantes (Fenómenos del Niño excepcionales). Ocurren en terrenos de relieves con pendientes moderadas a suaves, cortando pampas con áreas desprovistas de vegetación y gran acumulación de material removible; principalmente por la ocurrencia de lluvias excepcionales, que lavan y transportan los sedimentos en cauces amplios o quebradas secas.

En la cuenca del río Mala, se han registrado 37 ocurrencias de Huaycos.

Los ríos Larán y Acacuche, son afectados por huaycos periódicos, mientras que en las quebradas: Cayahuasi, Viscas, Machapulo, Santa lucia, Mariatana, Verruga-Coñe, Chirimoyal, El Alamo de Choca, Canyaca, Tuculán, Singanay, Quishpe, Canchas, Las Piedras, De Huito han ocurrido huaycos excepcionales.

Las localidades, expuestas son: Copite, Mataballos, Alloca, Huancaya, Cerro Pichamarca, Alloca, Cerro Pichamarca, La Capilla, Quiripa.

Las carreteras afirmadas afectadas serían:

Calango-Cayahuasi

Huarochiri-Quiripa,

San Lorenzo de Quinti-Sangallaya-San Lázaro de Escomarca,

Ayaviri-Huampará.

Sería también afectada la trocha carrozable: Cayahuasi-Viscas-Alloca. (Foto N° 7.8 y 7.9)

También están expuestos a este fenómeno:

Terrrenos de cultivo entre Huarochirí y Quiripa, entre Calango y Viscas. Quinocay y Viscas, así como los alrededores al distrito de Mariatana.

Puente sobre Río Acacuche.

Obra de arte de protección sobre Quebrada Singanay.

Reservorio de agua en Ucallya, distrito de Ayavirí, prov de Yauyos.

Piscigranja en quebrada Pumahuasi, cerca de Quinchas.

Canales de riego entre Huancata y Cruzpampa y entre Checa y Copite.

b) **Flujos de lodo**

Son flujos de aguas turbias con material arcilloso (barro), cuya fuerza destructiva es menor. Su ocurrencia está confinada a quebradas anchas de suave pendiente, activadas con lluvias excepcionales. Son menos frecuentes que los huaycos.

En la cuenca media del área de estudio, se ha encontrado dos flujos de lodos de carácter excepcional, uno de ellos en la Qda. Minay, distrito de Calango, donde se observa restos de un antiguo flujo (Foto N° 7.10). El otro flujo de lodo, se observó en el paraje de Torihuasi, también del distrito de Calango, a 3.5 Km del anterior; en una quebrada tributaria al río Mala. (Ver (Foto N° 7.10).

Han sido afectados:

Pastizales en alrededores de las quebradas: Torihuasi y Minay

Un sector de la carretera afirmada Calango-Torihuasi.

7.2.1.4 Movimientos Complejos

Los movimientos complejos son el resultado de la combinación de dos o más tipos de peligro comunes.

En la cuenca, los movimientos complejos reconocidos son del tipo:

A. Erosión de laderas-derrumbe-flujo, Su ocurrencia está asociada a la erosión de depósitos fluvio-glaciares antiguos por acción de lluvias estacionales y a re-



Foto. N° 7.8

Huayco en la quebrada Machapulo, ubicada a la altura del km 13.8 de la carretera Cayahuasi-Viscas. La carretera se conserva en buen estado.



Foto. N° 7.9

Huayco en la quebrada Mariatana, ubicada a la altura del km 8.6 de la carretera Cayahuasi-Viscas. Por la presencia de vegetación se deduce que es excepcional.



Foto. N° 7.10

Flujo de lodo en la quebrada Torihuasi, ubicada a 1 km de Cayahuasi , que afectó tramo de 90 m de la carretera Cayahuasi-Viscas.

acciones a las actividades antrópicas como infiltración de aguas de regadío de los canales sin revestimiento. La erosión pluvial forma surcos y cárcavas que al colmatar las pequeñas quebradas formadas con el material suelto generado, hace que este último se desplome y fluya, generando flujos.

Se observó dicho fenómeno en la localidad de Quiripa, distrito de Sangallaya.

Están expuestos: el poblado de Sangallaya, en el distrito del mismo nombre y las carreteras:

Huarochirí -Quiripa.

Quiripa-Palermo (Km 0.5-2.15)

También pueden ser afectados terrenos de cultivo en los alrededores del cerro Sampo y la Quebrada Churquía en el poblado de Sangallaya.

B. Caída de rocas-Flujo, este fenómeno ha sido activado por acción antrópica. Han sido afectadas las localidades: Retama, Fundo, Buena vista, Cayahuasi y Cochahuasi.

Las carreteras que podrían ser afectadas serían:

Calango-Cayahuasi (afirmada)

Cayahuasi-Viscas (trocha carrozable),

Así como los terrenos de cultivo ubicados entre los poblados de Corral Quemado y Cayahuasi y los que se encuentran cerca de las Ruinas Lurín.

C. Derrumbe-flujo, como se observó en la localidad de Cochas. Se presenta en la margen izquierda del río Quinches. Ha sido activada por el corte artificial del talud de carretera favoreciendo su ocurrencia la presencia de discontinuidades en afloramientos volcánico-sedimentarios sin vegetación fácilmente erosionables. La acción de lluvias estacionales puede reactivarlo. (Foto N° 7.11).

D. Derrumbe-caída de rocas, como se observa en los alrededores de la playa del club Santa Martha, distrito de Mala. Este fenómeno ocurre por la presencia de familias de diaclasas en los afloramientos intrusivos cercanos al centro de esparcimiento mencionado. De no proteger dicha zona, podrían resultar afectados El Club Sta. Martha, casas de playa y transeúntes.

A. Deslizamiento-Derrumbe, como se observó en la localidad de Huanchac, distrito de Sangallaya. Este movimiento complejo presenta una escarpa principal de

20 m notándose como se desplomó el material entre la escarpa principal y la base del deslizamiento (alrededor de 100 m de ancho), en la margen izquierda del río San Lorenzo. De reactivarse podría afectar terrenos de cultivo y algunas viviendas ubicadas en la ladera baja.

Deslizamiento-Flujo, como se observó en la localidad de Huaccta, distrito de Huampará. Este movimiento complejo presenta una escarpa principal circular de 10 m y una secundaria de 20 m. El material entre la escarpa secundaria y la base del deslizamiento (alrededor de 300 m de ancho), ha fluido por la ladera, en la margen derecha del río Huampará. Su ocurrencia produjo daños en 500 m de la carretera Huampará-Quinches y áreas agrícolas. Está expuesto el poblado de Huaccta y un tramo de 500 m de la carretera Huampará-Quinches.

7.2.2 OTROS PELIGROS GEOLÓGICOS

Aquellos, no tipificados en la Clasificación de Varnes. En la cuenca del río Mala se presentan de los siguientes tipos:

7.2.2.1 Arenamientos

Son acumulaciones de arena, asociadas principalmente a pampas extensas aledañas al litoral y en otros casos a laderas o colinas bajas de las estribaciones occidentales de los Andes; que pueden formar dunas, barjanes, lomas alargadas y onduladas.

Son activadas por una dinámica eólica importante, donde la dirección y velocidad del viento favorecen la migración y acumulación de las arenas.

En el área de la cuenca del Río Mala, las áreas sujetas a arenamiento se localizan en cerros bajos en las pampas costaneras y las áreas cercanas al mar. Se identifican por la presencia de acumulaciones de arena.

7.2.2.2 Erosión de Laderas

Erosión en surcos, cárcavas o laminar, ocasionada por fuertes lluvias, litología propensa a la erosión (depósitos superficiales, rocas alteradas y/o fracturadas).

Los problemas o daños principales que origina tienen que ver principalmente con pérdidas de suelos para la agricultura, erosión de áreas cultivadas, erosión de



Foto N° 7.11
Derrumbe-Flujo a la altura del Km 2.5 de la carretera Huampara- Huanec.

terraplenes en trochas de carreteras. Están asociados frecuentemente a la ocurrencia de otros procesos de remoción en masa como derrumbes, deslizamientos y flujos.

En la cuenca del río Mala se puede observar procesos de erosión de laderas, ligados al Grupo Rímac y a las formaciones Millotingo, Huarochirí, Pacobamba, especialmente en áreas de fuerte pendiente, a ambos márgenes de los ríos formadores del río Mala. (Foto N° 7.12).

Las localidades expuestas a erosión de laderas son: Fundo, Palloca, Alloca, Vizcas, Huanchac, Lucmapata, Huañec, Pucllo y Mayasin.

Pueden ser afectadas las siguientes carreteras:

Carretera Calango-Viscas

Carretera Huarochirí -Quiripa

Carretera Huarochirí-Sangallaya

carretera Quinocay-Ayavirí-Huampará

También podrían ser afectados los terrenos de cultivo ubicados entre Calango y Vizcas.

7.2.2.3 Erosión Fluvial

Es la erosión de riberas a lo largo de las márgenes de ríos principales o tributarios. Para su ocurrencia intervienen :

La pendiente y ancho del cauce fluvial

Los cambios estacionales y climáticos en relación a la dinámica del río.

La naturaleza de los suelos o rocas de las márgenes de los ríos.

Pueden dañar: puentes, badenes, plataformas de carreteras, trochas, terrenos de cultivo, pastos naturales y áreas pobladas ubicadas en las márgenes de los ríos.

Las áreas sujetas a erosión fluvial, en la cuenca del río Mala, están localizadas en las riberas del río Mala (Foto N° 7.13) y sus ríos tributarios.

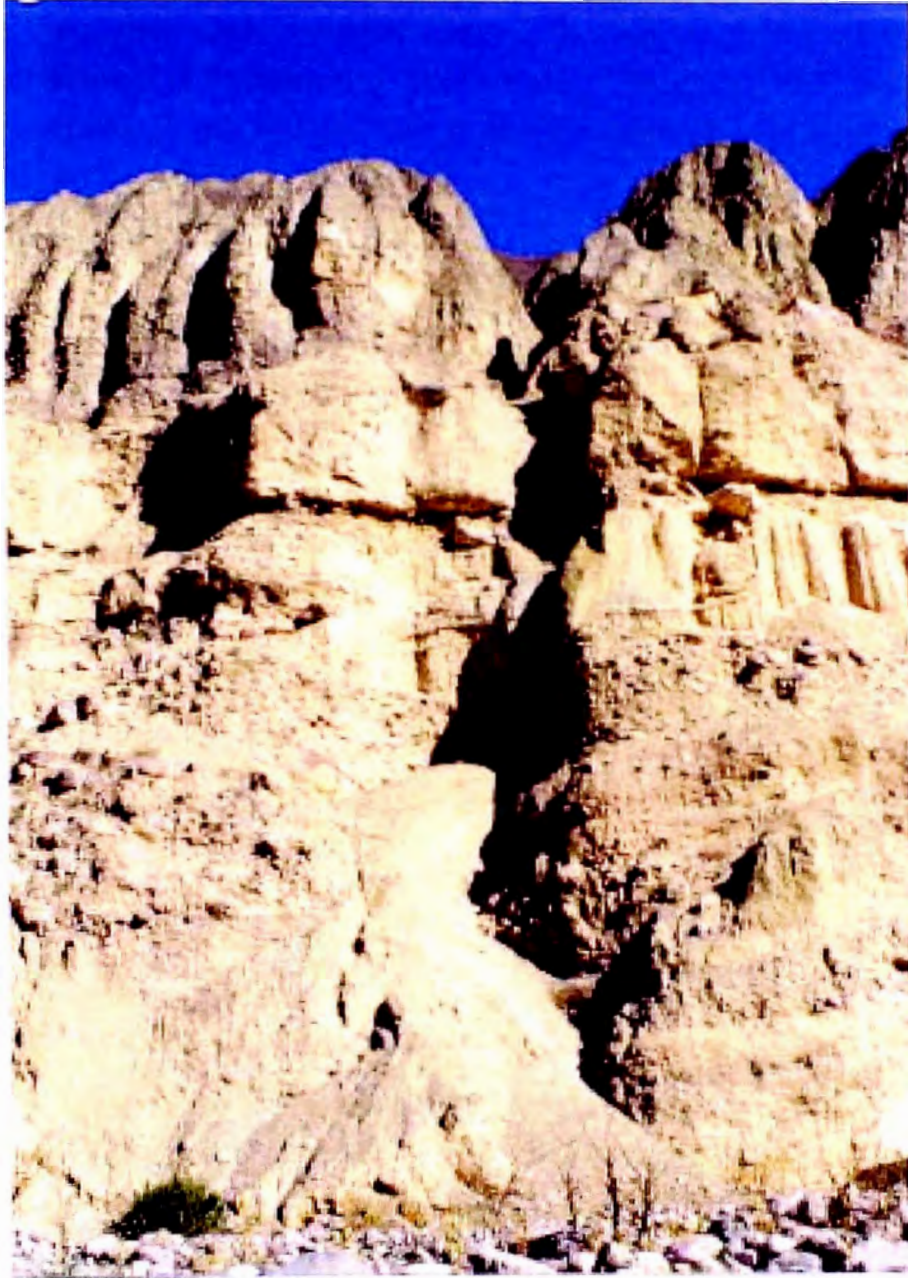


Foto N° 7.12

Erosion de laderas (cárcavas) en afloramiento en la margen izquierda del río San Lorenzo, a la altura del poblado de Alloca, distrito de Quinocay.

7.3 GEODINÁMICA INTERNA

7.3.1 Actividad sísmica

Los procesos de Geodinámica interna susceptibles a producirse en la cuenca del río Mala, son los terremotos y tsunamis, debido a la alta actividad sísmica del territorio peruano, al formar parte del Cinturón Circumpacífico, una de las regiones de mayor sismicidad del mundo, por lo tanto está expuesto al peligro que representa la actividad de este.

En este acápite, se efectúa la revisión de los datos de actividad sísmica, ocurridos en el área de la cuenca; así como algunos resultados e interpretaciones de carácter preliminar referente a valores máximos de aceleraciones y periodos de retorno, para sismos de diferentes intensidades en la escala modificada de Mercalli, relativos al territorio de la cuenca.

7.3.1.1 Historia sísmica del área

Los datos históricos disponibles, sobre fenómenos de actividad sísmica en el área de la cuenca, indican una intensa actividad sísmica al sur de Lima, ocurridos entre los siglos XVI y XX.

Los sismos más significativos, en la cuenca del río Mala, y una descripción de ellos, se presentan en el cuadro N° 7.1.

El análisis de dicha información permite establecer que la intensidad máxima de los sismos ocurridos en esta zona es del orden de V a IX grados.

Esta información concuerda con la mostrada por los siguientes mapas:

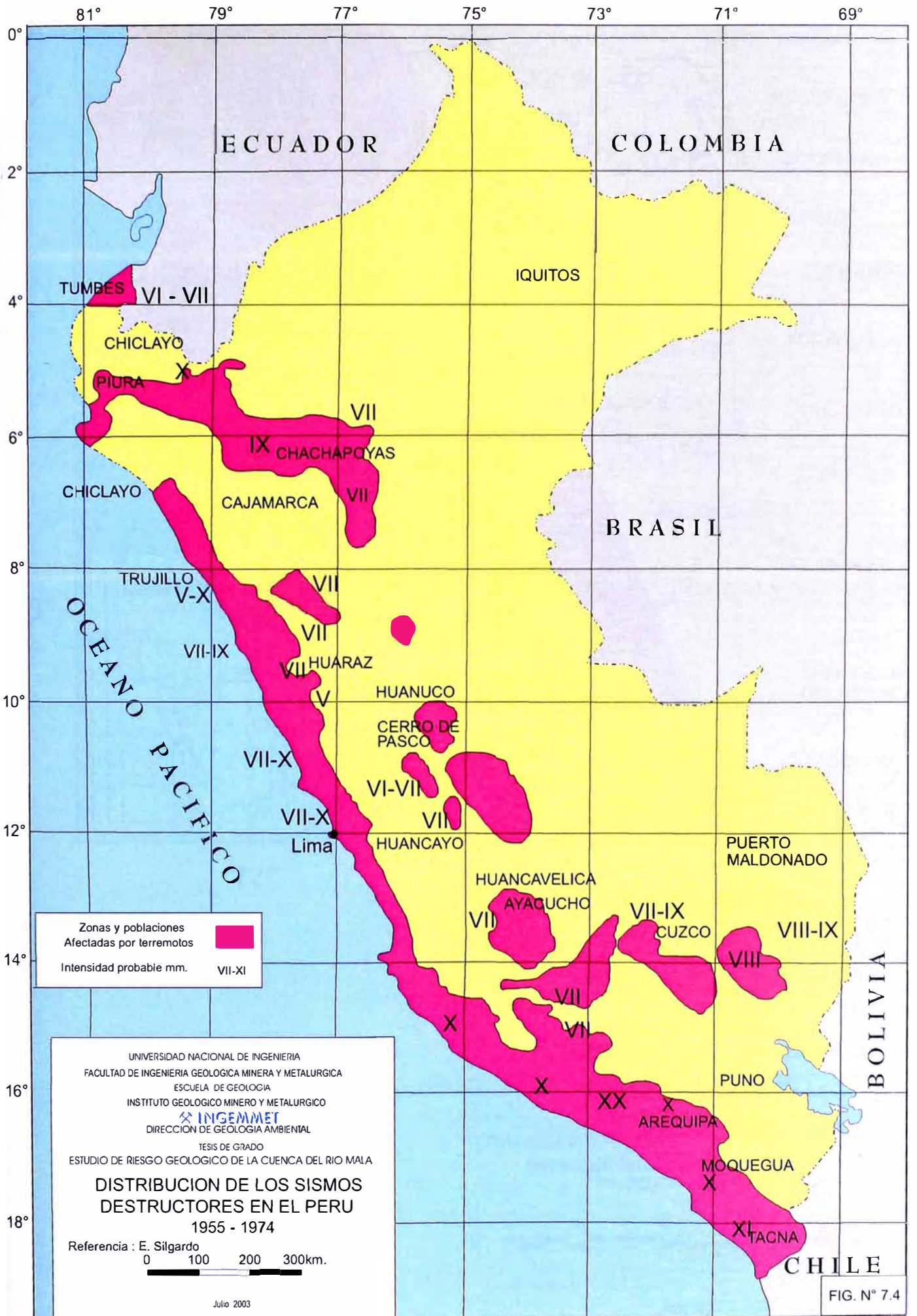
Mapa de distribución de los sismos destructores (1555-1974) elaborado por E. Silgado (1978), (fig N° 7.4) según esta referencia se observa que el área de estudio ha sido afectada por terremotos con intensidades probables de VII-IX MM (fig N° 7.5).

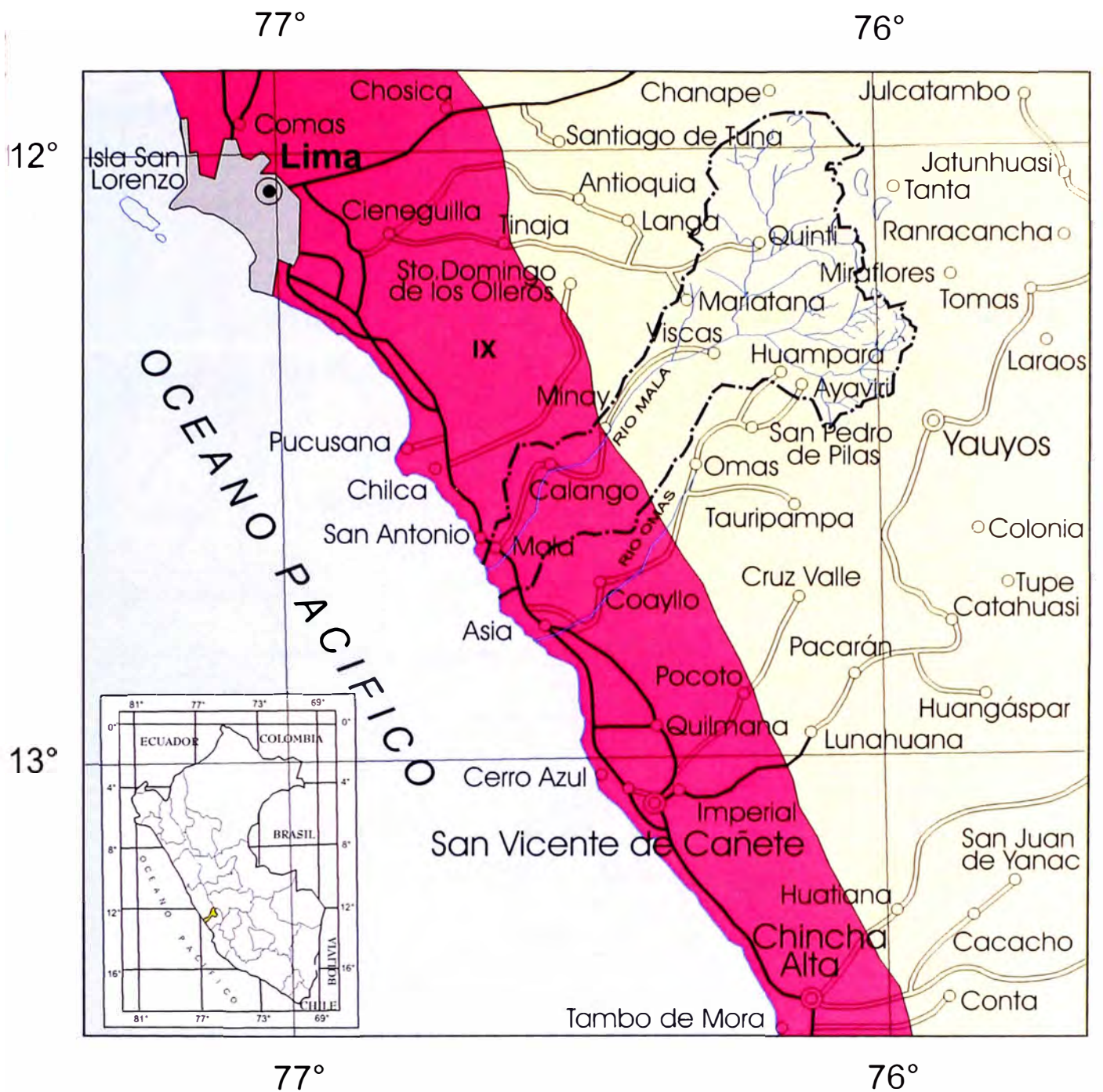
Mapa de regionalización sísmica del Perú, que está elaborado en base a intensidades de sismos. (Huaco, 1975) (fig N° 7.6); según esta referencia, podemos observar que el área de estudio ha sido afectada por terremotos con intensidades probables de VII – VIII MM. (fig N° 7.7).



Foto N° 7.13

Erosion fluvial en ambas margenes del rio Mala, a la altura del puente. Se observa que han sido erosionadas las defensas ribereñas.





- LEYENDA
- Ríos
 - Carretera asfaltada
 - Carretera afirmada
 - Capital de Departamento
 - Capital de Provincia
 - Zona y Poblaciones Afectadas por Terremotos
 - VII - XI** Intensidad Probable

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA Y METALURGICA
 ESCUELA DE GEOLOGIA
 INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO

 DIRECCION DE GEOLOGIA AMBIENTAL

TESIS DE GRADO
 ESTUDIO DE RIESGO GEOLOGICO DE LA CUENCA DEL RIO MALA
 DISTRIBUCION DE LOS SISMOS DESTRUCTORES
 EN LA CUENCA DEL RIO MALA
 1555 - 1974

0 40 80 120 160 200

 KILOMETROS

REFERENCIA : E. SILGADO

Julio 2003

FIG. N° 7.5





- LEYENDA**
- Carretera asfaltada
 - Carretera afirmada
 - Línea férrea
 - Capital de Departamento
 - Capital de Provincia
 - Pueblos ó caserios
 - Líneas Isosistas
 - III** Grado de Intensidad Segun Escala Modificada de Mercalli (MM)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA Y METALURGICA
 ESCUELA DE GEOLOGIA
 INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO
INGEMMET
 DIRECCION DE GEOLOGIA AMBIENTAL

TESIS DE GRADO
 ESTUDIO DE RIESGO GEOLOGICO DE LA CUENCA DEL RIO MALA
 REGIONALIZACION SISMICA DE LA CUENCA DEL
 RIO MALA MEDIANTE INTENSIDADES

0 40 80 120 160 200

 KILOMETROS

REFERENCIA : E. CHAVEZ Y HUACO
 Julio 2003

FIG. N° 7.7

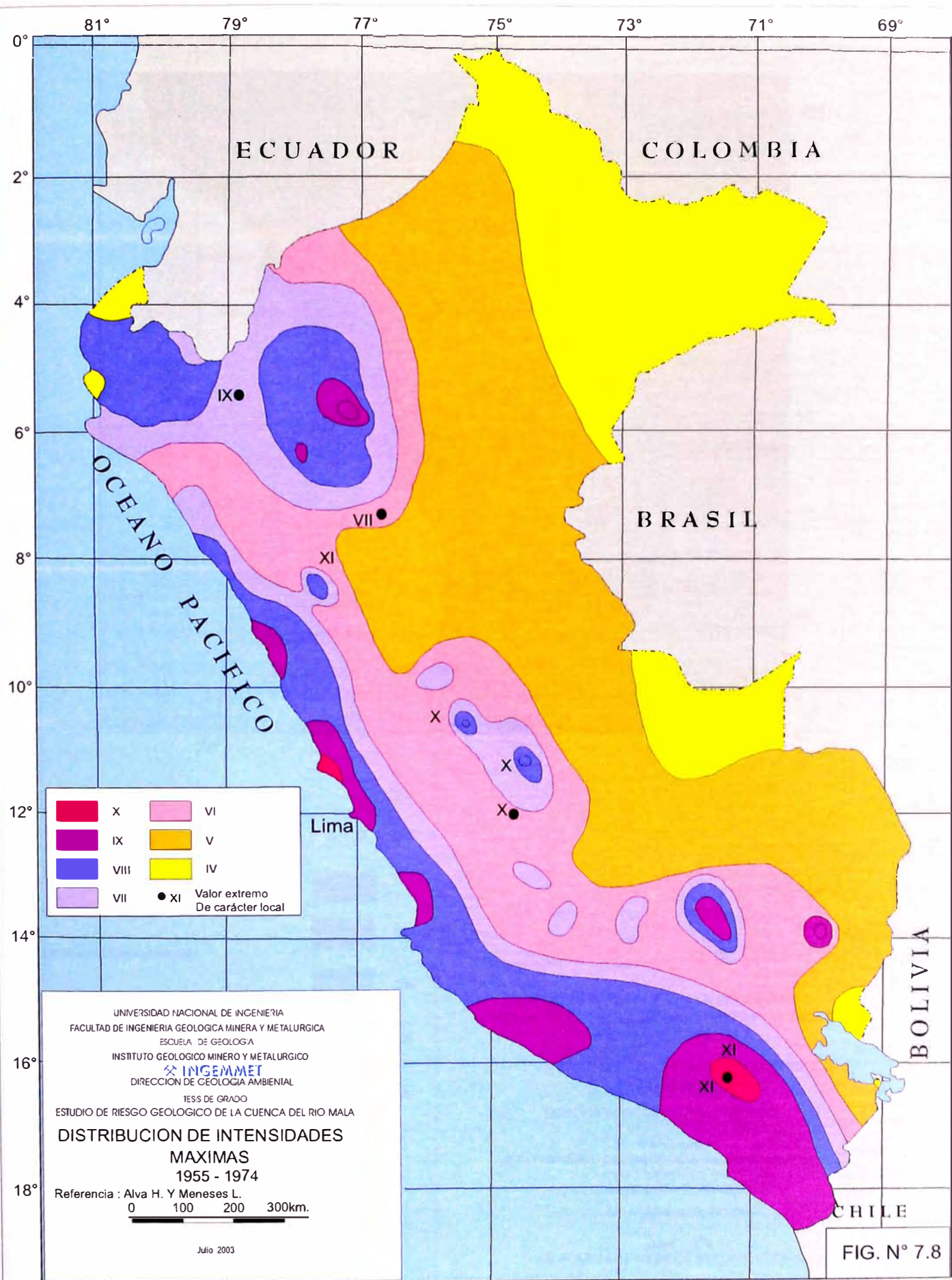
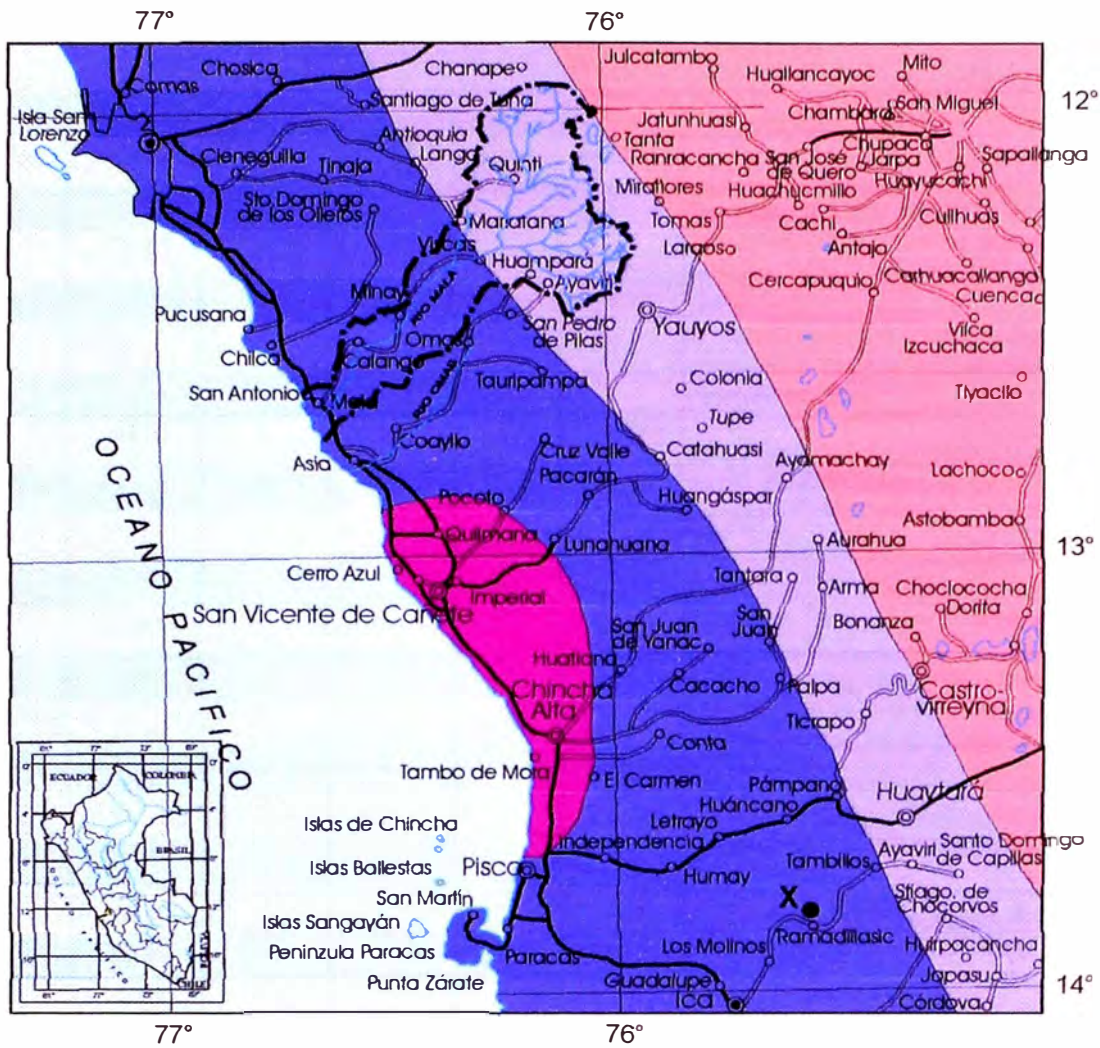


FIG. N° 7.8



LEYENDA

- Carretera asfaltada
- Carretera afirmada
- Capital de Departamento
- Capital de Provincia
- Pueblos ó caserios

INTENSIDADES

- X
- IX
- VIII
- VII
- VI

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA Y METALURGICA
 ESCUELA DE GEOLOGIA
 INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO
INGEMMET
 DIRECCION DE GEOLOGIA AMBIENTAL

TESIS DE GRADO
 ESTUDIO DE RIESGO GEOLOGICO DE LA CUENCA DEL RIO MALA
 CURVAS DE INTENSIDADES MAXIMAS
 EN LA CUENCA DEL RIO MALA
 1555 - 1974
 ESCALA DE INTENSIDADES MERCALLI MODIFICADA

0 40 80 120 160 200
 KILOMETROS

Referencia : JORGE E. ALVA H. Y JORGE MENESES L.

FIG. N° 7.9

Julio 2003

Cuadro N° 7.1
SISMOS DESTRUCTORES QUE HAN AFECTADO A LA CUENCA
DEL RÍO MALA Y AREAS ALEDAÑAS

FECHA	HORA	EPICENTRO APROX.		INTEN.	MAGN.	AREAS AFECTADAS Y DAÑOS
		LATITUD	LONG.			
09-07-1586	19 h 30 m	12,2	77,7	IX	8.1	Terremoto en Lima (14 a 22 muertos). Hubo derrumbes y agrietamientos, destrucción en valles cercanos a Lima. Tsunami anegó gran parte de la costa. El sismo se propagó a 1000 Km. a lo largo de la costa desde Trujillo a Caravelí. Sentido en Huanuco y Cuzco.
12-05-1664	04 h 15 m	14	76	VIII-IX	7.8	La ciudad de Ica quedó destruida, no quedó casa en pie. Se abrió la tierra. En pisco 60 personas murieron. En lima se sintió con gran intensidad.
20-09-1897	11 h 25 m					Destrucción por el fuerte sismo en Lima, Callao y Huarochiri. Se sintió desde Ancón a Pisco.
23/02/1907	15 h 17 m			V		Fuerte sacudida, intensa en Matucana, Mala, Cañete, Chincha, Pisco, Huancavelica, menos intensa en Lima, Ancón y Huacho.
27/12/1915	10 h 40 m					Fuerte movimiento sísmico sacudió la costa de Cañete y Mollendo, Yauyos y la sierra de Ica. También se sintieron movimientos los días 27 y 28 de Diciembre.
11/03/1926	06 h 20 m	13,7	76,6			Fuerte temblor en Lima, ligeros daños. Se sintió con violencia en Chosica y Cañete.
24/05/1940	11 h 35 m	10,5	77,6	VIII	8,2	Terremoto que tuvo percepción en casi todo el Perú. ¼ del total de muertos. Fuertes daños en Lima, Cañete, Lurin, Guacho, yauyos, Huaytará.
21/04/1954	21 h 33 m	13	77	VI		Sismo ligeramente destructor al sur del dpto. de Lima. Afectó Mala Cañete y San Antonio.
27/01/1961	22 h 25 m	13,7	75,8	VI	5	Estremecimiento de tierra en las poblaciones costeras comprendidas entre Lima y Nazca. Ligeramente destructor en Chincha y Pisco, Cañete. Fuerte en Mala y Palpa. Alarma en Ica y Nazca.
31/05/1970	15 h 23 m	9,2	78,8	VIII	7,7	Terremoto catastrófico. Murieron 70000 personas. Sentido desde Guayaquil (Ecuador) hasta Pisco, Cañete e Ica (fuerte)
05/01/1974	03 h 34 m	12,3	76,4		6,6	Fuerte sismo sacudió los pueblos de las provincias de Huarochirí, Yauyos y cañete. 8 muertos. Daños de viviendas en Lima y derrumbes en la vía Lima-Huarochirí y Yauyos-Huancayo.
03/10/1974	09 h 21 m	12,3	77,8	VI-VIII	7,5	Fuerte temblor. 78 muertos en Lima, 2500 heridos, la duración del movimiento fue de 90 seg. Destructivo en Lima, Mala, Chincha, Cañete, Pisco y otros distritos con saldo de 13 muertos. Agrietamientos paralelos a la costa a lo largo de 10 Km en Cañete.

7.3.2 Estudio sísmico probabilístico para la determinación del Riesgo sísmico

Los estudios probabilísticos de riesgo sísmico en el Perú se iniciaron en 1978, siendo la mayor fuente de incertidumbre la relación de atenuación del movimiento del suelo con la distancia, expresada en términos de aceleración o velocidad máxima e intensidad (MM).

La metodología seguida para la evaluación del riesgo sísmico, ha sido desarrollada por Cornell (1968) y modificadas posteriormente por McGuire (1976) mediante el sistema de cómputo RISK. Dicha metodología involucra la delineación de fuentes sismogénicas mediante la revisión de la actividad sísmica en el pasado, que permite conocer la recurrencia sísmica de dichas fuentes. Finalmente se evalúa numéricamente el riesgo sísmico en términos de aceleraciones máximas, asociadas a períodos de retorno utilizando el programa de cómputo RISK (Mc. Guire, 1976). Según esto el riesgo sísmico está definido por el teorema de la probabilidad total:

$$P(A) = \iint P[A / myr] fM(m) \cdot fR(r) \cdot dm \cdot dr$$

Donde :

«*P*» es la probabilidad

«*A*» es el evento cuya probabilidad es buscada

M, y, r son variables aleatorias continuas e independientes que influyen en «*A*». Lo que significa que la probabilidad de que *A* ocurra se calcula multiplicando la probabilidad condicional de «*A*» dados los eventos «*m*», «*y*», «*r*» e integrando todos los valores posibles de «*m*», «*y*», «*r*». Esta teoría probabilística es aplicable ya que la ocurrencia de un evento sísmico es de carácter aleatorio.

7.3.2.1 Aceleración y periodos de retorno

En el cuadro N° 7.2 se indica para diferentes distritos y localidades cercanas a la cuenca, las aceleraciones e intensidades máximas esperadas, para diferentes períodos de retorno.

Cuadro N° 7.2
Aceleraciones máximas esperadas para diferentes periodos de retorno

LOCALIDAD	Coordenadas		Aceleraciones máximas (10-3 g) en diferentes Periodos de retorno (años)						
	NORTE	ESTE	30	50	100	200	400	476	1000
HUAROCHIRI	8658492.73	366159.63	166.99	190.73	228.52	273.78	327.23	341.94	412.16
MARIATANA	8647291.44	355875.18	175.45	200.38	240.02	287.52	343.16	358.61	431.99
SN. JUAN DE TANATARANCHE	8661097.21	371529.4	163.57	186.83	223.86	268.23	320.80	335.20	404.11
SN.DAMIÁN	8671620.16	348588.77	171.75	196.20	235.12	281.74	336.51	351.67	423.77
LANGA	8659653.67	345807.49	177.62	202.87	243.06	291.21	347.47	363.14	437.41
LAHUAYTAMBO	8662804.67	349117.25	174.56	199.38	238.89	286.21	341.67	357.07	430.17
MATUCANA	8690580.21	349129.19	166.36	190.08	227.85	273.12	326.57	341.26	411.45
QUINOCAY	8633486.58	366817.2	174.64	199.41	238.81	285.99	341.33	356.69	429.64
PILAS	8623317.26	366894.11	177.32	202.47	242.40	290.23	346.23	361.83	435.73
HUAMPARÁ	8633730.37	373249.74	171.18	195.44	234.05	280.27	334.66	349.69	421.29
HUAÑEC	8641117.38	376389.92	167.31	191.04	228.80	274.02	327.40	342.10	412.29
YAUYOS	8623084.57	400680.59	161.70	184.55	220.86	264.32	315.96	330.08	397.61
CARANIA	8635635.42	405711.85	157.39	179.67	215.11	257.53	308.19	321.96	387.76
TANTA	8660095.87	389944.36	157.35	179.73	215.37	258.07	309.08	322.93	389.12
OMAS	8616525.22	360012.51	183.77	209.81	251.21	300.80	358.54	374.70	451.12
MALA	8600646.38	322614.63	217.34	248.37	297.78	355.39	423.68	442.66	533.15
CALANGO	8615148.26	332396.9	205.08	234.25	280.70	335.45	399.99	417.94	503.32
STA. CRUZ DE FLORES	8604667.35	321865.21	216.92	247.90	297.21	354.73	422.91	441.86	532.18
CHILCA	8615786.53	311439.72	218.44	249.66	299.39	357.29	425.94	445.05	536.02
SAN ANTONIO	8602203.91	321065.83	218.10	249.25	298.85	356.65	425.17	444.23	535.04
CAPILLA DE ASIA	8587055.01	331205.35	217.68	248.74	298.19	355.84	424.19	443.19	533.76
COAYLLO	8593016.3	341788.12	208.51	238.18	285.37	340.87	406.43	424.61	511.37

7.3.2.2 Zonificación sísmica

De acuerdo a las características de la sismicidad procesada y para fines de aplicaciones prácticas, al riesgo sísmico en la cuenca del río Mala, está representado en los mapas de aceleraciones máximas esperadas para 30,50 y 100 (Fig N° 7.10, 7.11 y 7.12); en dos sectores:

Zona de riesgo sísmico alto, ubicada entre el litoral costero y el Océano Pacífico, que incluye a las poblaciones de Mala, Santa Cruz de Flores, San Antonio y Calango. Aquí los valores de aceleraciones máximas esperadas para 30,50 y 100 años varían entre 297.78 y 205.08×10^{-3} g

Zona de riesgo sísmico medio, ubicada entre el litoral costero y las estribaciones andinas, que incluye a las localidades de Huarochirí, Sangallaya, San Juan de Tantarache, Mariatana, Huañec, Huampará, Quiñocay, etc. Los valores de aceleraciones máximas esperadas para 30,50 y 100 años varían en esta zona entre 240.02 y 163.57×10^{-3} g.

Esta zonificación sísmica concuerda con la obtenida por Hattori en 1979, donde diferenció en nuestro país 5 zonas de sismicidad. En la cuenca del río Mala están presentes dos de ellas: La zona 2 con una intensidad máxima de IX y para un periodo de retorno de 100 años, le corresponde una aceleración máxima de 298×10^{-3} g y la zona 3 con una intensidad de máxima de VIII, y para un periodo de retorno de 100 años una aceleración máxima de 149×10^{-3} g.

En la Fig N° 7.13, se presentan los resultados de los estudios efectuados por Hattori, cuyos valores han sido comparados con los mapas de regionalización sísmica, referidos anteriormente, encontrándose congruencia en cuanto a la ubicación de las zonas más desfavorables así como los valores máximos de intensidades.

7.3.3 TSUNAMIS

Tsunami es una palabra de origen japonés, usada para designar al fenómeno oceánico denominado maremoto, es decir a las olas que inundan las costas cuando ocurre un movimiento sísmico de gran intensidad (Marina de Guerra del Perú, Dirección de Hidrografía y Navegación, 2002). A diferencia de las olas generadas por los vientos, que sólo mueven partículas superficiales, los Tsunamis remueven masas de aguas profundas.

El origen de un Tsunami o maremoto se debe principalmente a:

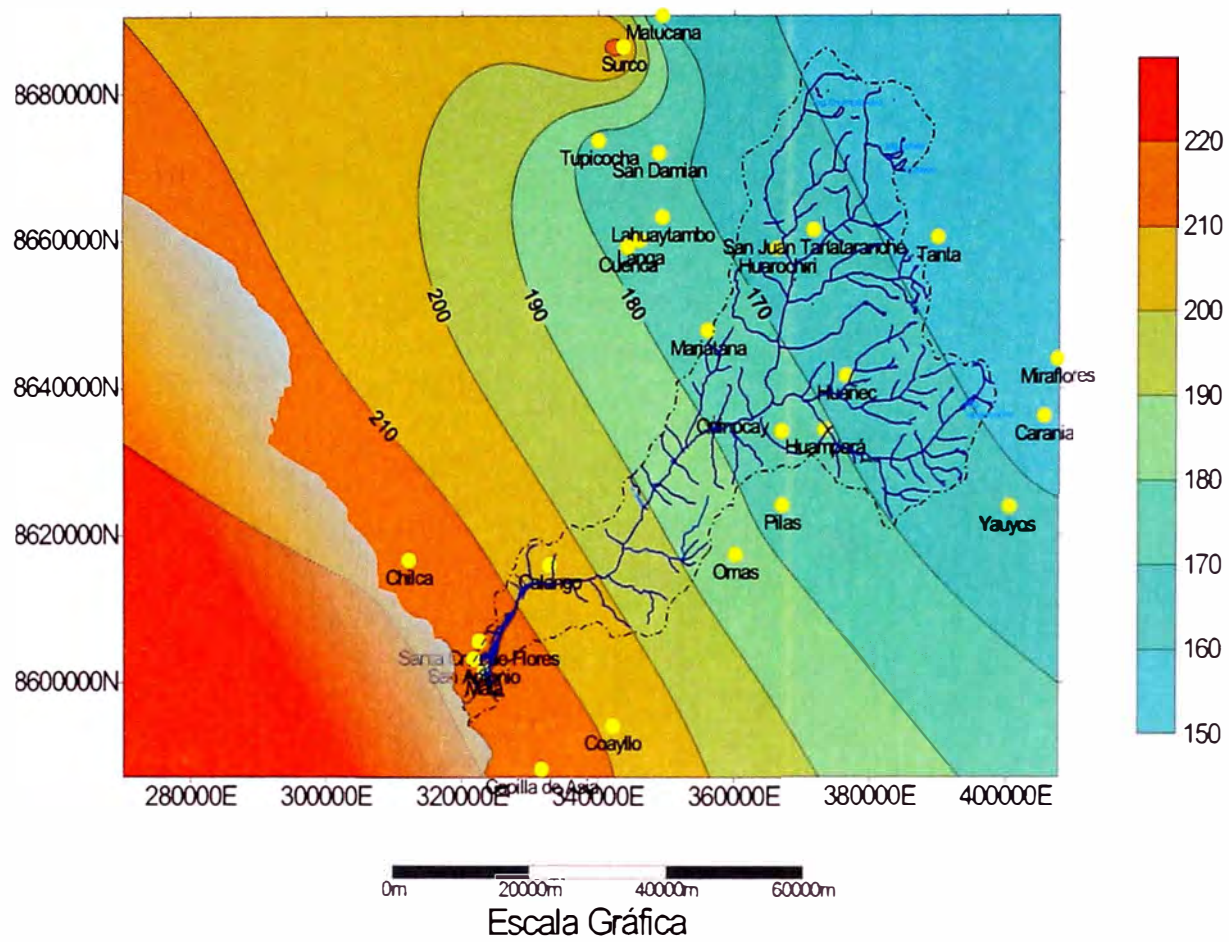


Fig. 7.10 Mapa de isoaceleraciones sísmicas para el período de 30 años

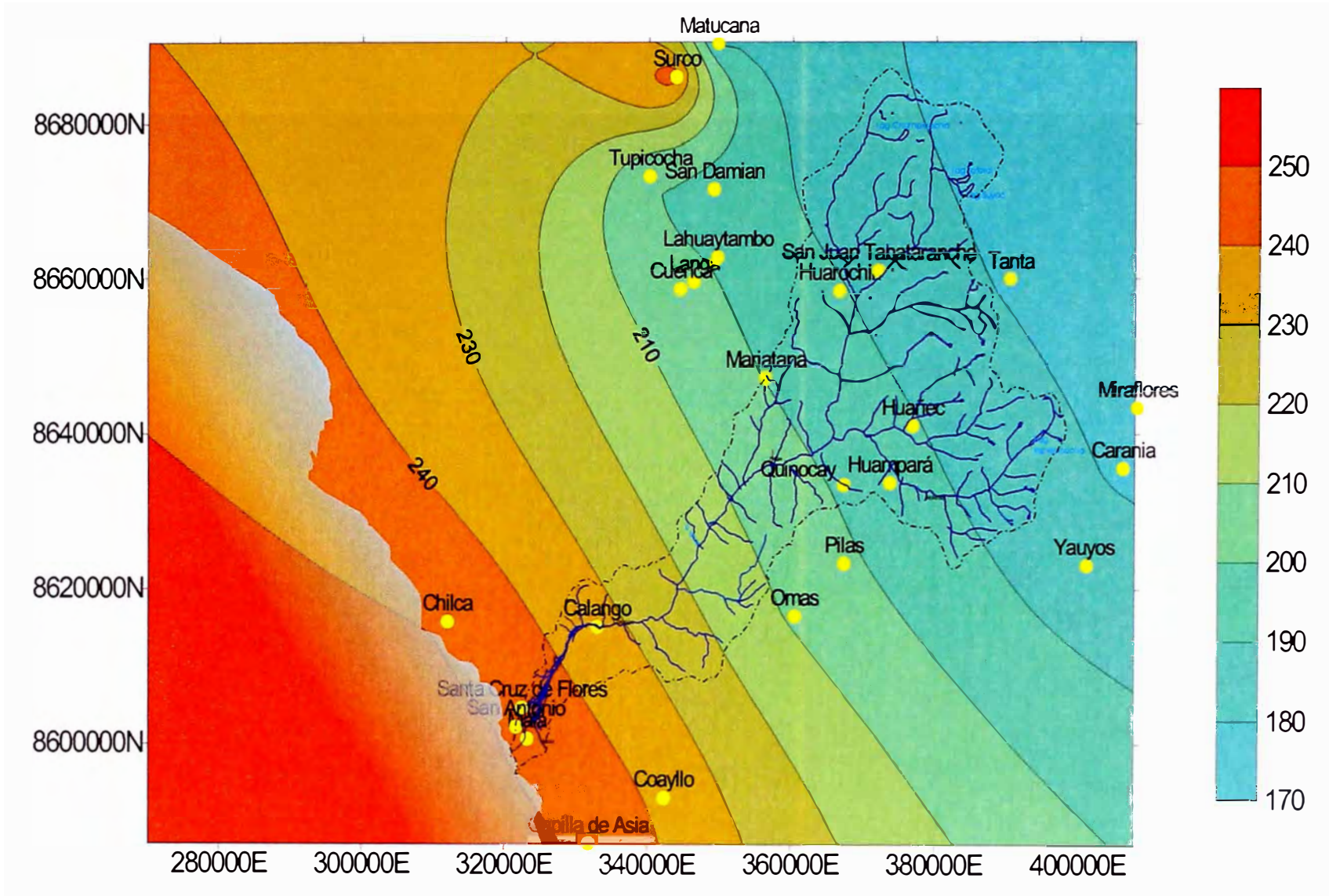


Fig. 7.11 Mapa de isoaceleraciones sísmicas para el período de 50 años

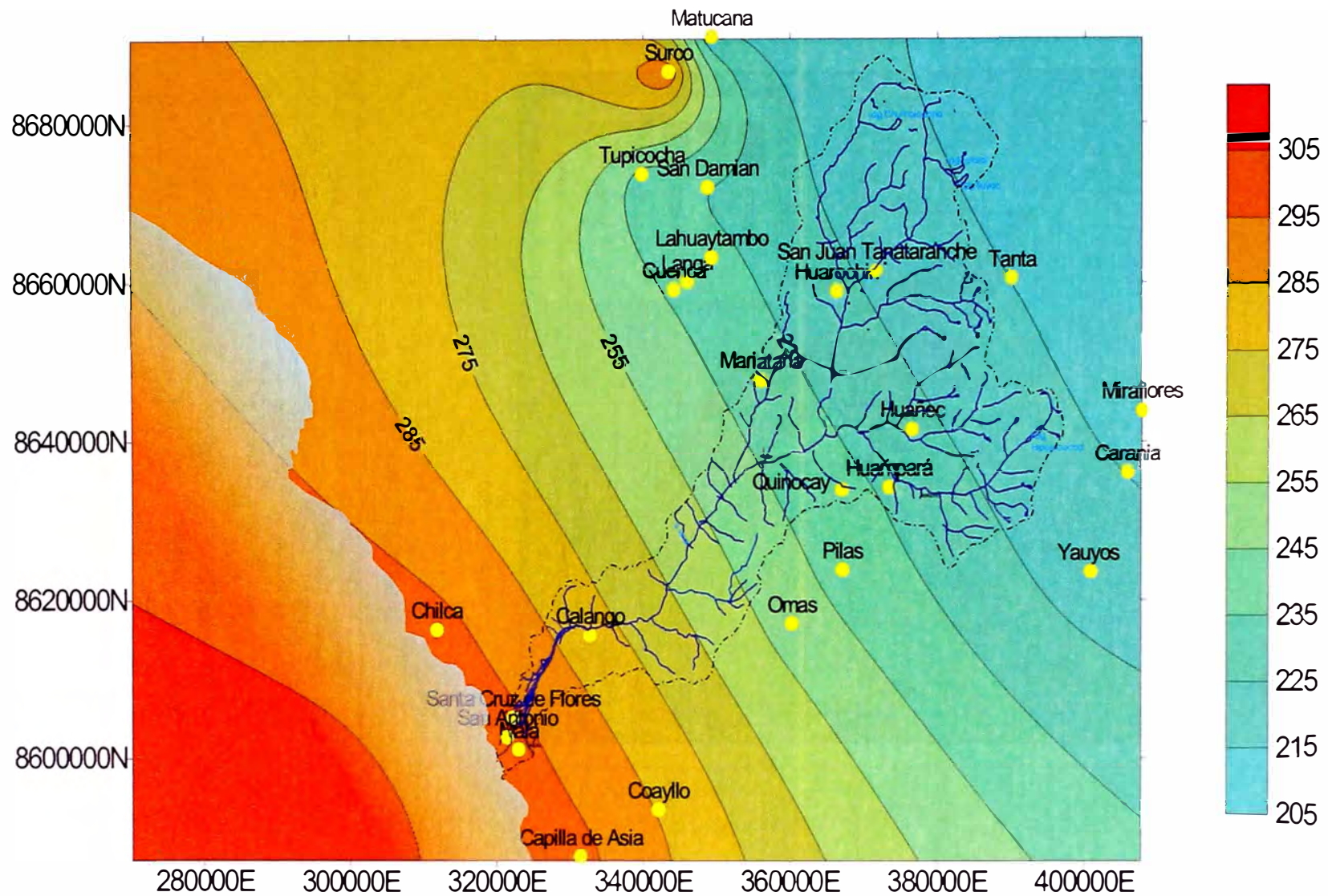
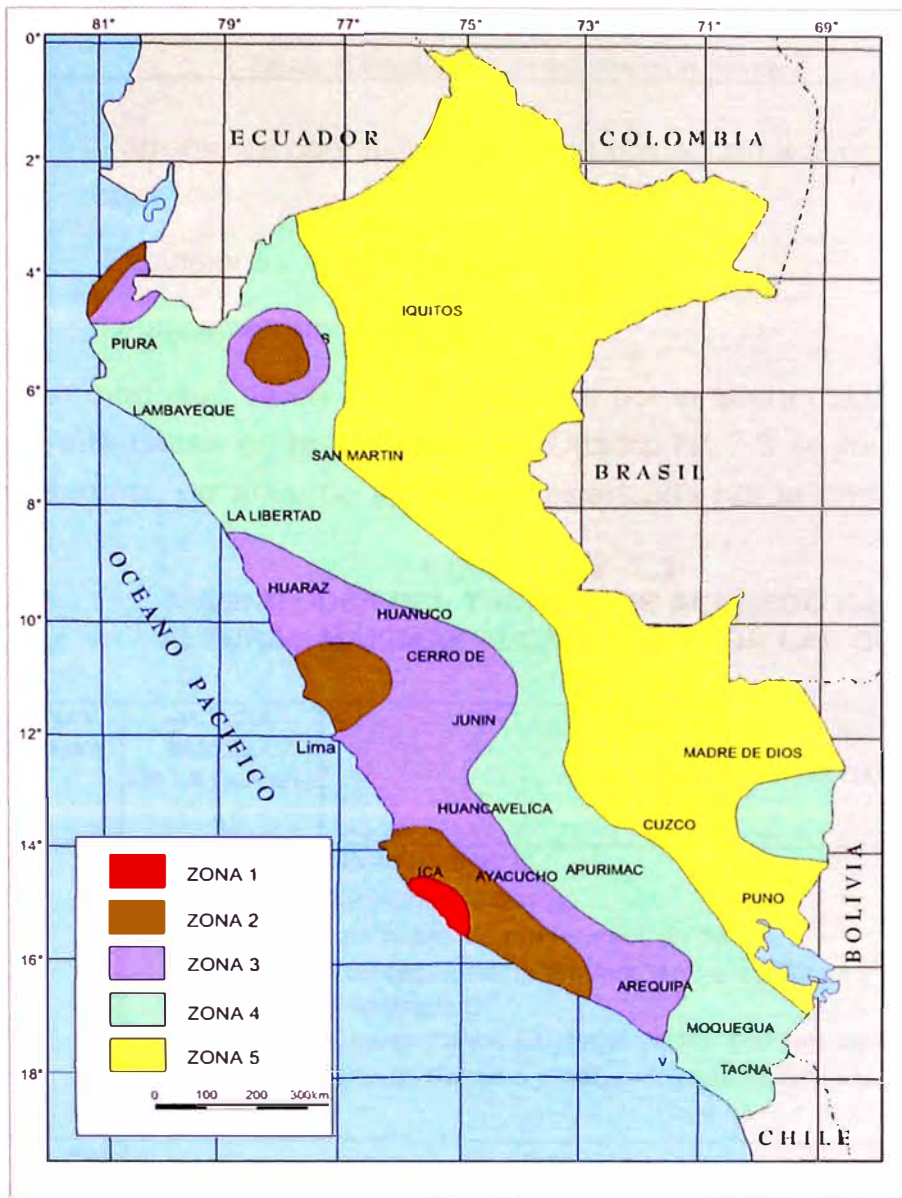


Fig. 7.12 Mapa de isoaceleraciones sísmicas para el período de 100 años



ZONA	PERIODO DE RETORNO		
	50	100	200
1	404 IX	564 IX-X	564 IX-X
2	404 IX	564 IX-X	564 IX-X
3	106 VII	149 VII-VIII	192 VIII
4	053 VI	106 VII	149 VII-VIII
5	021 V	021 V	053 VI

FIG.N°7.13
ACELERACIONES ESPECTRALES E INTENSIDADES
MAXIMAS PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO

Fuente : S. HATTORI

Terremotos con epicentros en la costa, cerca al océano o en el fondo del mar.

Explosiones volcánicas submarinas.

Deslizamientos submarinos

La magnitud de un Tsunami se mide por la altura máxima de la ola y la destrucción que causa en la costa. En el Cuadro N° 7.3 se muestra las magnitudes de un Tsunami, de acuerdo a la altura alcanzada por la onda.

**CUADRO N° 7.3
MAGNITUDES DEL TSUNAMI DE ACUERDO A LAS
ALTURAS MÁXIMAS ALCANZADAS POR LAS OLAS**

MAGNITUD TSUNAMI (m)	ALTURA MÁXIMA DE LA OLA (m.)	DESCRIPCIÓN DE LOS DAÑOS
0	1 a 2	No se producen
1	2 a 3	Se inunda la casa. Las casas de madera sufren daños.
2	4 a 6	Edificaciones de madera, embarcaciones y personas son arrastradas. Graves daños a lo largo de los 400 km. de costa.
3	10 a 20*	Graves daños a lo largo de más de 500 km. de costa.
4	más de 30	

(Imamura*, 1960)

*Nota del autor: Estas alturas se alcanzarían si se tienen aguas profundas cerca de la costa y los vértices de Bahías en forma de U, V y W.

El estudio de los Tsunamis está estrechamente relacionado al de los sismos. El tiempo de llegada de un posible tsunami en la costa peruana depende de la ubicación del epicentro del terremoto generador del tsunami, de la extensión y condiciones físicas del fondo marino frente a las costas. La difusión del estado de alerta en la población y su posible evacuación es responsabilidad coordinada de HIDRONAV y el INDECI.

7.3.3.1 Registro de Tsunamis en la cuenca del río Mala

En el área litoral de la cuenca del río Mala todavía no se ha registrado ningún Tsunami de grandes proporciones, sin embargo dada la alta sismicidad de la región, se remarca que las poblaciones ubicadas en el litoral costero peruano, están sujetas

a riesgo de ocurrencia de Tsunamis, principalmente la costa central del Perú, ya que la inundación por Tsunamis en dicha zona, puede alcanzar hasta 6 m. de altura respecto al nivel del mar y 500 m hacia adentro de la línea de alta marea; en la zona sur del Perú, hasta 10 msnm y unos 800 m tierra adentro (Estudio de Riesgo Geológico del Perú - Franja N° 03 – INGEMMET, Dirección de Geología Ambiental.2003)

En el cuadro N° 7.4 se presentan los principales Tsunamis ocurridos en el litoral peruano y los daños ocasionados, según World Data Center a for Solid Earth Geophysics Boulder Colorado (P. Lockridge).

Cuadro N° 7.4
PRINCIPALES TSUNAMIS OCURRIDOS EN EL PERÚ

FECHA	HORA	EPICENTRO APROX.(Coordendas geográficas)		INTENSIDAD	MAGNITUD	AREAS AFECTADAS Y DAÑOS
09-07-1586		12° 12'	77° 14'	IX	8.6	Lima-Callao, Daños a 250 m, mar adentro. 60 personas ahogadas.
20-10-1687		13°30'	76°30'	IX	8.5	Ciudad del Callao sumergida. 500 damnificados.
20-10-1687	05h 30m	13°00'	77°,30'	IX	8.0	Terremoto causó 10 muertos causando daños hasta 700 Km al sur. Tsunami hizo perecer a 300 personas. Los estragos fueron grandes en el puerto del callao y alrededores, así como también los valles de cañete, Ica, Palpa, Nazca y Camaná. Entre Ica y cañete se formaron grandes grietas de muchos Km de extensión.
28-10-1746	22h 30m	12°00'	77°00'	X-XI	8.4	Terremoto en Lima y Tsunami en el Callao. 95 % de casas destruidas, 1141 muertos. En el callao 3800 murieron (de 4000 personas).
01-12-1806	18h 00m	12°00'	78°00'			El mayor sismo después de 1746, daños en Lima, Tsunami en el Callao. Duró un minuto.
08-01-1865		13°00'	76°00'			Daños y destrucción en el Callao. 5 familias damnificadas.

CAPITULO VIII

ANÁLISIS AMBIENTAL

8.1 CONSIDERACIONES GEOLÓGICO-AMBIENTALES

El área de la cuenca del río Mala que comprende parte de las provincias de Huarochiri, Yauyos y Cañete presenta una geomorfología dominada por procesos tectónicos (factores internos) y climáticos (factores externos) que originan geoformas que van desde espacios costeros hasta altas cumbres, diferenciándose en ellas, no sólo la topografía sino la geología, geomorfología, flora y fauna. La geología en el área está referida a unidades cuyas edades van desde el Cretáceo inferior al Cuaternario Reciente.

La flora y fauna existente es variada, de acuerdo a los climas diferenciados. La vegetación en general protege relativamente a las laderas o vertientes.

Considerando la geodinámica interna, el área de la cuenca del río Mala se ve influenciada por la subducción de la placa de Nazca con la continental, con un ángulo de 30°, lo que se ha manifestado con los eventos sísmicos que han ocurrido en su territorio.

Desde el punto de vista de la geodinámica externa, la meteorización se hace propicia donde la roca está expuesta directamente originando fragmentos redondeados y subredondeados de rocas de diferentes tamaños.

Los fenómenos de **remoción en masa**, (huaycos, derrumbes, deslizamientos, movimientos complejos, erosiones fluviales, y erosión de laderas, etc), peligros hidrológicos, (inundaciones fluviales, desertificación, sequía, y peligros atmosféricos), son los que tienen mayor incidencia en el área de esta cuenca principalmente en la parte media y alta, afectando a las laderas, terrazas de los valles, redes viales en carreteras u y ferrovías, áreas pobladas, centros mineros, y obras de infraestructura emplazados allí. Son importantes los deslizamientos en el distrito de Sangallaya, cercanos al caserío de Huanchac, derrumbes de Quinocay, Huampara y Sangallaya, huaycos de Ayavirí, Calango y Quinocay.

Desde el punto de vista geológico económico el área de la cuenca consta de recursos minerales metálicos, los que fueron explotados por la minería artesanal hoy inexistente. También existen recursos minerales no metálicos, no explotados por falta de interés económico.

Los recursos agrícolas están desarrollados principalmente a lo largo del valle de Mala, tanto en laderas, terrazas, como en conos aluviales de las quebradas tributarias, existiendo áreas que podrían aprovecharse para la explotación pero que por escasez de aguas superficiales en cantidad suficiente no se utilizan.

Otro punto importante a mencionar son las áreas geológicas que por su belleza paisajística e interés científico deberían ser consideradas como recursos geoturísticos, destacando el Bosque de Rocas de Alloca, en Huarochiri.

Sobre el impacto ambiental en el área de la cuenca se puede manifestar que los problemas de contaminación que la afectan son de tipo natural y antrópico, los primeros se manifiestan por meteorización de rocas y el la acción de ríos, aguas superficiales y de precipitación sobre las mismas. La contaminación Antrópica se presenta por el uso de plaguicidas y abonos en la agricultura en la zona baja del valle del río Mala, la construcción de trochas y carreteras de acceso y el mal estado de muchas carreteras de penetración afirmadas, que ocasionan el levantamiento de polvo al paso de los vehículos, la mala administración de botaderos (Foto 8.1) para la depositación de residuos sólidos que producen la población y la industria en la zona de Mala, donde también ocurre la contaminación por los gases de combustión que arrojan los vehículos automotores.

Este contexto, permite manifestar que todavía hay mucho por hacer, desde el punto de vista de la Geología Ambiental, así mismo se hace necesario la realización de estudios más detallados de impacto ambiental especialmente en las zonas habitadas de la cuenca.

8.2 GEOQUÍMICA DE AGUAS Y SEDIMENTOS EN LA CUENCA DEL RÍO MALA

8.2.1 Muestreo

El muestreo de aguas y sedimentos de la cuenca del río Mala ha sido realizado entre los días, 18 y 24 de Julio del 2002 durante los trabajos de campo del Estudio de Riesgo Geológico de la Franja N°3 (INGEMMET, Dirección de Geología Ambiental-2003).

En dicho período, se colectó en 11 estaciones ubicadas en el río Mala y sus principales afluentes muestras de agua y sedimentos.

Para la toma de muestras de agua se siguió la siguiente secuencia:

Primero se efectuaron mediciones periódicas de pH, conductividad, potencial redox y temperatura, in situ, cada 10 min, con el uso de un potenciómetro o multitester marca **HANNA instruments**; en cada estación.

Se colectaron muestras de aguas en botellas de polietileno de 1 litro de capacidad, tomándose en total 2 litros; para su posterior análisis en los laboratorios del Instituto de Minería y Medio Ambiente de la FIGMM-UNI. Un litro se tomó sin preservación para el análisis de sólidos suspendidos totales (SST), sólidos disueltos totales y aniones; el otro se preservó con 2 ml de ácido nítrico para el análisis de los metales totales y metales disueltos.

Las muestras de sedimentos, mayormente material fino a grava, se colocaron en envases de plástico de aproximadamente 100 gr.

En una libreta de campo se registró la ubicación en coordenadas UTM con GPS marca GARMIN XP y la descripción del contexto ambiental.

8.2.1.1 Descripción de estaciones de muestreo

A continuación se describe cada estación de muestreo (FIG. N°8.1).

ESTACIÓN 01: Río Mala a la altura del AAHH. Tutumo a 11.3 Km del distrito de Mala.

El acceso a la estación es a través de la carretera que va de Mala a Calango. A partir del AA.HH. Tutumo, se sigue un desvío a la izquierda que atraviesa los terrenos de cultivo, hasta llegar a la estación N° 01.

El entorno de esta estación es de topografía suave. Se ha canalizado al río por acequias y canales de irrigación. En ambos márgenes del río se han podido observar sembríos de hortalizas y verduras, así como ganado vacuno.

El material fluvial observado, está constituido por bolones y grava de rocas volcánicas (tobas Andesíticas) e intrusivas (dioritas). El color de las aguas del río Mala en este punto es transparente. También se observa la presencia de materia orgánica en el cauce del río.



Foto N° 8.1
Botadero de residuos solidos en San Antonio, distrito de Mala

ESTACIÓN 02: Río Mala, a la altura de Totoral Bajo, a 3,4 Km del poblado de La Capilla.

El acceso a la zona es a través de la carretera que partiendo de Calango llega hasta el caserío de Cayahuasi.

El río Mala presentó en esta estación un caudal mínimo por la época de estiaje. En el transcurso del camino a esta estación se observaron plantaciones de frutales como manzana, membrillo y tuna (esta última para el cultivo de la cochinilla). El material fluvial, está constituido principalmente por bolones subredondeados menores a 1.5 m de diámetro, de naturaleza intrusiva, principalmente granodiorita, tonalita y diorita.

ESTACIÓN 03 Río San Lorenzo, a 500 m del final de la carretera (a 3.5 km del poblado de Alloca).

El acceso a la estación N° 03, es por la trocha que se extiende a lo largo del río Mala, desde el distrito de Calango hasta el poblado de Alloca. Desde aquí se sigue el trazo de la nueva carretera y se desciende por caminos de herradura que llegan hasta el lecho del río.

En el entorno están presentes cultivos de manzana principalmente. Las aguas del río presentan un color transparente algo verdoso por la presencia de materia orgánica. El lecho del río San Lorenzo tiene un ancho aproximado de 4 m y sus laderas presentan fuerte pendiente ($> 50^\circ$). El material fluvial está constituido por bolones y gravas de rocas intrusivas y volcánicas, principalmente tobas andesíticas y granitos (Foto 8.2). Se observan musgos y plantas pegados a algunos bolones y gravas.

ESTACIÓN 04: Desembocadura del río Mala, a la altura del AAHH. Salitral (a 500 m de la playa La Laguna).

El valle del río Mala en la desembocadura es plano. El río presenta un amplio cauce (Foto 8.3). Destaca la presencia de promontorios de rocas volcánicas cerca de la playa. Las aguas presentan apariencia semi transparente, el material del lecho está constituido por arenas y gravas de naturaleza intrusiva, tipo diorita y granodiorita.

ESTACIÓN 05: Río San Lorenzo, 150 m aguas arriba del puente.

El río Tantarú discurre por un cauce de pendiente media (21 a 35°). El material fluvial compuesto por bolones y gravas pertenecen mayormente a rocas volcánicas.

Estaciones de muestreo de aguas y sedimentos de la cuenca del río Mala

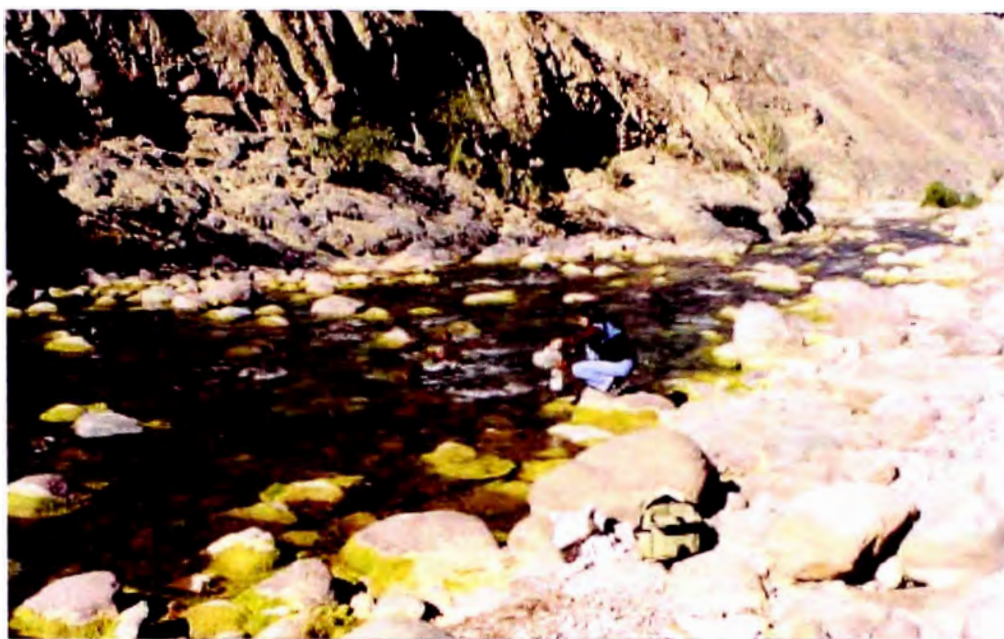


Foto N° 8.2

Río San Lorenzo, estación 03.- Se observa en la margen derecha del río Mala aflor rocas volcánicas y en la margen izquierda cantos y bolones de rocas intrusivas y volcánicas. Las aguas son transparentes con tonalidad verdosa.



Foto N° 8.3

Río Mala en su desembocadura, estación 04.- Se observa al fondo la zona agrícola del valle del río Mala y la barra litoral que se forma en la línea de costa. El agua es semi transparente.

Estaciones de muestreo de aguas y sedimentos de la cuenca del río Mala

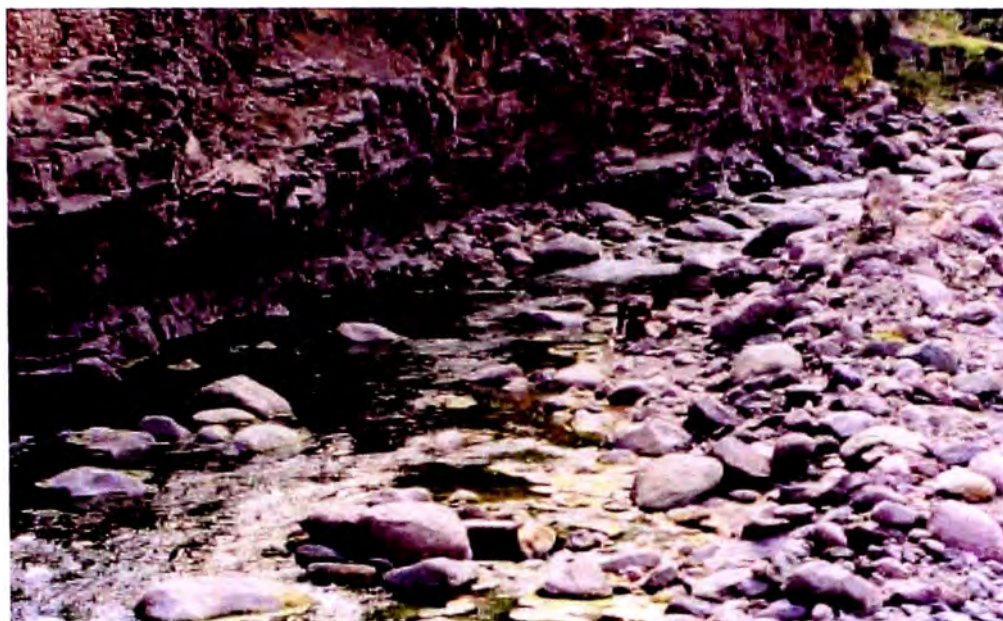


Foto N° 8.4

Río Acacuche, estación 06.- Se observa en la margen derecha del río Mala un afloramiento de rocas volcánicas sin vegetación y en la margen izquierda cantos y bolones de rocas intrusivas y volcánicas. Las aguas son transparentes.

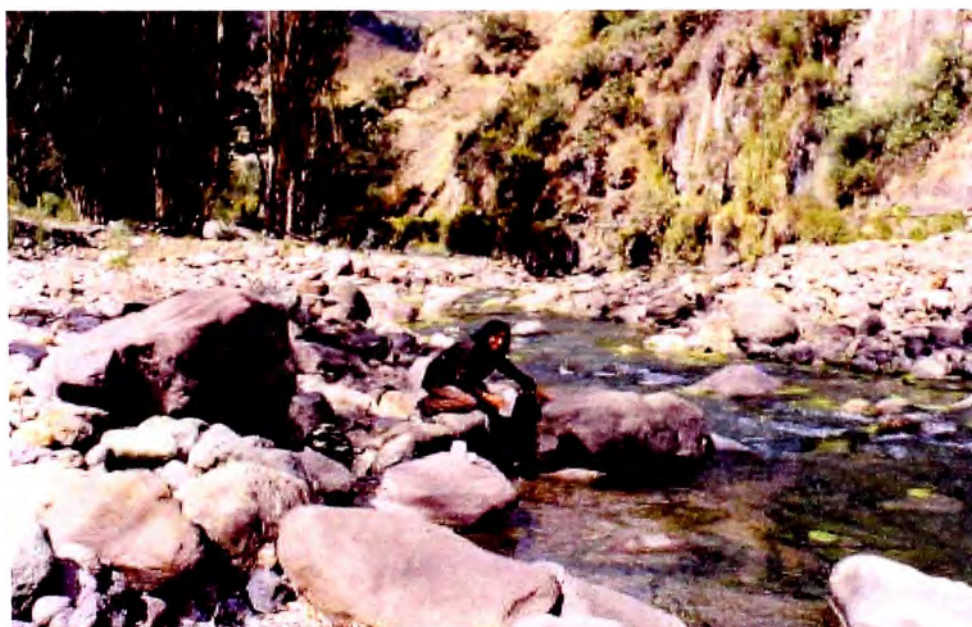


Foto N° 8.5

Río Aguaquiri estación 07.- Se observa en la margen derecha del río, afloramiento de rocas volcánicas, cubiertas por pastos naturales y en la margen izquierda cantos y bolones de rocas intrusivas y volcánicas.

Estaciones de muestreo de aguas y sedimentos de la cuenca del río Mala



Foto N° 8.6
Rio Quinches, estacion 08.- Se observa en ambas margenes del rio Quinches, la intensa vegetacion que cubre a los afloramientos de rocas volcanicas que encajonan al rio.



Foto N° 8.7
Rio Huanec estacion 09.- Se observa la vegetacion natural abundante en el entorno y bolones con bloques de naturaleza intrusiva y volcanica en el lecho del rio. Las aguas son algo turbias.

ESTACIÓN 06 Río Acacuche, a 1.3 km del distrito de San Lorenzo de Quinti.

En el área predomina vegetación silvestre (Foto 8.4). Las aguas de este río tienen un color transparente y las rocas del lecho, son bolones y gravas de rocas volcánicas e intrusivas, como andesitas, tobas, granitos y granodioritas.

ESTACIÓN 07 Río Aguaquri, a 1.1 km del distrito de San Lorenzo de Quinti, en el paraje de Chiclla.

En el área se desarrolla una abundante vegetación silvestre. Se aprecian residuos sólidos de origen doméstico en las márgenes, del río Aguaquirí. El material fluvial está constituido por bloques (de hasta 2m de diámetro), bolones y gravas de naturaleza intrusiva y volcánica, como granodioritas, andesitas, tobas y cuarcitas (Foto 8.5).

ESTACIÓN 08 Río Quinches, a 280 m del caserío de Puclo.

El río Quinches presenta un cauce estrecho (1 a 2 m de ancho) en esta estación. Sus aguas presentan una coloración transparente. El área está cubierta casi totalmente por vegetación silvestre (Foto 8.6). Los materiales fluviales están formados principalmente por bolones y gravas de rocas volcánicas como tobas andesíticas y riolíticas.

Este río al unirse con el río San Lorenzo forman al río Mala.

ESTACIÓN 09 Río Huañec, a 800 m del distrito de San Joaquín

El entorno está cubierto por pastos y arbustos naturales. Se aprecian residuos sólidos en el lecho del río. Las aguas del río Huañec se observan turbias. El material fluvial está formado por bolones y gravas de rocas volcánicas, intrusivas y sedimentarias, principalmente tobas andesitas, tobas riolíticas, granodioritas, limolitas y areniscas de diámetros menores a 3 m.

ESTACIÓN 10 Río Quinches, a 1.4 km de la quebrada Pumahuasi.

El cauce de la quebrada es de pendiente media (21 a 35°). Las aguas del lecho del río, se presentan ligeramente turbias. El material fluvial está constituido por bolones mayormente volcánicos (tobas andesitas, tobas riolíticas, andesitas y aglomerados).

ESTACIÓN 11 Río Ayavirí, paraje de Pampa Huayna, a 2,3 km de Ayavirí.

El río Ayavirí presenta un cauce estrecho. El material fluvial está conformado por bolones de rocas volcánicas e intrusivas, principalmente tobas andesitas, tobas riolíticas y granodioritas. En el entorno de la estación N° 11 se observan áreas de cultivo de pan llevar.

8.2.1.2 Mediciones en campo

Los valores de pH, temperatura y conductividad eléctrica registrados en cada estación, corresponden a los promedios de tres mediciones obtenidas cada 10 min.

En el cuadro N° 8.1 se presenta la ubicación de las estaciones de muestreo y los resultados que se obtuvieron de las mediciones *in situ*.

8.2.2 Análisis

Los análisis químicos en aguas y sedimentos, fueron imprescindibles para determinar la concentración y distribución espacial de los metales pesados y parámetros físicos en las aguas del río Mala, enfocados como base para la planificación de medidas de mitigación o prevención de una probable contaminación por actividades extractivas.

8.2.2.1 Análisis de muestras de agua

Los análisis de agua comprendieron: medición del pH, turbidez, SDT, SST, Cl⁻ y SO₄⁻

El pH y la conductividad se midieron con un potenciómetro marca **HANNA** instruments la turbidez con un turbidímetro marca **HACH** 2100P. La medición de metales disueltos y metales totales se realizó por Espectrometría de Absorción Atómica (AAS).

En los cuadros N° 8.2 y 8.3 se muestran los resultados de los análisis.

CUADRO N° 8.1
UBICACIÓN DE ESTACIONES DE MUESTREO Y MEDICIONES HECHAS EN EL CAMPO

N° de estación y ubicación	Fecha/hora	Coordenadas UTM*		Altitud (msnm)	Temperatura promedio (°C)	pH	Conductividad promedio (uS/cm)
		Norte	Este				
01: Río Mala a la altura del AAHH. Tutumo a 11.3 Km del distrito de Mala	18Jul/09:15	8609096	324808	196	17,7	7.8	1885
02: Río Mala, a la altura de Totoral Bajo, a 3,4 Km del poblado de La Capilla	18Jul/17:30	8616347	339244	640	21,9	8,1	285
03 Río San Lorenzo, a 500 m del final de la carretera (a 3.5 km del poblado de Alloca)	19Jul/14:30	8644487	364928	1920	14,5	8,2	315
04 Desembocadura del río Mala, a la altura del AAHH. Salitral (a 500 m de la playa La Laguna)	20Jul/15:40	8598603	320104	0	22,3	8,4	475
05 Río San Lorenzo, 150 m aguas arriba del puente	21Jul/15:20	8651809	366416	2288	16,5	8,5	325
06 Río Acacuche, 1.3 km del distrito de San Lorenzo de Quinti	22Jul/10:50	8658061	369104	2498	9,2	8.7	575
07 Río Aguaquri, a 1.1 km del distrito de San Lorenzo de Quinti en el paraje de Chiclla	22Jul/16:30	8658036	367455	8905	11,8	8,9	280
08 Río Quinches, a 280 m del caserío de Puclo	23Jul/08:10	8639577	374625	2505	12	8,2	120
09 Río Huañec, a 800 m del distrito de San Joaquín	23Jul/12:40	8642414	376046	2625	11,3	7.6	103
10 Río Quinches, a 1.4 km de la quebrada Pumahuasi	23Jul/10:40	8639441	378253	2904	7,3	6,9	50
11 Río Ayavirí, paraje de Pampa Huayna, a 2,3 km de Ayavirí	24Jul/16:50	8632906	375615	2550	11,6	7,7	196

* Al datum Provisional Canoa 56

**CUADRO N° 8.2
PARAMETROS MEDIDOS EN LABORATORIO**

Estación	pH	Turbidez	SDT (mg/l)	SST (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)
1	7.4	2.14	2020	22	0.098	85.22
2	7.8	0.99	301	10	0.004	10.95
3	7.8	0.78	350	8	0.005	0.98
4	8.0	4.20	550	49	0.012	14.94
5	8.0	0.95	342	9	0.005	21.29
6	8.1	0.68	601	7	0.014	15.98
7	8.2	1.61	302	18	0.004	15.98
8	7.8	2.61	153	37	0.003	0.09
9	7.2	1.36	115	14	0.005	0.09
10	6.6	2.47	75	35	0.006	0.09
11	7.4	1.36	213	14	0.004	0.10
LMP.Clase-I (LGA)	5/9					
LMP.Clase-II (LGA)	5/9					
LMP.Clase-III (LGA)						400
MEM	5.5-10.5			100		
V.g Unión uropea	6.5-8.4		< 1000	< 3	250	

Donde:

LMP*.Clase-I (LGA): Límites máximos permisibles de la ley general de aguas, para aguas de abastecimiento doméstico con simple desinfección.

LMP*.Clase-II (LGA) Límites máximos permisibles de la ley general de aguas, para aguas de abastecimiento doméstico con tratamiento equivalente a proceso combinados de mezcla y coagulación, sedimentación, filtración y cloración aprobados por el Ministerio de Salud.

LMP*.Clase-III (LGA): Límites máximos permisibles de la ley general de aguas, para aguas de riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales.

MEM: Límites máximos permisibles para unidades en operación o que reinicien operaciones en cualquier momento según Resolución Ministerial N°011-96-EM/VMN.

V.g Unión Europea: Valores guías de la Unión Europea

* LMP: Límite Máximo Permissible

Es la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o a una emisión, que al ser excedido causa o puede causar daños a la salud, bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente.

CUADRO N° 8.3
RESULTADO DEL ANÁLISIS DE METALES DISUELTOS Y METALES TOTALES EN LA
CUENCA DEL RIO MALA-JULIO 2002

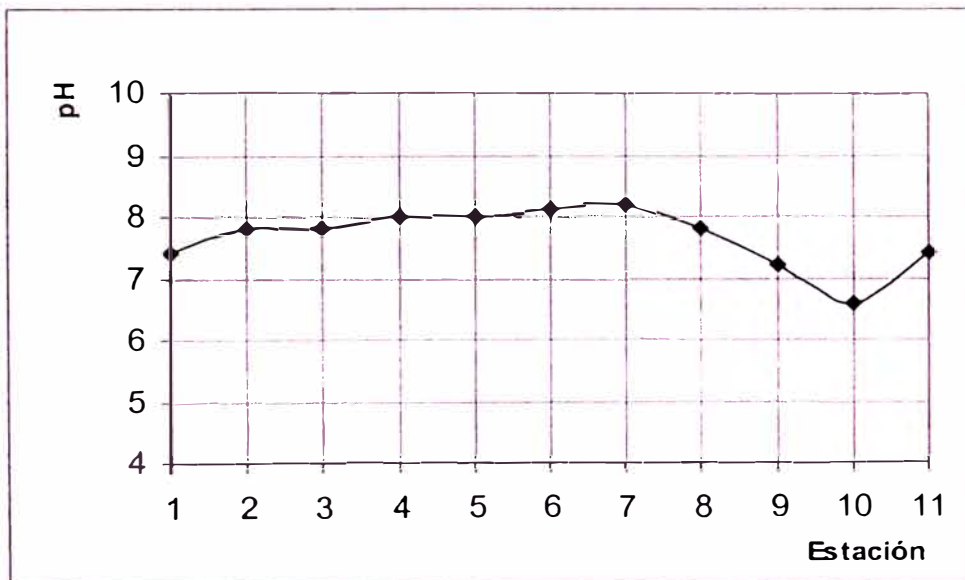
Estación	Metales totales(mg/l)					Metales disueltos(mg/l)				
	Fe	Cu	Pb	Zn	As	Fe	Cu	Pb	Zn	As
1	0.214	0.003	0.012	0.005	0.0005	0.060	0.001	0.004	0.002	0.0005
2	0.125	0.001	0.015	0.002	0.0005	0.056	0.001	0.001	0.001	0.0005
3	0.120	0.002	0.009	0.002	0.0005	0.042	0.001	0.001	0.001	0.0005
4	0.211	0.001	0.011	0.001	0.0005	0.055	0.001	0.001	0.001	0.0005
5	0.089	0.001	0.008	0.001	0.0005	0.045	0.001	0.001	0.001	0.0005
6	0.087	0.001	0.008	0.002	0.0005	0.064	0.001	0.002	0.002	0.0005
7	0.116	0.003	0.014	0.004	0.0005	0.079	0.003	0.013	0.004	0.0005
8	0.238	0.002	0.019	0.001	0.0005	0.068	0.002	0.014	0.001	0.0005
9	0.158	0.001	0.014	0.003	0.0005	0.057	0.001	0.016	0.001	0.0005
10	0.213	0.001	0.013	0.013	0.0005	0.044	0.001	0.001	0.001	0.0005
11	0.139	0.001	0.016	0.002	0.0005	0.056	0.001	0.005	0.002	0.0005
LGA-I	0.30	1.00	0.05	5.00	0.10	0.30	1.00	0.05	5.00	0.10
LGA-II	0.30	1.00	0.05	5.00	0.10	0.30	1.00	0.05	5.00	0.10
LGA-III	1.00	0.5	0.10	25.00	0.20	1.00	0.5	0.10	25.00	0.20

Dependiendo del parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresado en máximos, mínimos o rangos. (**DECRETO SUPREMO N° 044-98-PCM**).

En el gráfico N° 8.1 se muestra la variación de los valores de pH en las muestras de agua del río Mala analizadas. Esta distribución también se muestra en el **Mapa de valores de pH en muestras de agua de la cuenca del río Mala**. (Lámina N° 06)

Gráfico N° 8.1

VARIACIÓN DE LOS VALORES DE pH EN MUESTRAS DE AGUA DE LA CUENCA DEL RÍO MALA

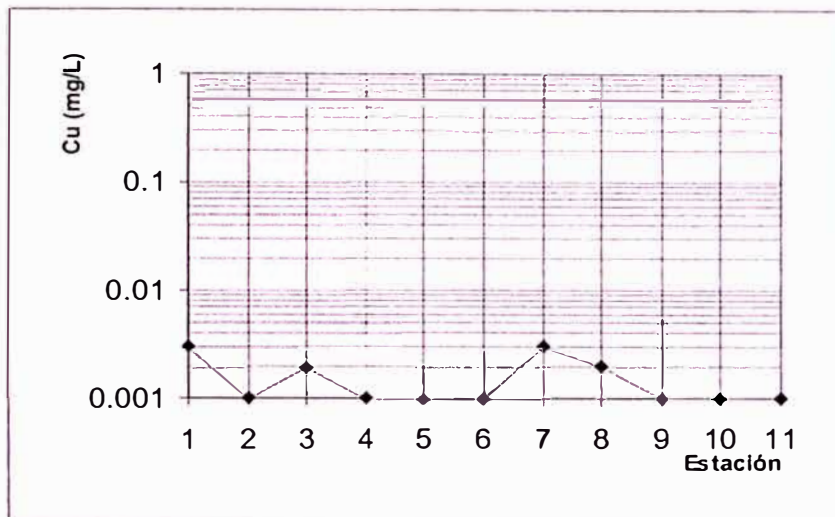


Del gráfico N° 8.1 se puede observar que los valores de pH no sobrepasan los LMP y son casi similares excepto en la estación N° 10.

En el gráfico N° 8.2 se muestra la variación de los valores de Cu en las muestras de agua analizadas.

Gráfico N° 8.2

VARIACIÓN DE LOS VALORES DE Cu EN MUESTRAS DE AGUA DEL RÍO MALA

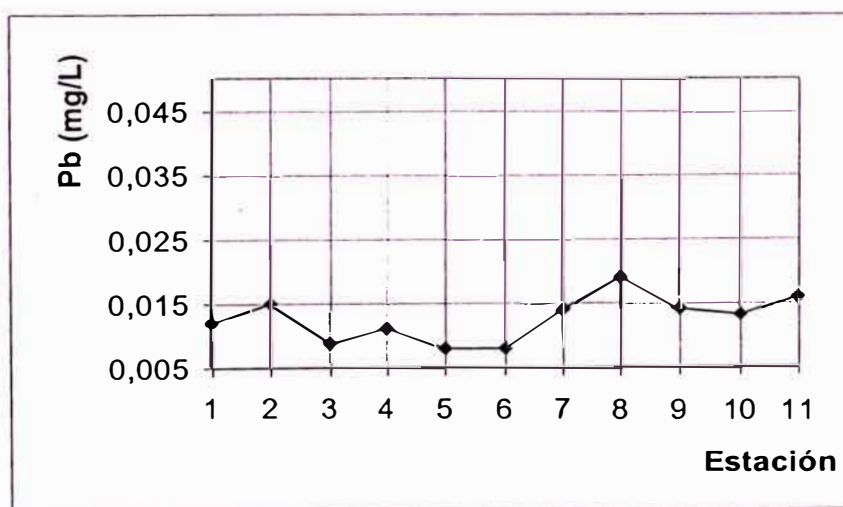


Del gráfico N° 8.2 se puede observar que los valores de Cu están muy por debajo del LMP sin embargo se presentan variaciones.

En el gráfico N° 8.3 se muestra la variación de los valores de Pb en las muestras de agua analizadas **Mapa de valores de Pb en muestras de agua de la cuenca del río Mala.** (Lámina N° 07)

Gráfico N° 8.3

VARIACIÓN DE LOS VALORES DE Pb EN MUESTRAS DE AGUA DEL RÍO MALA

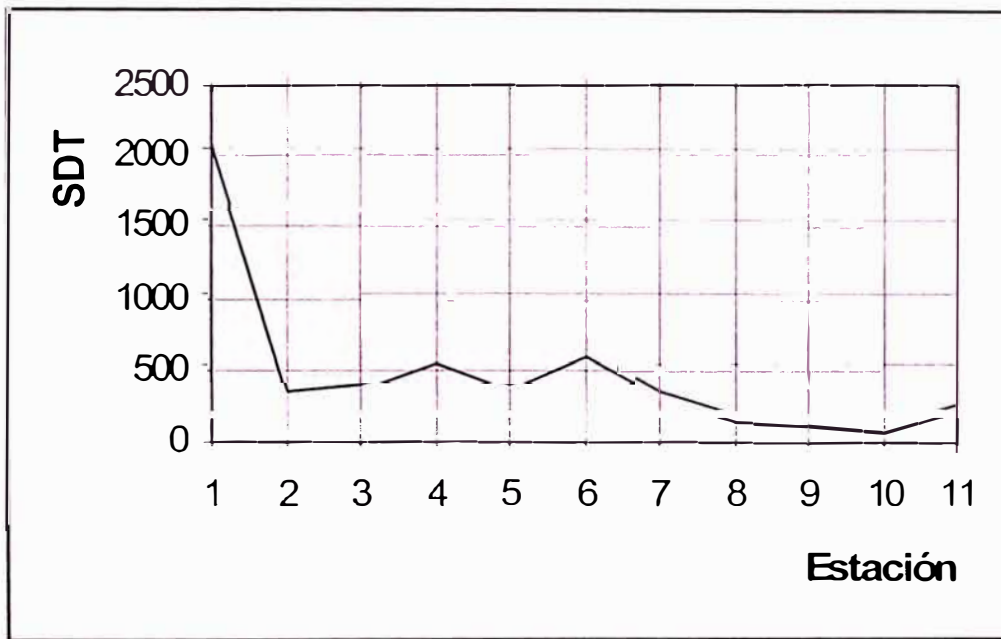


Del gráfico N° 8.3 se puede observar que los valores de Pb están muy por debajo del LMP sin embargo se presentan variaciones.

En el gráfico N° 8.4 se muestra la variación de los valores de SDT en las muestras de agua analizadas, que también se muestra en el **Mapa de valores de SDT en muestras de agua de la cuenca del río Mala.** (Lámina N° 08)

Gráfico N° 8.4

VARIACIÓN DE LOS VALORES DE SDT EN MUESTRAS DE AGUA DEL RÍO MALA



Del gráfico N° 8.4 se puede observar que los valores de SDT están muy por debajo del LMP, excepto el valor en la estación N° 01.

8.2.2.2 Análisis de muestras de sedimentos

Los análisis de sedimentos comprendieron: Descripción petrográfica de cada muestra de sedimentos de la fracción $-80 (<0,177 \text{ mm})$ y medición de metales contaminantes.

Descripción petrográfica de cada muestra

Para describir cada muestra de sedimentos, se ha utilizando un microscopio estéreo de bajo aumento, a fin de establecer la morfología y tipos de rocas encontrados en cada estación. A continuación se presenta los resultados:

Muestras de sedimentos de la cuenca del río Mala

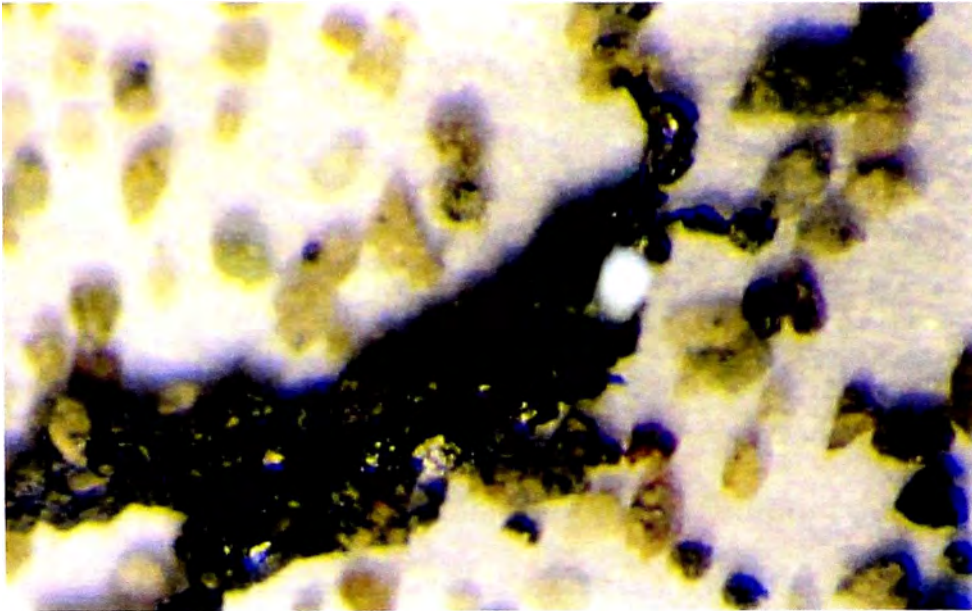


Foto N° 8.8
Muestra N° 01 . Se observan partículas de cuarzo y abundante hematita, con óxidos de hierro.

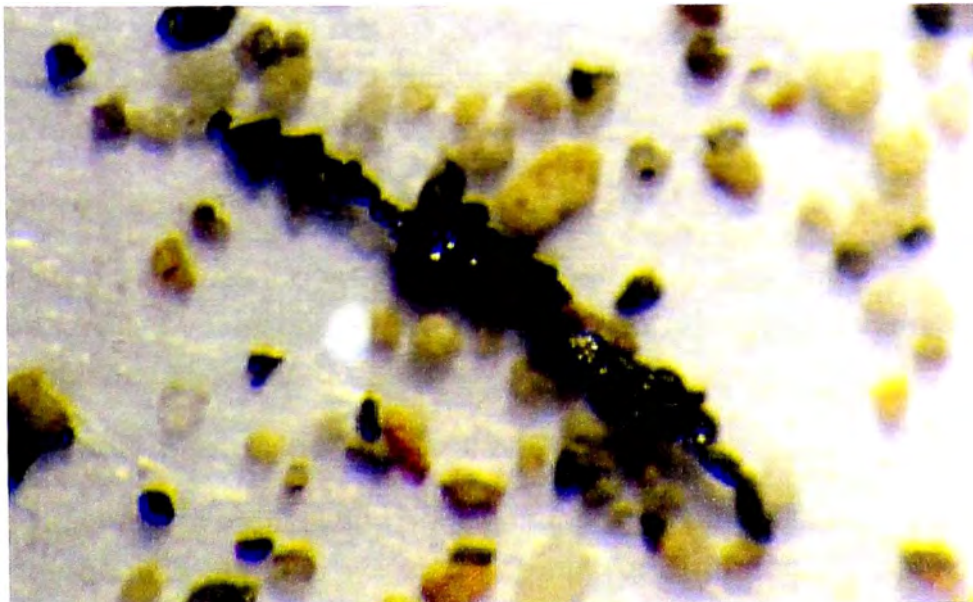


Foto N° 8.9
Muestra N° 03. Se observan partículas de cuarzo, hematita, óxidos de hierro y escasas micas.

MS1: Sedimentos del Río Mala a la altura del AAHH. Tutumo

La muestra está constituida principalmente por partículas de cuarzo, feldespatos, hematita, carbonatos, arcillas, y en menor proporción micas (Foto 8.8).

MS2: Sedimentos del Río Mala, a la altura de Totoral Bajo.

La muestra está constituida principalmente por partículas de cuarzo, carbonatos, óxidos e hidróxidos de hierro, feldespatos. También se observan en menor proporción, partículas de olivino, serpentina, crisocola y arcillas.

MS3: Sedimentos del Río San Lorenzo.

La muestra está constituida principalmente por partículas de cuarzo, feldespatos, óxidos de hierro (hematita) y en menor proporción por micas (Foto 8.9).

MS4: Sedimentos del Río Mala, en su Desembocadura.

La muestra está constituida principalmente por partículas de óxidos e hidróxidos de hierro (hematita y limonita), feldespatos, carbonatos, micas y en menor proporción por cuarzo y arcillas.

MS5: Sedimentos del río San Lorenzo.

La muestra está constituida principalmente por partículas de ferromagnesianos, carbonatos, cuarzo, óxidos e hidróxidos de hierro (hematita y limonita) y en menor proporción feldespatos (Foto 8.10).

MS6: Sedimentos del Río Acacuche.

La muestra está constituida principalmente por partículas de cuarzo, feldespatos, arcillas y carbonatos. En menor proporción se ha observado partículas de micas, malaquita, óxidos de hierro y pirita.

MS7: Sedimentos del Río Mala (Cuenca alta)

La muestra está constituida principalmente por partículas de cuarzo, y silicatos verdosos (serpentina, epidota) y óxidos de hierro. En menor proporción se ha observado partículas de micas, arcillas, malaquita y escasamente pirita (Foto 8.11).

MS8: Sedimentos del Río Quinches, a 280 m del caserío de Puclo.

Muestras de sedimentos de la cuenca del río Mala

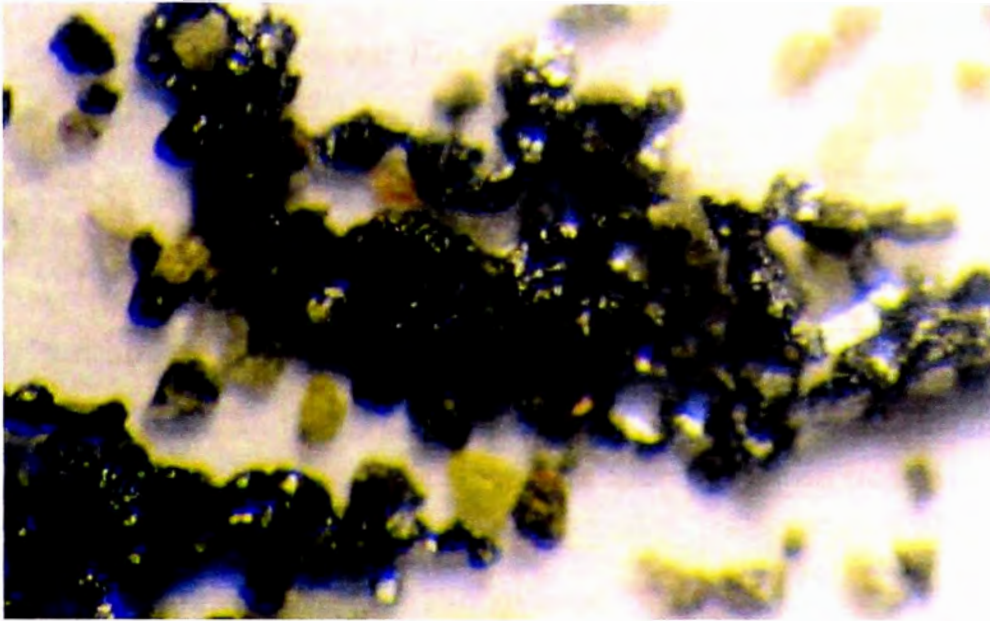


Foto N° 8.10
Muestra N° 05. Se observan partículas de cuarzo, abundantes piritoedros de hematita, óxidos de hierro y escasas feldespatos

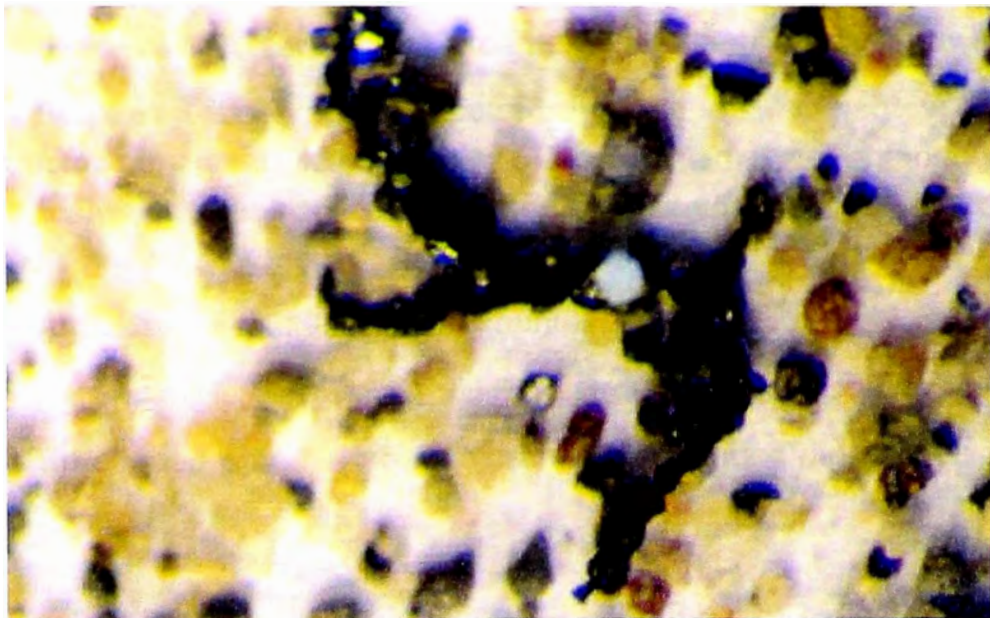


Foto N° 8.11
Muestra N° 07. Se observan partículas de cuarzo, hematita, óxidos de hierro, silicatos verdesos y escasa pirita

La muestra está constituida principalmente por partículas de cuarzo, y feldespatos. En menor proporción se ha observado partículas de óxidos e hidróxidos de hierro, malaquita, pirita, arcillas, serpentina? y carbonatos.

MS9: Sedimentos del Río Huañec

La muestra está constituida principalmente por partículas de cuarzo, feldespatos y arcillas En menor proporción se ha observado partículas de malaquita, carbonatos, serpentina y olivino? (Foto 8.13).

MS10: Sedimentos del Río Quinches, a 1.4 km de la quebrada Pumahuasi.

La muestra está constituida principalmente por partículas de cuarzo, feldespatos, esquistos y micas. En menor proporción se ha observado partículas de óxidos e hidróxidos de hierro, arcillas, y carbonatos, psilomelano? y ferromagnesianos.

MS11: Sedimentos del Río Ayavirí.

La muestra está constituida principalmente por partículas de arcillas, feldespatos (ortosa rojiza), cuarzo y residuos orgánicos. En menor proporción se ha observado partículas de óxidos e hidróxidos de hierro, psilomelano?, silicatos verdosos (epidota, olivino, serpentina) y carbonatos diseminados (Foto 8.14).

Se puede observar de la petrografía que los sedimentos, en general están compuestos por cuarzo, feldespatos y óxidos de hierro, presentándose escasamente otros silicatos, residuos sólidos de origen doméstico y que los sulfuros se presentan esporádicamente.

Análisis por metales contaminantes

Este análisis, se realizó por Espectrometría de Absorción Atómica.

En el cuadro N° 8.4 se muestran los resultados del análisis de sedimentos.

Muestras de sedimentos de la cuenca del río Mala

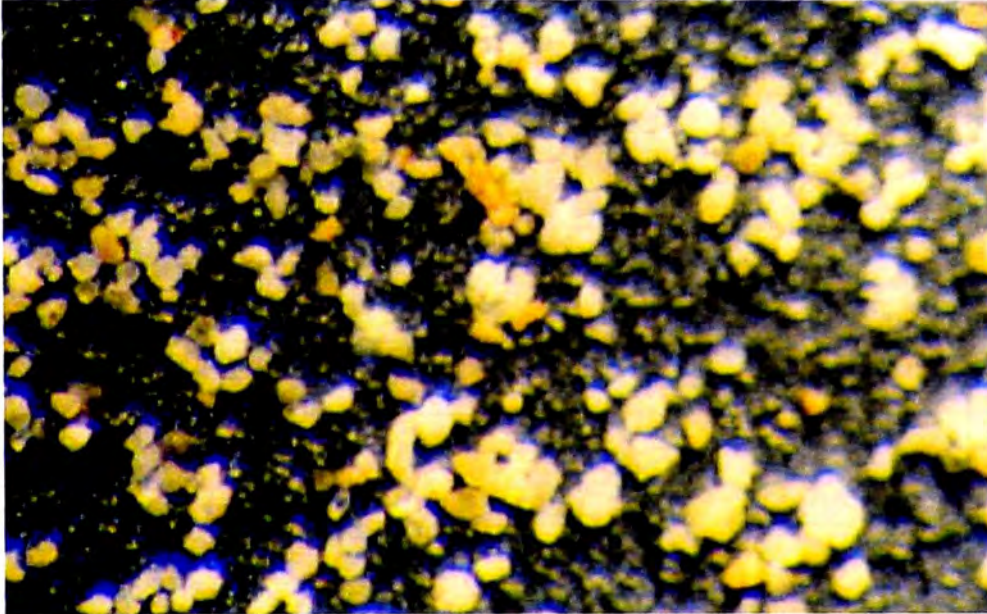


Foto N° 8.12
Muestra N° 09. Se observan principalmente partículas de cuarzo, escasas hematita, óxidos de hierro, silicatos verdesos

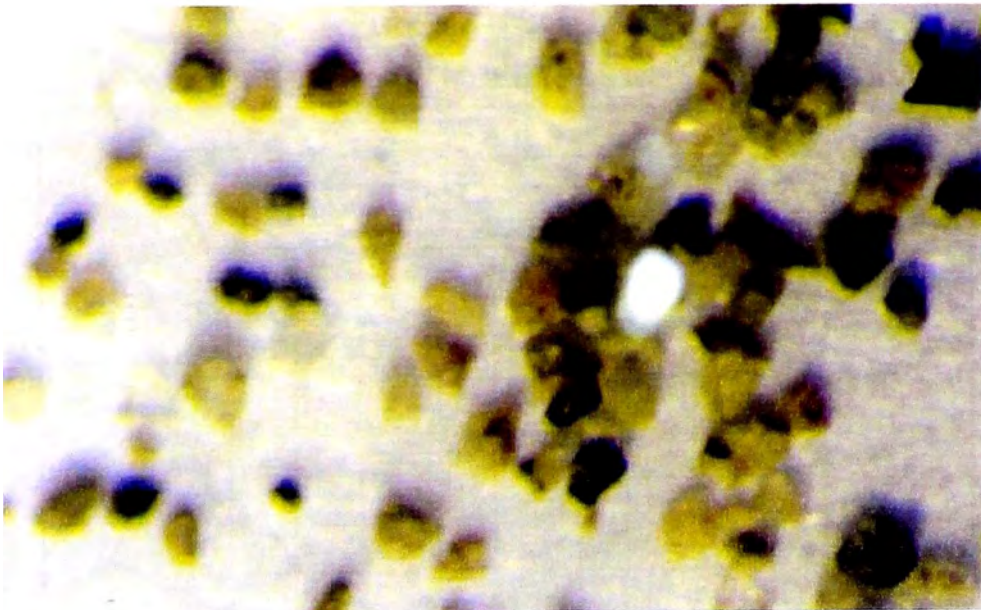


Foto N° 8.13
Muestra N° 11. Se observan principalmente partículas de cuarzo, escasos óxidos de hierro.

**CUADRO N° 8.4
RESULTADOS DEL ANALISIS DE SEDIMENTOS EN
LA CUENCA DEL RÍO MALA**

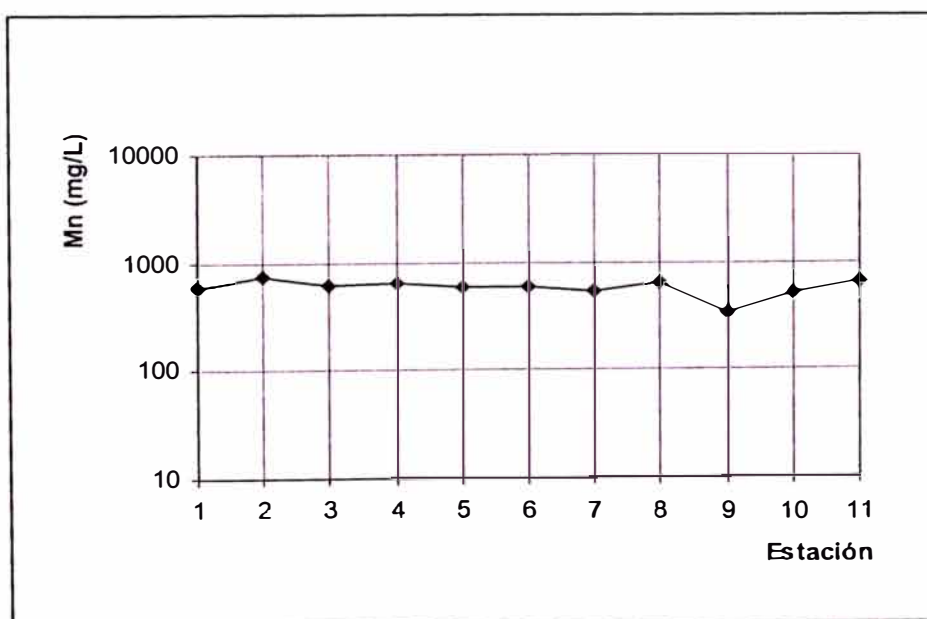
Estación	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cd (ppm)	Mn (ppm)
1	60	19	84	0.18	581
2	41	26	105	0.22	758
3	27	17	82	0.18	631
4	30	23	104	0.18	648
5	29	28	90	0.37	598
6	39	4	85	0.19	591
7	28	21	77	0.21	532
8	21	3	55	0.22	656
9	34	2	59	0.35	332
10	35	11	64	0.20	519
11	49	4	78	1.87	654
LMP	500	600	3000	20	3000

LMP: Limite máximos permisibles según la tabla holandesa (Ministerie VROM, 1983)

En el gráfico N° 8.5 se muestra la variación de los valores de Mn en las muestras de sedimento analizadas, que también se presenta en el **Mapa de valores de Mn en sedimentos de la cuenca del río Mala**. (Lámina N° 09). Del gráfico N° 8.5 se puede observar que los valores de Mn están muy por debajo del LMP.

Gráfico N° 8.5

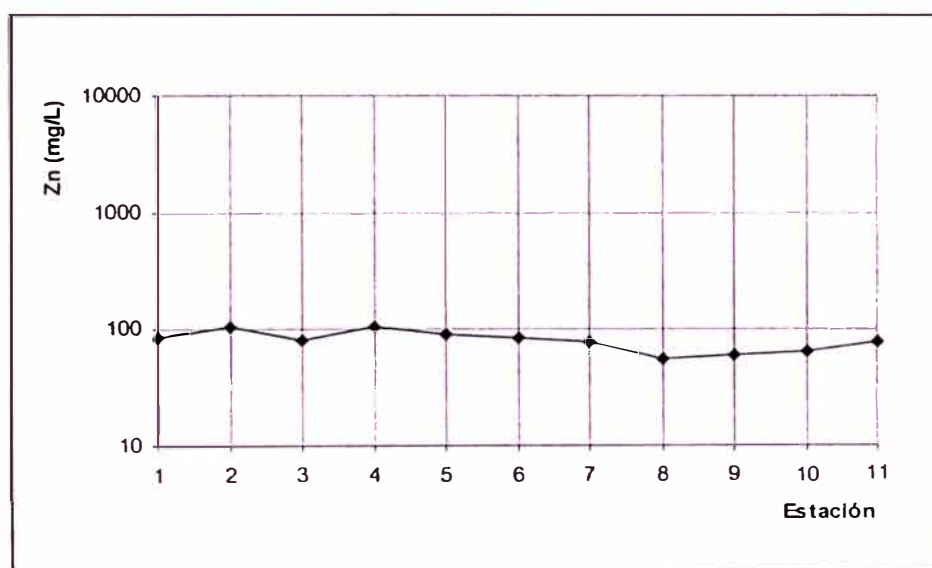
VARIACIÓN DE LOS VALORES DE Mn EN MUESTRAS DE SEDIMENTOS DEL RÍO MALA



En el gráfico N° 8.6 se muestra la variación de los valores de Zn en las muestras de sedimento analizadas, que también se localizan en el **Mapa de valores de Zn en sedimentos de la cuenca del río Mala**. (Lámina N° 10). Se puede observar del gráfico N° 8.6 que los valores de Zn están muy por debajo del LMP.

Gráfico N° 8.6

VARIACIÓN DE LOS VALORES DE SDT EN MUESTRAS DE AGUA DEL RÍO MALA



8.3 EVALUACIÓN DE CALIDAD DE AGUAS Y SEDIMENTOS

la calidad de aguas superficiales en el Perú está determinada por la Ley General de Aguas DS N° 261-69 AP, Art 81 (ver capítulo I acápite Marco legal ambiental), pero debido a que las clases I, II, no proporcionan valores límites para parámetros como sulfatos, se tomaron como base los valores límites propuestos por la Unión Europea para las aguas superficiales destinadas al consumo humano (Directiva del Consejo Europeo, 1975)

Para las aguas examinadas, procedentes de la cuenca del río Mala, de la comparación con los límites máximos permisibles de la LGA, se puede constatar que ninguna de las estaciones sobrepasa los límites máximos permisibles de la ley general de aguas, clases I, II y III, estableciéndose que las aguas del río Mala y sus afluentes son aptas para fines de irrigación y para abastecimiento doméstico previa desinfección.

Para los sedimentos de la cuenca del río Mala, analizados; de la comparación con los valores límites para evaluar suelos contaminados de la tabla Holandesa (MINISTERIE VROM, 1983), se puede constatar que ninguno de ellos sobrepasa dichos límites, estableciéndose que los sedimentos del río Mala y sus afluentes no están contaminados. Se tomó esta referencia pues en el Perú todavía no existen valores límites para evaluar contaminación de sedimentos y suelos, considerando además que los valores de la tabla holandesa son los más utilizados en Europa para evaluar el grado de contaminación de suelos y sedimentos.

8.4 INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA AMBIENTAL DE LOS PARÁMETROS MAS IMPORTANTES

8.4.1 Sub.-cuenca del río San Lorenzo

En la subcuenca del río San Lorenzo, se ubican las estaciones 03, 05, 06 y 07, cuyos valores de aniones y cationes, SDT, SST, pH, son producto de la hidrólisis de rocas volcano-sedimentarias de las Formación Huarochirí y Grupo Rimac, rocas volcánicas de la Formación Millotingo, rocas sedimentarias de la Formación Chimu, depósitos cuaternarios principalmente glaciares y fluvio-glaciares e intrusivos subvolcánicos locales. Dichos valores, al no sobrepasar los LMP, demuestran que el impacto negativo sobre la flora y fauna de esta sub cuenca es despreciable. Se destaca que los valores de pH en esta sub-cuenca son los mas altos de todas las muestras analizadas, lo que puede deberse a una reacción básica de las rocas volcánico-sedimentarias presentes en el entorno.

8.4.2 Sub.-cuenca del río Ayavirí

En la subcuenca del río Ayavirí, se ubican las estaciones 08, 09, 10 y 11, que presentan valores de aniones y cationes, SDT, SST y pH, por debajo de los LMP, producto de la hidrólisis de rocas volcano-sedimentarias de las formaciones Huarochirí y Grupo Rimac, rocas volcánicas de la Formación Millotingo, rocas sedimentarias de la Formación Carhuaz, depósitos cuaternarios principalmente fluvio-glaciares e intrusivos subvolcánicos locales. Dichos valores no generan impactos negativos sobre la flora y fauna de la zona, aunque cabe resaltar que el valor de pH en la estación N° 10, el valor de Mn en la estación N° 09 y los valores de Zn y SDT en las estaciones N° 08, 09 y 10 son los más bajos, mientras que los valores de Pb, en las estaciones

N° 08 y N° 11 son los mayores de todas las muestras analizadas. Aunque ninguno genera impactos negativos sobre la flora y fauna de la zona. Los valores encontrados de Pb pueden deberse a la utilización de fertilizantes, por la creciente actividad agrícola de la zona.

8.4.3 Cuenca media y baja del río Mala

En la cuenca media y baja del río Mala, se ubican las estaciones N° 01, N° 02 y N° 04, que presentan valores de aniones y cationes, ph, por debajo de los LMP y que son producto de la hidrólisis de rocas volcano-sedimentarias de las formaciones Huarochirí y Grupo Rimac, rocas volcánicas de la Formación Millotingo, rocas sedimentarias de la Formación Carhuaz, depósitos cuaternarios principalmente fluvio-glaciares e intrusivos subvolcánicos locales.

Sin embargo se resalta que el valor de SDT en la estación N° 1, el valor de Mn en la estación N° 02 y los valores de Zn en las estaciones N° 02 y 04 son los valores más altos de todas las muestras analizadas, aunque ninguno genera impactos negativos sobre la flora y fauna de la zona. Estos valores superiores se deben al uso de plaguicidas y abonos en la agricultura tecnificada desarrollada en la zona baja del valle del río Mala.

8.5 MEDIDAS PREVENTIVAS PARA LA CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

Para prevenir la contaminación ambiental y conservar en buen estado el ambiente natural, es necesario considerar las siguientes acciones:

Para las zonas que presentan mayores valores de SDT, se recomienda, llevar a cabo programas de reforestación, que eviten la generación natural de sólidos suspendidos y sólidos disueltos.

Realizar estudios puntuales sobre los efectos de los plaguicidas, en la cuenca media y baja del río Mala y sus efectos sobre los ecosistemas presentes en la cuenca.

Efectuar Programas de investigación que incidan en la identificación de comunidades hidrobiológicas o del contenido bacteriano de las aguas en diferentes puntos del río Mala, especialmente en las zonas de mayor actividad agrícola.

CAPITULO IX

EVALUACIÓN DEL PELIGRO, VULNERABILIDAD Y RIESGO, EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Para determinar el grado de riesgo en la cuenca del río Mala, se ha utilizado un método semicuantitativo de evaluación del riesgo a escala regional, cuyo objetivo principal es indicar y priorizar zonas de probable ocurrencia de peligros geológicos.

Dicho método se ha desarrollado en cuatro fases:

Evaluación de la información existente (Gabinete I)

Cartografiado de peligros geológicos (Trabajo de campo)

Cálculo de la peligrosidad y vulnerabilidad (Gabinete II).

Calculo y zonificación del riesgo (Gabinete II)

9.1 EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE

En este punto, toda la información recopilada y seleccionada se usa como base para una interpretación preliminar de cómo ocurren los peligros geológicos en la zona de estudio, la influencia de los parámetros geomorfológicos, litología, sismicidad, precipitación y para preparar mapas preliminares a usarse en el cartografiado de peligros geológicos en la cuenca. Para tal fin se utilizó una base de datos georeferenciada, que incluye información de la Base de Datos GEOEXDAT-PERU (INGEMMET, 1997), archivos de datos estadísticos de las emergencias producidas en el Perú (INDECI, 1995, 1996, 1997, 1998 y 1999), recopilación bibliográfica de estudios de riesgo geológico efectuados en el área de estudio y reportes periodísticos sobre los desastres naturales que afectaron el área de estudio.

9.2 CARTOGRAFIADO DE PELIGROS GEOLÓGICOS

El cartografiado de peligros geológicos en la cuenca del río Mala, se efectuó durante los trabajos de campo correspondientes al «Estudio de Riesgo Geológico de la Franja N°03» (INGEMMET-Dirección de Geología Ambiental, actualmente en edición), efectuado bajo la supervisión del Ing. Segundo Nuñez Juárez de la Dirección de Geología Ambiental; quien estuvo a cargo del Bloque N° 01 de dicho estudio. En este bloque, están incluidos los cuadrángulos de: Matucana (24-K), Lurín (25-j), Huarochirí (25-k), Yauyos (25-l), Mala (26-j), Lunahuaná (26-k); pertenecientes a la cuenca del Río Mala.

Los trabajos de campo se realizaron en 65 días, con dos salidas de 30 días la primera y 35 la segunda, donde se efectuó el Cartografiado e inventario de áreas susceptibles a la ocurrencia de fenómenos de geodinámica externa (a escala 1: 100,000), de acuerdo a la clasificación de fenómenos de remoción en masa adoptada de VARNES (1984) y otros peligros geológicos incluyendo los peligros hidrológicos. Además se comprobó la información preliminar, ampliando la descripción de los fenómenos registrados o descartándola de acuerdo a la veracidad y exactitud de la información. En dicho trabajo, mediante el uso de fichas de inventario, se ha especificado para cada ocurrencia de peligro geológico los siguientes aspectos:

Georeferenciación del lugar (coordenadas UTM, cota, ubicación geopolítica: departamento, provincia, distrito y lugar; cuenca hidrográfica y cuadrángulo).

Causas principales o desencadenantes que dan o dieron lugar a su origen (naturales y/o antrópicas).

Evidencias visuales de los procesos geodinámicos (eventos catalogados como antiguos y/o actualmente estabilizados o reactivados; fecha de ocurrencia y recurrencia, etc.).

Aspectos geomorfológicos e hidrológicos del lugar (relieve, pendiente del terreno, drenaje superficial y aguas subterráneas).

Características geológico-estructurales como litología del substrato y depósitos superficiales (suelo); discontinuidades en las rocas (fracturamiento, esquistosidad, buzamiento, etc.; familias, grado de fracturamiento y grado de alteración).

Los daños causados a la vida y la propiedad, intensidad del peligro y cualificación de la vulnerabilidad y riesgo potencial, indicando el potencial futuro.

Comentarios adicionales (observaciones y recomendaciones) y fuente de información.

Las fichas de inventario de la cuenca del río Mala, han sido posteriormente incluidas en la base de datos general del Inventario de Peligros Geológicos en la Franja N° 03, la cual ha sido trabajada en el programa ACCESS y transferida al programa ARC/INFO, que permitió su procesamiento en un SIG y su presentación gráfica.

En el **Mapa de Inventario de Peligros Geológicos en la cuenca del río Mala** (lámina N° 15) se presenta gráficamente una compilación de todos los peligros geológicos localizados, con un símbolo particular de acuerdo al tipo y a la intensidad manifestada. Para el área de estudio se ha diferenciado 10 tipos de peligros geológicos principales más frecuentes: Caída de rocas, derrumbes, deslizamientos, huaycos, flujos de lodo, movimientos complejos, arenamientos, erosión de laderas, erosión fluvial e inundación.

9.3 CÁLCULO DE LA PELIGROSIDAD, VULNERABILIDAD Y RIESGO

Para el cálculo de la peligrosidad y vulnerabilidad del área de estudio se realizó el análisis estadístico de las fichas de inventario de peligros geológicos, en conjunto con el análisis de los mapas de precipitación, sismicidad, población, infraestructura y vegetación, pues se considera que toda la información en conjunto es necesaria para la evaluación del riesgo.

9.3.1 Análisis estadístico de las fichas de inventario y de la información existente

Mediante la estadística descriptiva, que consiste en el uso de tablas, gráficos e histogramas para presentar, clasificar y describir una población de datos, se ha podido analizar el grado de ocurrencia de peligros geológicos, la influencia de los parámetros mencionados, los daños ocurridos y las principales causas que originan dichos peligros en la cuenca del río Mala.

Del cuadro N° 9.1, presenta el número total de ocurrencias de peligros geológicos en la cuenca del río Mala y el gráfico N° 9.1 muestra los porcentajes de dichas ocurrencias, se deduce que los fenómenos geodinámicos que mas afectan a la cuenca del río Mala, son los huaycos, las caídas de rocas y los derrumbes.

9.3.1.1 Ocurrencia de peligros geológicos según la litología

En el cuadro N° 9.2 se muestra el número de ocurrencias de peligros geológicos de acuerdo a la litología y en el gráfico N° 9.2, dicha información en porcentajes. De ellos se deduce que las mayores ocurrencias se presentan en rocas volcánicas sedimentarias y en depósitos superficiales. Esto se debe a que en la cuenca del río Mala, los depósitos superficiales se presentan inconsolidados y las rocas volcano sedimentarias, corresponden a tufos y piroclastos con niveles limo-arcillosos, lo que los hace susceptibles a la erosión, esto corrobora con lo expresado en el capítulo VII.

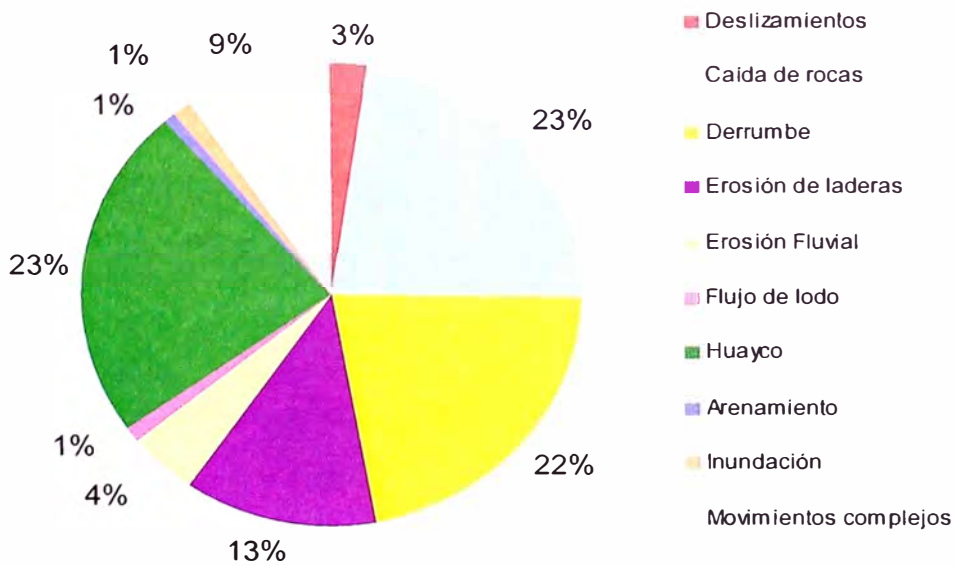
9.3.1.2 Ocurrencia de peligros geológicos según la pendiente de los terrenos

En el cuadro N° 9.3 y en el gráfico N° 14 se muestra las ocurrencias de peligros geológicos en número y en porcentajes respectivamente. De ellos se deduce que en el área de estudio las mayores ocurrencias se presentan en terrenos de pendiente muy fuerte y consisten en: Caídas de rocas, derrumbes, erosión de laderas y huaycos.

Cuadro N° 9.1
Número total de ocurrencias de peligros geológicos en la cuenca del río Mala

FENÓMENO		N° TOTAL DE OCURENCIAS	PORCENTAJE (%)
Deslizamientos		4	3
Caída de rocas		36	23
Derrumbe		35	22
Erosión de laderas		20	13
Erosión Fluvial		7	4
Flujo de lodo		2	1
Huayco		37	23
Arenamiento		1	1
Inundación		7	1
Movimientos complejos	Caída de rocas-Flujo de detritos	1	9
	Derrumbe-Caída de rocas	2	
	Derrumbe-Flujo	2	
	Deslizamiento-Derrumbe-Flujo	3	
	Erosión de laderas-Derrumbe-Flujo	2	
TOTAL		159	100

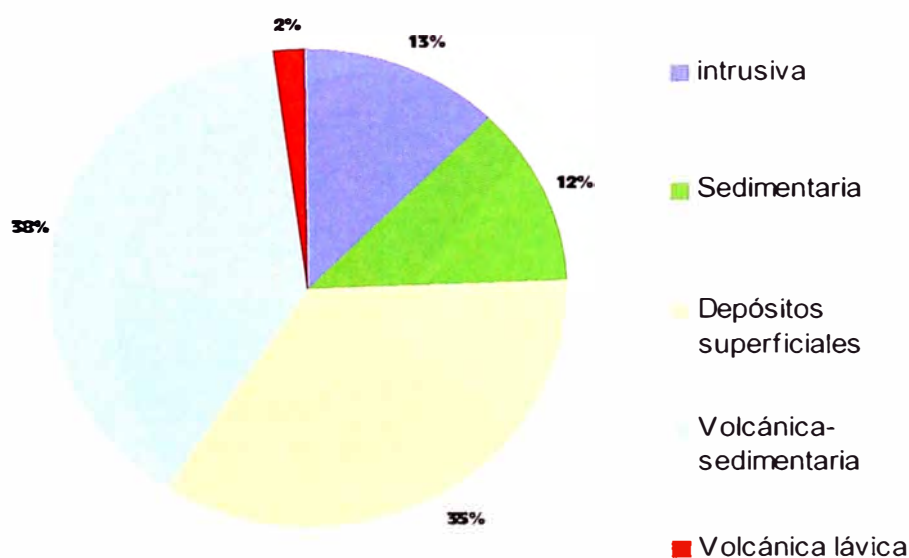
Gráfico N° 9.1
Porcentaje de peligros geológicos en la cuenca del río Mala



Cuadro N° 9.2
Número de ocurrencia de Peligros Geológicos de acuerdo a la litología

Fenómeno	Tipo de rocas				Depósitos su consolidados o inconsolidados	
	sedim	volc-sedim	volcan	intrus.	aluv, fluvial, coluvial.	eólicas
Deslizamientos		2				
Caída de rocas	2	22	2	8	4	
Derrumbe	9	23	1	1	1	
Erosión de laderas	4	9		2	2	
Erosión Fluvial		2		2	3	
Flujo de lodo					2	
Huayco					25	
Arenamiento						
Inundación					2	
Movimientos complejos	Caída de rocas-Flujo de detritos	1			6	
	Derrumbe-Caída de rocas				1	
	Derrumbe-Flujo	2				
	Deslizamiento-Derrumbe-Flujo		2			
	Erosión de laderas-Derrumbe-Flujo	1	2			
Total	19	62	3	20	37	

Gráfico N° 9.2
Porcentajes de Peligros Geológicos de acuerdo a la litología



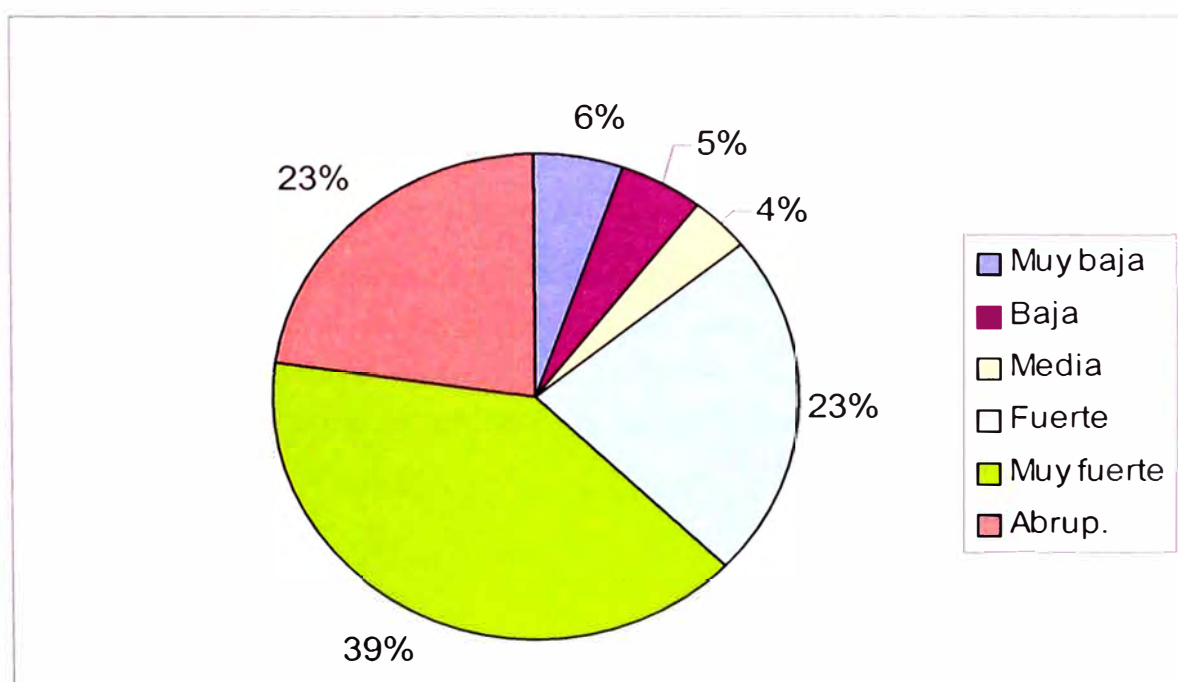
CUADRO N° 9.3
Número de ocurrencias de peligros Geológicos de acuerdo a la pendiente de lo

Fenómeno	Pendiente				
	Muy baja (< 5°)	Baja (5-20°)	Media (20-35°)	Fuerte (35-50°)	Muy fuerte (50-70)
Deslizamientos					
Caída de rocas	2 (*)		2	3	
Derrumbe			2	12	
Erosión de laderas			1	7	
Erosión Fluvial	3	1		3	
Flujo de lodo				1	
Huayco	2	7		1	
Arenamiento	1				
Caída de rocas-Flujo detritos			1	3	
Derrumb-Caída rocas				1	
Derrumbe-Flujo				1	
Deslizamiento-Derrumbe-Flujo				1	
Erosión de laderas-Derrumbe-Flujo				3	
Inundación	1				
Total	9	8	6	36	

(*): Por corte de carretera.

Gráfico N° 9.3

Porcentajes de Peligros geológicos de acuerdo a la pendiente en la cuenca del río Mala



9.3.1.3 Ocurrencia de peligros geológicos según la precipitación

En el cuadro N° 9.4 y el gráfico N° 9.4 se presentan la ocurrencias de peligros geológicos de acuerdo a la precipitación, numéricamente y en porcentaje respectivamente. De ellos se deduce que entre 250 y 500 mm de precipitación total anual es donde ocurre la mayor cantidad de peligros geológicos principalmente: derrumbes y caídas de rocas.

Es importante mencionar que ocurren en mayor cantidad huaycos entre 100 y 250 mm de precipitación total anual, principalmente relacionados al fenómeno de El Niño.

9.3.1.4 Ocurrencia de peligros geológicos según la sismicidad

En el cuadro N° 9.5, se observa el número de ocurrencias de peligros geológicos de acuerdo a la sismicidad. Para averiguar dicha información se utilizaron: el **Mapa de zonificación sísmica de la cuenca del Río Mala** y el **Mapa de Inventario de Peligros Geológicos en la cuenca del río Mala** (Láminas N° 14 y ° 15 respectivamente), para encontrar el número de ocurrencias de peligros geológicos de acuerdo a las dos zonas de sismicidad definidas en la cuenca del río Mala: Zona de Sismicidad alta (Intensidad máxima VIII) y Zona de Sismicidad media (Intensidad máxima VII).

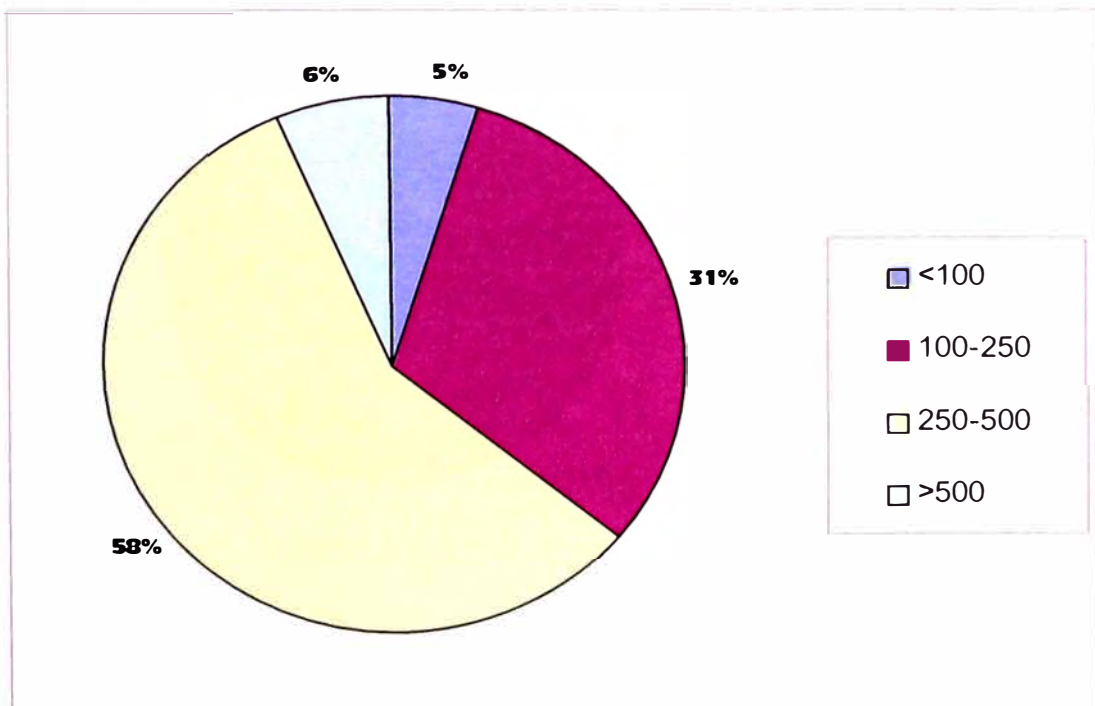
En el gráfico N° 9.5 se presenta los porcentajes de los peligros geológicos mostrados en el cuadro N° 9.5, de los cuales se deduce que el grado de intensidad sísmica tiene influencia relativa en la ocurrencia de peligros geológicos, pues la mayor cantidad de ocurrencias se registran en la zona de menor intensidad.

Esto se debe a que la zona de mayor intensidad se ubica en la cuenca baja del río Mala, donde los terrenos presentan menores pendientes, menor precipitación y la litología predominante es de rocas intrusivas cuyas condiciones de mayor estabilidad, no favorecen la ocurrencia de peligros geológicos.

CUADRO N° 9.4
Número de ocurrencia de Peligros Geológicos
de acuerdo a la precipitación

Fenómeno	Precipitación total anual (mm)			
	<100	100-250	250-500	>500
Deslizamientos			4	
Caída de rocas		10	24	2
Derrumbe	1	2	28	4
Erosión de laderas	1	8	10	1
Erosión Fluvial	3	2	2	
Flujo de lodo		2		
Huayco	2	17	15	3
Caída rocas-Flujo detritos		7		
Derrumb-Caída rocas	1			
Derrumbe-Flujo			2	
Deslizamiento-Derrumbe-Flujo			2	
Erosión de laderas-Derrumbe-Flujo			3	
Total	8	48	90	10

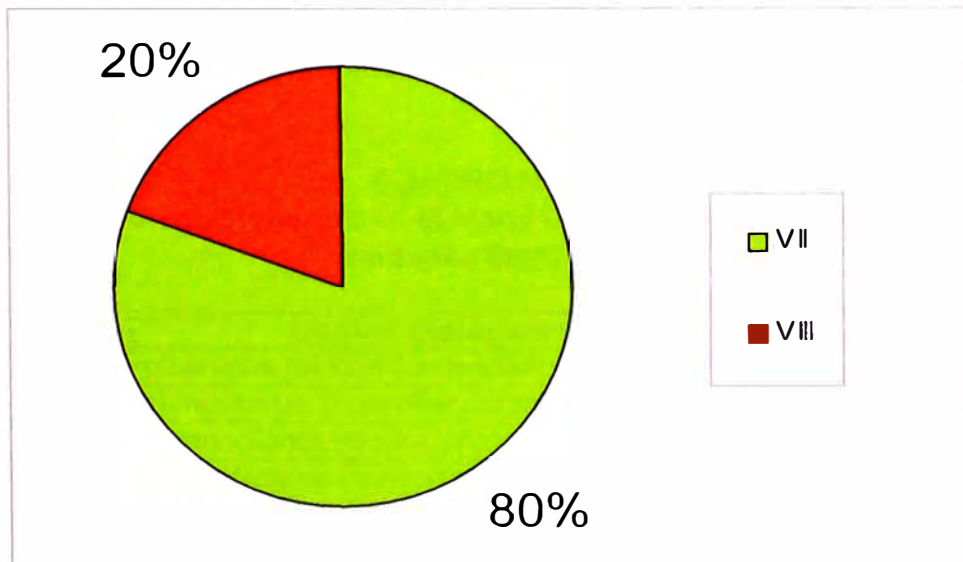
Gráfico N° 9.4
Porcentajes de peligros geológicos de acuerdo a la precipitación



CUADRO N° 9.5
Número de ocurrencias de peligros geológicos
de acuerdo a la sismicidad

Fenómeno	Sismicidad (Intensidades máximas)	
	VII	VIII
Deslizamientos	4	
Caída de rocas	28	8
Derrumbe	33	2
Caída rocas-Flujo detritos	1	6
Derrumbe-Caída rocas		1
Derrumbe-Flujo	2	
Deslizamiento-Derrumbe-Flujo	2	
Total	70	17

Gráfico N° 9.5
Porcentajes de peligros geológicos de acuerdo a la sismicidad



9.4 ANÁLISIS DE LA SUCEPTIBILIDAD

Para el análisis de la susceptibilidad, se estudian de manera individual los principales factores que influyen en la ocurrencia de peligros geológicos, tales como: litología, pendiente, precipitación y sismicidad; de acuerdo a la evaluación de la información existente, el cartografiado de peligros geológicos y el análisis estadístico de las fichas de inventario, que proporciona una estimación del grado de influencia de cada unidad, sobre la susceptibilidad del área.

9.4.1 Valoración de unidades diferenciadas en Mapas de los factores más influyentes en la ocurrencia de peligros geológicos

Se asigna un valor a cada unidad diferenciada en mapas de los principales factores que influyen en la ocurrencia de peligros geológicos, tales como: litología, pendiente, precipitación y sismicidad; (por ejm las unidades litológicas en el mapa litológico), los que se superponen para obtener de la suma de valores la susceptibilidad combinada para el área evaluada.

9.4.1.1 Valores asignados en el Mapa Litológico

En el Mapa de unidades litológicas de la cuenca del río Mala (Lámina N° 11) se han definido, los valores mostrados en el cuadro N° 9.6, según el tipo de roca y el número de ocurrencias de peligros geológicos.

CUADRO N° 9.6
Valores asignados en el Mapa Litológico de acuerdo a unidades litológicas

Unidad litológica	valor
III: Rocas Volcánicas lávicas (andesitas, dacitas)	1
V: Rocas sedimentarias (cuarcitas, areniscas, calizas)	2
II: Intrusiva (granodiorita, diorita, monzodiorita, tonalita, etc)	3
I: Depósitos superficiales (fluvioglaciares, glaciares, aluviales, fluviales, glaciares, eólicos)	4
IV: Rocas volcano-sedimentarias (piroclastos, tobas, dacíticas, riolíticas con intercalación de areniscas y limolitas).	10

Nota: En zonas de alta densidad de estructuras (pliegues, fallas, fracturas, etc) multiplicar por 2

9.4.1.2 Valores asignados en el Mapa de Pendiente de los terrenos

La inclinación o pendiente de los terrenos, es otro parámetro muy importante para la ocurrencia de fenómenos de geodinámica externa. Para el análisis de este parámetro, en el **Mapa de pendientes de los terrenos de la cuenca del río Mala** (Lámina N° 12), Se asignaron los siguientes valores mostrados en el cuadro N° 9.7.

CUADRO N° 9.7

Valores asignados en el Mapa de pendiente de los terrenos, de acuerdo a grado de pendiente

Pendiente	Valor
Muy baja (<5°)	3
Baja (5° a 20°)	2
Media (21° a 35°)	1
Fuerte (36° a 50°)	4
Muy fuerte (51° a 70°)	10
Abrupta (> 70°)	4

9.4.1.3 Valores asignados en el Mapa de Precipitación

La precipitación tiene influencia decisiva en la ocurrencia de fenómenos de inundación fluvial, huayco, erosión fluvial y erosión de laderas, influyendo también en los otros tipos de fenómenos de geodinámica externa en menor grado. En el **Mapa de precipitación total anual de la cuenca del río Mala** (Lámina N° 13), los puntajes asignados se muestran en el cuadro N° 9.8.

CUADRO N° 9.8

Valores asignados en el Mapa de precipitación de acuerdo a la precipitación total anual

Precipitación total anual	Valor
<100	1
100-250	3
250-500	8
>500	2

9.4.1.4 Valores asignados en el Mapa de Sismicidad

La sismicidad es importante porque podría tener influencia en el desencade-

namiento de fenómenos de remoción en masa. En el **Mapa de zonificación sísmica de la cuenca del Río Mala** (Láminas N° 14) los valores asignados se muestran en el cuadro N° 9.9

CUADRO N° 9.9
Valores asignados en el Mapa de zonificación sísmica

Sismicidad (Intensidades máximas ⁽¹⁾)	Valor
VIII	1
VII	4

(1) El Intensidades máximas según la escala modificada de mercalli

9.4.2 Valoración total

De la superposición de los diferentes mapas que representan cada parámetro utilizado, ya diferenciado en unidades y valorando cada una de ellas, se analiza en conjunto dichos parámetros, para obtener un valor final de la adición de los valores individuales de cada unidad diferenciada en los diferentes mapas. El máximo y mínimo valor total sirven para hacer un rango de valores que se agrupan, en 5 intervalos, de acuerdo al grado de susceptibilidad: Muy alta, alta, media, baja y muy baja que se obtiene en el mapa de susceptibilidad.

Según esto los grados de susceptibilidad en el área de estudio y su respectivo valor se muestran en el cuadro 9.10.

CUADRO N° 9.10
Grados de suceptibilidad en la cuenca del río Mala

Grado de suceptibilidad	Rango de valores
Muy alta	> 40
Alta	<30, 40>
Media	<20,30>
Baja	<10,20>
Muy baja	< 10

En el **Mapa de Suceptibilidad de la cuenca del Río Mala**, se muestra el resultado de la zonificación de la susceptibilidad a los fenómenos de geodinámica externa, para la cuenca del río Mala (lámina N° 16).

9.4.3 Sobreposición y corrección

Luego de obtener el mapa de susceptibilidad se superpone al mapa de inventario para identificar que zonas susceptibles están asociadas a anteriores peligros ya sucedidos en el área y cuales no lo están de manera que se verificará que todos los peligros estén incluidos en el análisis. En la superposición de dichos mapas para la cuenca del río Mala, se encontró una correspondencia del 98%.

9.5 PELIGROSIDAD

Como la peligrosidad, se refiere al grado de certeza de ocurrencia de un evento particular, para propósitos de este estudio y ante las dificultades para realizar predicciones temporales para la estimación de la peligrosidad, debido a que cada fenómeno presenta un tiempo de retorno muy diferente, se hace referencia a una probabilidad subjetiva, considerándola equivalente a la susceptibilidad.

9.6 CÁLCULO DE LA VULNERABILIDAD

9.6.1 Vulnerabilidad de las obras de infraestructura

Del análisis de las fichas de inventario se ha preparado el cuadro N° 9.11, donde se observa los daños ocasionados por los peligros geológicos en obras de infraestructura de la cuenca del río Mala.

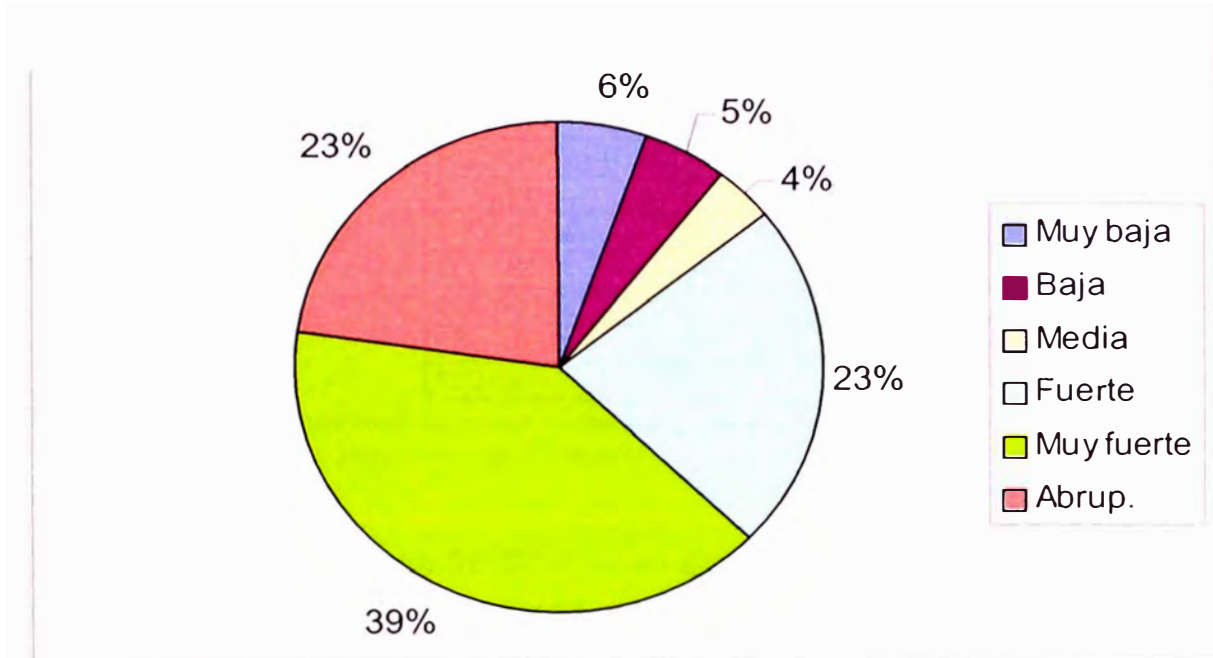
CUADRO N° 9.11
Daños ocasionados por peligros geológicos en obras de infraestructura

Fenómeno	Daños				TOTAL
	Viviendas	carreteras	Terrenos de cultivo	Obras de Infraestructura (puentes, canales, etc)	
Deslizamientos		1	7		8
Caída de rocas	4	33	12	3	52
Derrumbe	2	25	17	1	45
Erosión de laderas		11	17	3	31
Erosión Fluvial		2	5	6	13
flujo de lodo		2	1		3
huayco	7	29	29	9	74
Arenamiento	1				1
Inundación		4	5		9
Movimientos complejos	Caída de rocas-Flujo de detritos			9	9
	Derrumbe-Caída de rocas	2	2		4
	Derrumbe-Flujo	1	1		2
	Deslizamiento-Derrumbe-Flujo	2	3		5
	Erosión de laderas-Derrumbe-Flujo	1		1	
TOTAL	20	113	94	31	258

En el gráfico N° 9.6, se observa mejor la distribución total de los daños a obras de infraestructura en el área de estudio.

Gráfico N° 9.6

Porcentaje de daños a obras de infraestructura por peligros geológicos en la cuenca del río Mala



Se nota en el gráfico N° 9.6, que las carreteras son las que sufrieron más daños por peligros geológicos en la cuenca del río Mala.

Para hallar el mapa de vulnerabilidad, en el **Mapa de ubicación de obras de infraestructura de la cuenca del Río Mala** (Láminas N° 02) se ha valorado las obras de infraestructura como se muestra en el cuadro N° 9.12.

CUADRO N° 9.12
Valores asignados en el Mapa de infraestructura

Obras de infraestructura	Valor
Viviendas	1
Puentes, canales, obras de defensa, etc	2
terrenos de cultivo, pastizales	3
Carreteras	4

Nota: Para zonas afectadas por peligros geológicos multiplicar por 4, porque estas zonas son más vulnerables.

9.6.2 Vulnerabilidad de la población

En el Mapa de población de la cuenca del Río Mala (Láminas N° 01) los valores asignados se muestran en el cuadro N° 9.13

CUADRO N° 9.13
Valores asignados en el Mapa de población

Población (hab)	Valor
> 2500	6
2001-2500	5
1501-2000	4
1001-1500	3
501-1000	2
100-500	1

Nota: Para zonas afectadas por peligros geológicos multiplicar por 4, por ser estas las poblaciones más vulnerables.

Según esto, en el cuadro N° 9.14 se presenta los rangos encontrados para los diferentes grados de vulnerabilidad en el área de estudio, presentados gráficamente en el Mapa de vulnerabilidad de la cuenca del Río Mala. (Lámina N° 17).

CUADRO N° 9.14
Grados de vulnerabilidad en la cuenca del río Mala

Grado de Vulnerabilidad	Rango de valores
Muy alta	>60
Alta	<45, 60>
Media	<30, 45>
Baja	<15, 30>
Muy baja	<15

9.7 CÁLCULO Y ZONIFICACIÓN DEL RIESGO GEOLÓGICO

Como el riesgo geológico existe, donde una población determinada está expuesta a un peligro geológico, se considera en este estudio que puede ser evaluado directamente en función de la peligrosidad y del grado de vulnerabilidad del área donde se localiza.

Luego el grado de riesgo potencial se ha calculado del producto de la peligrosidad (P) y de la vulnerabilidad (V):

$$R = P \times V$$

Del producto de ambas variables se han obtenido los rangos de valores para el Riesgo geológico de la cuenca, mostrados en el cuadro N° 9.15.

CUADRO N° 9.15
Grados de Riesgo Geológico en la cuenca del río Mala

Grado de Riesgo	Rango de valores
Muy alto	>2000
Alto	<1200, 2000>
Medio	<600, 1200>
Bajo	<200, 600>
Muy bajo	< 200

En el **Mapa de zonificación del Riesgo Geológico en la cuenca del río Mala** (Lámina N° 18), se diferencian según el grado de Riesgo las áreas afectadas, que a continuación se describen:

9.7.1 Zonas de riesgo muy bajo

Del Mapa referido se deduce que las áreas que registran los mínimos valores de riesgo (< 200) en la cuenca del río Mala se encuentran en la zona litoral de la cuenca baja, áreas de laderas de poca pendiente estables en la cuenca alta y de algunas quebradas tributarias del curso medio del río Mala.

Se estima que estas áreas son de muy buenas condiciones para establecer obras de infraestructura. En estas áreas el número de ocurrencias de fenómenos geodinámicos es escaso o nulo, siendo de carácter excepcional.

9.7.2 Zonas de riesgo bajo

Del Mapa de riesgos geológicos se deduce que las áreas que registran riesgo bajo (400-600) en la cuenca del río Mala se encuentran entre Calango y Santa Cruz de Flores, en la cuenca baja del río Mala. También se ubican otras áreas de riesgo bajo en las cabeceras del río Mala. En estas zonas ocurren principalmente peligros relacionados a la dinámica fluvial del río Mala y su ocurrencia es baja.

De utilizarse dichas áreas, es indispensable determinar valores de capacidad portante de los suelos según el tipo de obras de infraestructura que se quiera construir. Otro factor a tener presente antes de efectuar alguna obra civil es el análisis hidrológico para evitar inundaciones y erosión fluvial.

En estas áreas el número de ocurrencias de fenómenos geodinámicos es bajo, siendo de carácter excepcional a ocasional.

9.7.3 Zonas de riesgo medio

Del Mapa de riesgos geológicos se deduce que las áreas que registran riesgo medio (600-800) en la cuenca del río Mala corresponden a terrenos de pendiente moderada donde la morfología, variación litológica, características geotécnicas e influencia hidrológica son determinantes en la distribución de la capacidad portante y sobre todo en la aceptabilidad constructiva de dichos terrenos. Son aquellas áreas donde ocurren fenómenos geodinámicos de intensidad moderada, que pueden ser solucionados o prevenidos mediante obras de estabilización y prevención.

Es por ello indispensable realizar en estas áreas estudios puntuales si se quiere construir obras de infraestructura y efectuar una zonación mas local.

9.7.4 Zonas de riesgo alto

Son aquellas áreas donde ocurren fenómenos geodinámicos de intensidad variable, que generarían daño a las obras civiles y en algunos centros poblacionales.

Se encuentran principalmente en la cuenca alta, y están constituidas por afloramientos de pendiente fuerte donde la meteorización y las condiciones climáticas e hidrológicas generan zonas de debilidad en las rocas del substrato y perdida de cohesión de la cubierta detrítica, originando la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa de magnitudes importantes que traerían como consecuencia pérdidas humanas y gastos innecesarios a la región. Entre las ciudades mas importantes ubicadas en esta zona se encuentran Huarochirí, Mariatana y Vizcas.

9.7.5 Zonas de riesgo muy alto

Del mapa de zonificación del riesgo geológico, se tiene que las zonas de muy alto riesgo (Zonas críticas) se localizan en la cuenca alta del Mala, en las localidades de San Pedro de Huancayre-Sangallaya, San Joaquín-Cochas y Huampará-Ayavirí. En estas áreas confluyen la mayoría de fenómenos de Geodinámica externa descritos, considerándose indispensable hacer estudios al detalle antes de construir obras de infraestructura.

Se remarca que localmente podrían surgir modificaciones en la consideración de las zonas de riesgo mostradas, pues existen otros factores a considerar a escala local.

Los resultados de la zonificación de riesgo geológico, demuestran que en la zona de la cuenca alta es donde ocurre el mayor grado de riesgo, por lo que la planificación de la ocupación y desarrollo de dicho territorio de la cuenca, debe hacerse tomando en cuenta la ocurrencia de peligros geológicos.

CAPITULO X:

MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE RIESGOS GEOLÓGICOS

Los problemas derivados de la interacción entre el medio geológico y las actividades humanas hacen necesario el planteamiento de acciones adecuadas para conseguir un equilibrio entre las condiciones naturales y las derivadas de la actividad humana, al ocupar un territorio.

La Ingeniería Geológica como ciencia aplicada al estudio y solución de dichos problemas tiene como una de sus principales aplicaciones, la evaluación y prevención de los riesgos geológicos, así como la mitigación de los daños ocasionados por ellos.

Para esto, conociéndose que en la cuenca del río Mala los peligros geológicos que producen mayores daños son los relativos a la acción fluvial (huaycos, erosión fluvial), los derrumbes y las caídas de rocas; se plantean medidas de prevención y protección principalmente en referencia a estos fenómenos. También se plantean algunas medidas de importancia para la prevención de los demás peligros geológicos ocurrientes.

10.1 MEDIDAS PREVENTIVAS DE PROTECCIÓN

10.1.1 Para inundaciones, huaycos y erosión fluvial

Para prevenir los efectos adversos de estos procesos, sobre las áreas pobladas que se encuentran en las márgenes de los principales ríos tributarios y el curso principal (río Mala), se proponen las siguientes medidas preventivas:

Control de la erosión y conservación de suelos, en áreas de vegetación. Es necesario proteger la cobertura vegetal, en ambas márgenes del río Mala, especialmente en la cuenca baja, entre la desembocadura y el poblado de Viscas, ya sea mediante el resembrado de gramíneas

o árboles, que protegen a los suelos de la erosión devolviéndoles su capacidad de retención del agua.

Análisis periódico de las variaciones del nivel de las aguas del río Mala, para determinar la altura mínima sobre la que tiene que ubicarse cualquier edificación de la población

Construcción de obras de prevención, regulación y defensas ribereñas como:

Andenes en el río Mala, como tratamiento para disminuir el efecto erosivo del flujo de aguas. Por su forma escalonada, estos impiden que el agua corra de manera violenta y retienen suelos cargados de nutrientes aprovechables para fines agrícolas.

Canales, en las áreas susceptibles a inundaciones (cuenca baja del río Mala).

Mejoramiento de las defensas ribereñas existentes en la desembocadura del río Mala.

No edificar en el borde de las riberas de los ríos.

Otras medidas como:

- * Limpieza de canales y acequias.
- * Acciones para combatir la inundación o el flujo rápido.
- * Evacuación de personas y propiedades de las zonas amenazadas.
- * Aperturar los desagües para evitar el estancamiento de agua.

10.1.2 Erosión de Laderas

La erosión pluvial producida por el golpe de las gotas de lluvia, se puede controlar simplemente con el mantenimiento de buenas coberturas vegetales, evitando desproteger a las laderas de los cerros y borde de ribera de su protección natural arbórea y en caso de que esta acción se haya realizado resembrar u arborizar el área. Esto es efectivo no solamente para conservar los suelos, sino también para recuperar zonas degradadas. Otras medidas recomendadas son:

Evitar el sobrepastoreo y la deforestación en áreas susceptibles de desertificación, manteniendo la vegetación sobre las laderas para no agudizar los procesos de erosión.

Propender a cambiar los hábitos de riego muy usuales en los campos agrícolas del país (riego por inundación) mediante el empleo del riego tecnificado (aspersión, goteo, microgoteo) con la finalidad de evitar el sobreuso del agua que tanto daño hace a las laderas o taludes de los cerros.

Con el apoyo de los técnicos agrícolas incentivar a los ganaderos y agricultores para que efectúen sus labores empleando técnicas de conservación de suelos apropiadas para evitar los problemas de erosión de suelos.

10.1.3 Para áreas con deslizamientos

Para las áreas con deslizamientos, ubicadas en el distrito de Sangallaya, en el poblado de Huáñec y el distrito de Huampará, se recomiendan las siguientes medidas preventivas:

No construir en laderas que pueden deslizarse.

Evitar excavar en la base del talud. No deben efectuarse en zonas de deslizamientos, obras que desestabilicen más las pendientes como cortes para habilitaciones urbanas, construcción de carreteras y canales.

Cuidar los bosques de la tala indiscriminada, ya que los árboles favorecen la firmeza de los suelos y evitan la erosión.

Evitar el sobrepastoreo, cambiando periódicamente el ganado de un lugar a otro para evitar el desgaste de los terrenos y su posible erosión que favorecen la generación de deslizamientos.

Vigilar periódicamente si los árboles en las laderas se inclinan o se curvan.

En las laderas utilizadas para cultivos, los surcos deben construirse contrarios a la dirección de las pendientes, la construcción de terrazas y andenes para el cultivo en terrenos empinados, es una buena medida para evitar deslizamientos en este tipo de suelos.

Observar si hay evidencias de deslizamientos antiguos en otras áreas.

Si los deslizamientos ocurren de improviso, es poco lo que se puede proteger con efectividad, pero si se observan indicios antes de que se produzcan, se deben tomar las siguientes medidas:

Evitar usar las carreteras o caminos afectados por deslizamiento y buscar un sendero más seguro. De no encontrar otro camino, evitar detenerse en lugares que podrían ser sepultados y trasladarse a sitios donde el riesgo por deslizamiento sea menor.

En caso de que el deslizamiento suceda en el momento en que la persona está cerca de la ladera, donde se presenten ruidos o vibraciones ubicarse en sitios seguros.

10.1.4 Para sismos y tsunamis

No construir edificaciones sobre la base de tapial o piedra con mortero de barro, pues son edificaciones muy débiles y no resistirían un sismo fuerte.

La construcción con adobe reforzado debe realizarse sólo en terrenos planos o con poca pendiente o en un suelo compacto y seco, lejos de sitios que puedan deslizarse o inundarse.

En construcciones de albañilería con techo rígido y pesado las columnas y vigas collar de refuerzo de concreto armado son muy efectivas para incrementar la resistencia sísmica

Las poblaciones deben tratar de no ubicar sus viviendas en zonas de laderas con pendientes muy pronunciadas o propensas a sufrir fenómenos de remoción en masas que pueden ser activados por sismos.

Las viviendas que se cimientan directamente sobre roca deben considerar que la incentivación sísmica sobre ella aumenta en 1° la magnitud de un sismo.

En las zonas amenazadas por tsunamis solo deben construirse las obras necesarias para la actividad marítima, dejándose para fines recreacionales las 2/3 partes de la zona inundable, a partir de la orilla del mar, considerando que allí la inundación será severa.

En las zonas donde existen viviendas en zonas inundables por un tsunami, es necesario formular y ensayar evacuaciones.

Los que viven, o laboran en las orillas del mar o cerca de él, deben conocer las rutas de evacuación y las zonas seguras.

Tan pronto se reciba el aviso de alerta, de HIDRONAV y el INDECI, se debe evacuar inmediatamente a las zonas de seguridad siguiendo las rutas de evacuación establecidas. Hay que recordar que la aproximación de un tsunami es precedida normalmente por una retirada notable de las aguas en la costa.

Mantenerse alerta a los avisos radiales y televisivos que deben impartir HIDRONAV y/o INDECI.

de emergencia:

Durante un sismo es recomendable alejarse de las fachadas en mal estado y de las ventanas con vidrios, ya que las esquirlas pueden causar daños.

Después de un sismo no tocar cables de energía eléctrica caídos.

Procure ordenadamente alejarse de la costa, ganar altura si las condiciones topográficas lo permiten. Manténgase alerta y escuche los avisos por radio y televisión que deben impartir HIDRONAV y/o INDECI.

No retornar a sus vivienda hasta que el Comité de Defensa Civil lo autorice.

10.2 MEDIDAS CORRECTIVAS

La cuenca del río Mala al caracterizarse por sus variados procesos erosivos, se plantean diferentes métodos de protección de suelos y laderas para favorecer la seguridad de los terrenos y obras de infraestructura que en ella se encuentran.

Para la aplicación de algunas de las obras de protección puntuales, se necesitará considerar estudios previos detallados, pero como un aporte la planificación, control y prevención se presenta a continuación algunos diseños que pueden ser discutidos analizados y aplicados.

10.2.1 En laderas

10.2.1.1 Medidas destinadas a limitar el escurrimiento superficial

Evitar la erosión del suelo es mucho más fácil que remediarla, pues los suelos arrastrados por las lluvias hacia los valles, nunca podrán reponerse económicamente, sin embargo si se controla la erosión es posible reestablecer la fertilidad de la tierra y aumentar su productividad.

10.2.1.2 Conservación de suelos mediante acciones forestales

Los árboles y plantas protegen a los suelos de la erosión tanto hídrica como eólica, debido a que sus raíces producen un aumento de la resistencia al esfuerzo cortante en la zona del suelo que ocupan. La absorción de agua por las raíces de las plantas produce un drenaje de las capas superficiales del terreno.

Otro factor importante en la conservación de laderas son las hojas de los árboles y plantas, que al soportar el golpe de las gotas de lluvia protegen a los suelos de la disgregación o rompimiento y cuando mueren, forman materia orgánica, que se mezcla con los suelos favoreciendo la infiltración de las aguas.

Son ventajosas las acciones forestales tales como:

- a) **Bosque de protección.**- destinados a controlar la erosión y conservación de suelos. Se establece en aquellas laderas o cuencas mas degradadas y solo excepcionalmente podrá ser talado.
- b) **Bosque de producción.**- que puede servir tanto para satisfacer las necesidades de madera de la población como para comercializar e industrializarlas. Este bosque se establece en terrenos de aptitud forestal y se producen solo especies comerciales (Eucalipto, Pino, Ciprés)
- c) **Bosque de leña.**- que sirve para satisfacer las necesidades energéticas de las familias campesinas. En la medida de lo posible este bosque se deberá establecer cerca de las viviendas para facilitar su extracción.
- d) **Acciones agrosilvopastorales.**- por último pero no de menor importancia son las posibles combinaciones agroforestales y silvopastorales, que sirven para proteger las chacras, los andenes, terrazas de cultivo de la acción de los vientos, mediante el establecimiento de cercos y linderos. Los segundos se refieren a los bosques y las parcelas silvopastorales.

- e) **Canales de desviación.**- se usan para conducir el escurrimiento superficial a un río o una quebrada. Es conveniente solo para ciertas condiciones topográficas, siempre es necesario considerar cuidadosamente la distribución de las aguas desviadas, se utilizan generalmente como una medida complementaria a las medidas agrotécnicas y forestales.

10.2.2 En taludes

La aplicación de medidas correctivas en taludes, puede realizarse sobre aquellas que tienen pendientes más fuertes que las necesarias para su estabilización, para tener un factor de seguridad predeterminado y si es posible estabilizar fenómenos de rotura. Para definir la solución ideal es necesario valorar diferentes parámetros, ya sean de tipo constructivo o económico.

A continuación se muestran parte de los diferentes tipos de solución empleado en la corrección y tratamiento de taludes:

10.2.2.1 Corrección por modificación de la geometría del talud.

Cuando un talud es inestable o su estabilidad es precaria, una forma de actuar sobre él es modificando su geometría a fin de obtener una nueva configuración que resulte estable. Esta modificación busca obtener al menos uno de los dos efectos siguientes:

Disminuir las fuerzas que tienden al movimiento de la masa.

Aumentar la resistencia al corte del terreno mediante el incremento de las tensiones normales en zonas convenientes de la superficie de rotura.

Lo primero se consigue reduciendo el volumen de la parte superior del deslizamiento y lo segundo incrementando el volumen en el pie del mismo.

Las formas de actuar sobre la geometría de un talud para mejorar su estabilidad son las siguientes:

Eliminar la masa inestable o potencialmente inestable.

Eliminación del material de la parte superior de la masa potencialmente deslizante (Descabezamiento). La eliminación de escasas cantidades de

material produce aumentos importantes del factor de seguridad, dado que en la parte superior de la superficie del deslizamiento es donde ésta tiene su máxima inclinación y el peso del material contribuye más al deslizamiento y menos a la resistencia del mismo.

Construcción de escolleras en el pie del talud_(Figuras N° 10.1 y 10.2). El peso de la escollera en el pie del talud produce aumento de las tensiones normales en la parte baja de la superficie del deslizamiento, lo que aumenta su resistencia. Este aumento depende del ángulo de rozamiento interno en la parte inferior de la superficie del deslizamiento. Si es elevado, el deslizamiento puede producirse por el pie y es más ventajoso construir la escollera encima del pie del talud, pudiéndose estabilizar grandes masas deslizantes mediante pesos relativamente pequeños de escollera. Si el ángulo de rozamiento interno es bajo el deslizamiento suele ser por la base y es también posible colocar el relleno frente al pie del talud.

Por otra parte, en cualquier caso el peso propio de la escollera supone un aumento del momento estabilizador frente a la rotura.

Por último cuando la línea de rotura se ve forzada a atravesar la propia escollera, ésta se comporta además cómo un elemento resistente propiamente dicho.

Algo que siempre se debe considerar es que la base del relleno siempre debe ser drenante pues en caso contrario su efecto estabilizador puede verse disminuido, especialmente si el relleno se apoya sobre material arcilloso.

Puede ser necesario colocar un material con funciones de filtro entre el relleno drenante y el material del talud. El empleo de membranas geotextiles con este fin es importante. Puede efectuarse combinado con el descabezamiento del talud o como medida independiente.

Escalonamiento de taludes (Bermas; Fig. N° 10.3). Es una medida que puede emplearse cuando un talud está comprometido por un deslizamiento o antes que se produzca y su uso es aconsejable porque facilita el proceso constructivo y las operaciones del talud, retiene las caídas de fragmentos de roca, y si se dispone de zanjas de drenaje para evacuar las aguas de escorrentía, disminuye el efecto de la erosión pluvial.

ESCOLLERAS

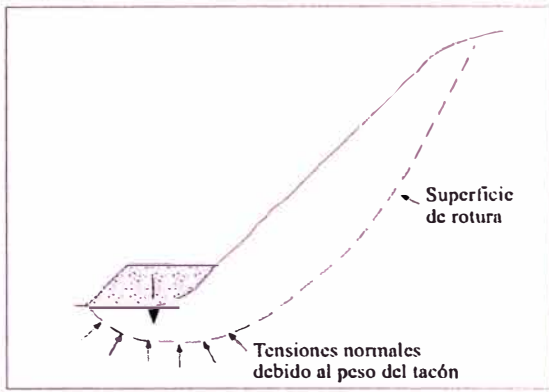


Figura N° 10.1 Efecto de una escollera sobre la resistencia del terreno

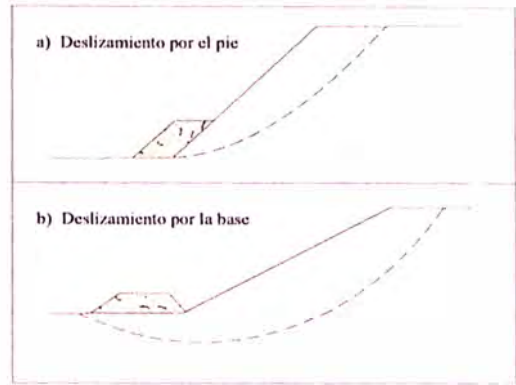


Figura N° 10.2 Colocación de la escollera

BERMAS

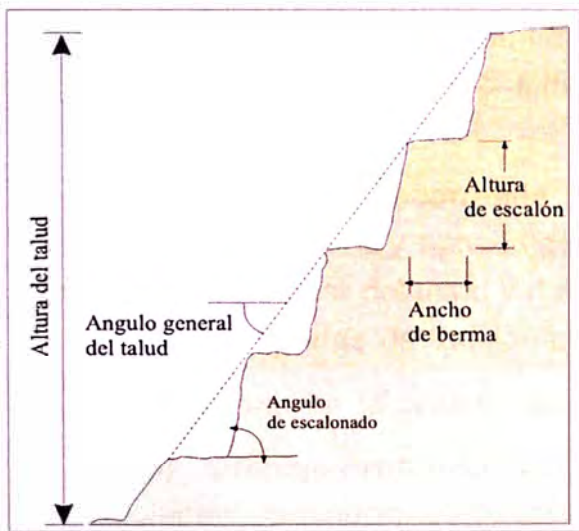


Figura N° 10.3 Esquema de un talud con bermas intermedias

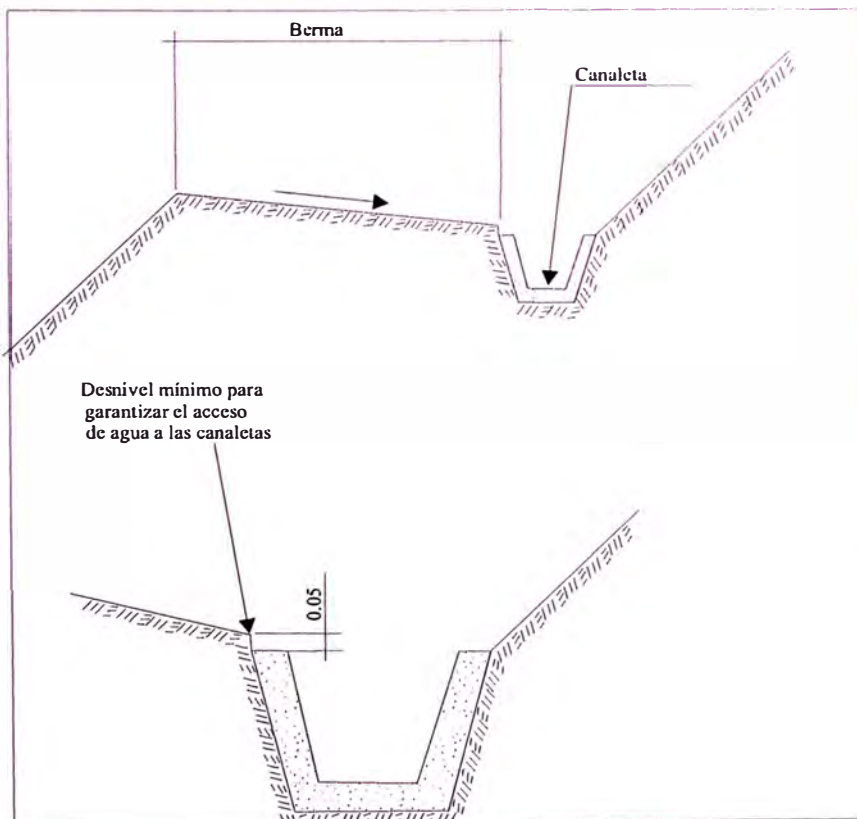


Figura N° 10.4 Detalles de una canaleta de drenaje superficial

Este escalonamiento se suele disponer en taludes en roca, sobretodo cuando es fácilmente meteorizable y cuando es importante evitar las caídas de fragmentos de roca cómo es el caso de taludes junto a vías de transporte.

10.2.2.2 Corrección por drenaje

Sirve para reducir las presiones intersticiales que actúan sobre la potencial o existente superficie de deslizamiento, lo que aumenta su resistencia, disminuyendo el peso total y las fuerzas desestabilizadoras.

Las medidas de corrección por drenaje son de dos tipos:

a) Drenaje superficial: tiene cómo fin recoger las aguas superficiales o las recogidas por los drenajes profundos y evacuarlas lejos del talud, evitando su infiltración (Fig. N° 10.4).

Las aguas de escorrentía se evacuan por medio de Zanjas de Drenaje, impermeabilizadas o no y aproximadamente paralelas al talud. Deben situarse a poca distancia de la cresta del talud y detrás de la misma, de forma que eviten la llegada del agua a las grietas de tensión que podrían existir o no.

El cálculo de la sección debe hacerse con métodos hidrológicos.

b) Drenaje Profundo: tiene como finalidad deprimir el nivel freático con las consiguientes disminuciones de las presiones intersticiales; para su uso es necesario conocer previamente las características hidrogeológicas del terreno (Fig. N° 10.5).

Los drenes se clasifican en:

b.1 Drenes horizontales perforados desde la superficie del talud, llamados también Drenes Californianos. Consisten en taladros de pequeño diámetro aproximadamente horizontales (5-10°) que parten de la superficie del talud y que están generalmente contenidos en una sección transversal del mismo (Fig. N° 10.6). Entre sus ventajas se tiene que su instalación es rápida y sencilla, requieren de poco mantenimiento y pueden readaptarse a la geología del área.

Sus desventajas radican en que su área de influencia es limitada, lo que no sucede en otros métodos de drenaje profundo y que la seguridad del talud puede ser precaria hasta su instalación.

b.2 Pozos verticales. Son perforados desde la superficie superior al talud

a diferentes alturas. (Fig. N° 10.7). Son aplicables en el corte de taludes artificiales, para el tratamiento de taludes naturalmente inestables. En este caso el agua que se extrae se efectúa por bombeo, su ventaja frente a los horizontales es que pueden instalarse y ponerse en funcionamiento antes de comenzar una excavación. Garantizan la estabilidad del talud durante la construcción y facilitan la construcción al disminuir la cantidad de agua que aflora por el frente de excavación.

Su desventaja esta dada por el alto costo del equipo de bombeo y de la energía necesaria para su operación.

b.3 Galerías de drenaje. Son galerías excavadas en el terreno a bastante distancia de la superficie del mismo. (Fig. N° 10.8) Se construyen paralelamente al talud y a bastante profundidad. Constituye un sistema bastante efectivo. Para aumentar su radio de acción y efectividad es necesario instalar drenes perforados desde la galería. (Fig. N° 10.9).

Sus ventajas son:

Tienen mayor capacidad drenante debido a su gran sección transversal

Son apropiadas para operaciones a largo plazo dado que el drenaje se realiza por gravedad

Sirven para determinar la calidad del terreno

No afectan a la superficie del terreno

Son apropiadas para zonas de climas fríos debido a que se ubican a gran profundidad.

Su desventaja es que es un sistema de drenaje muy caro, por lo que su uso sólo es recomendable en situaciones críticas y en taludes de gran altura.

b.4 Zanjas con relleno drenante. Son drenes rellenos de material drenante, excavados en el talud o más allá del pie del mismo y cuya acción drenante se limita a profundidades pequeñas (Fig. N° 10.10).

Puede ser Zanjas de talud o Zanjas horizontales.

Las **Zanjas de talud**, son las que siguen la línea de máxima pendiente del talud. Son aplicables cuando los deslizamientos están situados a poca profundidad (Fig. N° 10.11).

CORRECCION POR DRENAJE

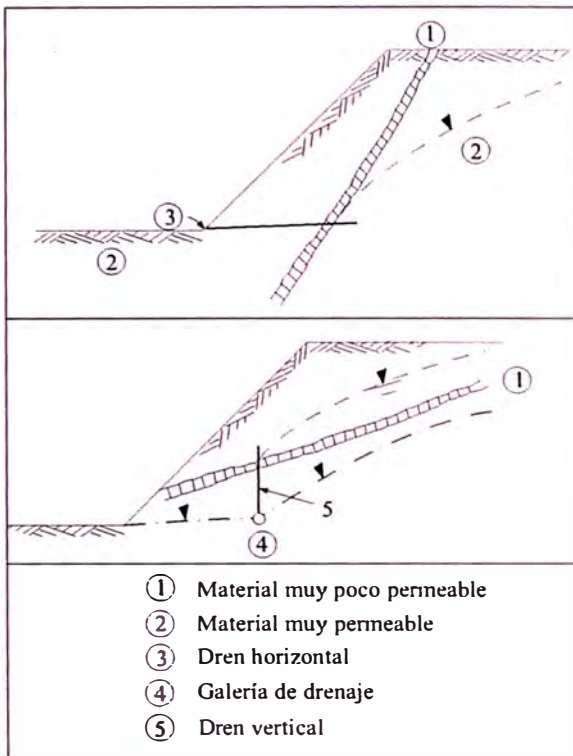


Figura N° 10.5 Disposición de sistema de drenaje en taludes no homogéneos (CANMET, 1977).

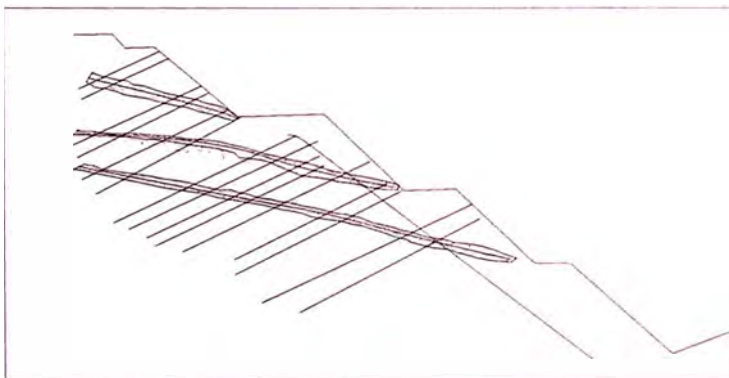


Figura N° 10.6 Esquema de drenaje de un talud minero por medio de drenes californianos (LÓPEZ GARCÍA, 1984)

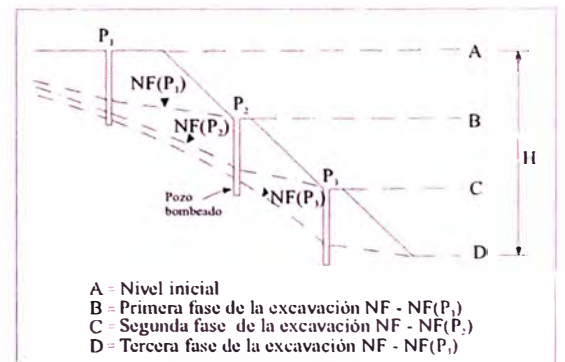


Figura N° 10.7 Instalación de varios niveles de pozos bombeados en las distintas fases de la excavación (CANMET, 1977)

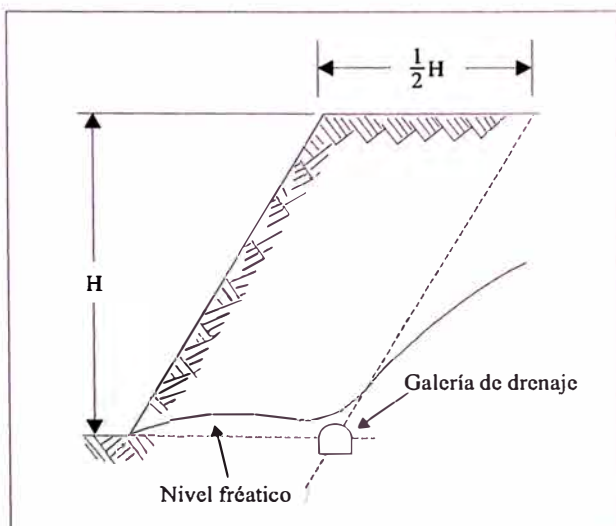


Figura N° 10.8 Posición óptima de una galería de drenaje (HOEK y BRAY, 1977. Cortesía de Inst. Of Min and Met).

Las **Zanjas horizontales**, son paralelas al talud y se sitúan al pie del mismo.

Una combinación de una zanja de talud con zanjas secundarias horizontales (espinas), se conoce como **drenes en Espina de Pescado** (Fig. N° 10.12). Estos se construyen ligeramente inclinados y convergen en la espina central. Es muy efectivo.

10.2.2.3 Corrección por elementos resistentes

a) Anclajes

Son armaduras metálicas, alojadas en taladros perforados desde el talud y cementadas (Fig. N° 10.13). Se emplean como medida estabilizadora tanto en roca como en terreno suelto. Trabajan a tracción y colaboran a la estabilidad del talud de dos formas:

Proporcionando una fuerza contraria al movimiento de la masa deslizante.

Produciendo un incremento de las tensiones normales en la superficie de rotura existente o potencial, lo que provoca un aumento de la resistencia al deslizamiento en dicha superficie.

En un anclaje se distinguen tres partes fundamentales (Fig N° 10.13 a):

Zona de anclaje: parte solidaria al terreno en profundidad, encargada de transferir los esfuerzos al mismo.

Zona libre: Es la parte en que la armadura se encuentra independizada del terreno que la rodea, de forma que pueda deformarse con total libertad al ponerse en tensión

Cabeza: Es la zona de unión de la armadura a la placa de apoyo

La longitud de los anclajes varía entre 10 y 100 m y el diámetro de la perforación entre 75 y 125 mm.

Cuando se proyecta instalar anclajes, es necesario poseer una detallada información previa sobre las características geológicas y resistentes del terreno. La elección del tipo de anclaje (activo, pasivo o mixto; bulones o cables) debe regirse de acuerdo a criterios técnicos. Es importante elegir adecuadamente la ubicación de anclaje para lo que debe tenerse en cuenta que debe estar incluida en terreno estable o lo que es lo mismo, toda su longitud debe quedar por detrás de la posible superficie de rotura.

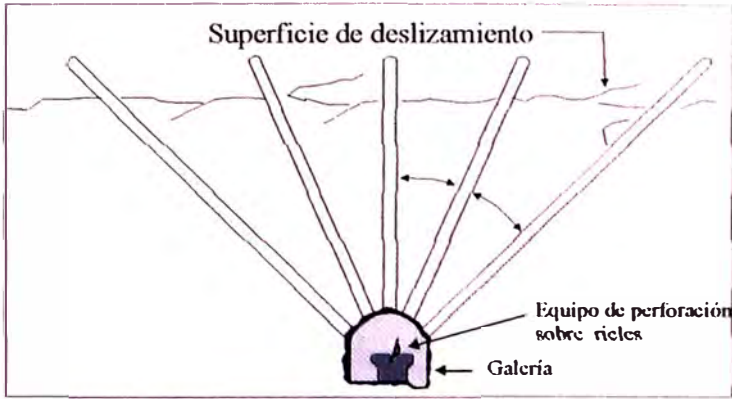


Figura Nº 10.9 Drenaje de superficie de deslizamiento desde una galería de drenaje (CANMET,1977)

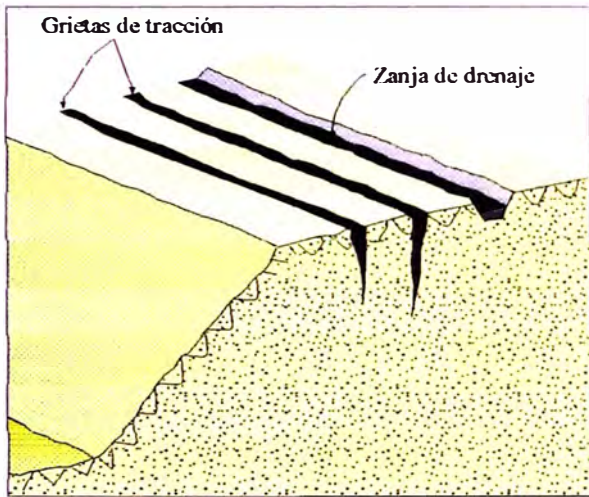


Figura Nº 10.10 Disposición de zanjas de drenaje en un talud

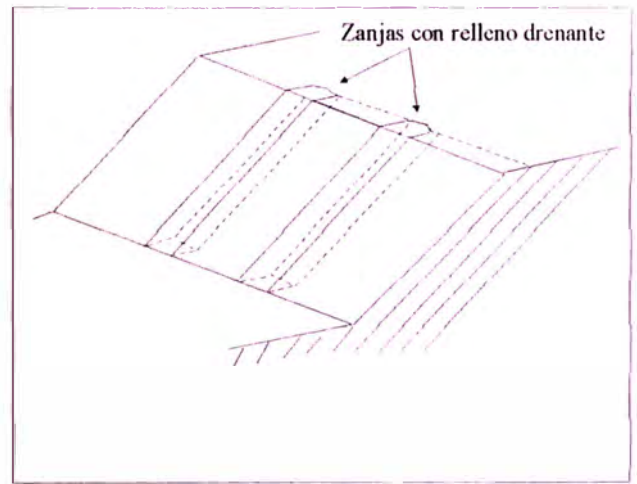


Figura Nº 10.11 Zanja de talud.

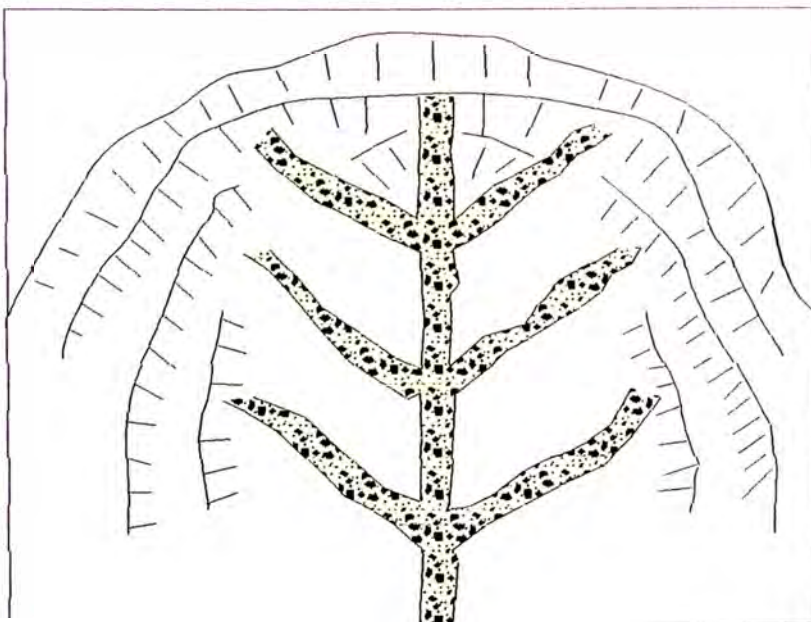


Figura Nº 10.12 Dren tipo Espina de Pescado

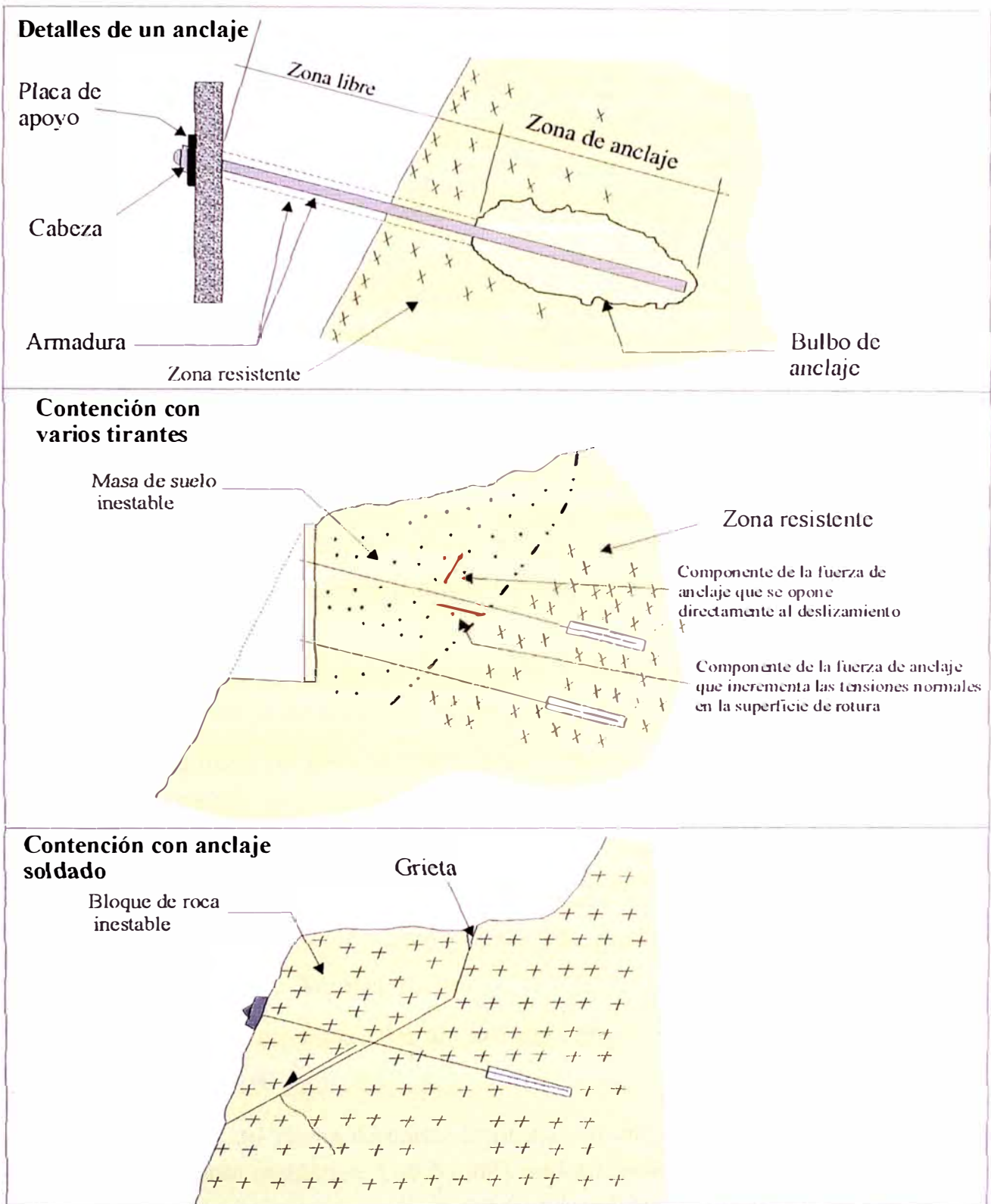


Figura N° 10.13 Detalles de un anclaje y ejemplos de aplicación

La orientación de los anclajes en planta y alzado debe establecerse buscando la mayor eficacia y economía, lo que depende de diversos factores entre ellos la posición de la roca que se desea estabilizar. Por razones constructivas es recomendable que descendan a partir de la cabeza con una inclinación del orden de 10 ó 15°. La separación entre anclajes recomendable por razones constructivas es entre 2 y 5 m.

b) Muros

Los muros se emplean frecuentemente como elementos resistentes en taludes (Fig. N° 10.14).

Su uso más frecuente, es en la construcción de carreteras, en desmontes y terraplenes, en los que la falta de espacio impone taludes casi verticales.

Se emplean para estabilizar deslizamientos existentes o potenciales solo en el caso de que sus dimensiones sean pequeñas, al introducir un elemento de contención al pie del talud (Fig. N° 10.15). En mayores dimensiones debe recurrirse a un sistema de muros o a otros procedimientos, pues existen varios inconvenientes, siendo principalmente:

Para la construcción del muro se excava en el pie del talud, lo cual favorece la inestabilidad hasta su completa instalación.

El muro no evita posibles deslizamientos, por encima o por debajo del mismo.

Por todo esto, puede ser más apropiado su uso, con objeto de retener un relleno estabilizador, en taludes inestables.

Los muros se pueden clasificar en tres grupos (Fig. N° 10.16):

b.1 Muros de Sostenimiento

Se construyen separados del terreno natural y se rellenan posteriormente.

Se tienen los siguientes tipos:

1. Muros de Tierra Armada: Consisten en muros reforzados mediante bandas generalmente metálicas. Las bandas van ancladas en la pared y se disponen perpendicularmente a la misma (Figs. N° 10.17 y 10.18). El rozamiento entre el suelo y las bandas proporciona la estabilidad del conjunto.

MUROS

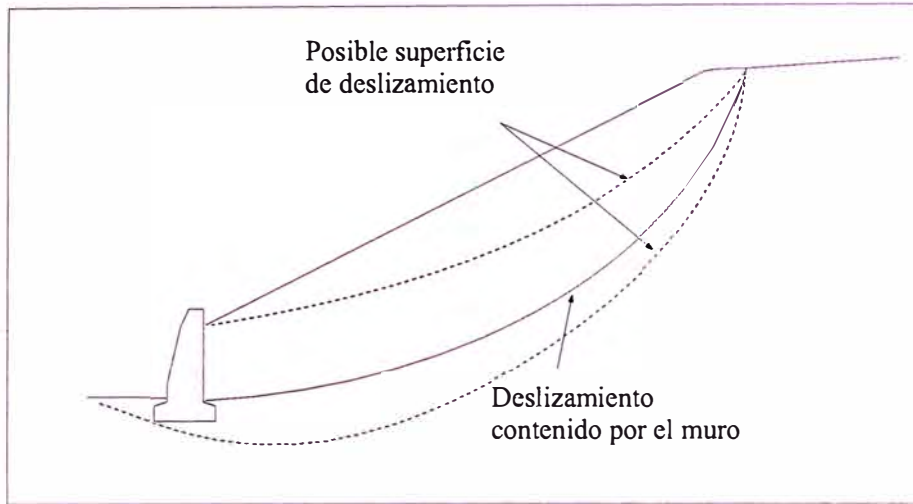


Figura N°10.14 Contención de un deslizamiento mediante un muro

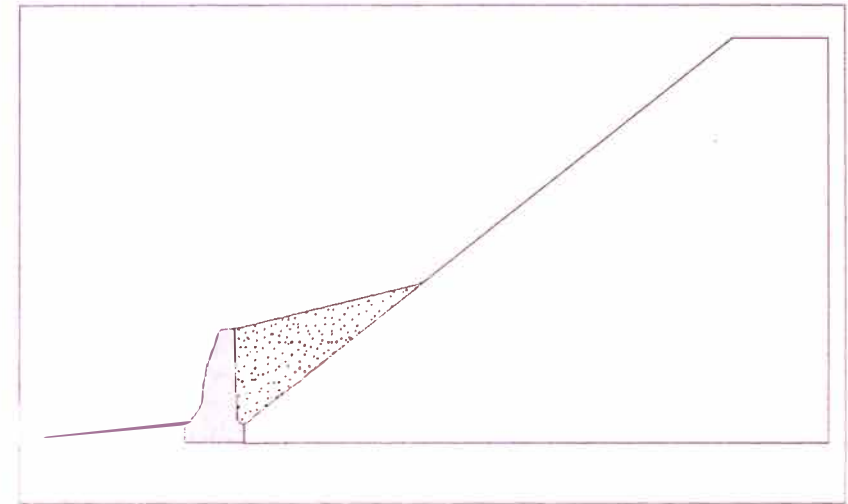


Figura N° 10.15 Relleno estabilizador sostenido por el muro

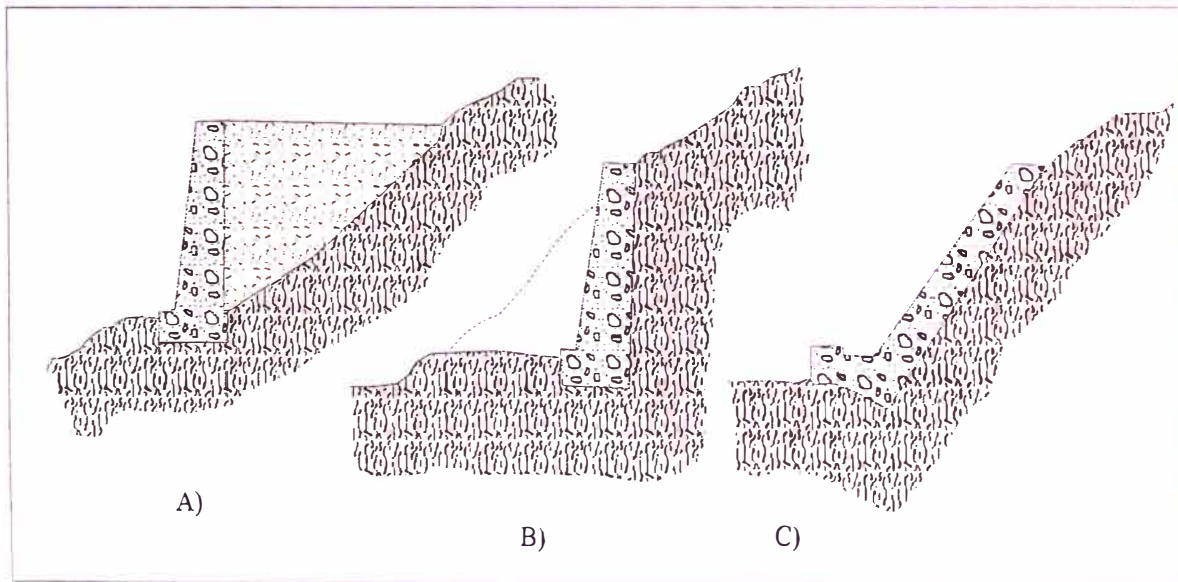


Figura N° 10.16 Tipos de muros A) Sostenimiento, B) Contención, C) Revestimiento

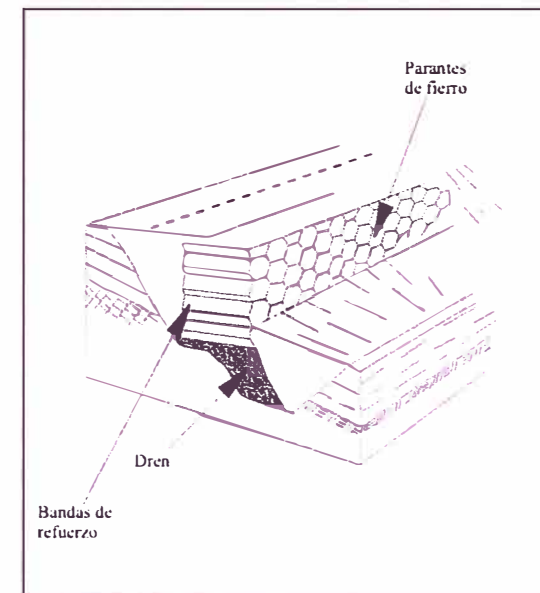


Figura N° 10.17 Muro de tierra armada.
(fuente: REINFORCED EARTH, 1973. CANMET, 1977)

Están constituidos por:

Bandas de refuerzo: Generalmente de acero galvanizado a veces ranurado para aumentar el rozamiento. A veces se emplea el aluminio.

Tienen un ancho entre 4 y 12 cm y un espesor entre 2 y 4 mm. La separación vertical entre bandas suele ser de 25 a 33 cm si el paramento es de acero y 75 cm si es de hormigón.

De acuerdo a su posición se denominan transversales a las perpendiculares al paramento y longitudinales a las paralelas a aquel.

Paramento del Muro: Está constituido por placas prefabricadas de hormigón en cuadrados de 1.5 m de lado con un espesor de 20 cm, o chapas metálicas de forma elíptica de acero galvanizado, flexibles y gruesas. Su función es evitar que caiga la tierra. Debido a la acción de las bandas, resiste un empuje sustancialmente menor que el que aparece en los otros tipos de muros.

Relleno de Tierra: El relleno no debe contener materia orgánica u otros materiales degradables. Su ángulo de rozamiento interno no debe ser menor de 25° y en general conviene compactar el relleno para disminuir los asentamientos.

Los muros de tierra armada presentan las siguientes ventajas:

Construcción fácil y rápida

Costo inferior que los demás sistemas alternativos (20 a 50 %)

No tienen limitaciones prácticas en longitud y altura

Son apropiados para terrenos de mala cimentación ya que transmiten tensiones relativamente pequeñas a la cimentación.

Se adaptan con facilidad a los asentamientos diferenciales, por ser muy flexibles.

Cuando se proyecta su uso se debe tener en cuenta:

La existencia de suficiente rozamiento entre el suelo y las bandas de refuerzo, lo que provocaría la rotura del muro.

Las bandas de refuerzo han de tener la suficiente sección como para resistir los elevados esfuerzos de tracción a los que se verán sometidos.

El cálculo de un muro de tierra armada se hace estudiando el equilibrio límite y suponiendo que el empuje horizontal de tierra es transmitido a las bandas por rozamiento.

Los esfuerzos de tracción en las bandas son máximos cerca del contacto con el paramento y van disminuyendo hasta valer «0» en el extremo opuesto.

La construcción de un muro de tierra armada se hace por capas horizontales. Se instala una fila horizontal del paramento, se colocan las bandas, se anclan a aquél y por último se extiende y compacta el relleno. El proceso se continúa para cada capa horizontal hasta la terminación del muro.

2. Relleno posterior al muro

En los muros de sostenimiento, el tipo de relleno empleado para ocupar el espacio entre el muro y la ladera, influye sobre los empujes que se desarrollan sobre él.

Los suelos de grano fino pueden dar grandes empujes principalmente por las variaciones estacionales de volumen con el grado de humedad. Además es posible que se abran grietas en el relleno por las que penetrará la lluvia produciendo presiones intersticiales de gran magnitud y difíciles de disipar. Lo ideal es emplear un suelo granular con menos del 5% de limo o arcilla (Jiménez Salas y Otros, 1976).

La compactación del relleno se debe efectuar solamente cuando sea imprescindible.

b.2 Muros de contención

Generalmente van excavados y se construyen para contener un terreno que sin la acción del muro sería probablemente inestable. Entre ellos se tienen una serie de tipos:

1. Muros de Gravedad: Son elementos pasivos en los que el peso propio es la acción estabilizadora fundamental (Figs. N° 10.19 y 10.20). Se construyen de hormigón en masa, ladrillo o mampostería

La relación altura (H)/Base (B) suele estar comprendida entre 1.5 a 2. No es frecuente emplear muros de este tipo con alturas mayores de 10 m.

Se emplean para prevenir o detener deslizamientos de pequeñas dimensiones, por su facilidad constructiva y bajo costo.

2. Muros Aligerados: Son muros de hormigón armado. Pueden ser de forma en «L» o con contrafuertes.

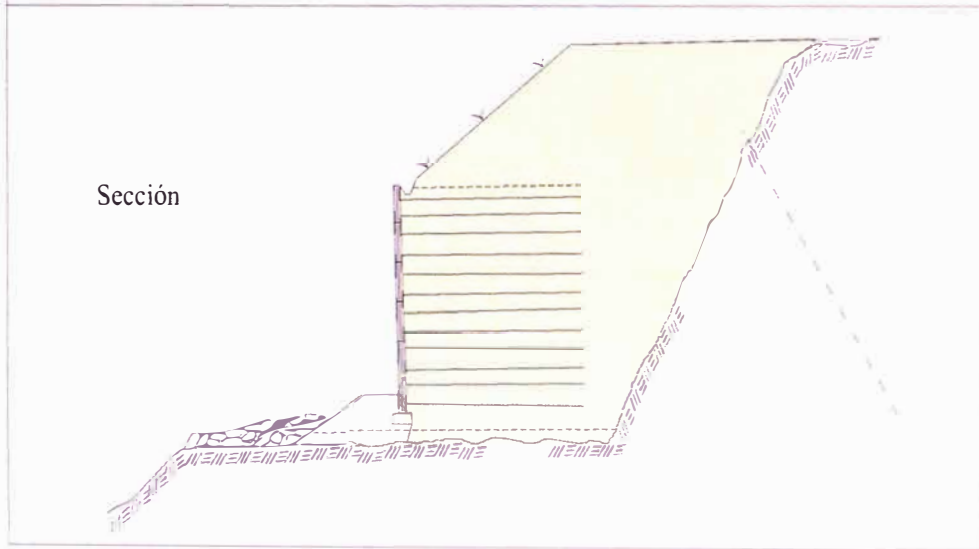
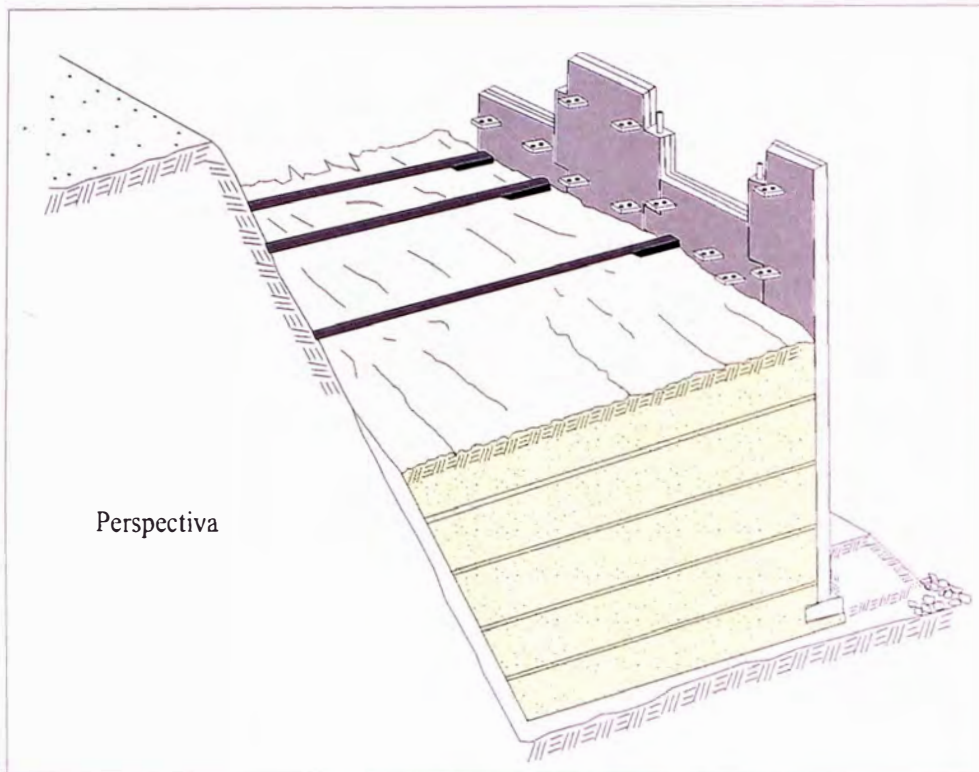


Figura N° 10.18 Detalles de muro de tierra armada

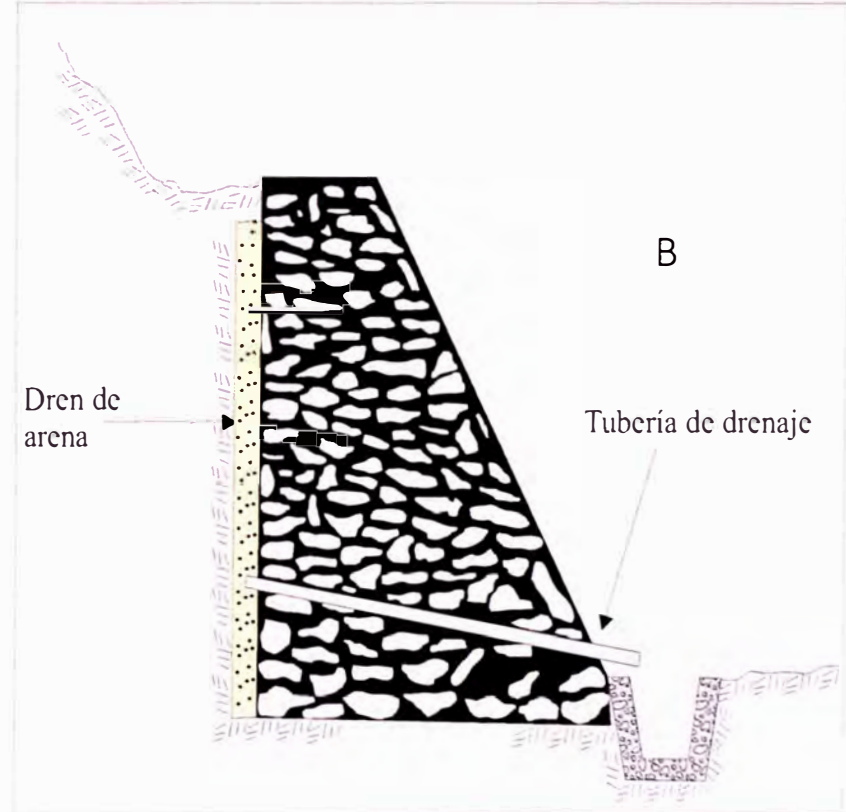
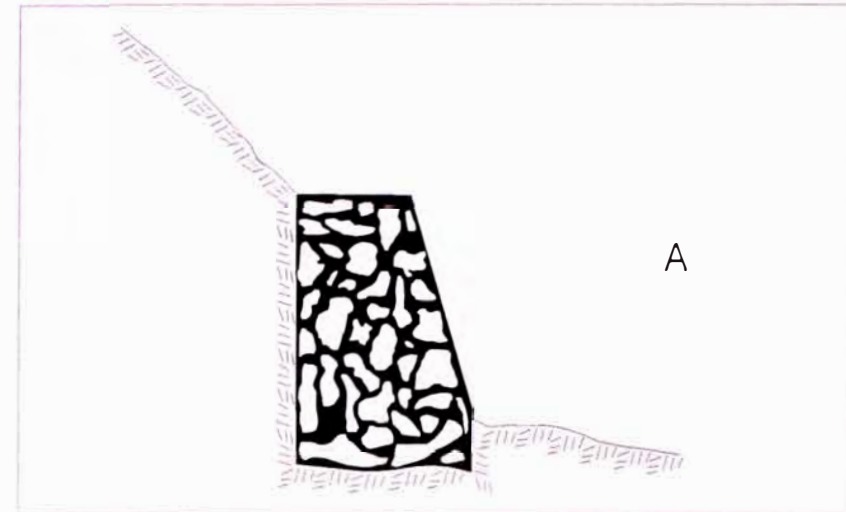


Figura N° 10.19 Muros de gravedad A. de piedra seca B. de piedra argamasada

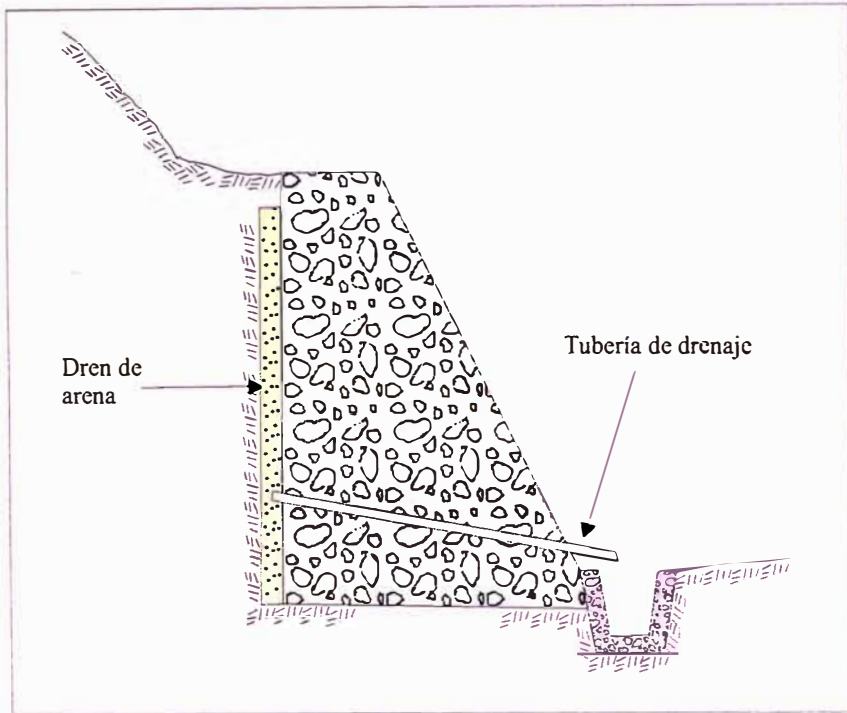


Figura N° 10.20 Muro de gravedad de concreto ciclópeo

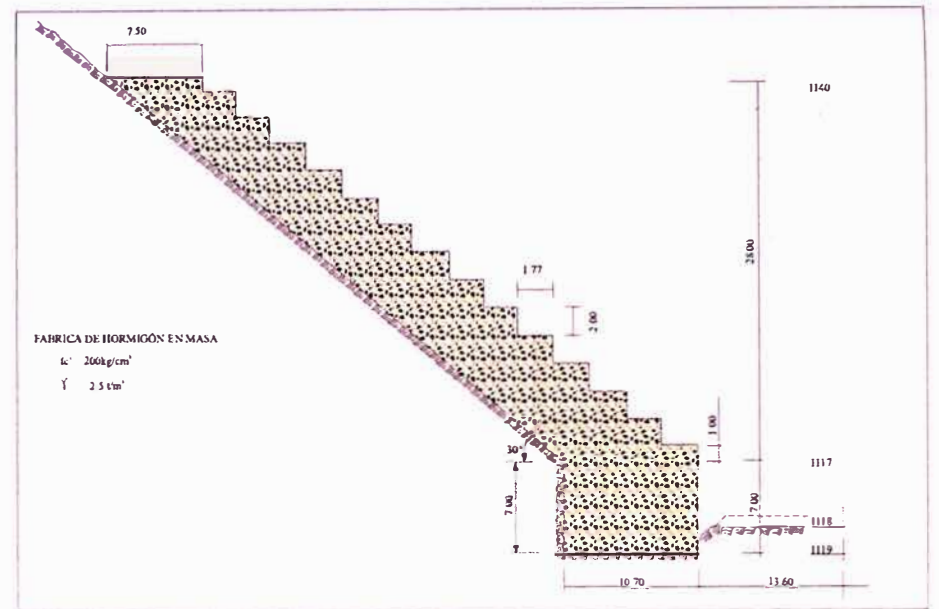


Figura N° 10.21 Muros de espesor máximo

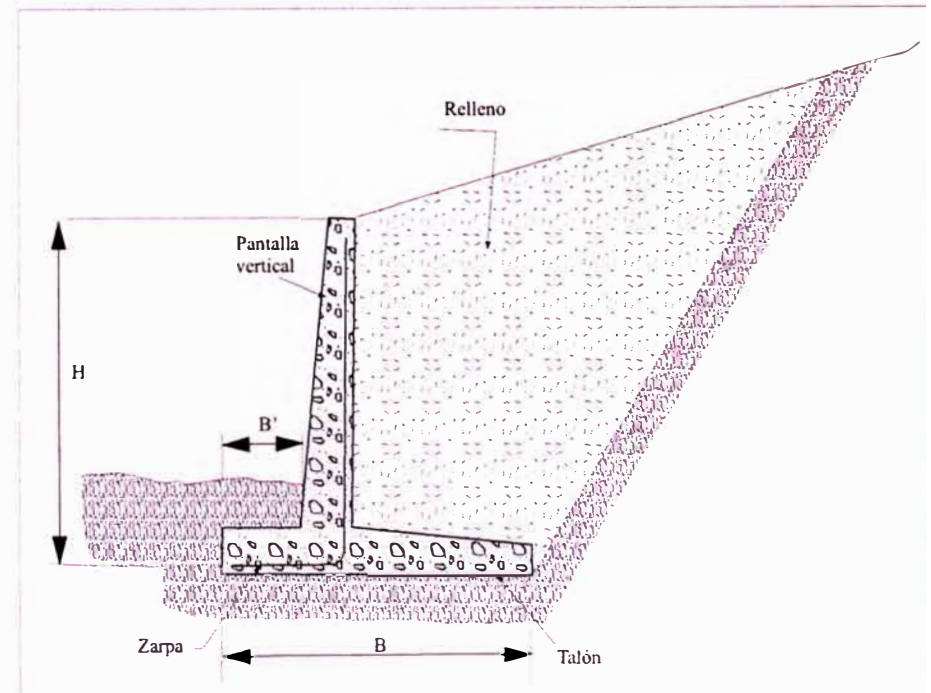


Figura N° 10.22 Muro en L

Los muros aligerados en «L», son aquellos en los que la pantalla vertical actúa como viga en voladizo y contrarrestan el momento volcador del empuje del terreno por el momento estabilizador generado sobre el talón (Figs. N° 10.21 y 10.22)

La relación H/B varía entre 1.5 y 2 y la longitud de zarpa B suele ser 1/3 de B.

La presión sobre el cimiento es menor que en los muros de gravedad, por lo que son adecuados para corregir malas cimentaciones.

Los esfuerzos sobre cada una de las partes del muro (pantalla vertical, talón y zarpa) se calculan suponiendo que se comportan como vigas en voladizo.

Los muros aligerados con Contrafuertes, pueden disponerse en la zarpa o en el talón (Fig. N° 10.23 y 10.24). En el primer caso se busca aligerar un muro de gravedad suprimiendo hormigón en las zonas que colaboran poco al efecto estabilizador.

En el segundo caso se trata de un muro en «L» reforzado con contrafuertes interiores.

3. Muros Jaula: Consisten en un entramado resistente en forma de armazón o jaula, compuesta de vigas longitudinales y transversales, que se rellena de un suelo granular, preferentemente compactado (Fig. N° 10.25).

La estabilidad de los muros jaula es proporcionada por su propio peso, al igual que en los muros de gravedad.

Son adecuados para alturas moderadas no mayores generalmente de 7 m.. El ancho del muro está comprendido entre la altura y la mitad de ésta.

Sus principales ventajas son su montaje fácil y rápido, su capacidad de adaptación a los asientos que se pueden producir en el terreno y que puede actuar inmediatamente después de su construcción.

La jaula se construye con piezas de madera, bloques prefabricados de hormigón armado o piezas metálicas de acero o aluminio.

Si el relleno interior del muro se hace con un material permeable y si no se cierran los huecos en las caras del muro, la acción drenante queda garantizada sin necesidad de dispositivos especiales.

El cálculo de empujes sobre el muro y de su seguridad frente al deslizamiento y al vuelco se realiza de la misma forma que en un muro de gravedad, con la salvedad

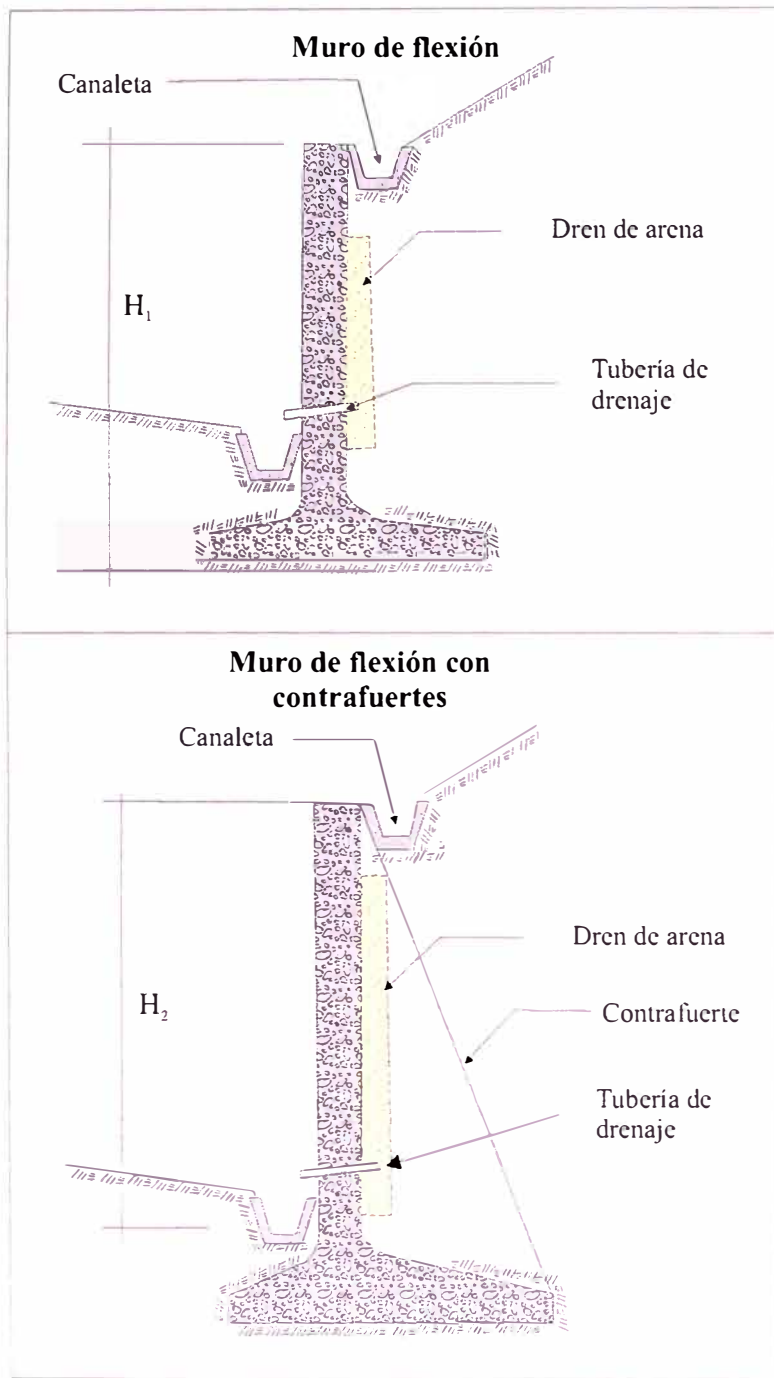


Figura N° 10.23 Muros de concreto armado tipo flexión

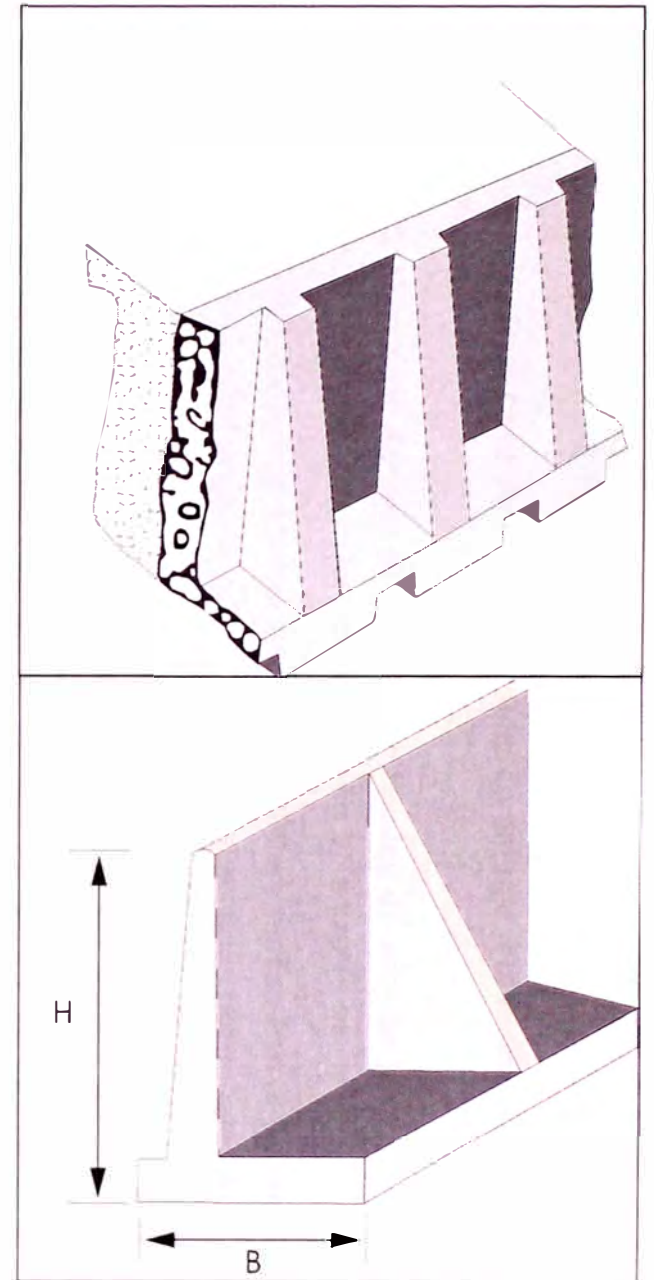


Figura N° 10.24 Muro de contrafuertes

de que no todo el peso del relleno granular contribuye a la resistencia al momento del volcado.

5. Muros de Apoyo: Se instalan en taludes en roca en los que se aprecia la existencia de masas importantes de roca en voladizo (Figs. N° 10.26 y 10.27).

Su misión es proporcionar un apoyo a dichas masas con el fin de evitar su desprendimiento para lo que se rellena el espacio que queda por debajo de la saliente con hormigón en masa o muy poco armado, empleándose en ocasiones hormigón pobre.

El muro absorbe parte del peso de la masa potencialmente inestable por lo que queda solicitado a compresión.

6. Muros Anclados: El empleo de muros reforzados con anclajes es una medida mixta que elimina los problemas de estabilidad al vuelco del muro, disminuye los momentos flectores que actúan sobre él y reduce las tensiones máximas que actúan sobre el terreno.

Los anclajes son pretensados en la gran mayoría de los casos y es muy conveniente que su zona de anclaje se sitúe en terreno firme.

7) Muros pantalla

Son muros enterrados de hormigón armado hormigonados «in situ». Su acción estabilizadora ante deslizamientos existentes o potenciales es muy similar a la de las pantallas de pilotes (Fig. N° 10.28). A diferencia de estas, los muros pantalla constituyen elementos continuos.

Como medida estabilizadora de taludes, tiene su máxima aplicación frente a las pantallas de pilotes, cuando el material inestable como el sustrato es de fácil excavación.

Para construir un muro pantalla, en primer lugar se efectúa la excavación de una trinchera sin entibación, cuyas paredes se mantienen estables gracias a la utilización de lodos bentónicos con los que se rellenan las zanjas a medida que se extraen el detritus de la excavación; una vez colocados los tubos junta o tubos de encofrado, cuya misión es conseguir una buena junta de hormigonado y una vez instalada la armadura se procede al hormigonado a través de un conducto que llega hasta el fondo de la zanja. El hormigón va rellorando la excavación, desplazando al mismo tiempo al lodo.

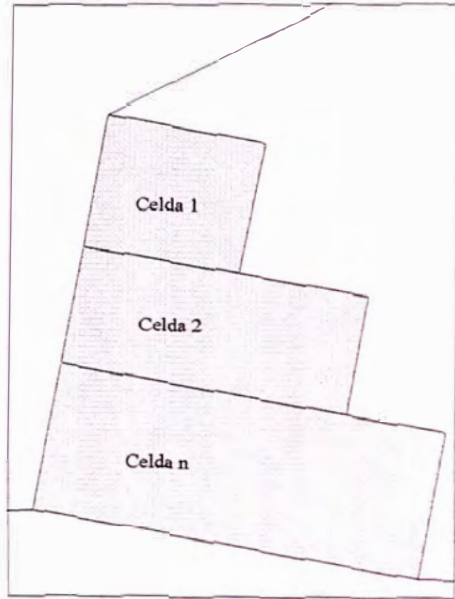


Figura N° 10.25 Muro Jaula compuesto de celdas superpuestas.

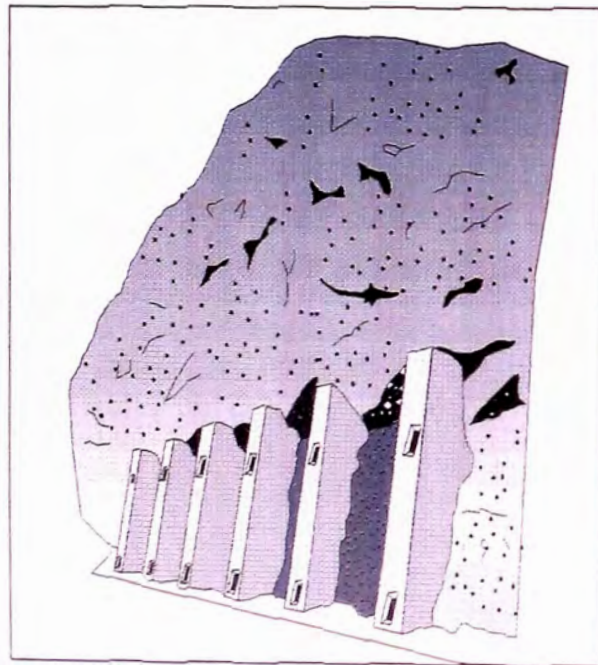


Figura N° 10.26 Muros de apoyo

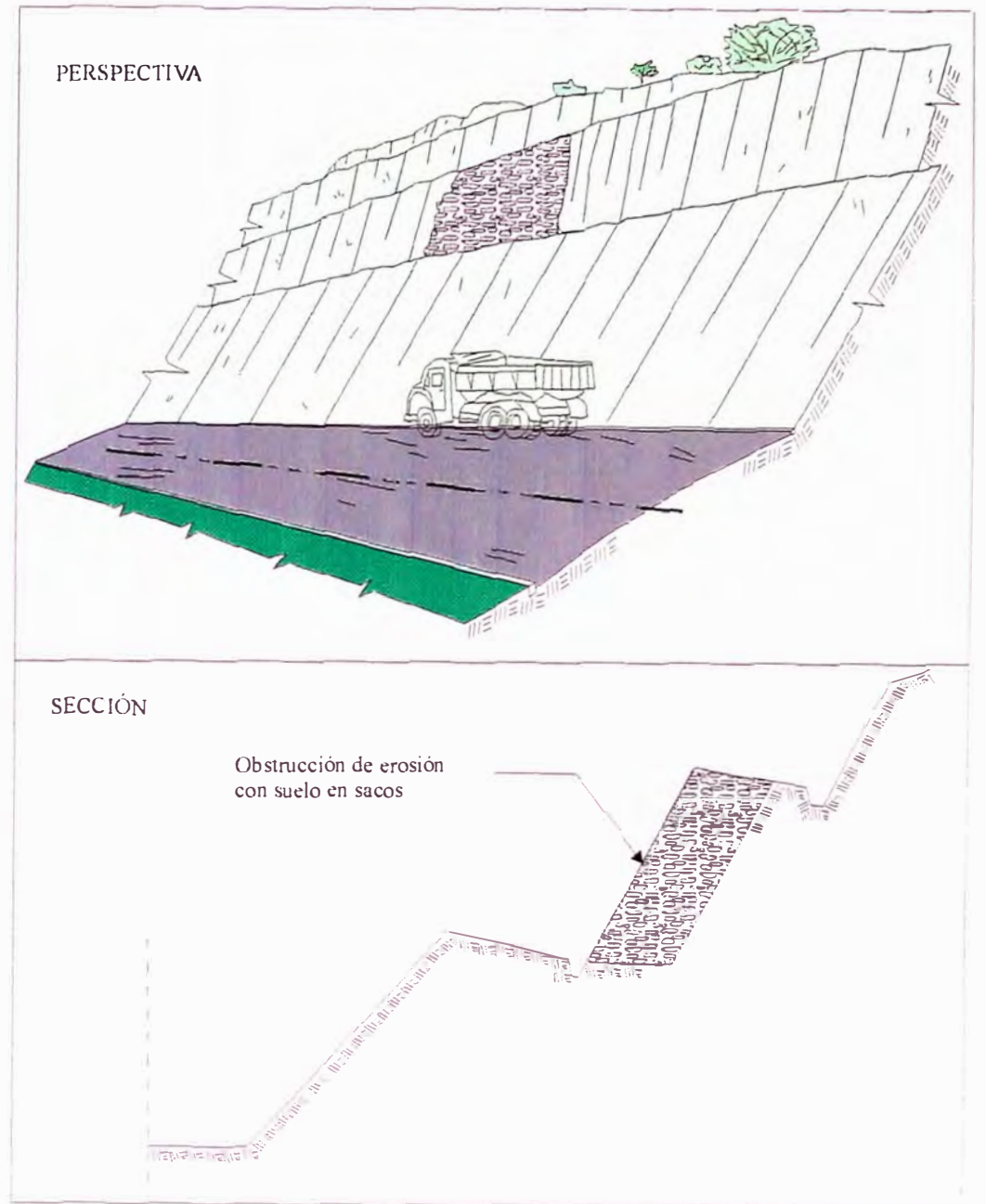


Figura N° 10.27 Muros de Apoyo con sacos de suelo - cemento

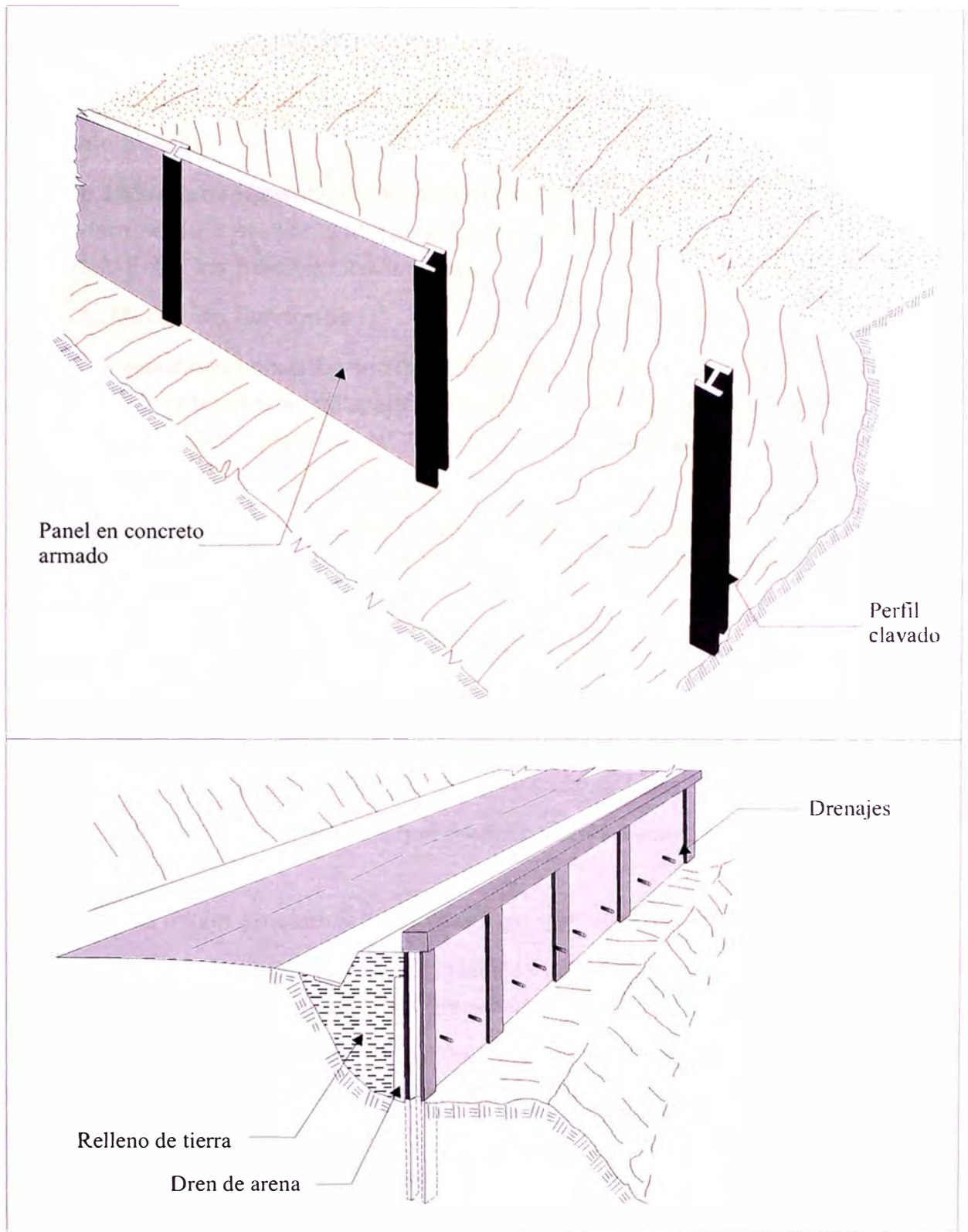


Figura N° 10.28 Ejemplo de muros de pantalla

Fuente: Estudio de Riesgo Geológico del Perú Franja N° 02

El muro dependiendo de las características de la maquinaria, puede alcanzar una profundidad de hasta 40 m. Existiendo fundamentalmente dos técnicas para la ejecución de la excavación: La excavación con cuchara bivalva y la perforación con circulación inversa.

b.3 Muros de Revestimiento: Se construyen sobre el talud natural, para proteger el terreno de la erosión y meteorización además de proporcionar un peso estabilizador. Entre los más usados tenemos:

1. Muros de Gaviones

Los **gaviones** consisten en enmallados de alambre metálico galvanizado con forma de prisma rectangular, relleno por fragmentos de roca no degradable (caliza, andesita, granitos, etc.) (ver Figs. N° 10.29 y 10.30). Trabajan fundamentalmente por gravedad.

Generalmente se colocan en alturas bajas, aunque algunos los han colocado en alturas medianas (hasta 25 m de alto y 10 m de ancho) funcionando satisfactoriamente.

La relación entre la altura del muro y el ancho de la base del mismo es muy variable, suele estar comprendida entre 1.7 a 2.4.

Las ventajas que presenta son:

Instalación rápida y sencilla

Son estructuras flexibles que admiten asentamientos diferenciales del terreno

No tienen problemas de drenaje, ya que son muy permeables.

Los empujes sobre el muro, su estabilidad al vuelco y deslizamiento se calculan de igual forma que un muro de gravedad.

Cuando se proyecta la construcción de un muro, es necesario determinar las cargas y distribución a las que va a estar sometido, lo que permitirá dimensionar una estructura capaz de resistirlas.

Las comprobaciones a efectuar en un caso típico son las siguientes:

Estabilidad del sistema muro-terreno al deslizamiento, lo que incluye la estabilidad al vuelco y al deslizamiento.

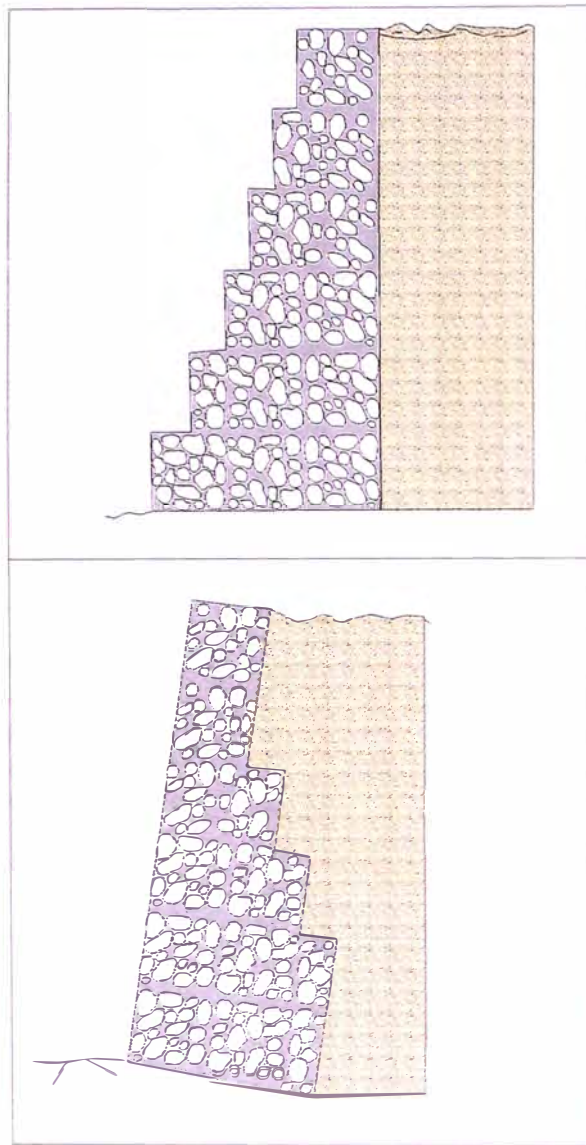


Figura N° 10.29 Muros de gaviones.

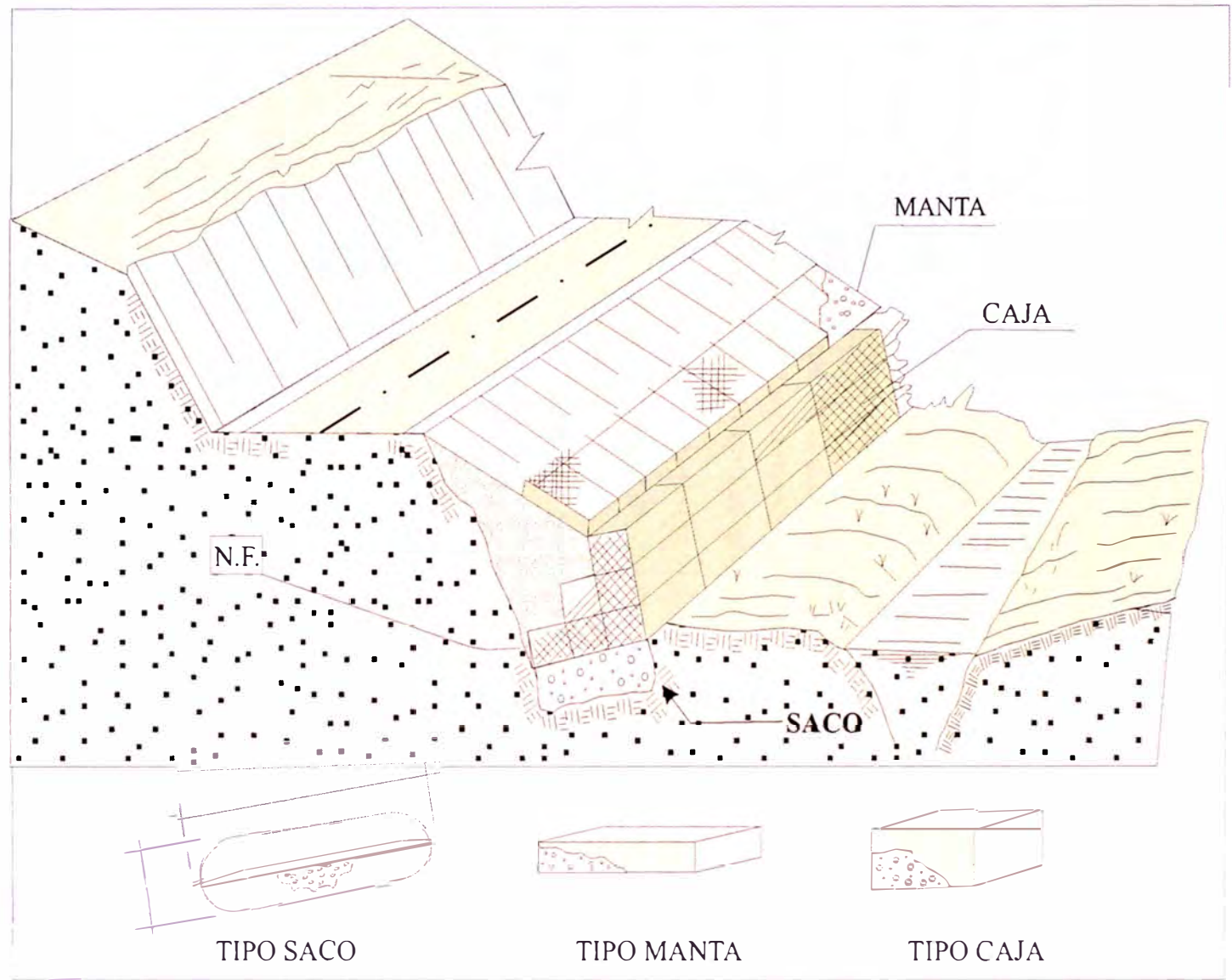


Figura N° 10.30 Ubicación de Gaviones

Resistencia del terreno al cimiento

Ausencia de tracciones en la base del muro.

Resistencia estructural: Se ha de comprobar que las tensiones máximas en el muro no sobrepasen los valores admisibles.

Otro punto importante es el drenaje para evitar la saturación del terreno posterior al muro, evitando así el incremento de las presiones intersticiales, lo que a su vez produce un fuerte aumento de los empujes sobre el muro.

Como medidas complementarias también se instalan capas de drenaje longitudinales o inclinadas detrás del muro para evitar los efectos de las heladas y para reducir las presiones de filtración desarrolladas después de lluvias intensas (Fig. N° 10.31).

En general la construcción de un muro es cara. A pesar de ello, los muros se emplean con frecuencia pues en muchos casos son la única solución viable.

c) **Pantallas de pilotes**

Consisten en pilotes alineados, dejando espacios lo suficientemente pequeños entre dos adyacentes, cómo para conseguir un sostenimiento relativamente continuo. (Fig. N° 10.32)

Tiene dos funciones:

Como sostenimiento de taludes excavados, teniendo cómo gran ventaja que pueden instalarse previamente a la excavación

Como medida estabilizadora de deslizamientos existentes o potenciales, instalándose cerca del pie del talud y presentando las ventajas de requerir muy poca excavación y de no afectar significativamente el talud durante su construcción.

Generalmente en la estabilización de taludes se emplean pilotes perforados o de extracción. Los pilotes hincados o de desplazamiento se emplean únicamente para estabilizar deslizamientos superficiales.

En general los pilotes presentan el inconveniente de tener un costo elevado.

Los pilotes se oponen al deslizamiento mediante la transmisión de esfuerzos a las capas inferiores estables. Por lo tanto las pantallas de pilotes tienen su principal

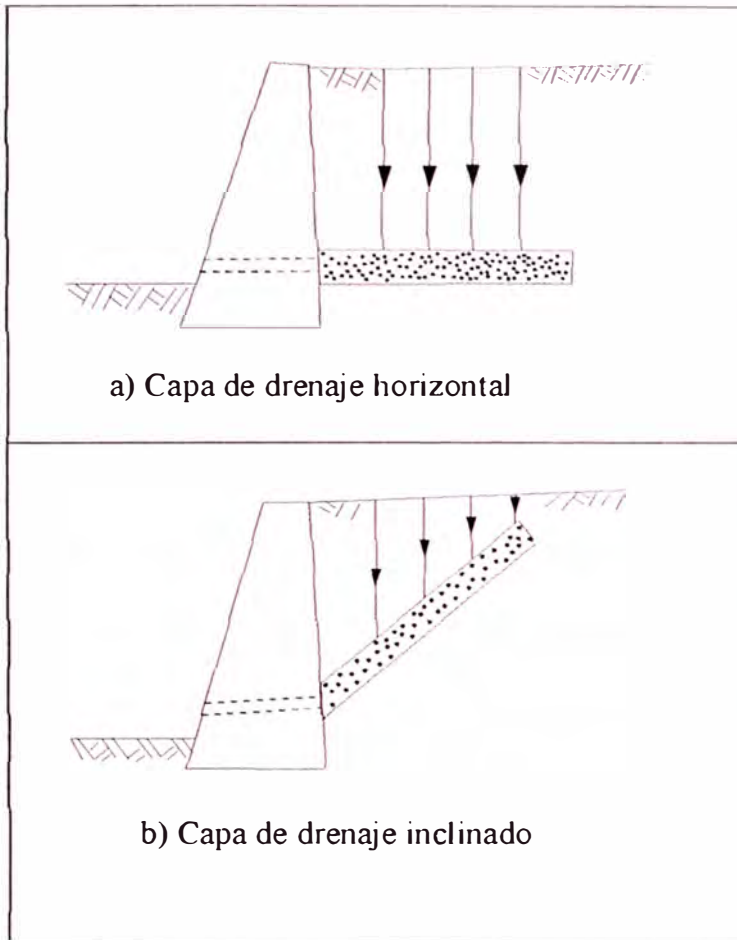


Figura N° 10.31 Instalación de capas de drenaje detrás del muro (WINTERKORN y FANG 1975. Cortesía de Van Nostrand Reinhold Company)

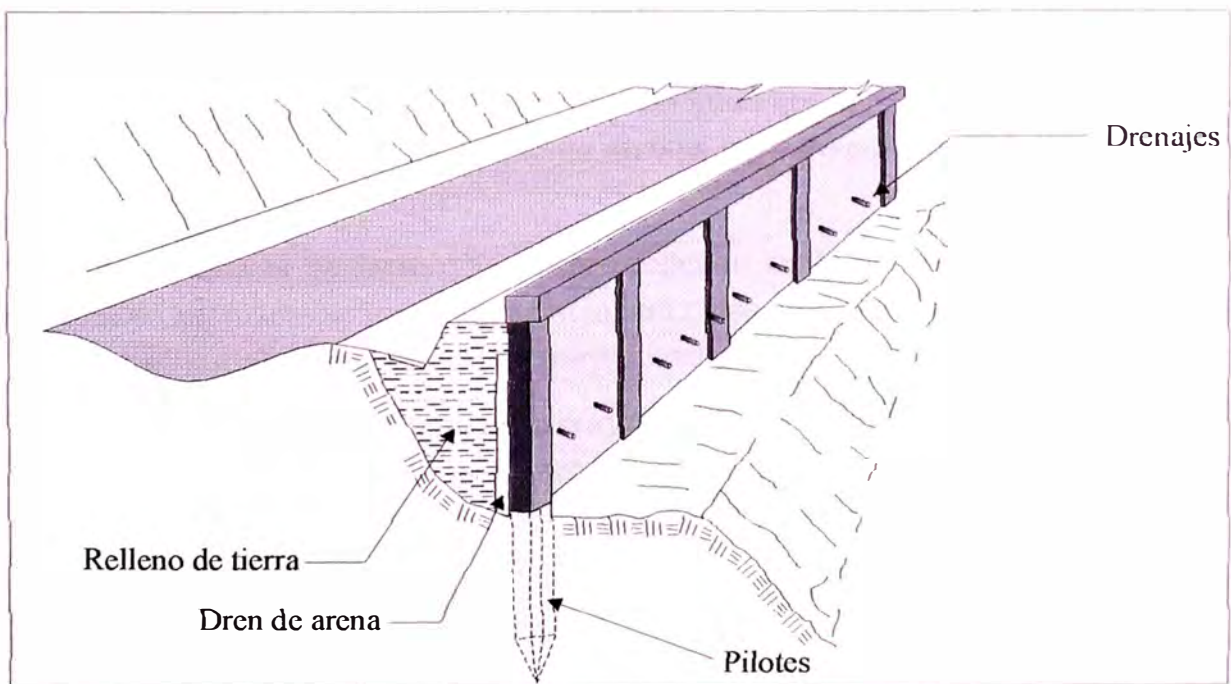


Figura N° 10.32 Ejemplo de muros con pilote

aplicación en aquellos casos en que existe, a una profundidad no excesiva, un estrato de material estable y competente. Los pilotes empleados en taludes suelen ser de hormigón armado. Cuando los esfuerzos a los que van a ser sometidos son de gran magnitud se puede aumentar su capacidad portante mediante el empleo de secciones combinadas: cilindros metálicos rellenos de hormigón y reforzados con perfiles metálicos, o con grupos de cables y barras de alta resistencia e inyectados a presión. En algunas ocasiones se emplean pilotes pretensados.

Los pilotes que se emplean en taludes tienen un diámetro que oscila entre 40 y 120 cm.

10.2.2.4 Correcciones superficiales

Se aplican en la superficie de un talud, afectando sólo a las capas más superficiales del terreno con los siguientes fines:

Evitar o reducir la erosión y meteorización de la superficie del talud

Eliminar los problemas derivados de los desprendimientos de rocas en taludes donde predominan estos

Aumentar la seguridad del talud frente a pequeñas roturas superficiales.

Los principales métodos empleados son:

a) Mallas de Alambre Metálico

Con ellas se cubren la superficie del talud con la finalidad de evitar la caída de fragmentos de roca, especialmente en vías de transporte o cuando hay personal trabajando en el pie del talud.

Las mallas de fierro galvanizado retienen los fragmentos sueltos de rocas y conducen los trozos desprendidos hacia una zanja en el pie del talud. Son apropiados cuando el tamaño de roca se encuentra entre 0.60 a 1.00 m.

La malla se fija siempre en la parte superior del talud o en bermas intermedias. Como sistemas de fijación pueden emplearse postes introducidos en bloques de hormigón que pueden a su vez ir anclados o simplemente un peso muerto en la parte superior del talud.

b) Sembrado de cobertura vegetal en Taludes

Al igual que en laderas, el sembrado de cobertura vegetal, es muy útil en la conservación de taludes produciendo los mismos beneficios.

Para el sembrado de taludes se emplean hierbas, arbustos y árboles. Debiendo utilizarse especies capaces de adaptarse a las condiciones a las que van a estar sometidas (climas, tipo de suelo, presencia de agua, etc.), suelen convenir especies de raíces profundas y de alto grado de transpiración, lo que indica un mayor consumo de agua.

Generalmente el sembrado de un talud se hace por etapas, comenzando por la hierba y terminando por los árboles.

Es conveniente no dejar un talud muy plano, sino con salientes que sirvan de soporte, así cuando más tendido sea un talud es más fácil que retenga la humedad.

Un terraplén es más favorable para mantener una cubierta vegetal que un desmonte.

Los suelos arenosos y areno-arcillosos son ventajosos para un rápido crecimiento de la hierba. Las arcillas duras son inadecuadas a menos que se añadan aditivos o se are el terreno. Cuando la proporción de limo más arcilla es superior al 20 % se puede esperar un crecimiento satisfactorio, pero si es inferior al 5% el establecimiento y mantenimiento de la hierba es difícil.

c) Hormigón Gunitado

Consiste en una capa de hormigón rociado sobre la superficie de taludes en roca. La dosificación del hormigón se hace de forma convencional. El árido(*) debe tener una granulometría uniforme y un tamaño superior a 2 cm. Cuando el árido empleado es de tamaño más pequeño el hormigón proyectado se llama gunita.

El hormigón se proyecta sobre la superficie de la roca con una gran velocidad de impacto. Al principio, las partículas de tamaño apreciable rebotan sobre la superficie mientras una matriz compuesta de cemento y partículas finas queda adherida a la roca. Gradualmente se van adhiriendo partículas de mayor tamaño y la capa va creciendo en espesor

En la operación de gunitado, las pérdidas de hormigón son altas, mayores al 10 %, en parte, por las altas tracciones y tensiones tangenciales que pueden de-

sarrollarse en el contacto entre hormigón y roca. Es preferible que la superficie se encuentra seca cuando se aplica hormigón y eliminar cualquier material de alteración existente en su superficie.

El hormigón gunitado es un material frágil. La ductilidad y resistencia del hormigón pueden incrementarse mediante su armado, el cual puede realizarse de dos maneras: colocando una malla de alambre metálico o un emparrillado de redondos de pequeño diámetro sobre el talud antes de proyectar el hormigón, o incorporando a la mezcla seca cemento-árido, trozos de alambre pequeños, lo que proporciona una buena resistencia a la tracción del orden de 140 Kg/cm², aunque su empleo hace la instalación más complicada y cara.

El empleo de hormigón gunitado necesita una maquinaria especial de bombeo y de dosificación, además su colocación sobre la superficie del talud, requiere de un operario que generalmente es transportado en una plataforma suspendida de una grúa móvil.

Para proyectarlo la temperatura mínima (tanto de la roca como del aire) es de 5°C, siendo necesario para el total curado del hormigón que durante una semana no se produzcan heladas.

Constituye una solución rápida, mecanizada y con pocas complicaciones, a los problemas de desprendimientos y meteorización de taludes rocosos de pequeña magnitud.

(*)Árido: Conjunto de fragmentos de materiales pétreos suficientemente duros, estables e inertes en los cementos, empleados en la fabricación del mortero y el hormigón. Deben cumplir con las dimensiones especificadas por las normas ASTM (American Society for Testing and Materials) y NTP (Normas Técnicas Peruanas) establecidas.

10.2.3 EN CAUCES

Para la corrección de cauces afectados por inundaciones, flujos y erosión fluvial como el caso del río Mala (cuenca baja hasta desembocadura) se muestran las siguientes alternativas de solución:

Construcción de andenes en los ríos permanentes, como tratamiento para disminuir el flujo de aguas. Por su forma escalonada, estos impiden que

el agua corra de manera violenta y retienen suelos cargados de nutrientes aprovechables para fines agrícolas. Cuando los taludes son altos se construyen terrazas escalonadas o bancales para interceptar el agua a velocidades menores a 90 cm/seg.

Construcción de canales, zanjas de coronación, pilotes de madera y empalizadas que permitan mantener ciertas áreas libres de inundaciones. Son aconsejables cuando la pendiente del terreno lo permita rellenar la pendiente con maquinaria pesada u otro medio.

En la corrección de cárcavas además de las obras enunciadas líneas arriba es necesario controlar el agua de escorrentía por medio de zanjas impermeabilizadas y desagües adecuados.

Lo que más se utiliza en el control de cárcavas son los diques, empalizadas y pilotes de madera.

En los cauces de quebradas lo más aconsejable es la construcción de diques o presas empleando bloques de roca de buen tamaño y densidad, filas escalonadas de gaviones, o pantallas de hormigón.

Para controlar la erosión de las márgenes (orillas) producidas por las corrientes pueden colocarse espigones o contrafuertes de los mismos materiales que a la vez que las protegen ayudan a encauzar el paso de las aguas por la zona central.

Se deben construir recubrimientos con gaviones, enrocados (colocados por volcamiento o cimentados), gallineros (palos amarrados en forma de trípodes), pilotes de madera o de acero juntos unidos transversalmente y rellenos posteriormente con material, pilotes huecos rellenos con material fragmentado, tetrapodos (construidos artificialmente con concreto y volcados en la orilla afectada), etc.

CONCLUSIONES

Los valores de los parámetros geomorfológicos obtenidos nos indican que la distribución de la escorrentía en la cuenca es irregular, y que durante fuertes precipitaciones el agua se concentraría en su parte baja.

Los valores anuales de precipitación para el 90% de la cuenca están por debajo de los 500 mm, lo que no favorece la erosión fluvial y los desbordes. Obviamente esto cambia en épocas del fenómeno de «El Niño».

Los análisis químicos de las muestras de agua procedentes de la cuenca del río Mala y su comparación con los límites máximos permisibles, permiten concluir que las aguas del río Mala y sus afluentes son aptas para fines de irrigación y para abastecimiento doméstico previa desinfección y que no presentan contaminación por actividades extractivas.

La interpretación geoambiental de los valores obtenidos en los análisis químicos realizados en agua y suelos de la cuenca del río Mala, indican que en general, no se generan impactos negativos sobre la flora y fauna de ella y que aunque no se genera contaminación ambiental natural, podría existir contaminación antrópica, originada por la utilización de fertilizantes, plaguicidas y abonos sobretodo en la cuenca baja debido al desarrollo de agricultura tecnificada en esta zona.

Los peligros geológicos de remoción en masa, inventariados según la Clasificación de Varnes son 159: 71 caídas (36 caída de rocas y 35 derrumbes), 04 deslizamientos, 39 flujos (37 huaycos y 02 flujos de lodo) y 10 movimientos complejos. Otros peligros geológicos encontrados son: arenamientos (01), erosión de laderas (20), erosión fluvial (7) e inundación (02).

Los fenómenos geodinámicos que más afectan a la cuenca del río Mala son los huaycos, las caídas de rocas y los derrumbes la mayor cantidad de peligros se dan en las zonas donde las pendientes son muy fuertes (50-70°).

El mayor número de ocurrencias de peligros geológicos, se presenta en rocas volcánicas-sedimentarias del grupo Rímac, por la presencia de rocas piroclásticas, intercaladas con limolitas y areniscas tobáceas, además de encontrarse afectada por estructuras tipo fracturas y pliegues.

La zona donde la precipitación total anual varía entre 250 y 500 mm es donde ocurre la mayor cantidad de peligros geológicos.

La sismicidad no tiene influencia en la ocurrencia de peligros geológicos, pues la mayor cantidad de ocurrencias se registran en la zona de menor intensidad sísmica.

Las obras de infraestructura que más daños ha sufrido en la cuenca del río Mala, son las carreteras.

Las localidades afectadas por riesgo muy alto en la cuenca alta del Mala, son: San Pedro de Huancayre, Sangallaya, San Joaquín, Cochas y Huampará.

La utilidad de las medidas de prevención, se manifiesta cuando se da una eficiente predicción y alarma de la ocurrencia de riesgos geológicos, apenas se tenga la certeza de que ocurrirán, de tal manera que la población amenazada este preparada para su protección.

La planificación de la ocupación y desarrollo territorial de una cuenca es una tarea multidisciplinaria, donde la participación de geólogos, es muy importante, por ser los que más dominan el conocimiento del medio físico terrestre. Entre los trabajos que pueden realizar están los de identificación, inventario y evaluación de peligros geológicos.

La metodología empleada para la zonificación del riesgo geoambiental, es aplicable a nivel regional y no es única, existen otras técnicas como el uso de matrices.

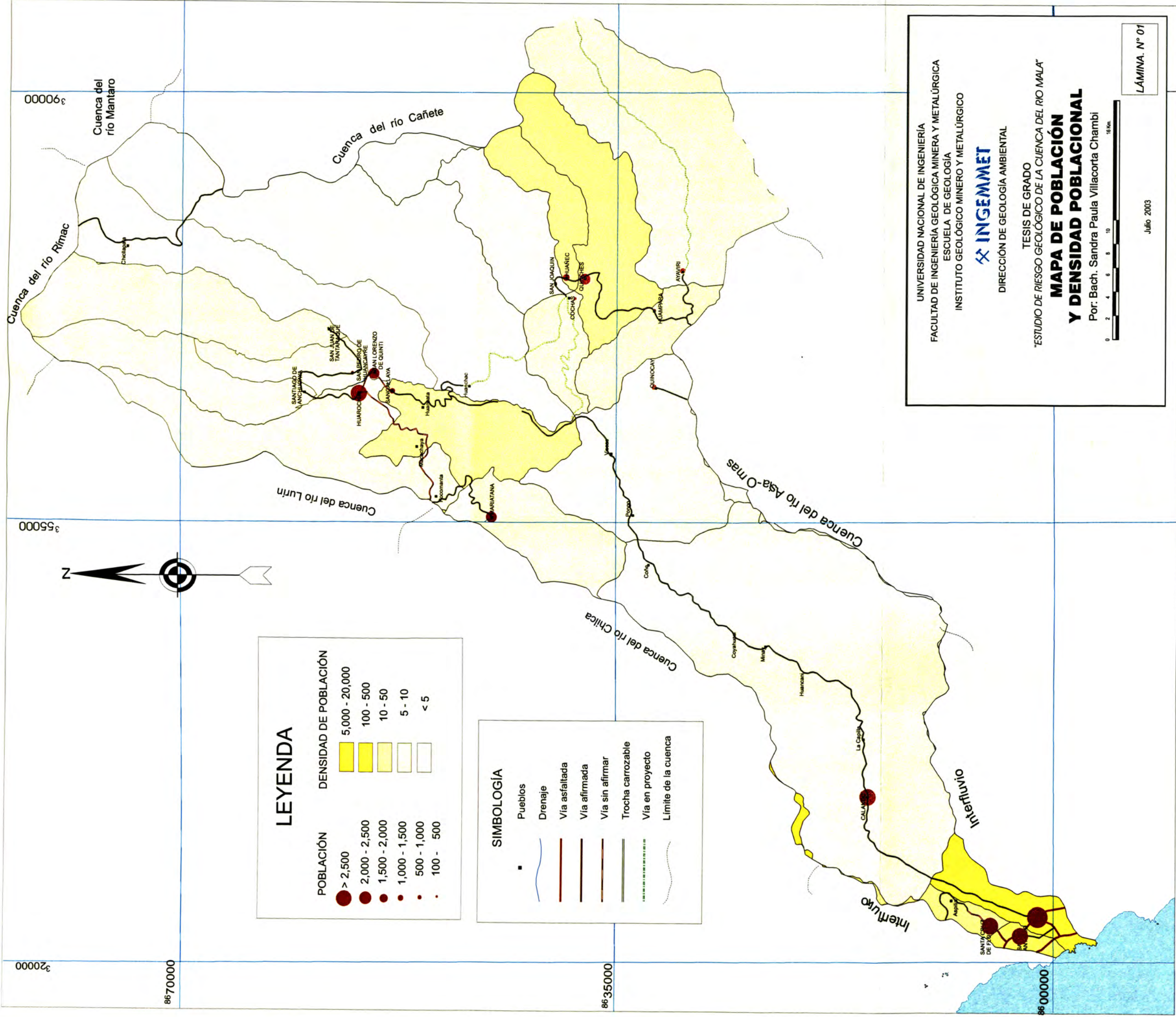
RECOMENDACIONES

- 1) Los estudios de inventario de peligros geológicos son recomendables por la predicción y prevención de su ocurrencia y adoptar medidas para evitar la ocurrencia de desastres de naturales, en el caso de áreas afectadas por deslizamientos, se recomienda realizar estudios geológico-geotécnicos locales.
- 2) Realizar trabajos de identificación, inventario y evaluación de peligros geológicos tomando en cuenta los impactos geoambientales ocasionados por la actividad antropogénica, antes de iniciar la planificación de la ocupación y desarrollo de territorios no ocupados en la cuenca del río Mala. En esta labor la participación de geólogos, es imprescindible.
- 3) Se recomienda colocar defensas ribereñas en ambas márgenes de del río Mala entre su desembocadura y el poblado de Vizcas; encauzando el río cerca de la desembocadura.
- 4) Establecer de manera urgente un plan de manejo y conservación del recurso hídrico en la cuenca alta y media del río Mala, que permita revertir la tendencia actual de escasez de agua en la época de verano. En este sentido, es esencial el análisis hidrológico a largo plazo de la cuenca.
- 5) La escasez de agua en la cuenca media del río Mala implica la realización de obras de irrigación, aplicando técnicas modernas de riego (goteo, aspersión, microgoteo, etc) para que dichas áreas puedan aprovecharse en la agricultura, lo que además de ser importante desde el punto de vista económico, ayuda a cubrir las laderas con vegetación y a la estabilización de los terrenos.
- 6) Instruir a la población rural y urbana de la cuenca, sobre las consecuencias de la ocurrencia de peligros geológicos y sus efectos adversos así como acerca de las medidas de prevención y mitigación.

BIBLIOGRAFÍA

- ASCUE, J. (1998)** «Procesos geodinámicos y zonificación de la ciudad del cusco: su impacto geoambiental en áreas de expansión urbana». Tesis de Maestría, UNMSM. Lima, Perú.
- ALFAGEME, S. (2002)** «Integración de Datos SIG y Teledetección» Madrid, España.
- ALLEN, G. (1981)** «Geomorphological Techniques». British Geomorphological Research Group. UNWIN Ltd. London.
- ARIZOLA, V (1961)** «Estudio Geológico Preliminar de la Zona Nor-Este de Mala» Tesis de Grado, UNMSM. Lima, Perú.
- BRADY N. & WEIL R. (1996)** «The nature and properties of soils». Prentice Hall-International Editions. 11 th ed. 97 pág.
- BELL,F. (1998)** «Environmental Geology, Principles and practice. Blacwett Science Ltd, London.
- BURTON, I., KATES, R . y WITHE, G.** «The Environment Hazard». New York Oxford University. PRESS, 1978.
- CERESIS (1985)** Catálogo de terremotos para América del Sur Vol. 7a,7b y 7c, Proyecto Sismicidad de la Región Andina-SISRA. Lima .
- CHRISTOFOLETTI, A. (1980).** «Geomorfología» Edit. Edgard Blucher Ltda. 2da Ed. Sao Paulo, Brasil.
- CHOW V.T. et al (1987)** «Hidrología Aplicada». McGraw Hill. México, D.F.
- FIDEL, L. Y ZAVALA, B. (1994)** Estudio Geodinámico de la Cuenca de los Ríos Camaná-Majes-Colca. Bol. N° 14, INGEMMET, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 206 pag., 33 fig., 32 fotos.
- GIANI G.P. (1992)** «Rock slope stability analysis». A.A. Balkema, 361 p.

- GUIZADO, A (1975)** «Características hidrogeológicas del valle de Mala»
Tesis de Grado UNMSM. Lima, Perú.
- HOEK E. , BRAY J.W. (1981)** «Rock slope engineering», 3er. Edic. IMM, London, 358 p.
- HUNGR, O et al. (2000)** «Una revisión de la clasificación de los fenómenos de remoción en masa» Geological Survey of Canada. Ontario, Canada.
- INGEMMET - DIRECCIÓN DE GEOTECNIA (1997)** Album de Mapas de Zonificación de Riesgos Fisiográficos y Climatológicos del Perú, Memoria Descriptiva. Bol. N° 17 Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica.
- INGEMMET- DIRECCIÓN DE GEOTECNIA (2000)** «Estudio de Riesgo Geológico del Perú. Franja N°1». Boletín N° 23. Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 252 pag.
- INRENA (1995)** «Mapa Ecológico del Perú - Guía Explicativa». Lima-Perú
- INRENA (1995)** «Estudio de reconocimiento del uso del recurso hídrico por los diferentes sectores productivos en el Perú». Dirección de recursos hídricos e irrigaciones. Lima, Perú. 311 pág.
- LLAMAS, J. (1993)** «Hidrología general: Principios y aplicaciones». Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco.
- MARINA DE GUERRA DEL PERÚ (2002)** «Tsunamis», Dirección de Hidrografía y Navegación-Departamento de Medio Ambiente. Lima, Perú.
- ONERN (1976)** «Inventario, Evaluación y Uso Racional de los Recursos Naturales de la Costa Cuencas Omas, Mala y Chilca» 2 tomos, 12 mapas.
- PEREZ, C & MUÑOZ, A. (2002)** «Teledetección Nociones y Aplicaciones» 1ª ed. España.
- SALAZAR, H. & LANDA, C. (1993)** «Geología de los Cuadrángulos de Mala, Lunahuaná, Tupe, Conaica, Chíncha, Tantarà y Castrovirreyna». INGEMMET, Boletín N° 44, Serie A: Carta Geológica Nacional, 97 pag, 1 perfil, 7 mapas.
- SALAZAR, H. (1983)** «Geología de los Cuadrángulos de Matucana y Huarochiri». INGEMMET, Boletín N° 36, Serie A: Carta Geológica Nacional, 68 pag, 4 fig., 8 fotos, 2 mapas.
- SILGADO, E (1978)** «Historia de los sismos mas notables ocurridos en el Perú (1513,1979)» INGEMMET, Boletín N° 03, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 131 pag, 10 fig, 1 tab, 16 fotos, 4 mapas. Lima, Perú.



LEYENDA

POBLACIÓN	DENSIDAD DE POBLACIÓN
● > 2,500	5,000 - 20,000
● 2,000 - 2,500	100 - 500
● 1,500 - 2,000	10 - 50
● 1,000 - 1,500	5 - 10
● 500 - 1,000	< 5
● 100 - 500	

SIMBOLOGÍA

■	Pueblos
—	Drenaje
—	Vía asfaltada
—	Vía afirmada
—	Vía sin afirmar
—	Trocha carrozable
—	Vía en proyecto
—	Límite de la cuenca



Cuenca del río Rímac

Cuenca del río Mantaro

Cuenca del río Cañete

Cuenca del río Lurín

Cuenca del río Chica

Cuenca del río Asa-Omas

Interrupción

Interrupción

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA MINERA Y METALÚRGICA
 ESCUELA DE GEOLOGÍA
 INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO

INGEMMET
 DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL

TESIS DE GRADO
 "ESTUDIO DE RIESGO GEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO MALA"

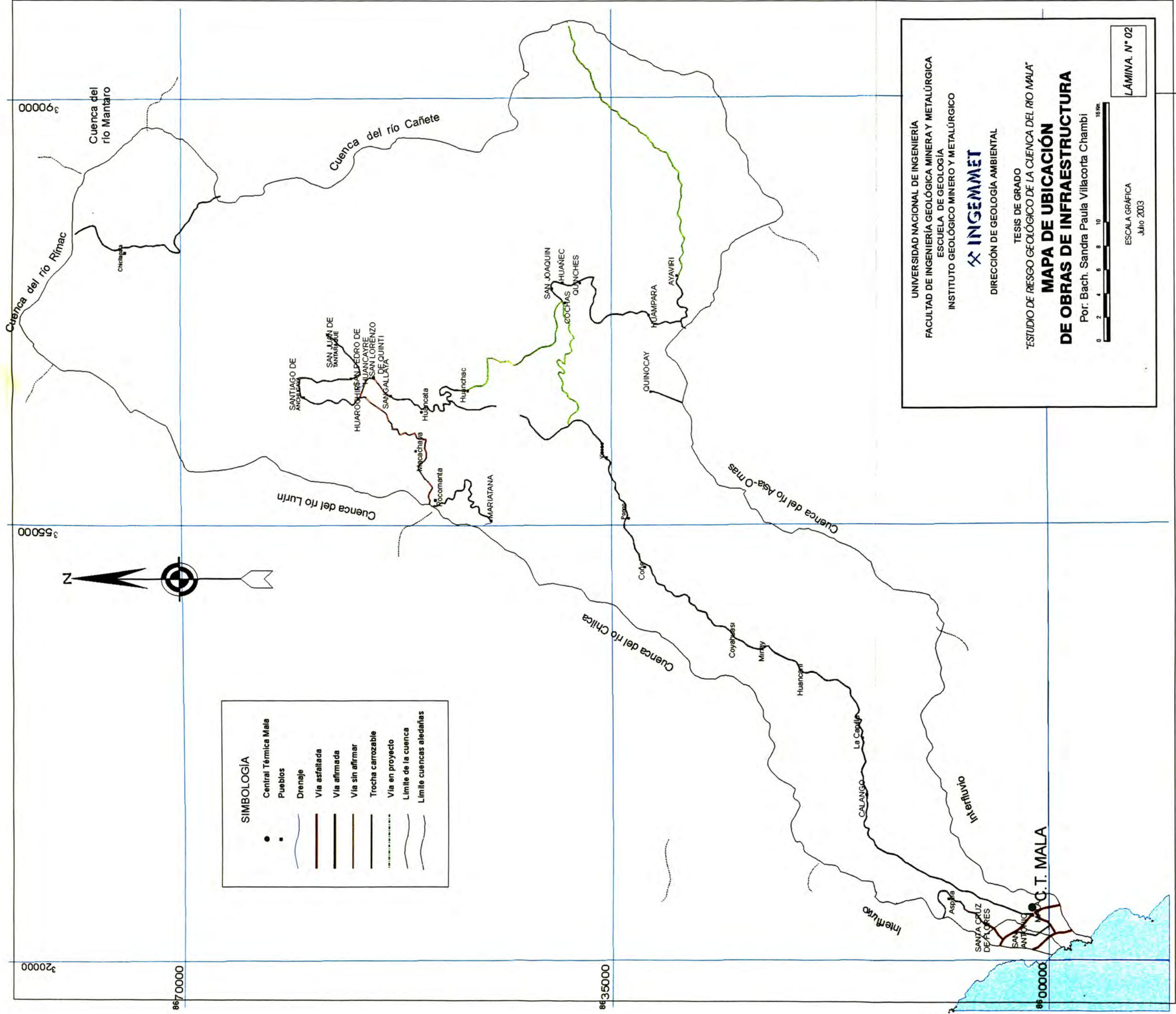
MAPA DE POBLACIÓN Y DENSIDAD POBLACIONAL

Por: Bach. Sandra Paula Villacorta Chambi

0 2 4 6 8 10 16 km

Julio 2003

LÁMINA. N° 01



SIMBOLOGIA

●	Central Térmica Mala
■	Pueblos
—	Drenaje
—	Via asfaltada
—	Via afirmada
—	Via sin afirmar
—	Trocha carrozable
—	Via en proyecto
—	Límite de la cuenca
—	Límite cuencas aledañas

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA MINERA Y METALÚRGICA
 ESCUELA DE GEOLOGÍA
 INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO

INGEMMET
 DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL

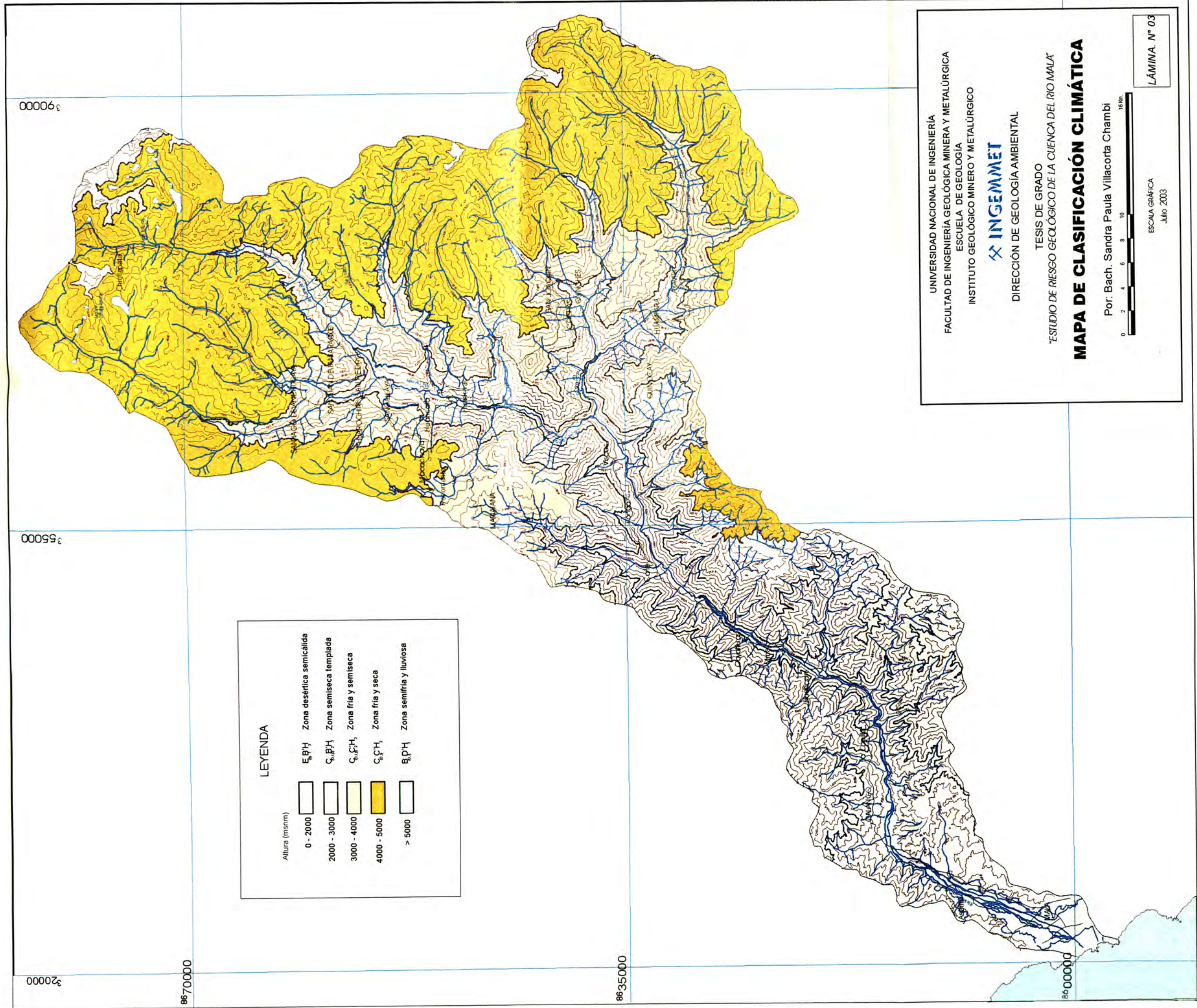
TESIS DE GRADO
 "ESTUDIO DE RIESGO GEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RIO MALA"

**MAPA DE UBICACIÓN
 DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA**

Por: Bach. Sandra Paula Villacorta Chambi

ESCALA GRÁFICA
 Julio 2003

LÁMINA. N° 02



00006

05500

02000

8670000

8635000

8600000

LEYENDA

Altura (msnm)			
0 - 2000		E _h B _h H _h	Zona desértica semicálida
2000 - 3000		C _h B _h H _h	Zona semiseca templada
3000 - 4000		C _h C _h H _h	Zona fría y semiseca
4000 - 5000		C _h C _h H _h	Zona fría y seca
> 5000		B _h D _h H _h	Zona semifría y lluviosa

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA MINERA Y METALÚRGICA
 ESCUELA DE GEOLOGÍA
 INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO

INGEMMET

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL

TESIS DE GRADO
 "ESTUDIO DE RIESGO GEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RIO MALA"

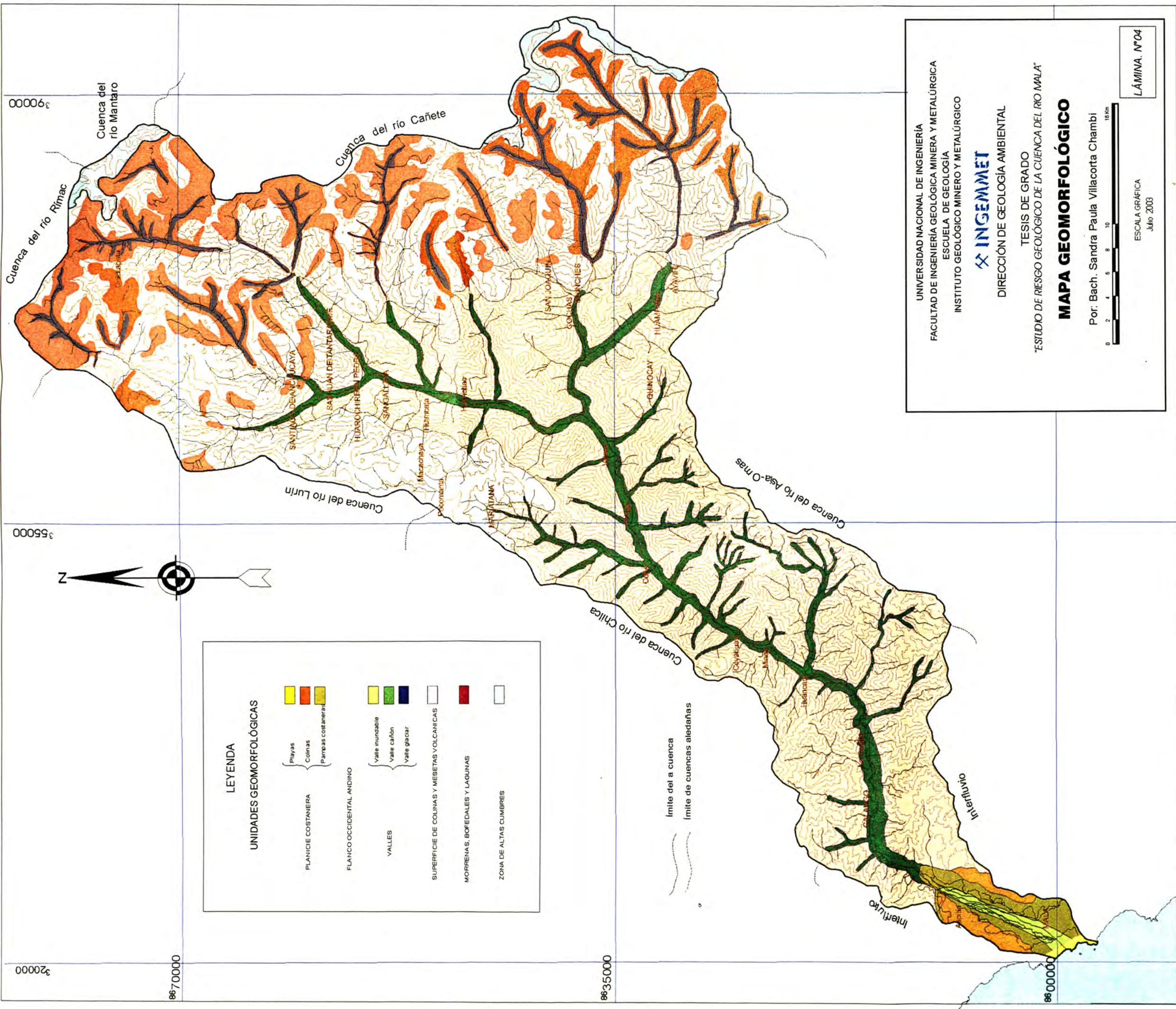
MAPA DE CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA

Por: Bach. Sandra Paula Villacorta Chambi

0 2 4 6 8 10 15 km

ESCALA GRÁFICA
 Julio 2003

LÁMINA. N° 03



LEYENDA

UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

PLANICIE COSTANERA		Playas
		Colinas
		Panqueas costaneras
FLANCO OCCIDENTAL ANDINO		Valle inundable
		Valle cañon
		Valle glaciar
SUPERFICIE DE COLINAS Y MESETAS VOLCÁNICAS		
MORRENAS, BOFEDELES Y LAGUNAS		
ZONA DE ALTAS CUMBRES		

~~~~~  
 Imite del a cuenca  
 Imite de cuencas aledañas

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA MINERA Y METALÚRGICA  
 ESCUELA DE GEOLOGÍA  
 INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO

**INGEMMET**

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL

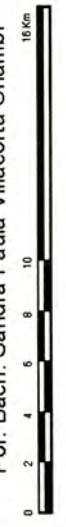
TESIS DE GRADO  
 "ESTUDIO DE RIESGO GEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RIO MALA"

**MAPA GEOMORFOLÓGICO**

Por: Bach. Sandra Paula Villacorta Chambi

ESCALA GRÁFICA  
 Julio 2003

LÁMINA. Nº04











320000

8670000

350000



390000

**LEYENDA**

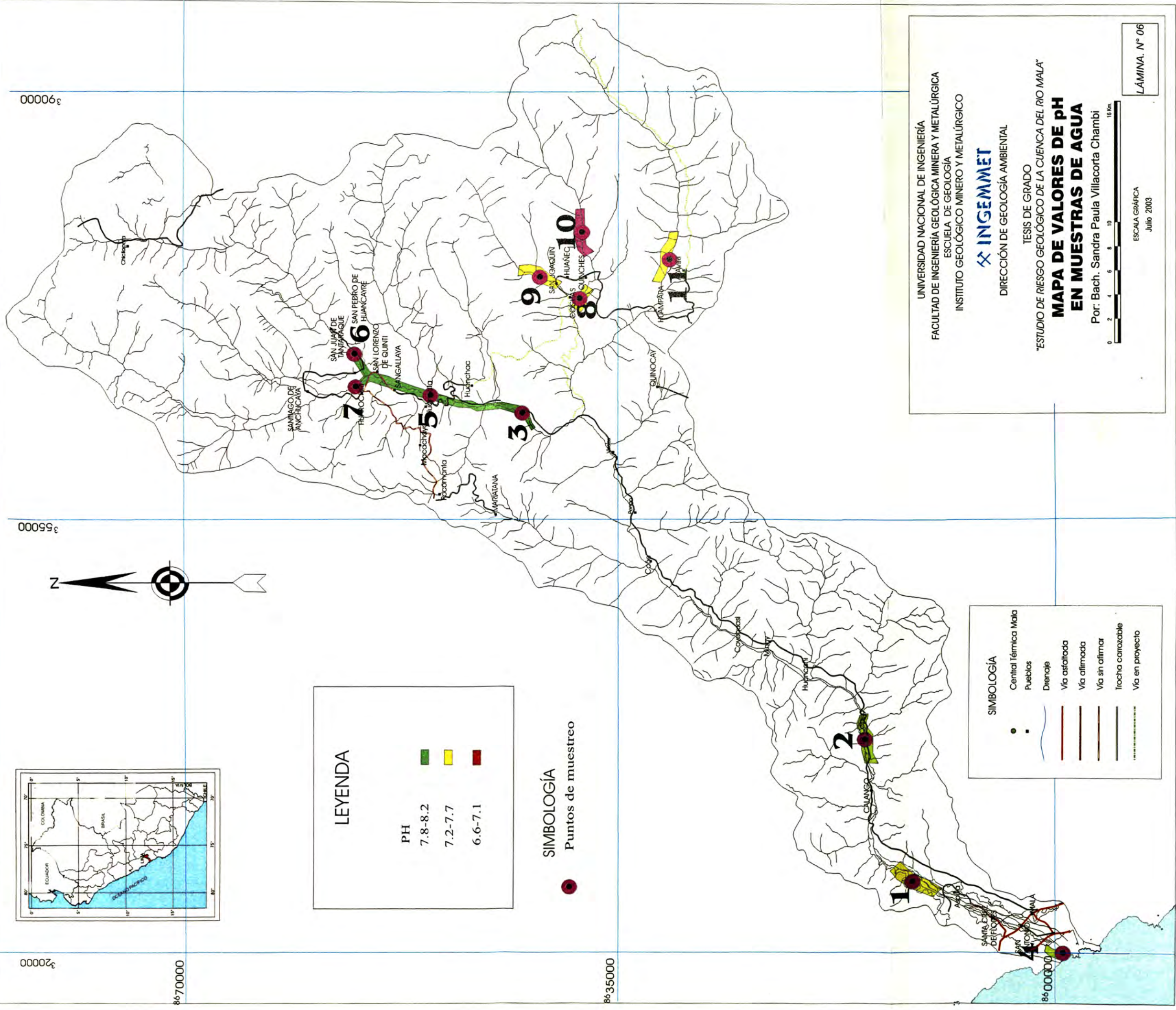
| PH      | Color  |
|---------|--------|
| 7.8-8.2 | Green  |
| 7.2-7.7 | Yellow |
| 6.6-7.1 | Red    |

**SIMBOLOGÍA**

● Puntos de muestreo

**SIMBOLOGÍA**

|   |                      |
|---|----------------------|
| ● | Central Térmica Mala |
| ■ | Pueblos              |
| — | Drenaje              |
| — | Vía asfaltada        |
| — | Vía afirmada         |
| — | Vía sin afirmar      |
| — | Trocha carozable     |
| — | Vía en proyecto      |



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA MINERA Y METALÚRGICA  
 ESCUELA DE GEOLOGÍA  
 INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO



DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL

TESIS DE GRADO

"ESTUDIO DE RIESGO GEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RIO MALA"

**MAPA DE VALORES DE PH  
 EN MUESTRAS DE AGUA**

Por: Bach. Sandra Paula Villacorta Chambi



ESCALA GRÁFICA  
 Julio 2003

LÁMINA. N° 06







8670000

8655000

8600000



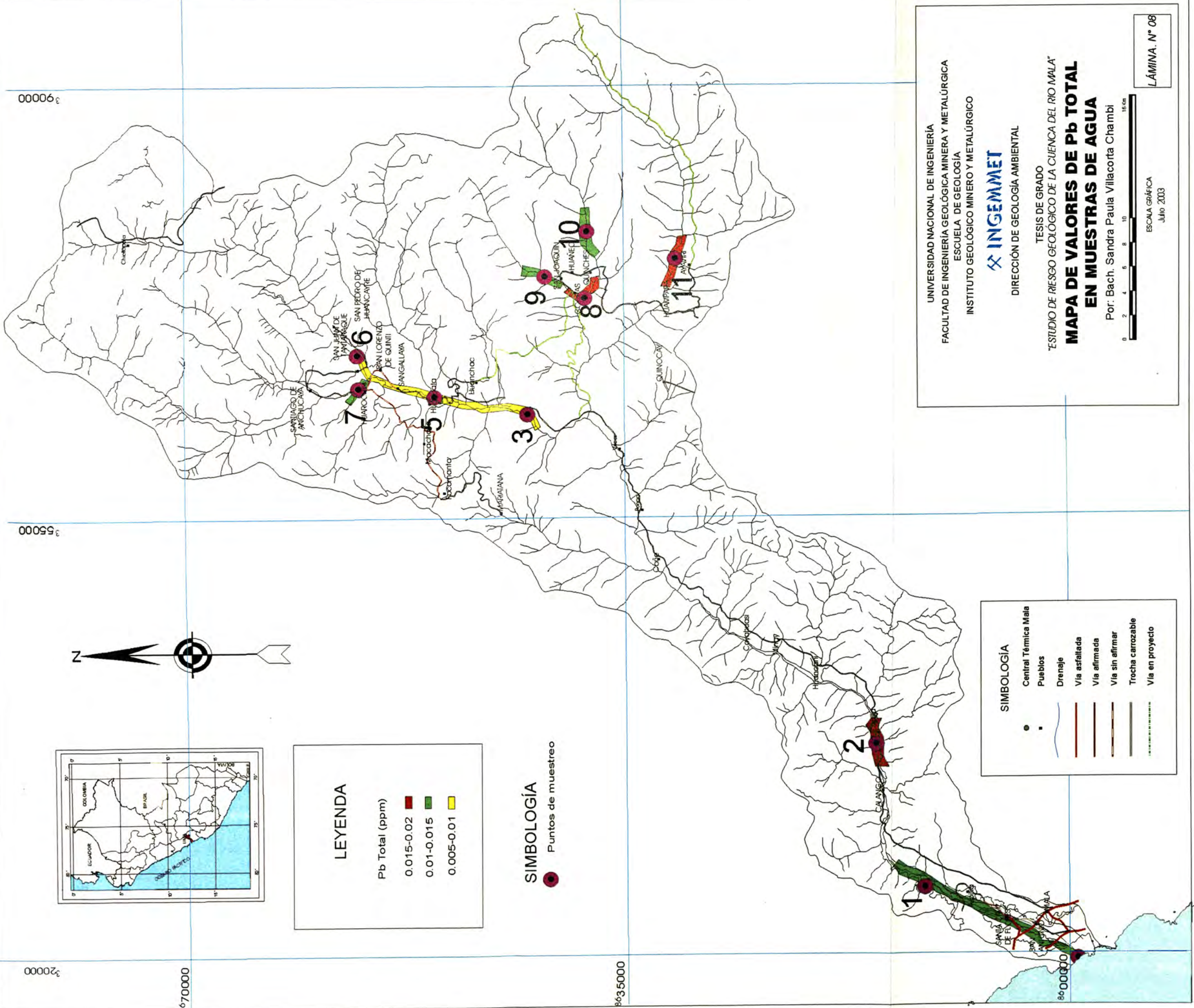
**LEYENDA**

| Pb Total (ppm) | Color  |
|----------------|--------|
| 0.015-0.02     | Red    |
| 0.01-0.015     | Green  |
| 0.005-0.01     | Yellow |

**SIMBOLOGÍA**  
 Puntos de muestreo

**SIMBOLOGÍA**

|  |                      |
|--|----------------------|
|  | Central Térmica Mala |
|  | Pueblos              |
|  | Drenaje              |
|  | Vía asfaltada        |
|  | Vía afirmada         |
|  | Vía sin afirmar      |
|  | Trocha carrozable    |
|  | Vía en proyecto      |



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA MINERA Y METALÚRGICA  
 ESCUELA DE GEOLOGÍA  
 INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALÚRGICO

**INGEMMET**  
 DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL

TESIS DE GRADO  
 "ESTUDIO DE RIESGO GEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RIO MALA"

**MAPA DE VALORES DE Pb TOTAL  
 EN MUESTRAS DE AGUA**

Por: Bach. Sandra Paula Villacorta Chambi

ESCALA GRÁFICA  
 Julio 2003

LÁMINA. N° 08



320000

350000

000060



**LEYENDA**

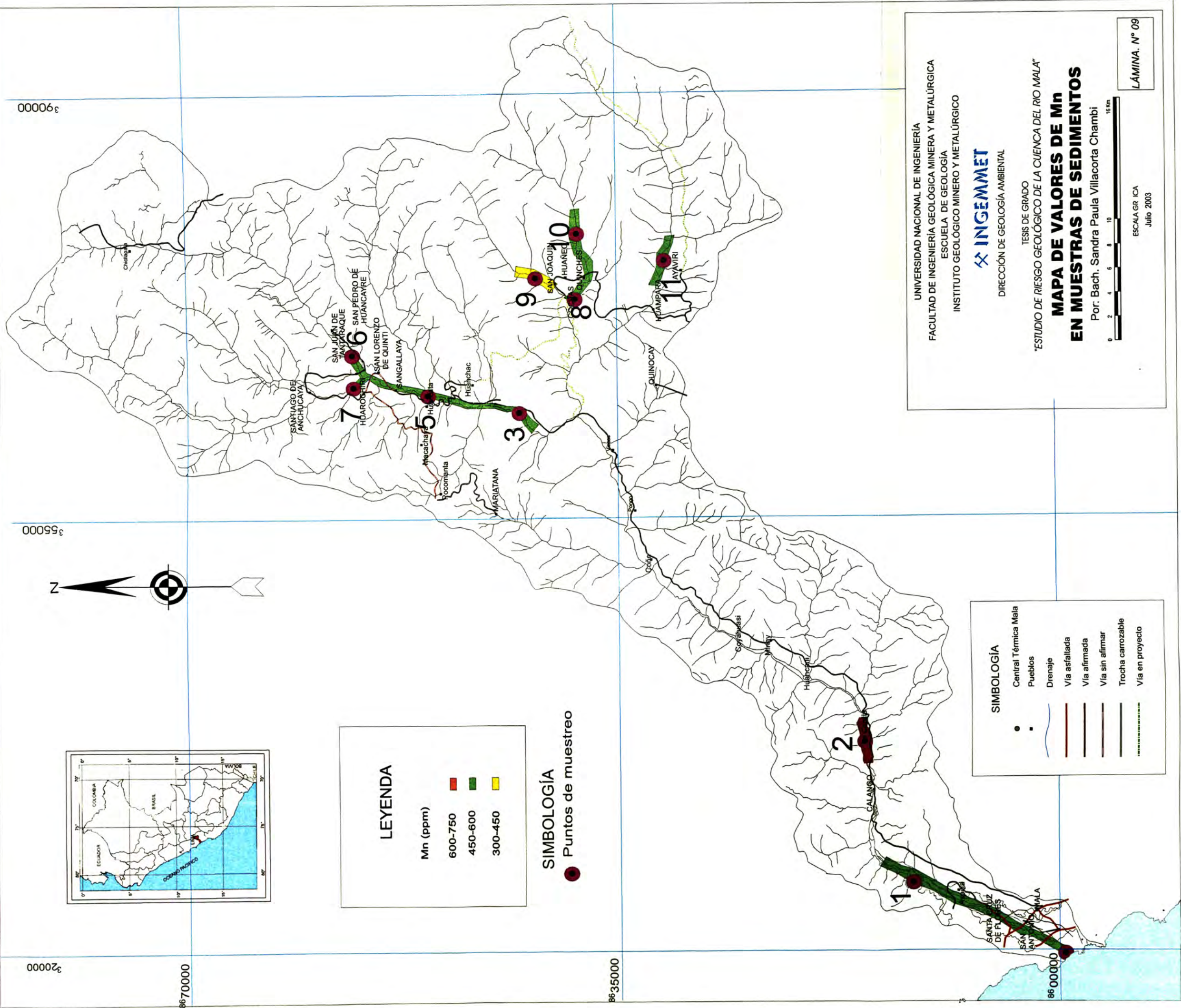
| Mn (ppm) | Color  |
|----------|--------|
| 600-750  | Red    |
| 450-600  | Green  |
| 300-450  | Yellow |

**SIMBOLOGÍA**

● Puntos de muestreo

**SIMBOLOGÍA**

- Central Térmica Mala
- Pueblos
- Drenaje
- Vía asfaltada
- Vía afirmada
- Vía sin afirmar
- Trocha carrozable
- Vía en proyecto



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA Y METALURGICA  
 ESCUELA DE GEOLOGIA  
 INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO



DIRECCION DE GEOLOGIA AMBIENTAL

TESIS DE GRADO

"ESTUDIO DE RIESGO GEOLOGICO DE LA CUENCA DEL RIO MALA"

**MAPA DE VALORES DE Mn EN MUESTRAS DE SEDIMENTOS**

Por: Bach. Sandra Paula Villacorta Chambi



ESCALA GR ICA  
 Julio 2003

LÁMINA. Nº 09



320000

355000

390000

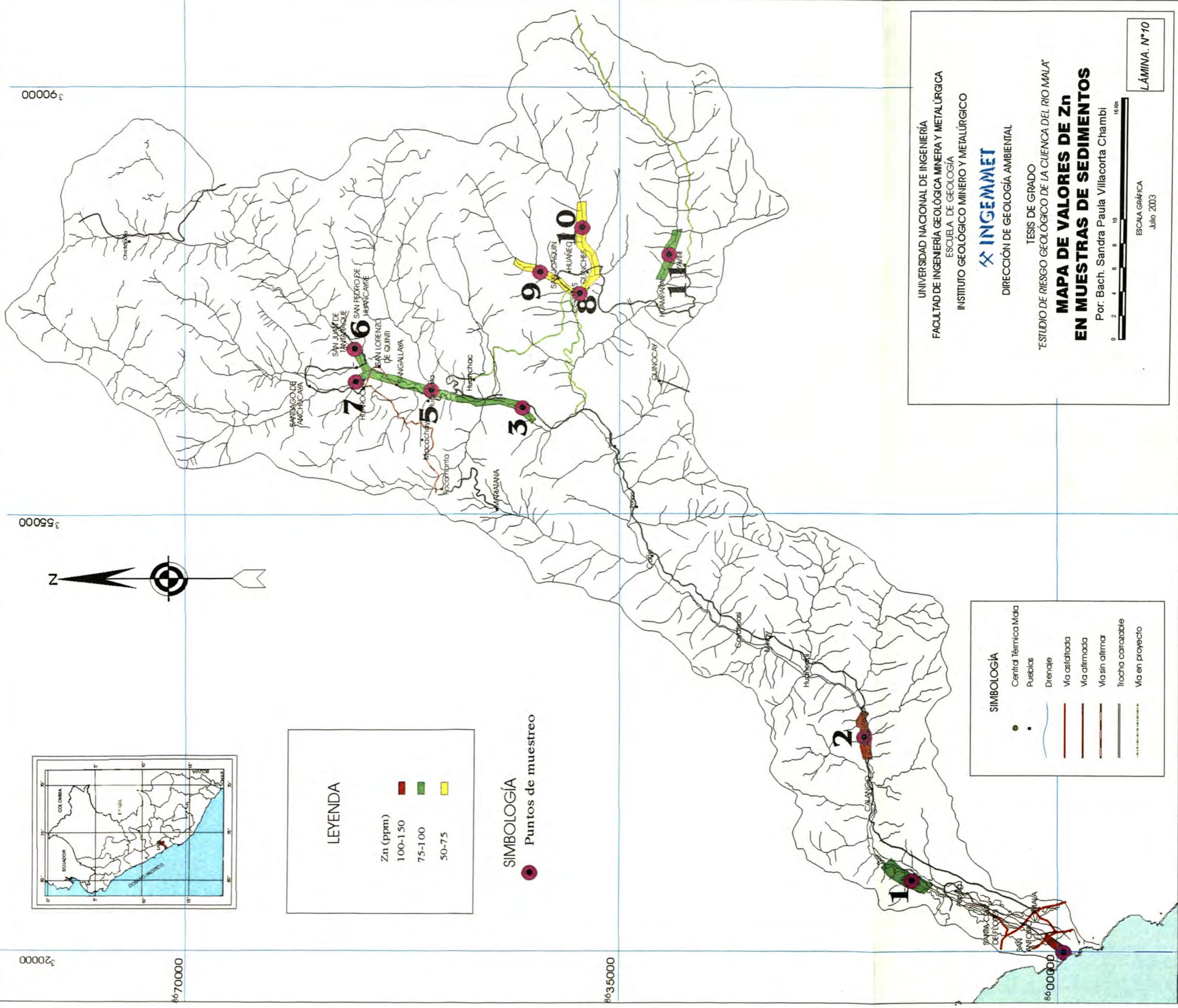


**LEYENDA**

|          |                                       |
|----------|---------------------------------------|
| Zn (ppm) |                                       |
| 100-150  | <span style="color: red;">■</span>    |
| 75-100   | <span style="color: green;">■</span>  |
| 50-75    | <span style="color: yellow;">■</span> |

**SIMBOLOGÍA**

● Puntos de muestreo



**SIMBOLOGÍA**

|                                      |                      |
|--------------------------------------|----------------------|
| <span style="color: green;">●</span> | Central Térmica Mata |
| <span style="color: black;">●</span> | Pueblos              |
|                                      | Drenaje              |
|                                      | Via asfaltada        |
|                                      | Via afirmada         |
|                                      | Via sin afirmar      |
|                                      | Troncha carrozable   |
|                                      | Via en proyecto      |

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA MINERA Y METALÚRGICA  
 ESCUELA DE GEOLOGÍA  
 INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO

**INGEMMET**  
 DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL

TESIS DE GRADO  
 "ESTUDIO DE RIESGO GEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RIO MALA"

**MAPA DE VALORES DE Zn  
 EN MUESTRAS DE SEDIMENTOS**

Por: Bach. Sandra Paula Villacorta Chambi

0 2 4 6 8 10 16 km

ESCALA GRÁFICA  
 Julio 2003

LÁMINA. N°10

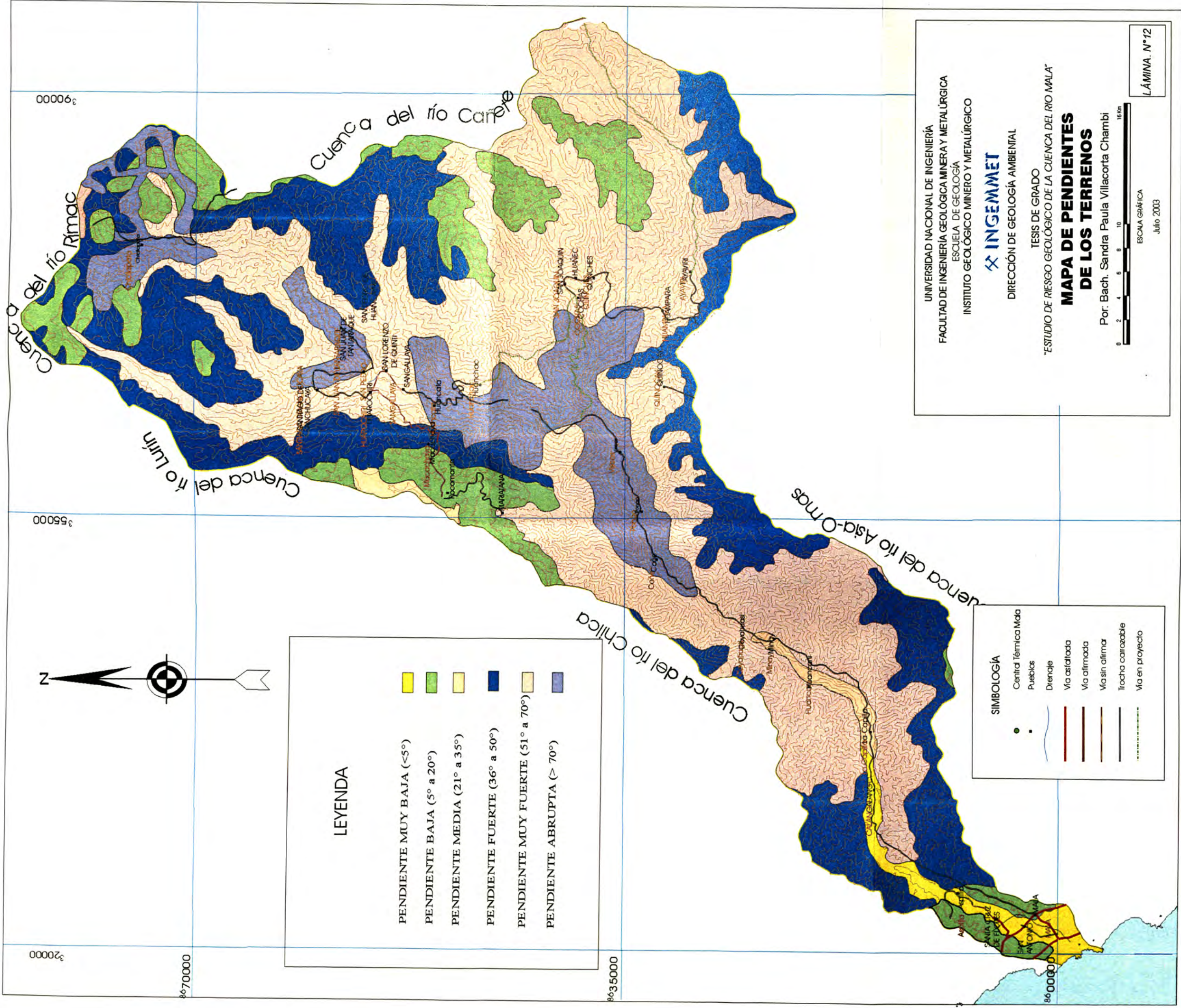
8670000

8635000









**LEYENDA**

|  |                                                  |
|--|--------------------------------------------------|
|  | PENDIENTE MUY BAJA ( $\leq 5^\circ$ )            |
|  | PENDIENTE BAJA ( $5^\circ$ a $20^\circ$ )        |
|  | PENDIENTE MEDIA ( $21^\circ$ a $35^\circ$ )      |
|  | PENDIENTE FUERTE ( $36^\circ$ a $50^\circ$ )     |
|  | PENDIENTE MUY FUERTE ( $51^\circ$ a $70^\circ$ ) |
|  | PENDIENTE ABRUPTA ( $> 70^\circ$ )               |

**SIMBOLOGÍA**

|  |                      |
|--|----------------------|
|  | Central Térmica Mala |
|  | Pueblos              |
|  | Drenaje              |
|  | Vía asfaltada        |
|  | Vía afirmada         |
|  | Vía sin afirmar      |
|  | Trocha carrozable    |
|  | Vía en proyecto      |

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA MINERA Y METALÚRGICA  
 ESCUELA DE GEOLOGÍA  
 INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO

**INGEMMET**

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL

TESIS DE GRADO  
 "ESTUDIO DE RIESGO GEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RIO MALA"

**MAPA DE PENDIENTES  
 DE LOS TERRENOS**

Por: Bach. Sandra Paula Villacorta Chambi

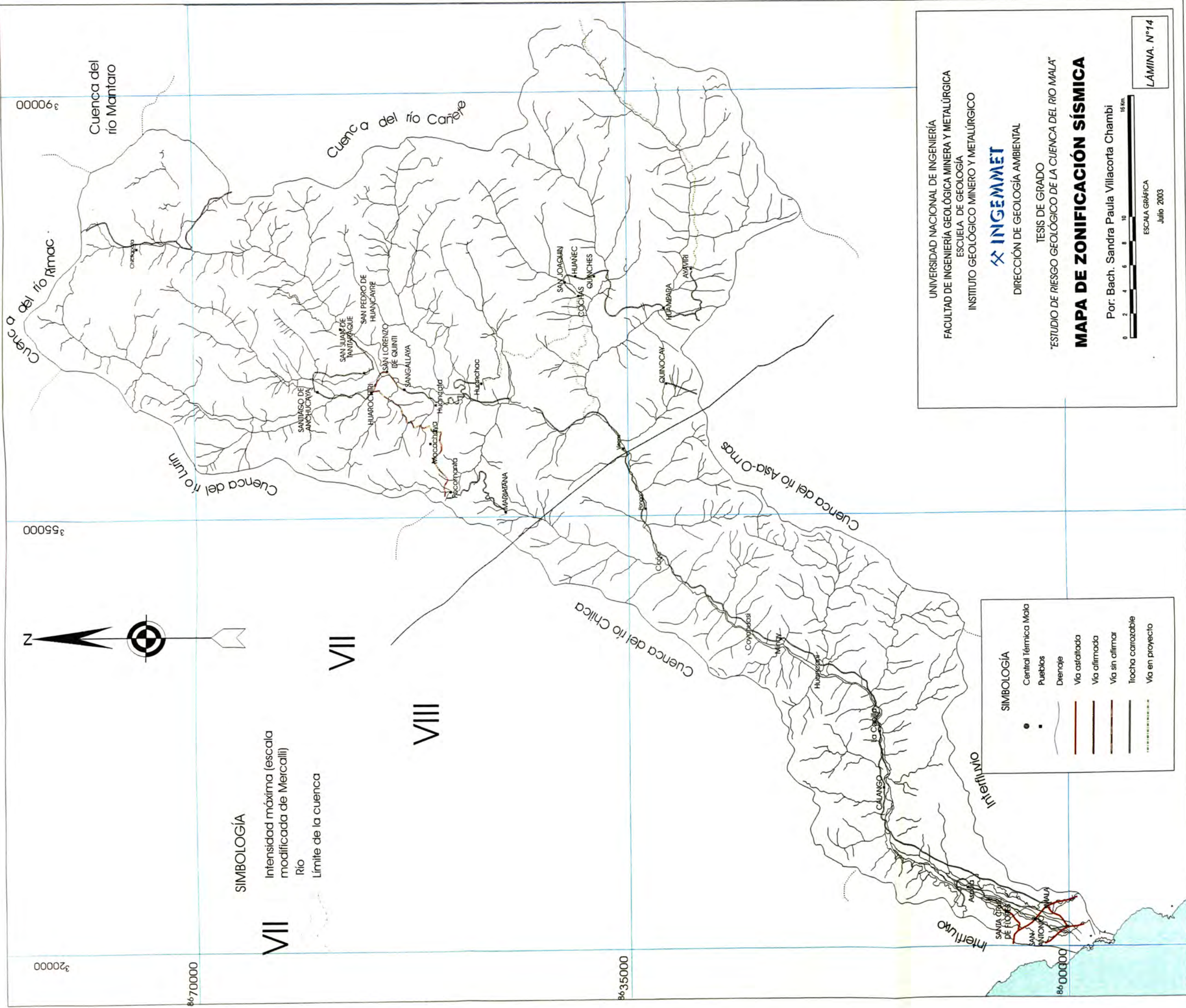
ESCALA GRÁFICA  
 Julio 2003

LÁMINA. N°12









**SIMBOLOGÍA**

- VII Intensidad máxima (escala modificada de Mercalli)
- VIII Río
- VIII Límite de la cuenca

- SIMBOLOGÍA**
- Central Térmica Mala
  - Pueblos
  - Drenaje
  - Vía asfaltada
  - Vía afirmada
  - Vía sin afirmar
  - Trocha carrozable
  - Vía en proyecto

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA MINERA Y METALÚRGICA  
 ESCUELA DE GEOLOGÍA  
 INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO

**INGEMMET**

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL

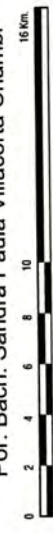
TESIS DE GRADO  
 "ESTUDIO DE RIESGO GEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RIO MALA"

**MAPA DE ZONIFICACIÓN SÍSMICA**

Por: Bach. Sandra Paula Villacorta Chambi

ESCALA GRÁFICA  
 Julio 2003

LÁMINA. N°14





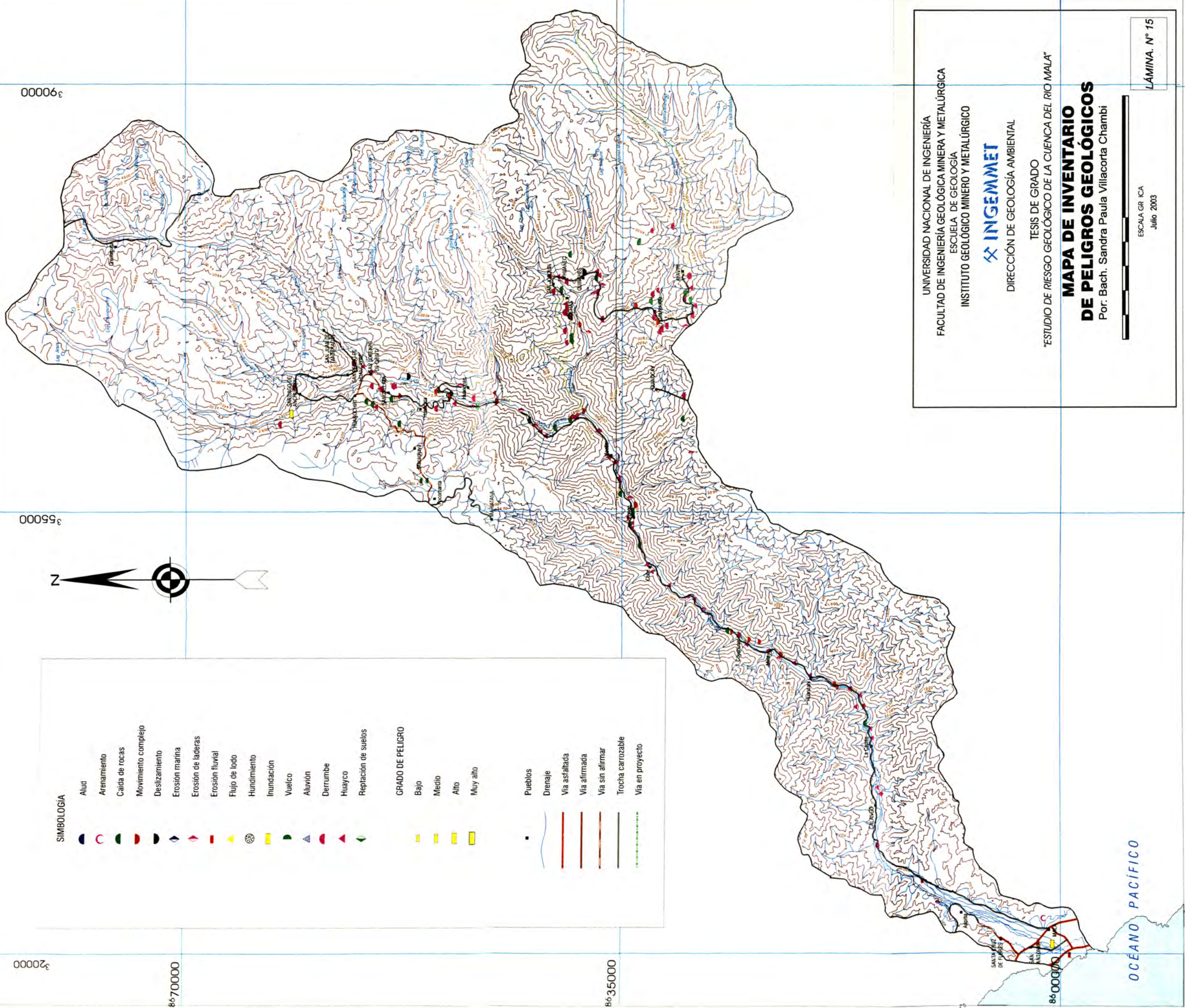
8670000

00099c

00006c

SIMBOLOGÍA

- Alud
  - Arenamiento
  - Caida de rocas
  - Movimiento complejo
  - Deslizamiento
  - Erosión marina
  - Erosión de laderas
  - Erosión fluvial
  - Flujo de lodo
  - Hundimiento
  - Inundación
  - Vuelco
  - Aluvión
  - Derrumbe
  - Huayco
  - Reptación de suelos
- 
- GRADO DE PELIGRO
  - Bajo
  - Medio
  - Alto
  - Muy alto
- 
- Pueblos
  - Drenaje
  - Vía asfaltada
  - Vía afirmada
  - Vía sin afirmar
  - Trocha carrozable
  - Vía en proyecto



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA MINERA Y METALÚRGICA  
 ESCUELA DE GEOLOGÍA  
 INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO



DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL

TESIS DE GRADO  
 "ESTUDIO DE RIESGO GEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RIO MALA"

**MAPA DE INVENTARIO  
 DE PELIGROS GEOLÓGICOS**

Por: Bach. Sandra Paula Villacorta Chambi

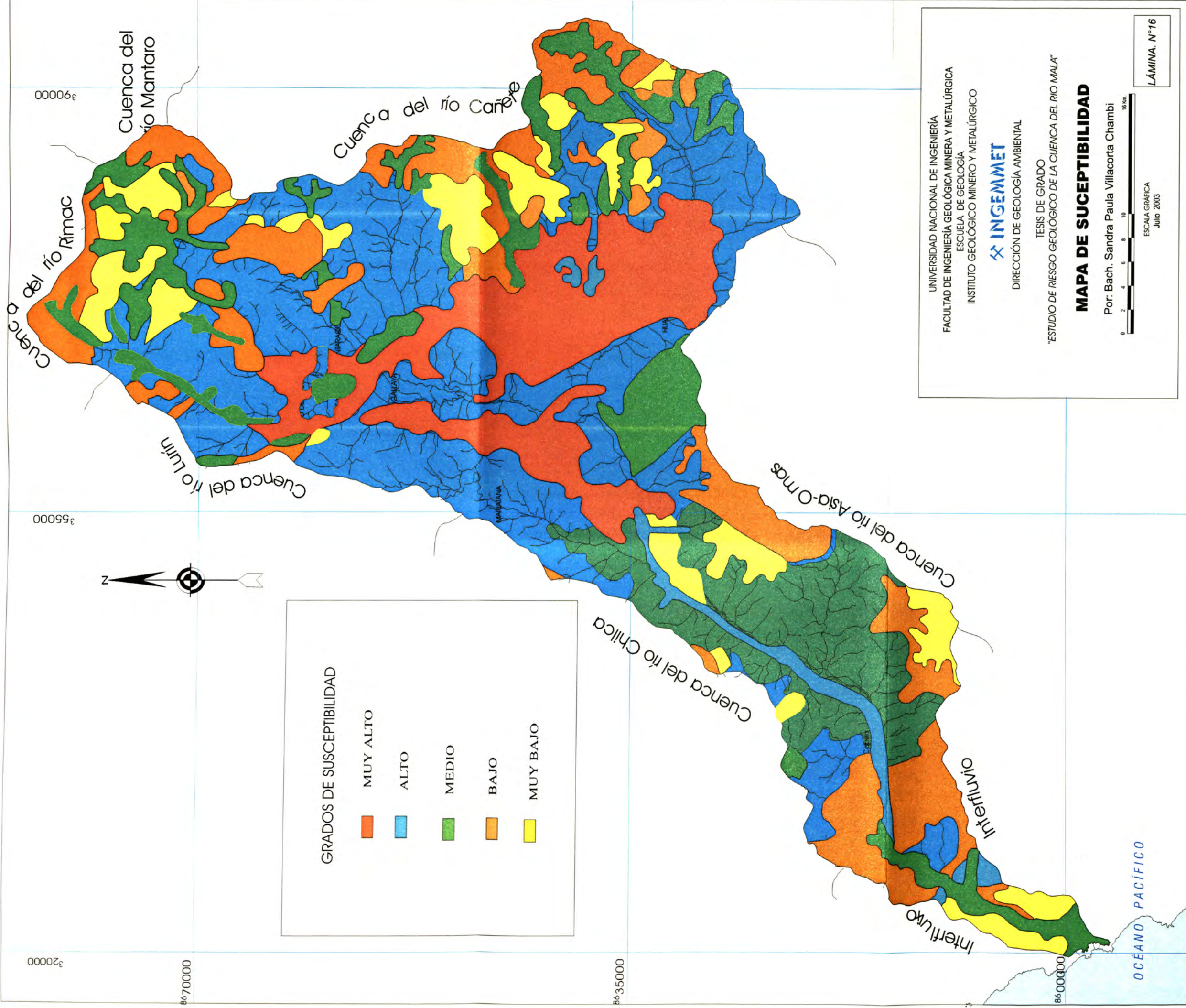


ESCALA GR ICA  
 Julio 2003

OCÉANO PACÍFICO

LÁMINA. N° 15





GRADOS DE SUSCEPTIBILIDAD

|          |        |         |          |          |
|----------|--------|---------|----------|----------|
| MUY ALTO | ALTO   | MEDIO   | BAJO     | MUY BAJO |
| [Red]    | [Blue] | [Green] | [Orange] | [Yellow] |

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA MINERA Y METALÚRGICA  
 ESCUELA DE GEOLOGÍA  
 INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO

**INGEMMET**  
 DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL

TESIS DE GRADO  
 "ESTUDIO DE RIESGO GEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO MALA"

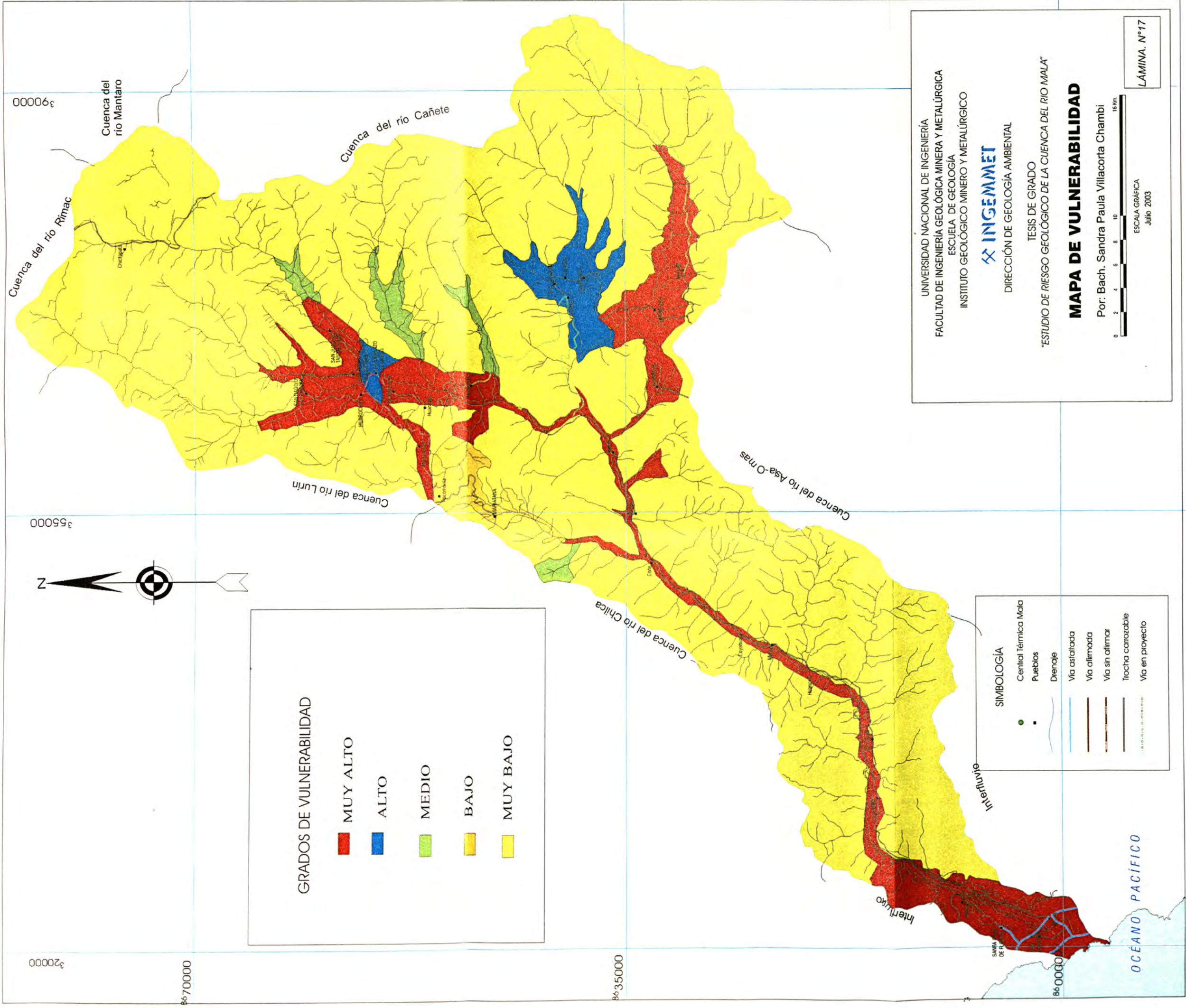
**MAPA DE SUCCEPTIBILIDAD**

Por: Bach. Sandra Paula Villacorta Chambi

ESCALA GRÁFICA  
 Julio 2003

LÁMINA. N°16





**GRADOS DE VULNERABILIDAD**

- MUY ALTO
- ALTO
- MEDIO
- BAJO
- MUY BAJO

**SIMBOLOGÍA**

- Central Térmica Mala
- Pueblos
- Drenaje
- Vía asfaltada
- Vía afirmada
- Vía sin afirmar
- Trocha carrozable
- Vía en proyecto

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA MINERA Y METALÚRGICA  
 ESCUELA DE GEOLOGÍA  
 INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALÚRGICO

**INGEMMET**

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL

TESIS DE GRADO  
 "ESTUDIO DE RIESGO GEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RIO MALA"

**MAPA DE VULNERABILIDAD**

Por: Bach. Sandra Paula Villacorta Chambi

ESCALA GRÁFICA  
 Julio 2003

LÁMINA. N°17



000063 Cuenca del río Mantaro

Cuenca del río Rímac

Cuenca del río Cañete

Cuenca del río Lurín

Cuenca del río Asa-Omas

Cuenca del río Chilca

Interluzo

Interluzo

OCEANO PACÍFICO

320000 8670000 8635000 860000

000063 355000



Cuenca del río Rímac  
Cuenca del río Mantaro

Cuenca del río Cañete

Cuenca del río Lurín

Cuenca del río Asa-Omas

Cuenca del río Chica

Interoceánico

Interoceánico

SANTA LIZ DE EL OREO

SAN ANTONIO

00006E

355000

320000

86°70000

86°35000

86°00000



**GRADOS DE RIESGO GEOLÓGICO**

|                                            |          |
|--------------------------------------------|----------|
| <span style="color: red;">■</span>         | MUY ALTO |
| <span style="color: blue;">■</span>        | ALTO     |
| <span style="color: green;">■</span>       | MEDIO    |
| <span style="color: yellow;">■</span>      | BAJO     |
| <span style="color: lightyellow;">■</span> | MUY BAJO |

— Límite de la cuenca  
— Límite cuencas aledañas

**SIMBOLOGÍA**

- Central Térmica Mala
- Pueblos
- Drenaje
- Vía asfaltada
- Vía afirmada
- Vía sin afirmar
- Trocha carrozable
- Vía en proyecto

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA MINERA Y METALÚRGICA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA  
INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO

**INGEMMET**  
DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL

TESIS DE GRADO  
"ESTUDIO DE RIESGO GEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO MALA"

**MAPA DE RIESGO GEOLÓGICO**  
Por: Bach. Sandra Paula Villacorta Chambi

0 2 4 6 8 10 16 Km  
ESCALA GRÁFICA  
Julio 2003

LÁMINA. N°18