

REPUBLICA DEL PERU
SECTOR ENERGIA Y MINAS
INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALURGICO

INFORME TÉCNICO
Geología Ambiental y Riesgo Geológico

PELIGRO GEOLÓGICO POR CAÍDA DE ROCAS EN EL CENTRO POBLADO RURAL EL GUAYABO

(DISTRITO PACHACAMAC, PROVINCIA Y REGION LIMA)

POR:
BILBERTO ZAVALA C.

LIMA – PERU
ABRIL 2008

**PELIGRO GEOLÓGICO POR CAÍDA DE ROCAS EN EL CENTRO POBLADO
RURAL EL GUAYABO**

(DISTRITO PACHACAMAC, PROVINCIA Y REGION LIMA)

INDICE

1.0	INTRODUCCION.....	2
1.1	UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD.....	2
1.2	USO DE SUELO Y COBERTURA VEGETAL.....	2
1.4	ASPECTOS HIDROMETEOROLOGICOS.....	4
1.4.1	<i>PRECIPITACION MEDIA ANUAL Y TEMPERATURA.....</i>	<i>4</i>
1.4.2	<i>HIDROGRAFIA.....</i>	<i>4</i>
2.0	ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS Y LITOLÓGICOS	4
2.1	GEOMORFOLOGIA Y PENDIENTE.....	4
2.2	SUBSTRATO ROCOSO.....	4
2.3	DEPÓSITOS SUPERFICIALES.....	8
3.0	SUSCEPTIBILIDAD Y PELIGROSIDAD EN LOS CERROS ALEDAÑOS A EL GUAYABO.....	10
3.1	PELIGROS POR CAÍDA DE ROCAS.....	10
3.3	FACTOR DETONANTE: SÍSMICIDAD.....	17
3.4	PELIGROSIDAD.....	17
4.0	VULNERABILIDAD Y RIESGO.....	17
5.0	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	18
	BIBLIOGRAFÍA.....	21

PELIGRO GEOLÓGICO POR CAÍDA DE ROCAS EN EL CENTRO POBLADO RURAL EL GUAYABO

1.0 INTRODUCCION

La Dirección Nacional de Prevención del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), a raíz de un pedido de la Secretaría Técnica del Comité de Defensa Civil de Pachacamac, solicitó al Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), designar a un especialista para participar en la evaluación de campo, que determine la situación de riesgo geológico suscitado en el Centro Poblado Rural (CPR) El Guayabo, ubicado en el distrito de Pachacamac, Lima. Luego de las respectivas coordinaciones efectuadas la Dirección de Geología Ambiental del INGGEMMET, envió un especialista en Riesgo Geológico, al área en mención.

El trabajo de campo se efectuó el día 08 de Abril, y consistió en el reconocimiento geológico y geomorfológico del área. En dicha evaluación se contó con la participación de los Ing. Bilberto Zavala C. de INGGEMMET, Juber Ruiz P. de INDECI, así como de la Ing. Clara Luz de Ocampo de la municipalidad distrital de Pachacamac .

Este informe, se basa en la inspección efectuada, los datos obtenidos en las observaciones de campo y la información disponible de trabajos realizados en el área de estudio. Incluye un texto, ilustraciones y fotografías del área, así como conclusiones y recomendaciones.

1.1 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

El área se ubica al sureste de la ciudad de Lima, y específicamente en el sector de correspondiente al CPR El Guayabo, jurisdicción del distrito de Pachacamac, provincia y región Lima

El CPR evaluado se ubica en las coordenadas UTM siguientes (datum PSAC56): 2651150 Norte, y 296400 Este, a una altitud de 120 msnm.

El acceso desde Lima es siguiendo la antigua carretera Panamericana Sur, y luego ingresar por la Av. Paul Poblet en dirección hacia Pachacamac, siguiendo hasta el Km 15+100, donde se desvía hacia el noroeste llegando hasta el Guayabo.

1.2 USO DE SUELO Y COBERTURA VEGETAL

En el área las laderas con afloramientos rocosos y en parte con cobertura coluvial superficial, con fragmentos de rocas de hasta 3 m de diámetro, son generalmente terrenos o suelos eriazos. La parte inferior, es ocupada en su totalidad por lotes de viviendas y vías transversales y longitudinales, apreciándose casas-huertas con infraestructura de material noble, siendo el uso del suelo predominantemente urbano. Adyacente a los límites del CPR Guayabo, colindante terrenos de propiedad de Cementos Lima, destinados a uso minero no-metálico.

La vegetación en el sector es escasa apreciándose algunas especies cactáceas típicas de esta zona. En algunos meses del año se genera un tipo de vegetación de lomas. Hacia la parte inferior de la quebrada se desarrollan áreas agrícolas del valle de Lurín (Ver Foto N° 1).



Foto N° 1 Vista hacia el este del CPR El Guayabo. Nos muestra una zona ligeramente inclinada de piedemonte aluvial (A) donde se asienta la población, limitada por laderas de montañas eriazas con pendiente moderada a fuerte (B). Acumulaciones de depósitos coluviales de caída de rocas (C), y al fondo el valle agrícola del río Lurín (D). El muro separa el terreno urbano-rural del CPR con las concesiones de cementos Lima (E).

1.4 ASPECTOS HIDROMETEOROLOGICOS

1.4.1 PRECIPITACION MEDIA ANUAL Y TEMPERATURA

La precipitación anual promedio para el área, de acuerdo al mapa de precipitación anual de un período lluvioso elaborado por SENAMHI es inferior a 200 mm. Valor similar para el período de precipitación acumulado para el evento “El Niño” 1997/98 (INDECI, 2003). La temperatura máxima normal anual varía entre 20-24°C, mientras que la temperatura mínima para la estación de invierno es de 12°-16°C.

1.4.2 HIDROGRAFIA

En el área no existe presencia de cursos de agua permanente o estacional.

2.0 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS Y LITOLÓGICOS

2.1 GEOMORFOLOGIA Y PENDIENTE

Regionalmente el área se localiza en las estribaciones bajas de los Andes Occidentales de dirección aproximada Norte-Sur (Cerros Atocongo, Lúcumo, Yerba Buena), con macizos rocosos de naturaleza intrusiva, adyacentes a una zona de piedemonte aluvial que desciende hacia el valle fluvial del río Lurín.

Localmente, el CPR El Guayabo se ubica en el lecho de una quebrada seca, con una dirección NNO-SSE, en la margen derecha del río Turín, descendiendo con una pendiente promedio de 5° a 6°. Circundante a ella se levantan montañas rocosas cuyas laderas en sus pendientes inferiores varía entre 10° y 30°, y hacia la parte media a superior llegando hasta 40° promedio con algunos barrancos rocosos mayores a 70°, hasta subverticales.

Las laderas con pendientes inferiores se encuentran cubiertas por antiguos depósitos de caída de rocas acumulados en sus faldas, y algunas entrantes y salientes, marcan la erosión sobre el macizo rocoso de la zona.

El desnivel entre el pie de la quebrada donde se ubica el CPR, y la cima de las montañas circundantes oscila entre 300 a 325 m.

2.2 SUBSTRATO ROCOSO

De lo observado en el reconocimiento geológico de campo y del Mapa Geológico del Cuadrángulo de Lurín (Hoja 25-j: INGEMMET, 1992), las rocas expuestas en el área consisten en afloramientos macizos de stocks intrusivos marginales del Batolito de la Costa, cuya litología dominante corresponde a adamelitas, mostrándose ligeramente alterados en muestra de mano y generando una cobertura muy delgada de suelo. Estas han intruido rocas calcáreas, presentando erosión diferencial¹. Este cuerpo corresponde a la adamelita Atocongo.

¹ Estos cuerpos han intruido a rocas de la Formación Atocongo (calizas), originando un metamorfismo de contacto y mostrando nódulos de calcita recristalizados. Estos nódulos por erosión diferencial originan una serie de oquedades, muy particulares en el área evaluada (Ver Foto N° 2).



Foto N° 2 Acercamiento de un afloramiento de rocas intrusivas; se distingue la roca levemente meteorizada y medianamente fracturada, con algunos sectores más fracturada. En la vista derecha oquedades en las rocas por erosión diferencial.

Localmente las rocas se presentan medianamente fracturadas. Se reconoció una serie de discontinuidades cuyas familias principales son:

1. E-W. 15° a 45° al N, subpersistente, cerrada con espaciamentos de 0,5 a 1,5 m. Estas discontinuidades tienen relación a la falla José Galvez ubicada más al sur (Foto N° 3), muestra inclinaciones suaves hasta subhorizontales.
2. E-W. 90° .
3. N-S. 75° - 80° al E (Fotos N° 3 y 4), perpendicular a la anterior .

No hay evidencia de la presencia de fallas geológicas en el área. La denominada falla José Galvez, se localiza cerca de Pachacamac la cual se observa en el corte de carretera el cambia brusco del tipo de roca de intrusivas a secuencias de estratos arcillosos, fuera del sector de estudio.

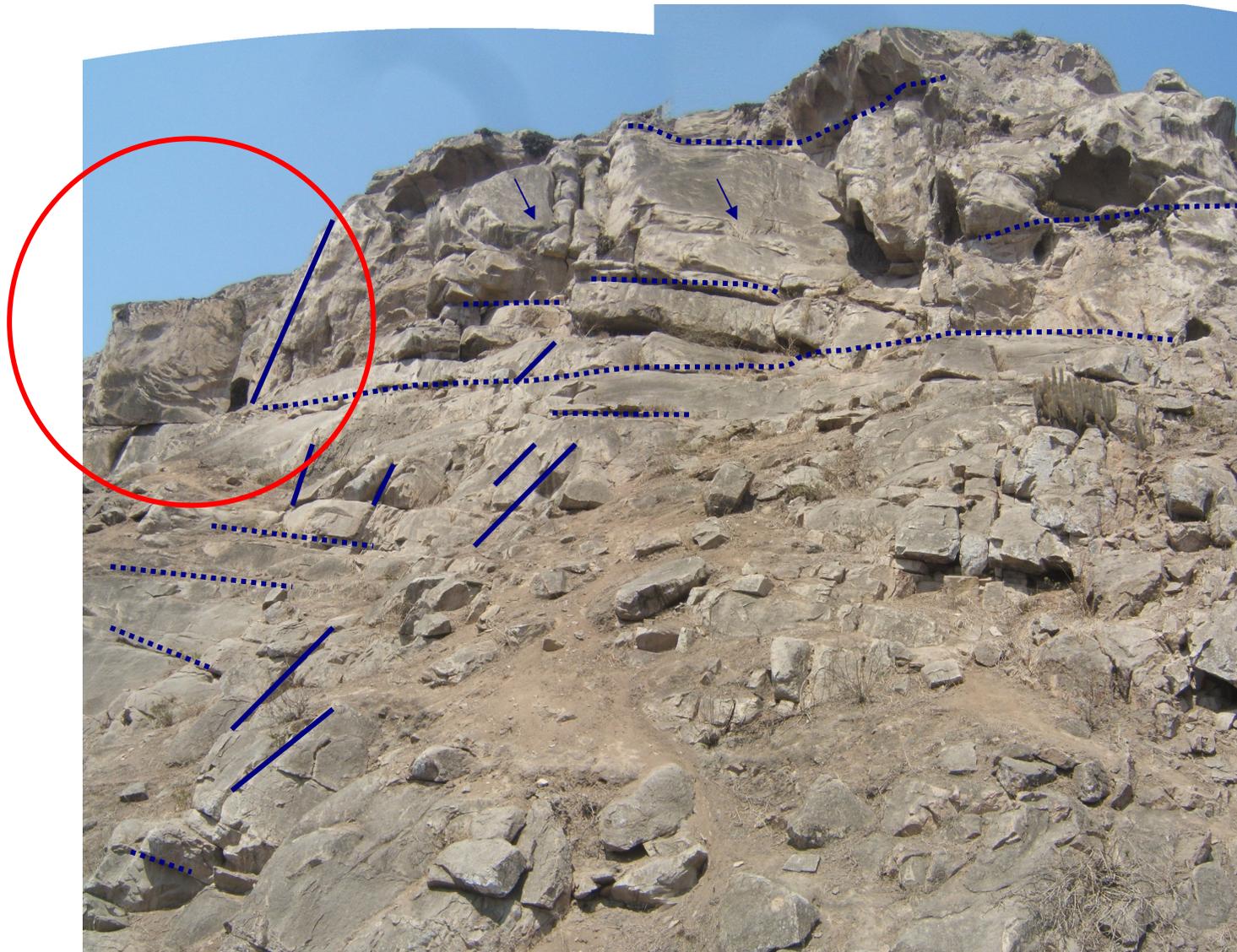


Foto N° 3 Vista al sureste del macizo rocoso donde se distingue el sistema de fracturas de la familia 1, más persistente en líneas punteadas y algunas fracturas de la familia 2 (líneas continuas).

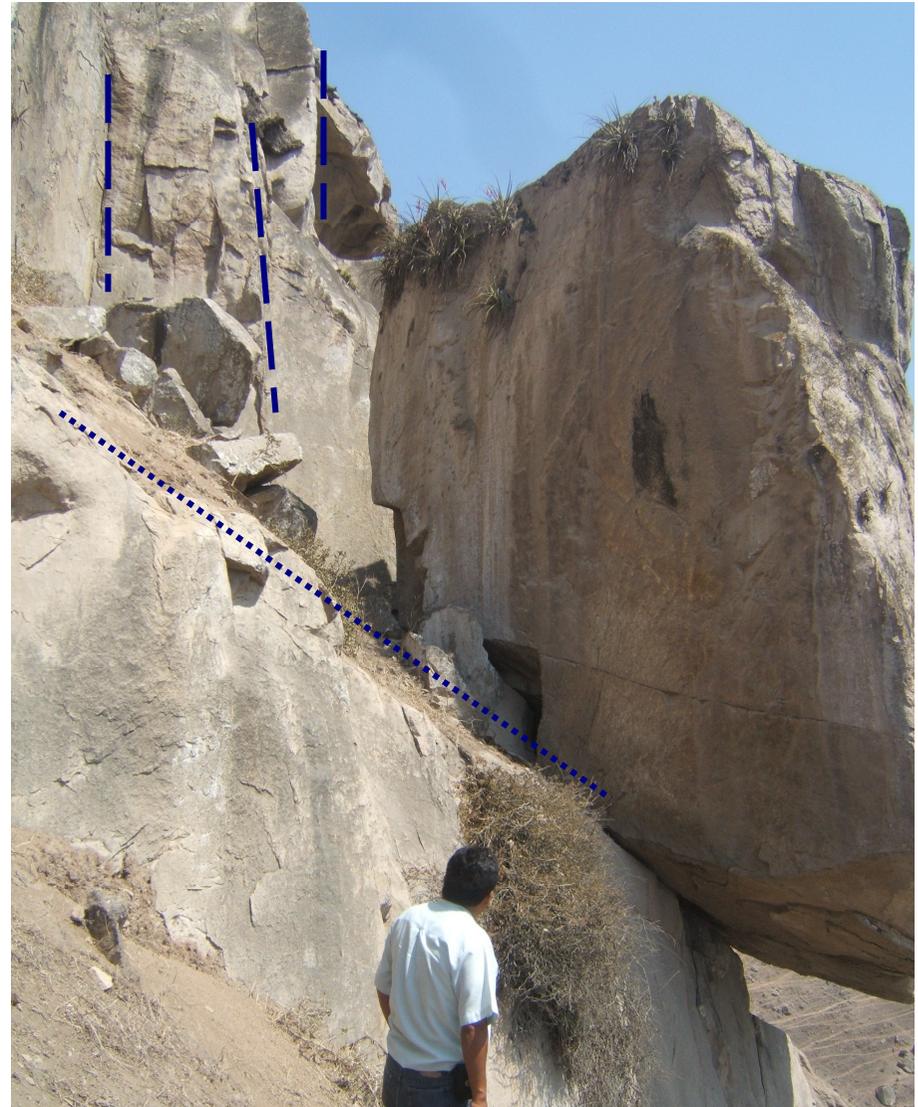
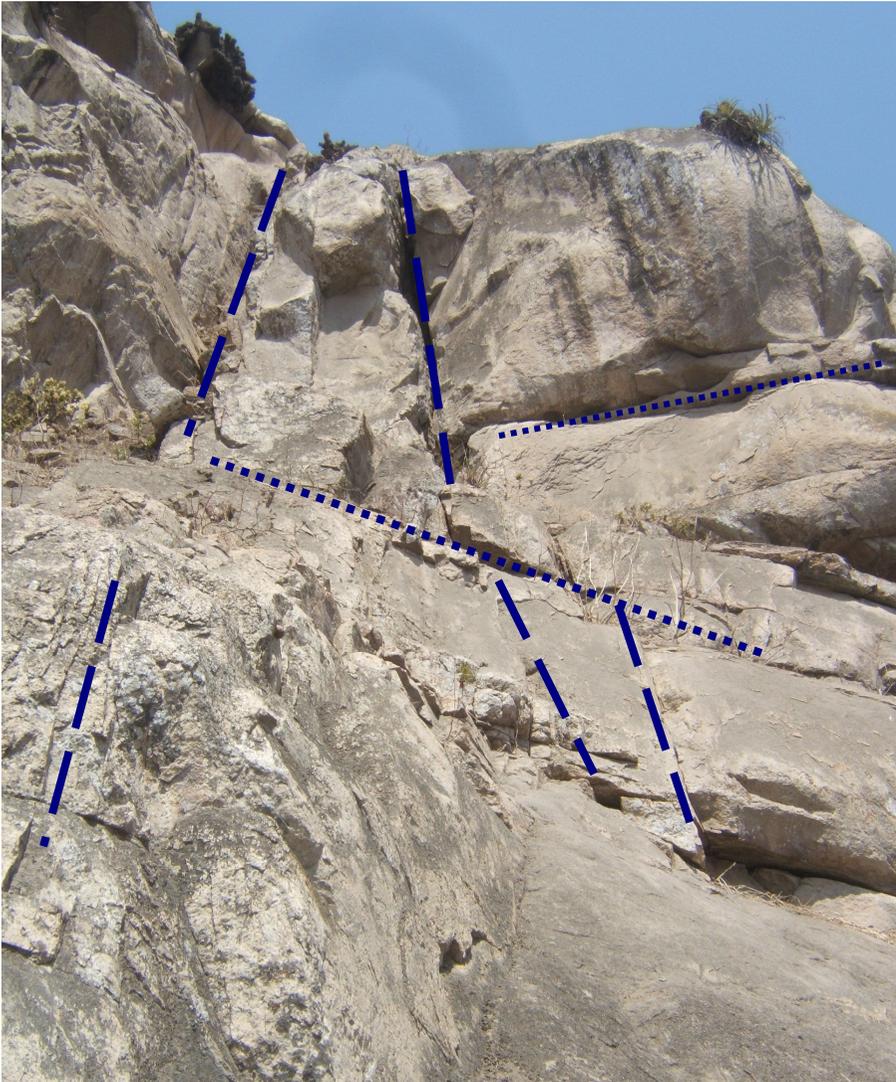


Foto N° 4 Vista hacia al oeste, se ilustra los sistemas de fracturas 1 (líneas punteadas finas); familias 2 y 3 (pared de desprendimiento), en el sector del desprendimiento del bloque rocoso principal (líneas entrecortadas).

2.3 DEPÓSITOS SUPERFICIALES

Localmente se pueden diferenciar bloques angulosos de diferente tamaño, originados por caída de rocas, acumulados en forma de canchales sobre las laderas medias e inferiores de los cerros. Por sus características la mayoría son depósitos antiguos, sin embargo algunos parecen ser recientes. Estos probablemente se asocien al sismo de Pisco del 15/08/2007, o a la actividad antrópica existente en la zona (Ver Fotos N° 5, 6 y.7)

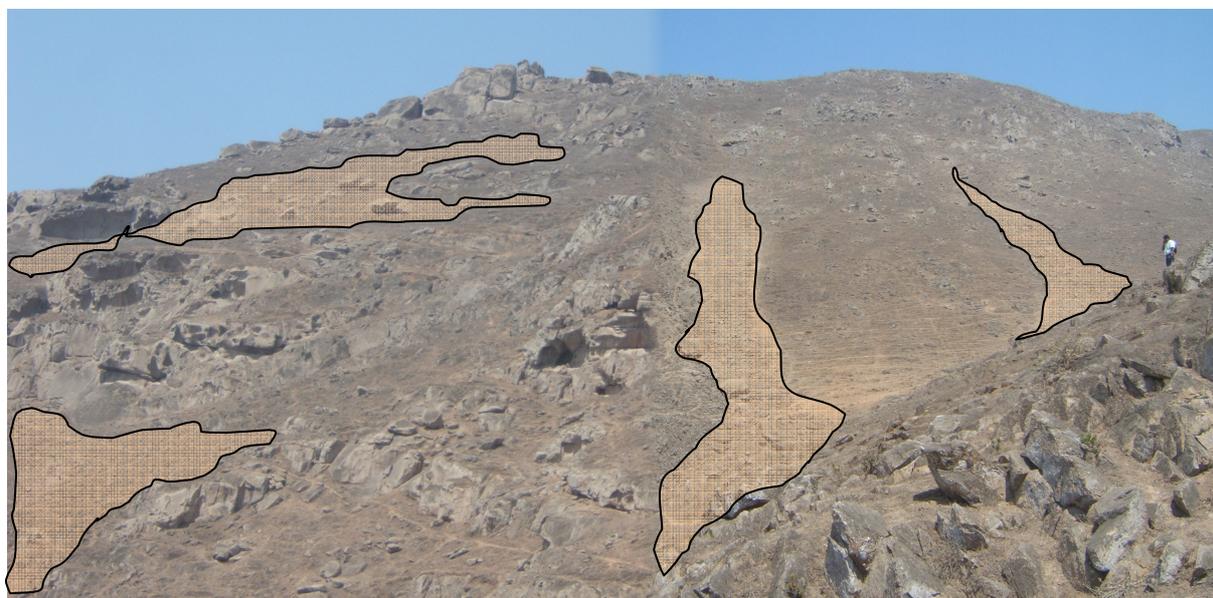


Foto N° 5 Vista hacia el sur que muestra acumulaciones antiguas de caída de rocas.



Foto N° 6 Vista hacia el noreste que muestra depósitos coluviales, originados por recientes caídas de rocas.



Foto N° 7 Vista hacia el suroeste donde en la parte superior se muestra los depósitos de canchales acumulados en las laderas; en la vista inferior un acercamiento de un depósito coluvial donde se distingue el tamaño de los bloques.

3.0 SUSCEPTIBILIDAD Y PELIGROSIDAD EN LOS CERROS ALEDAÑOS A EL GUAYABO

3.1 PELIGROS POR CAÍDA DE ROCAS

En las laderas superiores inmediatas al lado suroeste del CPR El Guayabo, se han evidenciado no uno, sino varios sectores con presencia de bloques de roca sueltos, que fácilmente podrían desprenderse pendiente abajo, comprometiendo las viviendas o casa-huertas del sector.

El principal sector a punto de desprenderse se ubica a 223 m en línea recta desde el primer lote de vivienda ubicado en la parte inferior.

El bloque en mención, de forma prismática, presenta dimensiones 5,3 m de altura x 5,7 m de largo x 2 m de ancho, que hacen un volumen aproximado de 60,4 m³ de material. El desplazamiento del substrato rocoso muestra una separación de 1,0 a 1,20 m, y muestra un tramo libre de 1,6 m. aproximadamente (Ver Fotos N° 8 y 9). Dicho bloque está soportado sobre un plano de discontinuidad subhorizontal, que corresponde a la familia 2 de las discontinuidades (Ver Item 2.2). Considerando el tipo de roca y su densidad (2,6), se estiman 157,04 toneladas de material.

Adicionalmente a este peligro latente se pudieron identificar, en la misma ladera, otros bloques inestables (Ver Fotos N° 11 y 12), ya sea bloques individuales separados del macizo rocoso, o bloques sueltos acumulados en las laderas

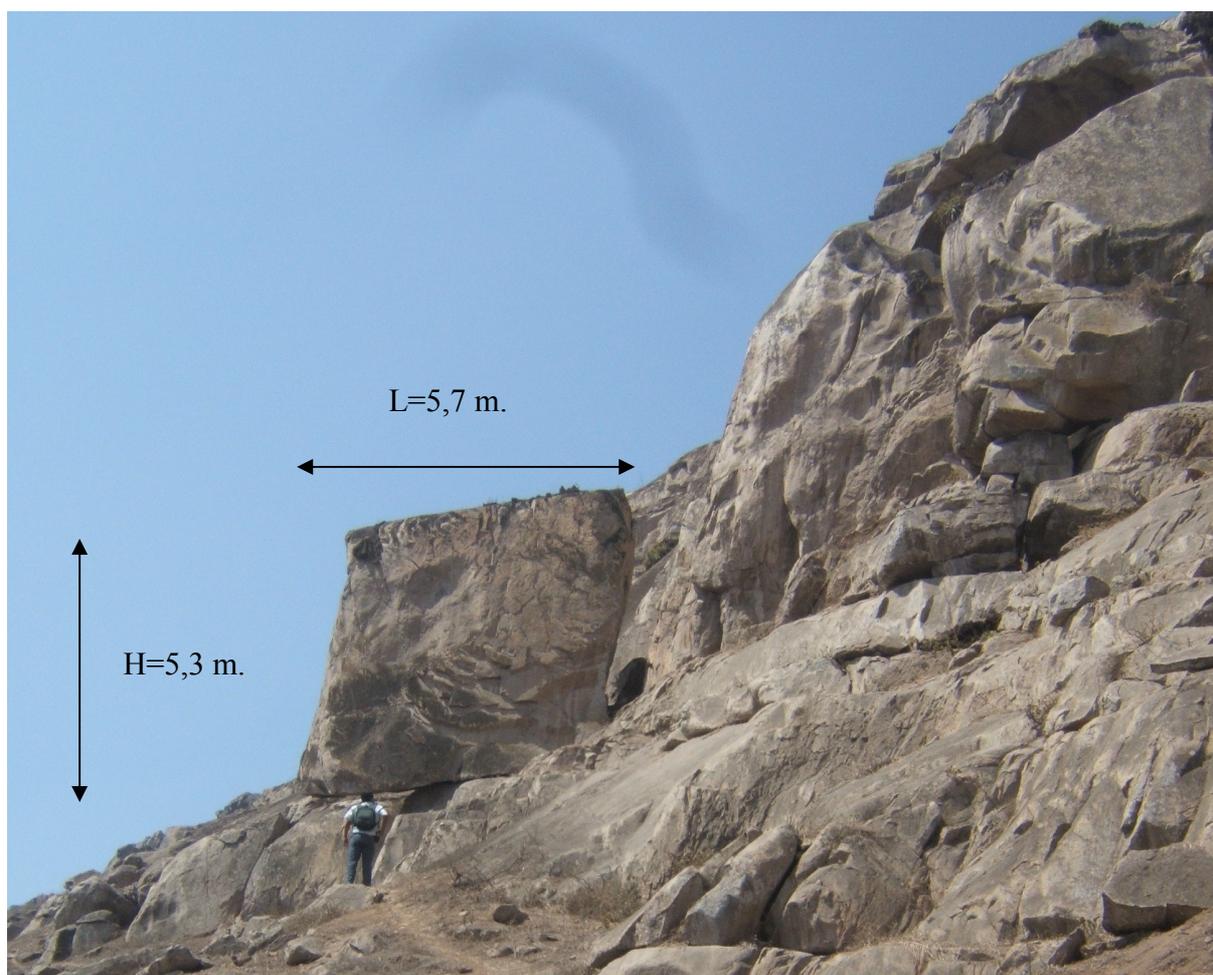


Foto N° 8 Vista del bloque de roca inestable, donde se indican las dimensiones principales. Se nota además la separación del macizo rocoso fracturado y el borde libre.



Foto N°9 Vista de acercamiento que muestra la forma prismática del bloque desprendido del macizo rocoso que podría deslizarse hacia abajo; algunos bloques menores también desprendidos y sueltos.

Sin embargo, es difícil poder determinar cual sería la posible trayectoria de la caída, debido a la irregularidad en la topografía del terreno (Ver Foto N° 13)

3.1.1 CAUSAS DE LOS DESPRENDIMIENTOS

Entre las causas probables de los desprendimientos se pueden diferenciar dos tipos: condicionantes y detonantes.

Las **causas condicionantes**, se refieren a las características intrínsecas del terreno, vale decir el grado de fracturamiento de las rocas que componen las laderas, la orientación desfavorable en relación al talud natural y cara libre, pendiente de las laderas.

Entre las causas detonantes se pueden mencionar:

- Movimientos sísmicos: Los pobladores del lugar mencionan que este desprendimiento y desplazamiento del bloque ha aumentado después de los dos últimos movimientos sísmicos registrados el 29/04/2008, y probablemente se inicio el desprendimiento con el sismo del año pasado².
- Actividad antrópica: Teniendo en cuenta que a pocos km del lugar se encuentran las labores mineras de las canteras de calizas de minas Atocongo de Cementos Lima (Foto N° 10), se pensaría considerar una probable influencia de propagación de ondas sísmicas por efectos de disparos en las operaciones de esta cantera³. Sin embargo las actividades de esta empresa minera datan de 1916 a la fecha, tiempo en que nunca antes se han reportado incidencias similares⁴.

Se recalca que, según versiones del lugar, que trabajos anteriores efectuados en los taludes de un tramo de la carretera de Pachacamac hacia Manchay, con el fin de obtener material para ser utilizado como enrocados para defensas ribereñas en el río Lurín, originaron una serie de desprendimientos de rocas. Esto puede haber originado el aumento de la inestabilidad de varios sectores adyacentes al CPR El Guayabo, en el lado sur y norte.

- Expansión, distribución y ocupación de lotes por parte del CPR, en áreas susceptibles a caída de rocas, sin considerar el análisis de peligro geológico: Se identifican depósitos antiguos de caída de rocas en sus laderas inferiores; lotes de viviendas marginales principalmente (Ver Foto N° 11).

² Diversos autores estudiando los movimientos de masa inducidos por sismos, han establecido relaciones entre parámetros sísmicos y su distribución. Los parámetros más usados son: magnitud, intensidad y aceleración sísmica. KEEFER (1984), demuestran la ocurrencia de caídas, deslizamientos de rocas y rupturas disparados con magnitudes de 4.0 Ml. Otros autores, comparando la intensidad sísmica, concluyen que la intensidad mínima a la que se generan caída de rocas es VI; para deslizamientos y flujos VII y. La intensidad más baja para cualquier movimiento de masa ha sido IV.

³ La distancia entre el área de operaciones y el límite del CPR El Guayabo oscila entre 2650 a 3375 m, medido en una imagen satelital obtenida en Google Herat del año 2006.

⁴ En las canteras de Atocongo se extraen diariamente 34,000 toneladas de roca, de las cuales 18,000 son de caliza y 16,000 de material estéril. Como primera operación se perforan taladros en los bancos de trabajo de hasta 15.5 metros de profundidad. Seguidamente se cargan con explosivos como anfo, y se procede a la voladura secuencial.



Foto N° 10 Imagen satelital tomada de Google Earth, donde se muestra la localidad de El Guayabo.

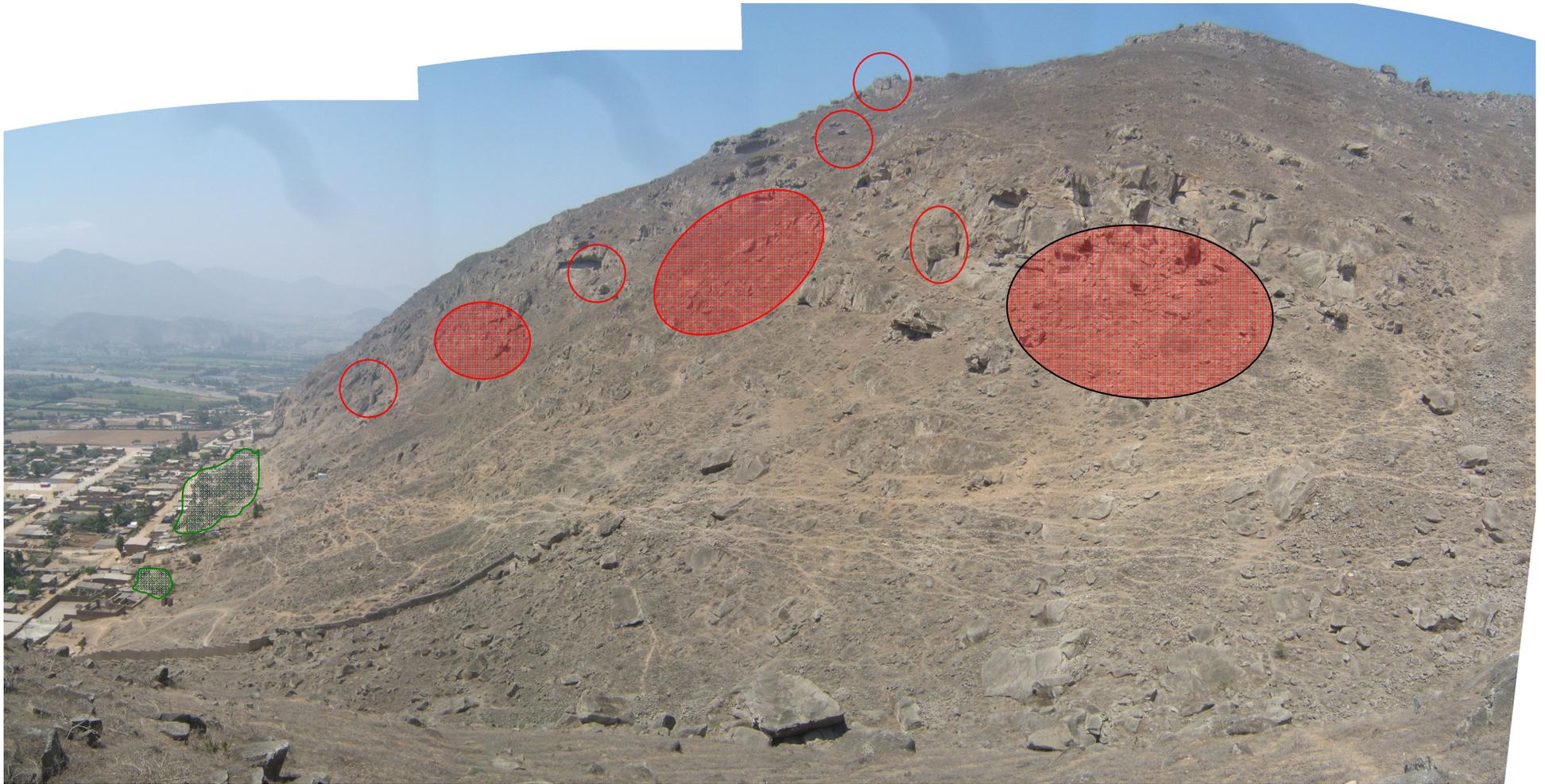


Foto N° 11 Vista panorámica de la ladera suroeste, adyacente al CPR El Guayabo, donde se han diferenciado varios bloques de rocas inestables, que podrían desprenderse con un movimiento sísmico. Las viviendas señalizadas en color verde presentan una barrera de protección natural contra caída de rocas, la cual debería incrementarse en todo su alrededor.



Foto N° 12 Vistas de acercamiento de algunos bloques prismáticos de rocas fracturadas, que podrían desprenderse con un fuerte movimiento sísmico.



Foto N° 13 Vista que muestra las probables trayectorias por donde se desplazaría el bloque rocoso inestable. Nótese la acumulación de bloques de roca acumulados en la ladera con dimensiones menores, que han caído de este sector, donde mayormente alcanzan volúmenes inferiores, en un 70%.

3.2 SUSCEPTIBILIDAD

De acuerdo a la morfología del terreno, características estructurales del macizo rocoso circundante, pendiente de los terrenos, la ocurrencia de procesos de caída de rocas es moderada a alta. La zona de estudio, según el Mapa de Susceptibilidad de la Franja N° 4 (INGEMMET, 2004: Riesgo Geológico en la Franja N° 4), se ubica dentro de una zona de baja a moderada susceptibilidad a la Ocurrencia de Movimientos en Masa: derrumbes, desprendimiento o caída de rocas.

Los peligros identificados en la zona adyacente a El Guayabo están relacionados principalmente a procesos de desprendimiento o caída de rocas.

3.3 FACTOR DETONANTE: SÍSMICIDAD

Según el análisis sísmico, la aceleración máxima esperada para un período de 50 y 100 años, y con probabilidad de un 10% de excedencia, calculado para el área de Lima (Ventanilla y Puente Piedra), este valor oscila entre 0.44 y 0.53 gal respectivamente, considerándolo como de categoría Muy Alta (INGEMMET, 2004).

La reciente versión del mapa de distribución de intensidades sísmicas observadas en Perú, preparado por la Universidad de Ingeniería y el CISMID, como parte del proyecto SISRA, para el área de estudio se han encontrado intensidades máximas de VIII-IX en la escala Mercalli Modificada (INDECI, 2003).

3.4 PELIGROSIDAD

El análisis de probabilidad de ocurrencia de peligros para el área, referida al mismo estudio, integrando la susceptibilidad de la zona y considerando como factores detonantes las aceleraciones sísmicas máximas esperadas, hacen que esta zona se ubique dentro de una zona de moderada a alta peligrosidad, a la ocurrencia de caída de rocas que pueden afectar las viviendas ubicadas en las partes inferiores de laderas inestables.

De acuerdo a los alcances mencionados en las líneas anteriores se pueden resumir los siguientes peligros en el área:

- Desprendimientos de rocas en las laderas rocosas con moderada a fuerte pendiente, originados por actividad sísmica natural o inducida.

4.0 VULNERABILIDAD Y RIESGO

En todo trabajo de evaluación de riesgo es imprescindible identificar y calificar la vulnerabilidad.

- Se considera la vulnerabilidad física alta, en función a la ubicación de un sector de las viviendas dentro de la posible trayectoria del bloque de roca al desprenderse, que compromete las manzanas E, E' y E'' del referido CPR. Las construcciones generalmente son de material noble (Ver Foto N° 13).

El análisis de la susceptibilidad a los peligros, el peligro sísmico latente al que vivimos y la evaluación de peligrosidad, y la calificación cualitativa de la vulnerabilidad, permite definir:

- **RIESGO ALTO:** Viviendas ubicadas en la dirección probable sobre pendientes moderadas a fuertes, en donde los terraplenes y pircas de piedra, podrían colapsar por sacudimiento sísmico y además los suelos sean sujetos a pérdida de cohesión por aceleración sísmica alta, debido a su naturaleza geológica, muy abundantes en los terrenos del asentamiento humano. Estos perjudicarían no solo a sus viviendas sino a los que se encuentran en el talud inmediato inferior. Esto se daría igualmente en los terraplenes de carretera de las calles principales.

5.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. De lo observado en el área evaluada, se puede concluir que los procesos de caída de rocas representan un potencial de riesgo muy alto en las laderas circundantes al CPR El Guayabo, no solo de bloques de roca individuales, sino también acumulaciones de bloques de roca sueltos en la ladera.
2. Las alternativas más adecuadas para la estabilización y/o actuación en el bloque rocoso inestable de 157,04 toneladas, considerando la pendiente del terreno, volumen y peso estimado del bloque, altura de la ladera hasta la zona donde se ubican las viviendas, calidad de la roca, estimación de máximo recorrido observado por las caídas de rocas en el pasado, y la vulnerabilidad asociada, serían: a) voladuras de contorno controladas, combinada con construcción de b) barreras dinámicas o estáticas contra caída o desprendimiento de rocas.
3. Las barreras dinámicas de protección contra caída de rocas, son eficaces para bloques aislados, más no en el caso de desprendimientos relevantes en que se moviliza un gran volumen de rocas. Esta opción podría combinarse con voladura controlada, para la cual se requiere un análisis geotécnico del macizo rocoso. Estas barreras consisten en mallas de cable de acero entrelazado, soportadas por postes de acero debidamente cimentados y anclados a la ladera y unidos entre sí por cables. Se colocan con una inclinación contraria a la ladera y su altura dependerá del cálculo de la energía de impacto del bloque o bloques, tamaño de estos, velocidad y trayectoria de los mismos. Estas podrían ubicarse una cerca al bloque rocoso cubriendo en ancho y alto lo posible, y otra a 10 m desde el límite de las viviendas comprometidas (Ver diseño).
4. Las barreras estáticas se colocan en el pie o base de la ladera, con el fin de interceptar y frenar los bloques. Se construyen en base a postes metálicos hincados o empotrados, a las que se fijan mallas metálicas resistentes. La separación de los postes metálicos depende del tamaño de bloques.
5. En los otros bloques inestables identificados se puede disminuir su peligrosidad mediante desquinces, logrando una disminución del volumen de estos. Otra alternativa para los bloques inestables representan la fijación o anclaje con muros de concreto armado que fijen las zonas inestables, o la instalación de bulones.
6. La energía liberada bruscamente en una voladura en el proceso de fragmentación del bloque, sobrepasa generalmente los límites teóricos de actuación. Usualmente si se emplea esta técnica se pueden generar nuevas fracturas, apertura de juntas existentes, así como disminución al corte en las discontinuidades.



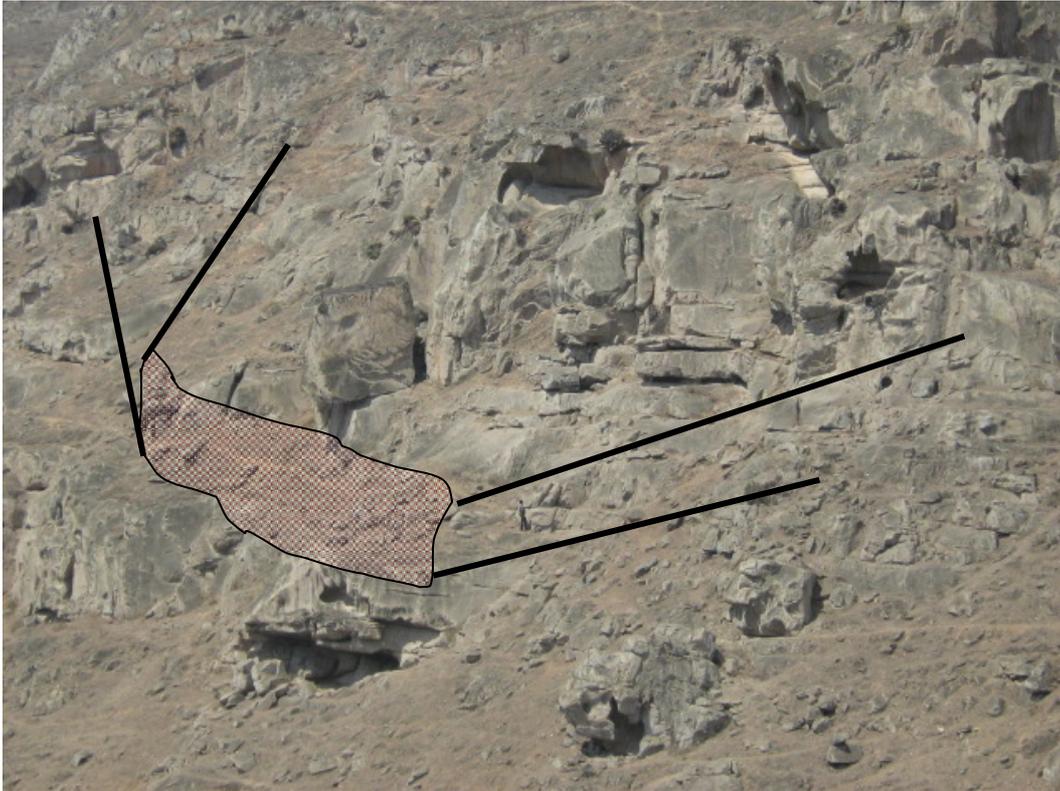
Ejemplos de barreras dinámicas.



Ejemplo de barreras de protección natural contra caída de rocas, con bosques



Ejemplo de barreras estáticas para protección de caída de rocas.

DISEÑO DE OBRAS DE PREVENCIÓN PARA CAÍDA DE ROCAS

Dos vistas que muestran la zona del bloque por desprenderse y pendiente abajo, donde se indica el probable diseño de obras de prevención.

7. Los terrenos habitados directamente a la zona donde se encuentra un bloque de roca, fácil de desprenderse con un movimiento sísmico deberán ser temporalmente reubicados (Manzanas E, E' y E").
8. Debido a que ambas laderas que convergen al CPR el Guayabo se han identificado depósitos de caídas de rocas, se debe considerar como una medida de protección de mediano y largo plazo, colocar barreras naturales con bosques de árboles.
9. La Secretaría Técnica del Comité de Defensa Civil de la municipalidad de Pachacámac, deberá realizar un trabajo de sensibilización a la población sobre los peligros a los que están sujetos los pobladores del CPR El Guayabo.
10. Se deberán realizar charlas informativas y simulacros para que así la población sepa como actuar en caso de presentarse un evento sísmico, indicando las rutas de evacuación adecuadas, hasta que se realicen los trabajos de eliminación del bloque rocoso inestable y/o medidas de prevención recomendadas.

BIBLIOGRAFÍA

- INDECI (2003): Atlas de Peligros Naturales del Perú.
- INGEMMET (1992): Geología de los Cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica. Dirección de Carta Geológica Nacional. Boletín N° 43, Serie A: Carta Geológica Nacional.
- GONZALEZ DE VALLEJO, L. & OTROS (2003). Ingeniería Geológica. Editorial Pearson Educación S.A. España, 744 pag.
- INGEMMET (2004): Riesgo Geológico en la Franja N° 4. Dirección de Geología Ambiental Boletín N° 29, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica.
- LOPEZ JIMENO C. (1999). Manual de Estabilización y Revegetación de Taludes. Editorial Entorno Gráfico S.L. Madrid, España.