

# TIPOLOGÍA Y ANALISIS PRELIMINAR DE LA DINÁMICA DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RÍO HUAURA (REGIÓN LIMA, PERÚ)

Sandra Villacorta<sup>(1)</sup>, Cesar Abad<sup>(2)</sup>, Lionel Fidel<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> INGEMMET, Av. Canadá 1470, San Borja, Lima-Perú

<sup>(2)</sup> Consultor, Ca. Enrique Ginochio 148 Int. A, Bellavista, Callao-Perú

## INTRODUCCIÓN

Los movimientos en masa destacan en la cuenca del río Huaura por ser los procesos geológicos más frecuentes y destructores y por la variedad de sus tipos y dimensiones. El presente trabajo, se basa en el cartografiado de estos procesos y el inventario de características litológicas y geotécnicas de las áreas asociadas. Se han estudiado y evaluado la tipología, dinámica y distribución de los mismos.

La cuenca del río Huaura ubicada al norte de la región de Lima, abarca parte de las provincias de Huaura, Huaral y Oyón y en ella se desarrolla actualmente la actividad agrícola más importante de la serranía de Lima.

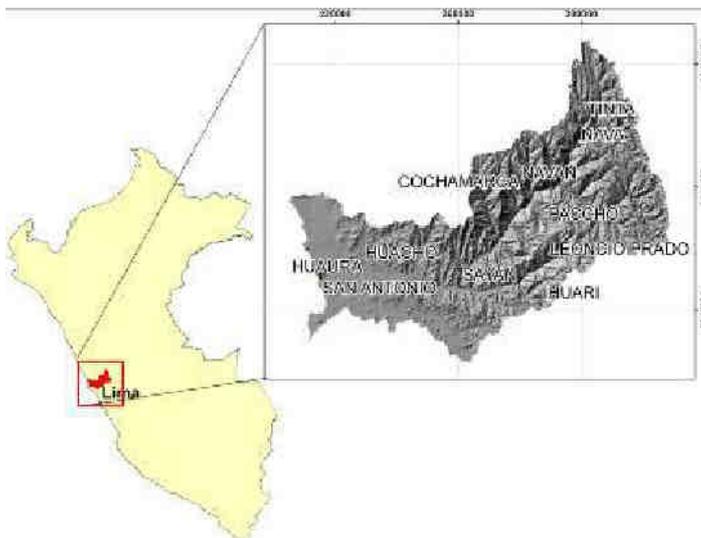


Figura 1. Ubicación de la cuenca del río Huaura.

## MARCO GENERAL

La cuenca del río Huaura, tiene una extensión aproximada de 6000 km<sup>2</sup> y se ubica entre las coordenadas (WGS84): 200000 N, 8850000 E y 330000 N, 8740000 E.

Hidrográficamente pertenece a la vertiente pacífica siendo el curso principal el río Huaura, denominación que se observa desde la cuenca media hasta la desembocadura. En la cuenca alta se localizan innumerables lagunas entre las que destacan Surasaca, Cochaquillo, Patón, Coyllarcocha y Mancancocha, ubicadas entre los 4,000 y 4,500 metros sobre el nivel del mar (msnm).

Geomorfológicamente, la cuenca se extiende transversalmente a los dominios morfoestructurales de la Zona Costera y Cordillera Occidental, presentando una topografía variable, con altitudes entre los 0 y 5000 msnm. Rasgos geomorfológicos característicos de la cuenca baja, cerca de la desembocadura, son la extensa explanada eólica, barjanas y mantos de arena, playas, bahías y puntas, incluyendo acantilados formados por erosión marina. Entre la cuenca baja y media, es notable la presencia de formas de origen fluvio-aluvial como las terrazas, conos, abanicos y piedemontes aluviales. En la cuenca media es común encontrar geoformas como lomas, colinas, barrancos labrados sobre rocas sedimentarias, intrusivas y volcánicas y valles en "V". Finalmente en la cuenca alta destacan los valles glaciares, morrenas y superficies periglaciares (figura 2).

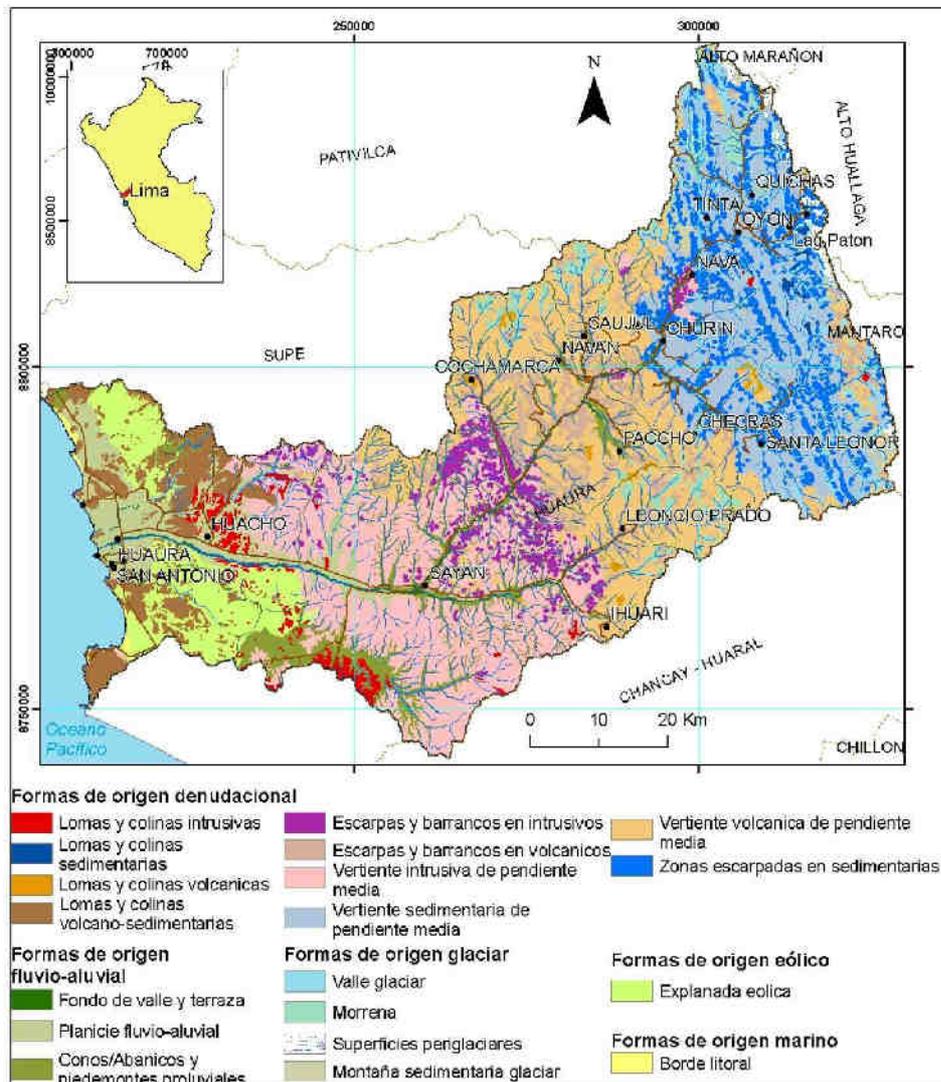


Figura 2. Mapa geomorfológico de la cuenca del río Huaura (Villacorta et al, 2008).

El clima en la cuenca, varía de árido semi-cálido en la cuenca baja, hasta pluvial y periglaciario cerca de las nacientes.

Desde el punto de vista geológico, en la cuenca baja afloran rocas volcánicas de composiciones basálticas a andesíticas, algunas veces con intercalaciones silicoclásticas, pertenecientes a los dominios geotectónicos de la Cuenca Casma del Albiano y de la Cuenca del Cretácico-Paleoceno (Romero, 2007). Estas secuencias volcánicas cretácicas se encuentran cortadas por intrusiones tonalíticas a granodioríticas del Cretácico-Paleoceno pertenecientes al Batolito de la Costa (Cobbing, 1973; Romero, 2007). En la cuenca media y alta, afloran rocas sedimentarias del Jurásico y Cretácico, depositadas en los dominios de las cuencas Chicama y Santa, respectivamente. Los afloramientos rocosos predominantes corresponden a calizas, areniscas y lutitas; que son cubiertas discordantemente por secuencias piroclásticas y lavas de composiciones dacíticas y andesitas del Eoceno-Mioceno de los Volcánicos Calipuy e intruidas localmente por stocks subvolcánicos dacíticos del Mioceno (Romero, 2007). En el área destacan importantes sistemas de fallas con orientaciones NO-SE, denominados Cochán-Cocachacra, Tapacocha y Churín-Cordillera Blanca (Romero, 2007). Otros rasgos importantes son los pliegues. Durante el mioceno se desarrolló una superficie de erosión (superficie puna) en las rocas sedimentarias y volcánicas emplazándose luego stock dacíticos en la

parte alta de la cuenca. Toda la secuencia descrita se halla cubierta por depósitos superficiales Plio-Pleistoceno-Holocenos de origen fluvial, coluvial, eólico y glacial.

## **METODOLOGÍA DE LA CARACTERIZACIÓN**

La metodología utilizada para la caracterización de los movimientos en masa en la cuenca Huaura, es la que actualmente se emplea en el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) para el inventario de peligros geológicos a nivel nacional (Fidel et al., 2006). Dicha metodología consiste en tres fases: una previa en donde se recopila información sobre el área de estudio y se cartografía en base a fotos aéreas e imágenes de satélite las zonas más propensas a generar desastres. Luego viene una segunda fase o etapa de campo, donde se inspeccionan los sectores señalados, tomándose datos geológicos, geomorfológicos y geotécnicos e inventariándose y caracterizándose los procesos geológicos que originarían desastres. Posteriormente en la fase final se procesa la información obtenida en campo y se elabora el informe y los mapas temáticos (pendientes, geomorfológico, litológico, procesos superficiales, inventario de peligros geológicos y de susceptibilidad). La clasificación de movimientos en masa utilizada ha sido la de Varnes (1978) y la adaptada a las condiciones de la región andina formulada por el PMA-GCA (2007).

## **CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS Y GEOTÉCNICAS**

El análisis de 680 movimientos en masa en la cuenca del río Huaura y las características geológicas y geotécnicas de las zonas relacionadas a estos procesos, pone de manifiesto un amplio rango de variación de los valores de los parámetros analizados (litología, resistencia de rocas, capacidad portante de suelos, pendientes, porosidad, capacidad de drenaje de los materiales).

Las principales características geotécnicas tomadas como referencia han sido el índice RMR (Rock Mass Ratio, tabla 1) de Bieniaski (1989) para evaluar la resistencia de los macizos rocosos; y el índice internacional CBR (California Bearing Ratio, tabla 2) para estimar la capacidad portante de los suelos. Para una mayor comprensión de estas características, se ha diferenciado dos grupos de tipos de materiales: los depósitos superficiales y las rocas del substrato rocoso.

Tabla 1. Valoración de la calidad de la roca en función del RMR (Bieniaski, 1989)

Tabla 2. Valoración de la capacidad portante de suelos en función del CBR (modificado de Laín et al, 2005)

## **DEPÓSITOS SUPERFICIALES**

Conformados por materiales de origen fluvial, aluvial, fluvio-glacial, glacial, eólico y marino. En general, se encuentran poco consolidados y son altamente erosionables. Normalmente estos depósitos pueden estar saturados de agua, lo que los hace más susceptibles a los fenómenos de inestabilidad. La capacidad portante de estos materiales varía según su tipo, siendo media-baja en los fluviales, eólicos, marinos glaciares y fluvio-glaciares y alta-muy alta en los aluviales.

Desde el punto de vista hidrogeológico, los depósitos eólicos y marinos son los más permeables presentando una circulación de tipo freático debido a su composición arenosa (Sánchez, 2008). Los materiales fluviales presentan también una significativa porosidad debido a su composición arenolimosa. Los depósitos fluvio-glaciares, glaciares y aluviales son los menos permeables, debido a que corresponden a material heterogéneo desde bloques hasta suelo, con una matriz limo-arcillosa.

## **SUBSTRATO ROCOSO**

El substrato rocoso está conformado por rocas sedimentarias, intrusivas, volcánicas y volcano-sedimentarias.

En general, la resistencia de estas rocas varía con las litologías, siendo media-baja en limolitas, lutitas y calizas fracturadas (formaciones Pariatambo, Jumasha, Oyón, Santa y Chulec), de mediana resistencia en brechas y tobas intercaladas con areniscas, lutitas y conglomerados (Gpo. Casma); pero alta en dacitas, andesitas y piroclastos (Grupo Calipuy) y alta-muy alta en areniscas, conglomerados y calizas compactas (formaciones Carhuaz, Chimú, Farrat y Pariahuanca, así como en adamelitas y granodioritas, dioritas, tonalitas, melodiorita y granitos).

Hidrogeológicamente, la cuenca se enmarca principalmente en un acuífero de tipo acuitardo caracterizado por transmitir lentamente el agua que contienen (Struckmeier & Margat, 1995). La mayor parte de litologías que componen el sustrato rocoso presentan un carácter impermeable, salvo las rocas de las formaciones Pariatambo, Jumasha, Celendín, Oyón, Santa y Chulec que se encuentran muy fracturadas, lo cual hace que tengan una porosidad secundaria y presenten circulación por fisuras. Asimismo, en el límite nor-este de la cuenca aparecen litologías carbonatadas con circulación cárstica (formación Celendín) capaces de desarrollar morfologías susceptibles a almacenar y permitir la circulación de agua.

## MOVIMIENTOS EN MASA IDENTIFICADOS

En la zona de estudio, los movimientos en masa identificados han sido los siguientes:



Foto 1. Caída de rocas. Carretera Sayán-Churín

### CAÍDAS

Estos fenómenos se presentan en toda la cuenca pero en un mayor porcentaje entre la parte media y alta, sobre todo a lo largo de las vías de comunicación. En muchos de los casos han sido desencadenados por los cortes de carretera, como se observa a lo largo de las carreteras Sayán-Churín (foto 1); Sayán-Oyón-Mina Raura y Picoy-Rapaz, los cuales presentan dimensiones que varían entre 10 y 300 m de longitud.

### DESLIZAMIENTOS

Ejemplos de este proceso lo tenemos en Oyón, Churín, Tulpay, Quebrada Cancha y Curay (foto 2) donde se tienen deslizamientos de dimensiones entre 100 y 500 m de longitud. Corresponden a procesos ya estabilizados con algunas reactivaciones menores (entre 10 y 50 m de longitud) originadas por deforestación, inadecuadas técnicas de regadío de terrenos de cultivo y cortes de carretera inadecuados. Un caso particular se tiene en el sector El Tauca (distrito de Huacho, provincia de Haura) donde se observó un

deslizamiento traslacional activo asociado a fracturas y fallas locales; el cual se encuentra afectando a cerca de 300 familias del AAHH. Atalaya.

### FLUJOS

En la cuenca del río Huaura se han reconocido principalmente flujos de detritos y de lodo entre la cuenca media y alta (figura 3). Dichos procesos han sido favorecidos por las intensas lluvias, los derrumbes en las cabeceras de las quebradas que alimentan sus cauces y la escasa cobertura vegetal. Como ejemplos de flujos de detritos canalizados se puede señalar los ocurridos en las quebradas: Puscao, Cochacalla, Yacash, Paran, Pashuro, Piedra Pintada, Molino, Picunche, Puente Colgante, Quisa, Paccho, entre otras; mientras que ejemplos de flujos no canalizados se localizan en laderas en ambos márgenes del río Huaura, entre Sayán y Churín y a lo largo de la carretera Oyón-Laguna Cochaquillo, entre otras.

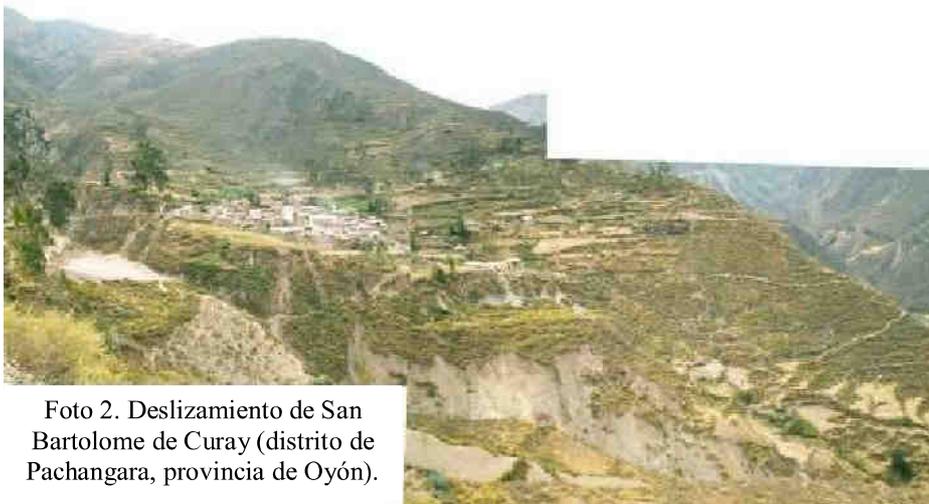


Foto 2. Deslizamiento de San Bartolome de Curay (distrito de Pachangara, provincia de Oyón).

Ejemplos de flujos de lodo en la cuenca, son los ocurridos en las quebradas Huancash (Pachangara) y Suro Saca (Oyón).

### **MOVIMIENTOS COMPLEJOS**

En la cuenca del río Huaura la mayoría de estos procesos corresponde a: derrumbe-flujo, caída de rocas-flujo y deslizamiento flujo. Se observaron principalmente en la cuenca alta asociados a rocas fracturadas y alteradas del Grupo Calipuy y las formaciones Fms. Carhuaz y Chimu.

### **REPTACIÓN**

Ejemplos de este tipo de proceso lo tenemos en los sectores de Pomaca, Rucu, Quinuamachay y Pampa Jupay en Oyón; donde abarcan áreas desde métricas a kilométricas. La mayoría de ellos están asociados a los cambios térmicos de la parte alta de la cuenca que produjo pérdida de soporte del suelo superficial.

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

La amplia variación de las características geomorfológicas y geotécnicas reconocidas en la cuenca se explica por la complejidad geológico-estructural de la región, condicionada por los factores climáticos y la presencia de vegetación.

Los movimientos en masa más frecuentes en la cuenca son las caídas (desprendimiento de rocas y derrumbes) y flujos de detritos (figura 3).

Un mayor porcentaje de movimientos en masa (25 %, figura 4) se producen en dacitas, andesitas y piroclastos del Grupo Calipuy, lo que podría deberse a la presencia de cenizas que le restan competencia a los macizos rocosos. También se producen en las areniscas, cuarcitas y lutitas de las formaciones Carhuaz, y Chimu con 19 % del total y están asociados al intenso fracturamiento de las mismas. Con un 17 % del total de movimientos en masa inventariados, le siguen en importancia los depósitos de origen aluvial. El porcentaje restante corresponde a depósitos de tipo fluvial (11%); las calizas, lutitas y limoarcillitas de las formaciones Pariatambo, Jumasha, Celendin y Oyón (8 %); depósitos de tipo glaciario (5%); las lutitas, margas y calizas de las formaciones Santa y Chulec (3%); adamelitas y granodioritas (2 %) y las calizas macizas de la formación Pariahuanca (1%).

Muchos de los procesos antiguos reconocidos podrían haber sido detonados por sismos de gran magnitud, dadas las dimensiones de algunos derrumbes y desprendimientos de rocas de longitudes kilométricas, grandes escarpes asociados a fallas locales y terrazas elevadas varios cientos de metros en ambos márgenes de ríos como Huaura y Checras.

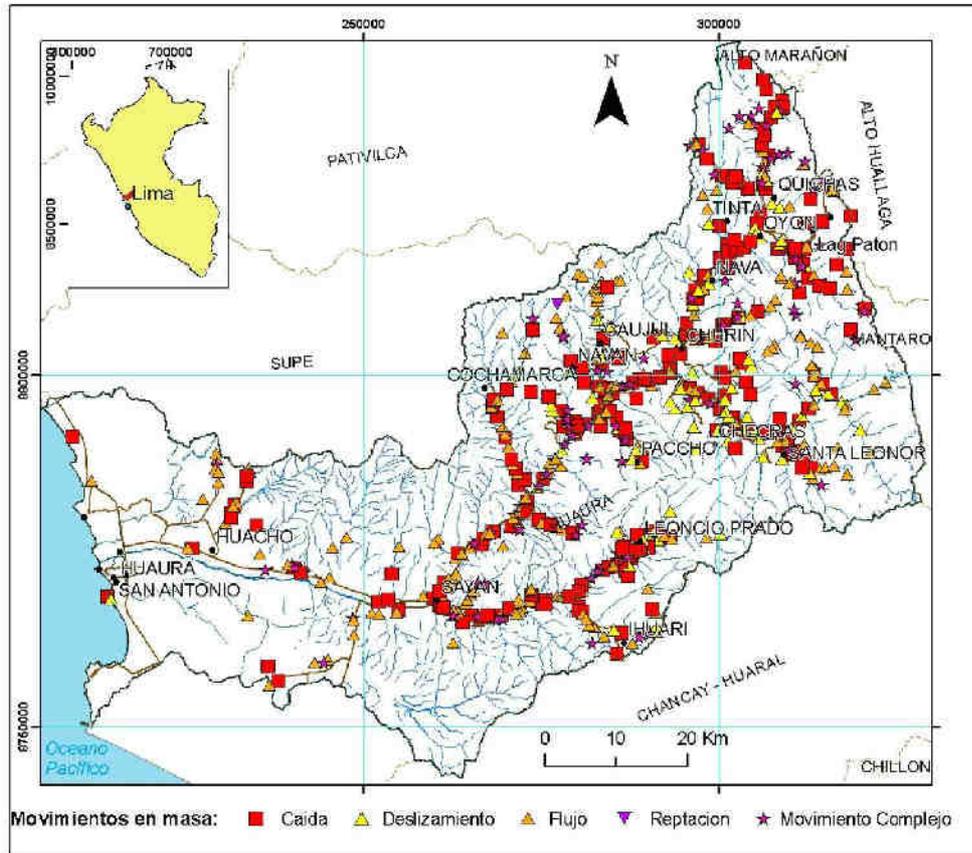


Figura 3. Mapa de inventarios de movimientos en masa de la cuenca del río Huaura (Villacorta et al, 2008)

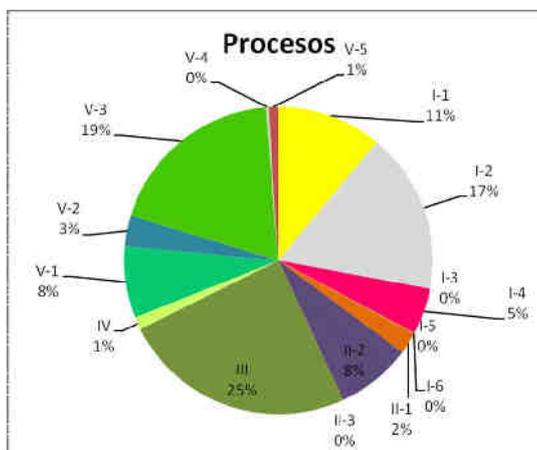


Figura 4. Porcentaje de movimientos en masa por tipo de litología en la cuenca del río Huaura (donde: I-1: depósitos fluviales, I-2: depósitos aluviales, I-3: depósitos fluvio-glaciares, I-4: depósitos glaciares, I-5: depósitos eólicos, I-6: depósitos marinos, II-1: adamelitas, granodioritas, II-2: dioritas, tonalitas, II-3: granito, III: Fm. Calipuy, IV: Gpo. Casma V-1: Fms. Pariatambo, Jumasha, V-2: Fms. Santa, Chulec, V-3: Fms. Carhuaz, Chimu, V-4: Fm. Farrat, V-5: Fm. Pariahuanca

Acerca de la generación de movimientos en masa actuales y activos, la mayoría de ellos están asociados principalmente a episodios de precipitaciones intensas y a remociones artificiales resultado de la actividad antrópica (industrial, poblacional, minera) que ha activado estructuras geológicas locales como fracturas y fallas.

## CONCLUSIONES

- Las rocas volcánicas serían las más propensas a la generación de movimientos en masa en la cuenca del río Huaura.

- Los flujos de detritos habrían sido detonados principalmente por la precipitación pluvial y los desprendimientos y derrumbes por la sismicidad.
- Muchos de los movimientos en masa antiguos estarían asociados a sismos de gran magnitud, que ha producido caídas de rocas de grandes dimensiones y escarpes kilométricos. En casos particulares, las precipitaciones intensas y remociones artificiales resultado de la actividad antrópica (industrial, poblacional, minera) que ha activado estructuras geológicas locales como fracturas y fallas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bieniawski, Z. 1989. Engineering Rock Mass Classifications. Wiley-Interscience Publication.
- Cobbing J. 1973. Geología de los cuadrángulos de Barranca, Ambar, Oyón, Huacho, Huaral y Canta. INGEMMET, Bol. Serie A. N° 26. p. 171. Lima, Perú.
- Fidel, L., Zavala B. Núñez, S. Valenzuela G. 2006. Estudio de Riesgos Geológicos del Perú Franja N° 4. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Serie "C" Geodinámica e Ingeniería Geológica. Boletín N° 29. p. 383. 11 figs., 10 gráfs., 49 cdrs., 136 fots., 19 mapas
- Lain, L. Llorente, M Díez, A. Rubio, J. Maldonado, A. Galera, J. Arribas, J. 2005. Mapas de peligrosidad geológica en el término municipal de Albuñol. Publicación IGME. Granada, España .p. 162. Inédito.
- PMA-GCA. 2007. Movimientos en masa en la región andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Publicación Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. Servicio Nacional de Geología y Minería, publicación Geológica Multinacional N° 4, p. 432. Un CD-ROM. Impreso en Ontario, Canadá.
- Romero 2007. La cuenca Cretácico Superior-Paleoceno del Perú central: un metalotecto para la exploración del SMV., ejemplo mina María Teresa. Tesis de Máster. RED DESIR - Máster Internacional Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Minerales.
- Sánchez, M. 2008. Hidrogeología de la cuenca del río Huaura. En: Estudio Geoambiental de la cuenca del río Huaura. INGEMMET, Serie C. Geodinámica e Ingeniería Geológica. Inédito.
- Struckmeier, W. & Margat, J. 1995. Hydrological maps a Guide and a Standard Legend. International Association of hidrogeologists. Ed. Van Acken GmbH. Hannover, p. 193.
- Varnes, J. 1978. Slope movements types and processes. En: SCHUSTER, L. y KRIZEK, J. ed, Landslides analysis and control. Washington D.C. National Academy Press Transportation Research Board Special Report p. 176.
- Villacorta, S., Sánchez, M., Chira, J. Pari, W. Ochoa, M. Valencia, M. 2008. Estudio Geoambiental de la cuenca del río Huaura. INGEMMET, Serie C. Geodinámica e Ingeniería Geológica. Inédito