

# SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA EN LA REGIÓN CAJAMARCA, NORTE DE PERÚ Y EL DESLIZAMIENTO DE RODEOPAMPA DEL 22 DE FEBRERO DEL 2010

Bilberto ZAVALA CARRIÓN<sup>1</sup>, Malena ROSADO<sup>1</sup> y Samuel LU LEÓN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. bzavala@ingemmet.gob.pe.

## RESUMEN

El 22 de febrero del 2010, un deslizamiento antiguo ubicado en la ladera el cerro Rodeopampa fue reactivado, produciendo el represamiento del valle de Sócota, afluente del río Marañón; afectó tierras agrícolas y algunas viviendas de Rodeopampa en el cuerpo y cabecera del deslizamiento y a San Luis de Lucma en la zona de Run up y embalse, ambas ubicadas en las provincias de Chota y Cutervo, región Cajamarca, norte de Perú. Formó un embalse de 1640 m de longitud y 400 m de ancho con una altura de cierre de 70 a 90 m, que permaneció por meses hasta antes de ser abierto en forma natural por el río. Así como este deslizamiento, diferentes procesos gravitacionales se presentaron durante las lluvias anómalas en el 2008, 1998 y 1983 en la región norte del país, siendo afectadas importantes vías de penetración a la sierra y selva de la región Cajamarca. Estas zonas previamente evaluadas en el estudio de riesgo geológico en la región, y en particular el sector de Rodeopampa, fueron comparadas con el mapa de susceptibilidad elaborado. Dichas áreas ubicadas en zonas de alta y muy alta susceptibilidad a los movimientos en masa, permitieron validar el mapa y su utilidad como herramienta de prevención de desastres y planificación del desarrollo.

**Palabras clave.** *Susceptibilidad; movimientos en masa. Rodeopampa, Cajamarca.*

## ABSTRACT

*Susceptibility to mass movements in the Cajamarca region, northern Perú and landslide Rodeopampa on February 22, 2010.*

On February 22, 2010, an old slide on the slopes the hill Rodeopampa was reactivated, causing damming Sócota Valley, a tributary of the Marañón River affect agricultural land and some houses of Rodeopampa in the body and head of the slip and St. Luis de Lucma in the Run up and reservoir, both located in the provinces of Chota and Cutervo, Cajamarca region, northern Peru. He formed a reservoir of 1640 m long and 400 m wide with a shut height of 70 to 90 m, which remained for months before being opened up naturally by the river. As this slide, different gravitational processes occurred during the anomalous rainfall in 2008, 1998 and 1983 in the northern region, being affected major routes into the mountains and forests of the region Cajamarca. These areas previously evaluated in the study of geological risk in the region, particularly Rodeopampa sector were compared with the susceptibility map produced. These areas are located in areas of high and very high susceptibility to landslides, helped to validate the map and its usefulness for disaster prevention and development planning.

**Keywords:** *Susceptibility; mass movement; Rodeopampa, Cajamarca.*

## INTRODUCCIÓN

La región Cajamarca (RC), en relación con otras áreas de Perú, posee un bajo índice de ocurrencia de movimientos en masa (MM) en el período histórico o reciente (detonados por sismos y lluvias). Un mayor porcentaje de estos se asocian a eventos extremos hidro-climáticos como el Fenómeno El Niño (FEN) y menos relacionados a movimientos sísmicos (Zavala *et al.* 2011). Se destacan entre los

eventos del siglo pasado el deslizamiento de Pimpingos (1928), que ocasionó 28 muertes (Silgado 1978); el deslizamiento en La Florida en San Miguel de Pallaque en 1998, dejando 16 muertos; el deslizamiento de Choropampa, activado los años 1998 y 2001 (Dávila 2001a); los deslizamientos de Jancos y Calquis (Dávila S., 2001b y c); el deslizamiento de Apangoya (Zavala y Valenzuela 1997); el deslizamiento de La Pucará en el 2000, que provocó 34 muertes. Des-

lizamientos recientes afectan áreas urbanas en las localidades de Bambamarca y Huambos (Nuñez 2007). Data recopilada sobre MM con cartografía a escala 1:50 000, interpretación de fotos aéreas e imágenes satelitales Landsat, incluye 2076 ocurrencias de MM (Zavala *et al.* 2011). La estadística de MM muestra a los deslizamientos en primer lugar (801 ocurrencias), derrumbes, caídas de rocas, y vuelcos (486), flujos (369), movimientos complejos (170), reptaciones (34),

avalanchas de rocas (19) entre los principales. Con el fin de determinar la susceptibilidad (SS) a los MM en la región, se preparó mapas temáticos para cada factor condicionante (litología, pendiente, geomorfología, hidrogeología y cobertura vegetal y uso de suelo) y se ponderó por separado. El mapa resultante fue obtenido por el método de ponderación de factores, empleando GIS para el cruce de información, a partir de un método heurístico, adoptada para estudios regionales en Perú, con buenos resultados (Villacorta *et al.* 2010).

El objetivo de este artículo es analizar el “mapa de susceptibilidad a movimientos en masa” de la RC elaborado, en relación con un movimiento en masa reciente, el deslizamiento de Rodeopampa (DR) ocurrido el 22-01-2010. Asimismo analizar las causas que produjeron este evento y, motivar a utilizar esta herramienta temática para la prevención de MM futuros, en zonas de alta y muy alta susceptibilidad en la RC u otras zonas del país.

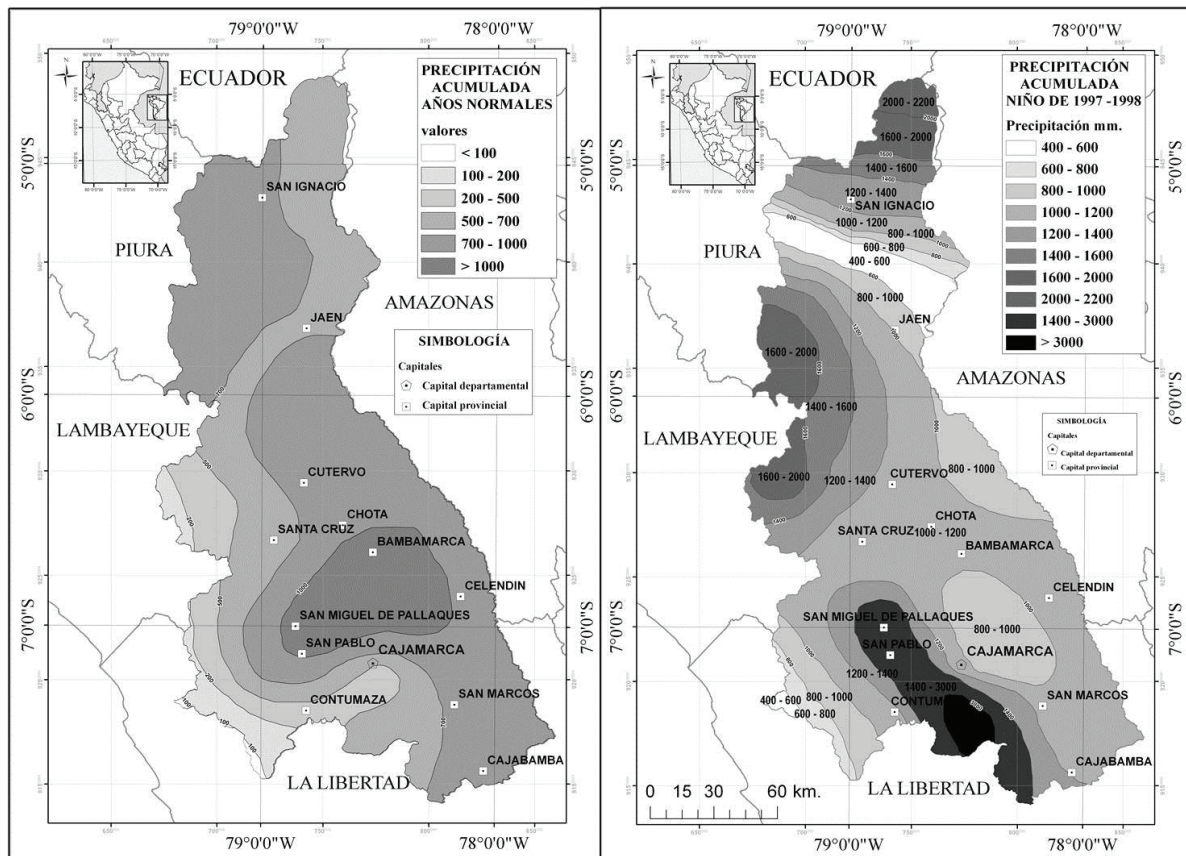
## ASPECTOS GEOGRÁFICOS Y CLIMÁTICOS

La RC está ubicada en el sector noroccidental del país entre los 4° 30' y 7° 45' de latitud sur y los 77° 30' y 79° de longitud oeste); abarca un área de 33 317,54 km<sup>2</sup>, (2,8 % del país). La región presenta un relieve moderado a suave y comprende terrenos de sierra y selva alta principalmente, y sectores de transición a la costa en los valles y quebradas occidentales. Es atravesada de sur a norte por la Cordillera de los Andes, con elevaciones que no sobrepasan los 4300 m.s.n.m., y drenada por ocho ríos de la vertiente Atlántica y parte alta de cinco cuencas en la vertiente Pacífica. El DR afectó parte de los distritos de Anguía (Chota) y San Luis de Lucma (Cutervo), norte de la RC. El MM se produjo en el margen derecha del río Sókota a 2630 m s.n. m. Localmente el área es drenada por el río Conchán que recorre de sur a norte y confluye con el río Sókota, recorriendo oeste a este; ambos tributarios del río Marañón, colector principal.

La RC posee cinco de las ocho regiones o pisos altitudinales naturales reconocidas en nuestro país (Pulgar 1941), que condicionan una variedad de “microclimas”, y según la altura en cada una se tiene climas: templado cálido (500 a 2500 m.s.n.m.), templado (2500 a 3500 m.s.n. m.), templado frío (3500 a 4100 m.s.n.m.), frío (4100 a 4800 m.s.n.m.) y tropical cálido a templado cálido (400 a 2000 m.s.n.m). La precipitación pluvial varía entre 800 mm en la vertiente occidental, hasta más de 2000 mm en el sector oriental; su distribución está relacionada con la altitud y la disposición de la cordillera noroccidental de los Andes con diferencias marcadas en años normales y excepcionales en presencia de él FEN (INDECI, 2003; Fig.1).

## ASPECTOS GEOLÓGICOS

En la RC la morfología se caracteriza por presentar zonas de montañas, colinas y lomadas, piedemontes y planicies. El origen de estas geoformas está asociado por un



**Figura 1.** Isoyetas de lluvias comparativas para años normales y excepcionales en Cajamarca (El Niño 1997-98). Fuente: SENAMHI, 1998, en INDECI 2003).

lado a procesos erosivos que siguieron al levantamiento andino; procesos gravitacionales, estrechamente ligados a la deglaciación del Cuaternario, FEN y eventos sísmicos. Éstos modificaron las vertientes y cauces fluviales y fluvio-glaciares, generando la acumulación de depósitos de piedemonte, abanicos, morrenas y terrazas que rellenan los valles y laderas. Desde el punto de vista morfoestructural en la región se pueden diferenciar:

Montañas alineadas de dirección andina (estribaciones bajas y la cordillera noroccidental, con laderas pronunciadas, superficies suaves, elevadas, cortadas por valles juveniles y quebradas); están compuestas principalmente por rocas del batolito andino.

Relieves estructuralmente plegados, en el sector central y oriental; compuestas por secuencias silicoclásticas y calcáreas mesozoicas.

Pampas y altiplanicies en forma de mesetas y lomadas suaves disectadas; formadas por principalmente por secuencias piroclásticas, volcano-sedimentarias y calcáreas.

Vertientes con depósitos plio-cuaternarios, asociados a depósitos aluviales, fluviales en el lado sur de la región (San Marcos y Cajabamba) y norte (Jaén y San Ignacio); fluvio-glaciares en la región central (Cajamarca, Hualgayoc).

Remanentes de una cordillera antigua con laderas abruptas a moderadas, en el lado noroccidental y oriental (complejos metamórficos y rocas intrusivas paleozoicas).

Afloran en mayor porcentaje rocas sedimentarias estructuralmente plegadas (54,09 %), expuestas en el lado oriental y sur de la región. Le siguen en proporción rocas volcánicas y volcánico-sedimentarias en el lado central-occidental (25,68 %). También se presentan afloramientos dispersos de rocas intrusivas del batolito andino en el lado occidental y norte (7,28 %), así como rocas metamórficas (Complejos Olmos y Marañón) en un 5,74 %. Depósitos cuaternarios inconsolidados (6,74 %), rellenan los valles laderas y vertientes; se incluyen depósitos fluviales, aluviales, depósitos de MM, fluvio-glaciares y morrenas.

#### METODOLOGÍA

Para el análisis de SS en la región, y la evaluación geodinámica del DR, se efectuaron trabajos de campo y gabinete.

Inventario de MM con cartografía a escala 1: 50 000; registro geológico con fichas en cada ocurrencia; interpretación de fotos aéreas e imágenes satelitales y comprobación de campo.

Elaboración de mapas de factores condicionantes. Ponderación de las característi-

cas de cada factor: litología, pendiente del terreno, morfología del terreno, hidrogeología a partir de las características de permeabilidad en las rocas y el tipo de cobertura vegetal y uso de suelo. El mapa resultante se elaboró utilizando el método de ponderación de factores (método heurístico, cualitativo), con ayuda de GIS aplicado por el INGEMMET en estudios regionales, y con buenos resultados; fue validado con el mapa de inventario de MM inicial, obteniéndose cinco rangos, entre zonas de muy baja hasta muy alta SS.

El mapeo del DR fue realizado una semana después de ocurrir el evento (Zavala *et al.* 2010-2011), con reconocimiento y mediciones en las zona de arranque, embalse y *run up*, entrevistas a los pobladores de Rodeopampa y San Luis de Lucma. Se utilizaron fotos panorámicas comparativas pre y post deslizamiento (2007 y 2010).

A partir de la topografía existente se elaboraron dos secciones geológico-geodinámicas (pre y post MM) que ilustran la dimensión y tipología del MM.

La geología local está basada en la carta geológica nacional a 1: 100 000 del cuadrángulo de Cutervo (Wilson 1980); se reconocen las características geológicas locales. Se utilizaron GPS y distanciómetros portátiles, binoculares e instrumentos convencionales.

CUADRO 1: Principales MM históricos registrados en Cajamarca

Fecha de ocurrencia	Lugar	Tipo	Actividad	Daños
5/14/1928	Pimpingos	Deslizamiento	Activo	25 muertos.
Marzo 1998; Marzo 2001.	Choropampa	Deslizamiento Rotacional	Activo	Afectó viviendas y carretera. Avance puede afectar viviendas y represar río.
11/7/1999	La Púcara	Derrumbe - Flujo	Activo.	100 viviendas destruidas; 34 muertos y terrenos de cultivo afectados.
8/22/1998	Apangoya	Deslizamiento Traslacional	Inactivo Joven; Reactivado,	Afectó área urbana; poblado fue reubicado antes del desastre.
4/14/1998	Calquis	Deslizamiento-flujo	Activo	Un muerto; siete viviendas y tres colegios destruidos; 79 afectadas; tres hectáreas de cultivo arrasados.
5/6/2001	Jancos	Deslizamiento-flujo	Activo	Dos viviendas destruidas y 20 afectadas.
2005	Bambamarca	Deslizamiento rotacional	Activo	Afecta viviendas del sector Cinco Esquinas, carretera y zona de cultivos.
2007	Huambos		Inactivo-joven; reactivado.	Agrietamientos en Centro de salud, colegio, viviendas y red de agua.
2008	Varios	Deslizamiento, derrumbe, huaycos		Grandes tramos de la carretera Olmos-Jaén (plataforma, badenes), fueron destruidos.



MM EN CAJAMARCA: ANÁLISIS HISTÓRICO, INVENTARIO Y FRECUENCIA

La RC en el contexto regional de SS, presenta características condicionantes que favorecen la ocurrencia de MM. Zavala y Rosado (2011) refieren un bajo índice de eventos desastrosos históricos, con mayor proporción de eventos asociados a él FEN (1982-83 y 1997-98), lluvias excepcionales (2008), y escasos relacionados a sismos; se destaca dentro de estos últimos el deslizamiento de Pimpingos del 14/05/1928 en el valle de Chamaya, asociado a un sismo en la zona norte del país que ocasionó 28 muertes (Silgado 1978). Otros deslizamientos como el de Apangoya en 1998 cuya evaluación previa permitió evacuar a la población (Zavala y Valenzuela 1997) o de La Pucará (2000), cuya evolución continúa hasta la actualidad, afectando áreas agrícolas y viviendas rurales, fueron causados por las

características intrínsecas locales y detonados por lluvias anómalas. Durante las lluvias del 2006 y 2008 (cuadro 1 y 2 y Fig. 2) gran parte de las carreteras de penetración a la selva Olmos-Jaén (norte de Cajamarca) y de acceso a las provincias de Chota, Santa Cruz y Cajamarca fueron afectados por MM, con grandes efectos en la economía y actividades en la región. Como parte del estudio de riesgo geológico en la RC, se inventarió 2106 ocurrencias de MM (Zavala y Rosado 2011). Su identificación y cartografía se basa en la clasificación adaptada de Varnes (1978 y 1984), así como la “Clasificación de MM en la Región Andina” (PMA: GCA, 2007); se diferencian procesos activos hasta antiguos o relictos. La estadística de este inventario muestra a los deslizamientos en primer lugar (38,03 %), derrumbes, caídas de rocas y vuelcos (23,08 %), flujos de detritos y de lodo, avalanchas de rocas y detritos (18,42 %), erosión de laderas (10,59 %), movimientos complejos

CUADRO 2: MM detonados por lluvias excepcionales

	DRR	DLZ	FD	MC	I	ID
1998	5	15	106	3	4	
1983 y 1998	5	15	97	3	4	2
1998 y 2006			2			

(8,07 %), reptaciones (1,61 %), hundimientos (0,18 %). Los MM antiguos, no-históricos (cuadro 3) fueron definidos en función a sus características morfológicas y morfométricas principales: dimensión en la zona de escarpa, desplazamiento de material, distancia entre pie y escarpa, modificación o cierre de valle, grado de erosión de escarpa y depósito. Muchos de ellos, se los asociaría a movimientos sísmicos; teniendo en cuenta la distancia a la costa es más probable su asociación a sismos intraplaca que a sismos de subducción. Estudios de neotectónica en Perú (Sebrier *et al.* 1982, Macharé *et al.* 1991, 2009) y sismotectónica (Tavera y Buforn 2001), refieren la presencia de dos fallas activas en el norte del país en: 1) Chaquilbamba, en la cordillera Occidental del norte del Perú (en el límite sur de la región Cajamarca), de 1,5 km de longitud y con orientación NNO-SSE; el desplazamiento en superficie más reciente se asociaría al sismo de 1937 en Cajabamba, sur de Cajamarca (Belier *et al.* 1989). 2) El sistema de fallas Rioja-Moyobamba en la zona subandina norte (6° S, 77° O, al este de Cajamarca), con potencial de actividad sísmica en algunas fallas (Shitari o Rioja; Moyobamba Norte y Sur); la alta sismicidad en los años 1928, 1968, 1990 y 1991, parece estar relacionada con la reactivación de estas estructuras. Los MM inventariados se tratan de avalanchas de roca con escarpas entre 0,3 a 3 km, con gran flujo de material ladera abajo, en algunos casos canalizados por quebradas o a lo largo de laderas; algunos movimientos complejos (deslizamiento-flujo o derrumbe-flujos y grandes deslizamientos rotacionales o planares (cuadro 3). Asimismo a partir de la clasificación de McCalpin (1984), se estima su edad relativa; uno de ellos corresponde al DR (cuadro 4).

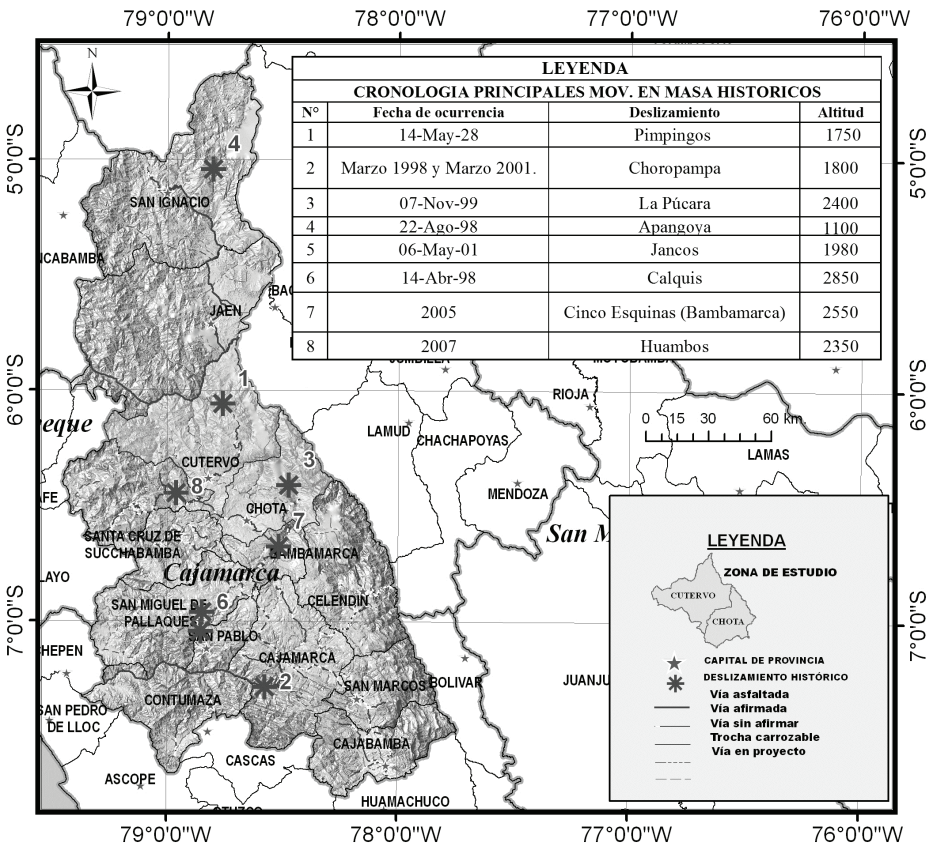


Figura 2. Deslizamientos históricos que afectaron la región Cajamarca.

**SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA EN CAJAMARCA**

Los mapas de SS constituyen herramientas básicas para la prevención de futuros eventos geológicos en cualquier región. Su elaboración a partir de parámetros intrínsecos (condicionantes), es independiente de la ocurrencia de eventos detonantes (lluvias, sismos, actividad antrópica). Es importante su difusión y uso en el ordenamiento territorial, y proyectos de infraestructura (Ayala-Carcedo y Coraminas 2003). Los factores utilizados para el análisis de SS a los MM son las variables (Cuadro 5). Su grado fue analizado en forma individual para cada factor condicionante. El peso asignado para cada uno depende mucho de la experiencia del evaluador, con conocimiento geológico de los terrenos a analizar; su valor es subjetivo. Las zonas de igual SS se dividen en cinco categorías: Muy baja SS, Baja SS, Moderada SS, Alta SS y Muy Alta SS (Fig. 3). Al superponer este mapa sobre el de inventario se encontró una coincidencia del 75 a 80% de MM en zonas de alta y muy alta SS.

**EL DESLIZAMIENTO DE RODEOPAMPA DEL 22 DE ENERO DE 2010**

Antes de la ocurrencia del DR, un informe daba cuenta para la zona de Rodeopampa (Anguía), interpretaciones sobre la SS a los MM en esta área. En dicho informe se señalan manifestaciones de derrumbes en la escarpa antigua, y los condicionantes analizados sugerían una susceptibilidad alta a muy alta (Zavala y Rosado 2009).

**Características geológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas del lugar**

El valle de Sókota afluente principal del río Marañón, recorre de oeste a este la ladera del cerro Rodeopampa y San Luis de Lucma, márgenes derecha e izquierda respectivamente. En sus vertientes se emplazan zonas agrícolas de secano y viviendas. Es ligeramente encañonado con laderas entre 30° y 50° de pendiente. La ladera de Rodeopampa, antes del deslizamiento, mostraba un perfil típico cóncavo-convexo, donde podía distinguirse una escar-

pa abrupta de deslizamiento y el depósito colgado ligeramente convexo que llegaba hasta cerca del pie del río Sókota. Un afluente local es el río Conchán. Modificaciones locales en los últimos años fueron hechas para el trazo de carreteras rurales. En el sector de Calabozo-Rodeopampa las laderas son pronunciadas (> 40° o 50°), cara libre al talud del deslizamiento antiguo, hacia el río Sókota. La morfología local es un relieve montañoso, sedimentario, estructuralmente plegado con ver-

tientes de pendiente pronunciada a fuerte. La erosión y procesos gravitacionales en el substrato rocoso generaron escarpas y depósitos de MM, que forman parte de las vertientes. Geológicamente presenta una estructura de valle estructural, con predominancia de calizas y margas, con intercalaciones de lutitas (intercalan capas competentes e incompetentes); areniscas y cuarcitas en menor porcentaje afloran en el área (ladera superior). El conjunto estructural corresponde a una faja plega-

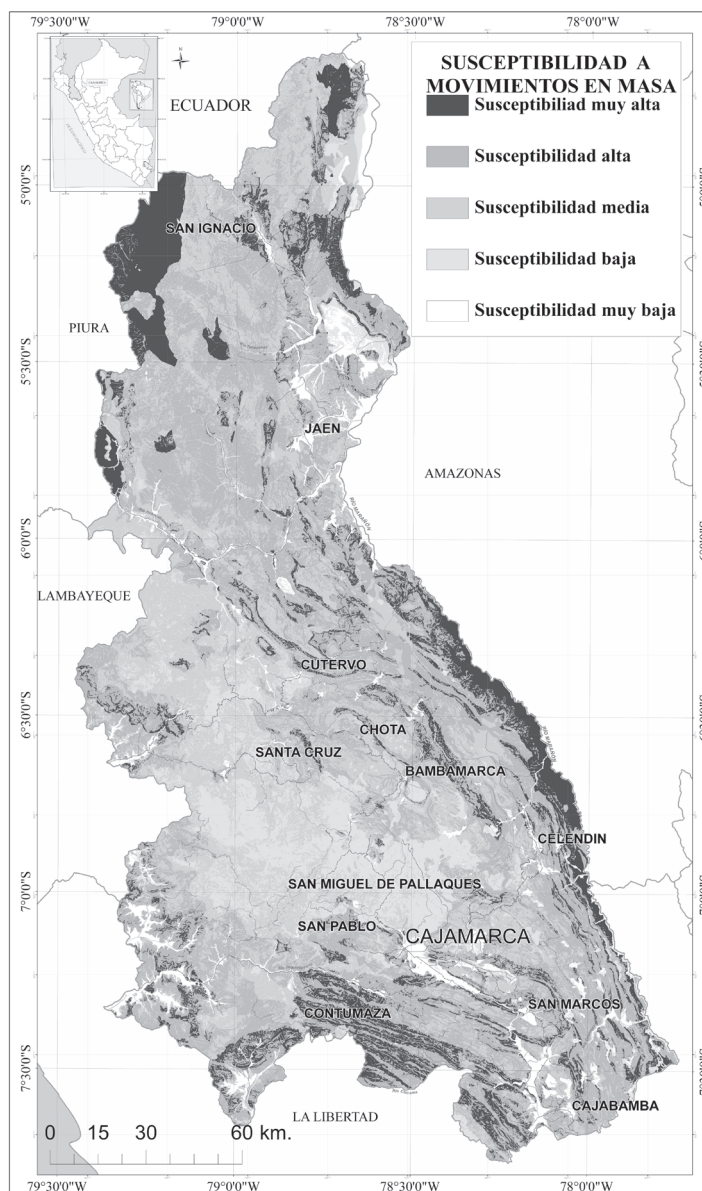


Figura 3. Susceptibilidad a los MM en la región Cajamarca.

da (sinclinal), cortado por una falla de bajo ángulo. Las capas sedimentarias buzan contra la pendiente de la ladera. En la margen izquierda afloran rocas intrusivas. Se destacan además acumulaciones superficiales con suelos coluvio-residuales y depósitos gravitacionales, originados por MM (derrumbes, deslizamientos o flujos).

Asimismo, a partir de la permeabilidad de las rocas presentes, se puede diferenciar la presencia de acuitardos sedimentarios (calizas; calizas y margas; arcillitas calcáreas; calizas margosas). Por sus características (fracturas, estratificación), tienen la capacidad de almacenar agua (retienen agua) pero su transmisibilidad es muy lenta o localizada.

### Susceptibilidad local y el deslizamiento de Rodeopampa

Las características descritas en el ítem anterior se corroboran en el mapa regional; la valoración de SS para las unidades de cada mapa temático, se presenta en el cuadro 6. Un corte del mapa de SS para el área de Rodeopampa se muestra en la Fig. 4 (Zavala *et al.* 2010b), donde se resalta en negrita, las unidades locales.

### Características del deslizamiento de Rodeopampa: Tipología y dimensiones

El 22 de febrero de 2010, la reactivación del depósito colgado de un antiguo deslizamiento rotacional, ubicado en la ladera del cerro Rodeopampa, se precipitó violentamente ladera abajo represando el valle del río Sócola e impactando en su margen izquierda. Las observaciones y mediciones de campo (Zavala *et al.* 2010a) y los relatos de las personas permiten deducir que el DR se produjo en dos episodios principales:

1) Eventos premonitores con derrumbes pequeños en la zona desde dos a tres años atrás. Un desprendimiento de material en la parte alta de Rodeopampa (zona de cultivos), de un talud subvertical, comprometió rocas fracturadas; esto originó su posterior agrietamiento y asentamiento de tierras de cultivo en Rodeopampa.

2) Deslizamiento de una gran masa de material adosado a la ladera (sector Calabozo), originó un brusco movimiento hacia abajo y hacia fuera de la ladera, im-

CUADRO 3: Principales MM asociados a sismos (no históricos) en la región.

Tipo de MM	Edad	Escarpa (m)	Desnivel Escarpa/pie (m)	Flujo no canalizado (m)	Longitud cierre de valle (m)	Otras características
AR	3	650	600	2300	850	Abanico de flujo.
DR	3	1000	600	2000	2600	Escarpas sucesivas.
DR	3	500	600	1300	600	Desviación de cauce fluvial.
DR	3	1400	750	2000	3000	
DR	3	1500	950	5500	3300	Depósito estabilizado.
DR	3	800	550	1500	1100	Ladera cóncavo-convexa.
DR	3	800	500	1500	1100	Ladera cóncavo-convexa.
DT	3	500	800	2000	Nó.	Escarpa cóncava.
DT	3	400	800	1600	350	Terreno escalonado.
AR	3	800	300	1400	800	Run up; margen derecha.
AR	3	650	950	3500	1600	Canalizado Qda. San Lorenzo.
AR	3	500	550	1900	850	Run up 100 m.
AR	3	800	800	1900	500	Desviación de cauce fluvial.
DRR	3	1100	1450	3500	2600	Grandes bloques en ladera.
MC	2	800	1700	2800	1250	Desviación de cauce fluvial.
DT	2	450	750	1700	1200	Desviación de cauce fluvial.
DT	2	400		2400	850	Desviación de cauce fluvial.
MC	3	800	700	2200	1600	Depósito estabilizado.
DR	3	2300	500	3500	3000	Desviación de cauce fluvial.
DT	3	2500	1300	4300	1300	Desviación de cauce fluvial.
DT	2	1700	1200	1200	3300	Fuerte erosión en cárcavas.
AR	1	1050	1050	3250	1500	Terraza alta proluvial.
AR	1	160	350	1150	Nó.	Grandes bloques en ladera.
AR	1	650	800		1500	Run up. No canalizado.
AR	2-Apr	3000	1650	5300	1500	Gran terraza proluvial.
MC	2-Apr	1200	1600	8000		Modificó dos quebradas.
DR	2	1100	1000	2300	1600	
DR	1	600	850	2400		Ladera.
DT	2	3800	950	3150	4200	Escarpa principal abrupta.
DR	1	1000	1000	2800	1200	Reactivación en el cuerpo
AR	2	950	550	2000	1200	Grandes bloques en ladera.
DR	2	1000	800	3000	900	Depósito de flujo.
AR	2	1500	700	3100	1650	
DRR	2	1400	1100	2500	1850	Escarpa recta.



Tipo de MM	Edad	Escarpa (m)	Desnivel Escarpa/pie (m)	Flujo no canalizado (m)	Longitud cierre de valle (m)	Otras características
DRR	1	1150	600	2750	2400	Desviación de cauce fluvial.
DR	2	1200	650	1800	1300	Desviación de cauce fluvial.
AR	2	250	1150	2550	1100	Abanico de flujo en el pie.
DR	1	450	350	1300	800	Desviación de cauce fluvial.
DR	1	800	550	3000	1150	Desviación de cauce fluvial.
MC	1	500	500	2400	950	Desviación de cauce fluvial.
DRR	2	1100	1000	2350	1300	Desviación de cauce fluvial.
DR	2	800	450	1500	1450	Desviación de cauce fluvial.
DR	2	600	350	1200	800	Desviación de cauce fluvial.
DR	2	550	300	1450	750	Desviación de cauce fluvial.
AR	2	950	1500		1450	Desviación de cauce fluvial.
MC	1	550	850	2650	600	Aluvión aguas abajo.
AR	2	400	1000	2900	1300	Bloques en ladera y cauce.
AR	2	1750	1450	2450	2200	Run up, 150 m.
DR	2-Apr	850	800	2550	900	Reactivación en el pie.
AR	2	300	400	800	Nó.	Grandes bloques en ladera.
DT	1	400	550	1250	800	Bloques en la ladera y cauce.
MC	1	850	950		1600	Desviación de cauce fluvial.
DR	1	550	850	2000	700	
MC	1	1100	1200	5500	2000	Represó río Crisnejas,
MC	1-Apr	500	700	2000	1200	Desviación de cauce fluvial.
MC	1	700	1100	2050	1150	Desviación de cauce fluvial.

pactando con la margen izquierda del río Súcota, generando una ola o “run up”. El material se emplazó en el cauce del río y fluyó, en función a la topografía del terreno tanto aguas arriba como aguas abajo del valle, embalsándolo (Fig. 5). Estas características hacen suponer que el MM se comportara como una avalancha de rocas. Posteriores desprendimientos en el talud de corte compuesto por rocas muy fracturadas y suelo coluvial inconsolidado se dieron en el frente de deslizamiento. Deslizamientos, asentamientos y hundimientos de terreno a lo largo de una zona semicircular avanzan retrogresivamente y continuaron hasta meses después; esto puede apreciarse en los primeros 50 m superiores del desliza-

miento. A continuación describimos sus características principales:

**Tipología:** Deslizamiento rotacional con avance retrogresivo. Acompañaron al even-

to principal: desprendimientos iniciales de material rocoso fracturado y coluvial; el deslizamiento súbito de la masa colgada en la ladera (del deslizamiento antiguo) que impactó en la margen contigua originando un *run up* (avalancha de rocas); posteriores deslizamientos o derrumbes menores de material rocoso y coluvio-residual, con bloques de grandes tamaños, siguieron acumulándose en forma de talus, al pie del gran depósito de MM, por semanas. Agrietamientos y asentamientos encima de la zona deslizada (parte superior) continuaron por varias semanas, afectando terrenos de cultivo y algunas viviendas del poblado de Rodeopampa; éste fue reubicado a un sitio seguro.

**Dimensiones del MM:** Sobre la base de mediciones y cartografía a escala 1/25,000 se estimó:

Cotas en la corona y pie de deslizamiento: 2300 y 1200 m.s.n.m.

altura del deslizamiento: 1000 m

Ancho: 300 m (parte alta); 1000 m (parte inferior)

pendiente de la ladera: 26° a 55°

**Dimensiones del depósito de embalse:**

Presenta las siguientes características:

Longitud: 1640 m. x Ancho: 80 a 400 m; Altura: 70 a 90 m.;

Volumen estimado de embalse: 25 millones de metros cúbicos;

*Run up:* Hacia la margen izquierda, 100 m por encima del cauce fluvial antiguo,

alcanzando la cota 1300. El material está compuesto por bloques con dimensiones variables de hasta 3 m de diámetro; matriz con bloques más pequeños y material fino limo-arcilloso, con algo de humedad.

**Tipo de embalse:** Tipo IVa. El material

CUADRO 4: Movimientos en masa pre-históricos detonados por sismos.

Tipo de MM	Total de ocurrencias	Edad estimada			
		Inactivo joven	Inactivo maduro	Estabilizado a Viejo	Reactivado
Avalancha de rocas	16	3	7	5	1
Derrumbe	3		2	1	
Movimiento complejo	9	5	1	1	2
Deslizamiento rotacional	21	4	9	7	1*
Deslizamiento traslacional	7		3	4	

deslizado ocupó el ancho del cauce con leve basculamiento hacia la margen derecha producto del impacto. Flujo de material y run up y disposición posterior aguas arriba y aguas abajo del frente deslizado (Costa y Schuster 1988); una pequeña laguna se formó en la desembocadura de quebrada que discurre desde el sector de San Luis de Lucma (margen izquierda). Por estas características y, de acuerdo con la clasificación de Hermanns *et al.* (2011) se incluye dentro del tipo IVA; considerando el perfil transversal se incluye en el tipo iv. El embalse continuó por meses hasta que el río saturó el material deslizado; inicialmente por infiltración empezó a discurrir aguas abajo, hasta que alcanzó una altura suficiente entre el depósito de deslizamiento y el material que seguía cayendo producto de los derrumbamientos de la ladera inestable y avance retrogresivo, existía una hondonada, por donde el río empezó a discurrir. Un perfil transversal post-deslizamiento muestra las características del MM (Fig. 6).

CUADRO 5: Ponderación de variables y obtención de mapa de SS

Variable	Descripción	Obtención	Peso
Pendiente (P)	Seis rangos de pendiente expresado en grados (0°-90°).	DEM, a partir de mapas topográficos a 1:100,000; equidistancia de curvas cada 50 m.	20%
Geomorfología (GM)	Unidades de acuerdo a su amplitud de relieve, altura relativa, pendiente y asociación morfogénica.	Interpretación de Imágenes satelitales, cartas topográficas y chequeo de campo a escala 1:100,000).	20%
Litología (L)	Características del substrato rocoso y depósitos inconsolidados.	En base a los mapas geológicos a escala 1: 100,000 de la carta geológica nacional.	40%
Cobertura Vegetal y Uso de Suelo (CV)	Tipos de vegetación natural y cultivos. Se estima densidad. Se incluyen las áreas urbanas, lagunas y embalses.	A partir del Mapa Ecológico (INRENA) a escala 1: 1'000,000, mapas topográficos actualizados a escala 1: 100,000 del IGN	8%
Unidades Hidrogeológicas (HG)	Caracterización de rocas en base a permeabilidad (acuíferos porosos, fisurados cársticos, acuitardos, acuícludos).	Con la información geológica y la base del Mapa Hidrogeológico de Perú a escala 1: 1'000,000	12

INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA Y CONCLUSIONES

La ladera del cerro Rodeopampa (con exis-

tencia de un deslizamiento antiguo), compuesta por material coluvial permeable y substrato sedimentario muy fracturado, en parte brechado y triturado (panizo), rela-

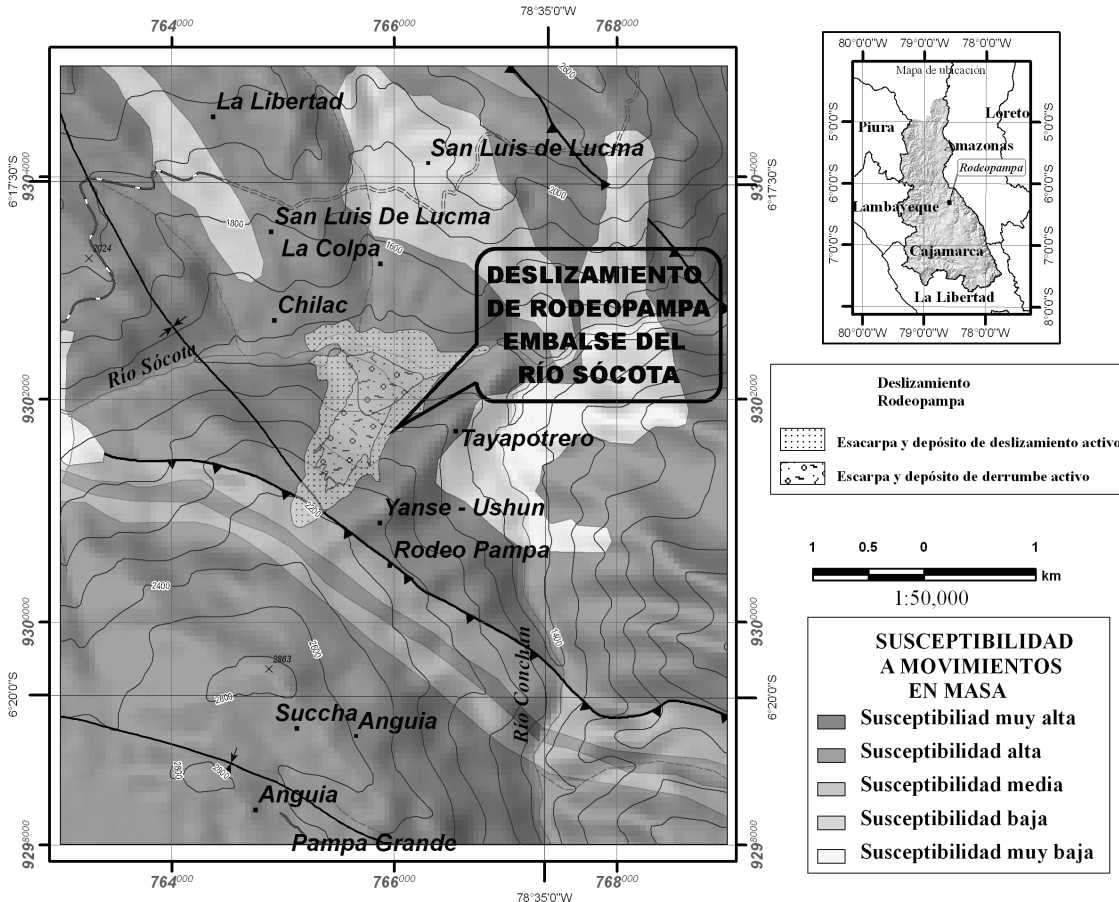


Figura 4. Ampliación del mapa de SS regional de Cajamarca para el sector del DR.





Figura 5. Vista frontal del DR y el cierre de valle del río Sókota.

cionado a una falla adyacente, fue sobrecargada por la infiltración de la zona agrícola superior de Rodeopampa. La desestabiliza-

ción en la cara libre del talud rocoso, ocurrió como resultado de la construcción de una trocha carrozable que cruza en todo lo

ancho al deslizamiento usando explosivos; el material derrumbado inicialmente cubrió el depósito suspendido del deslizamiento antiguo (Calabozo). El incremento de peso originó un deslizamiento rotacional y avalancha de roca que impactó con la ladera de enfrente, embalsando el río Sókota.

Muchos MM, y en particular el de Rodeopampa ubicados en zonas de muy alta SS, han sido definidos en el estudio de riesgo geológico en Cajamarca (Zavala *et al.* 2011), y son mencionados como zonas críticas. La técnica de evaluación de peligro, con inventarios de MM, definición de factores intrínsecos y análisis de SS regional, son herramientas básicas para cualquier estudio de prevención de desastres, línea de base ambiental y ordenamiento territorial. El avance de este tema en nuestro país ha permitido obtener la primera versión del mapa de susceptibilidad nacional (Villacorta *et al.* 2010); un porcentaje importante de MM históricos, caso Yungay (1962 y 1970), Huaráz (1946), Chavín (1945) en la región Ancash, deslizamientos y aluviones en Cusco (Huamancharpa, 1982; Aobamba, Santa Teresa y Sacsara 1998); deslizamientos y huaycos en las regiones Huancaavelica (Condorsenga, 1945, Mayunmarca,,

**PERFIL GEOLÓGICO - GEODINÁMICO DEL DESLIZAMIENTO Y AVALANCHA DE ROCAS DE RODEOPAMPA**

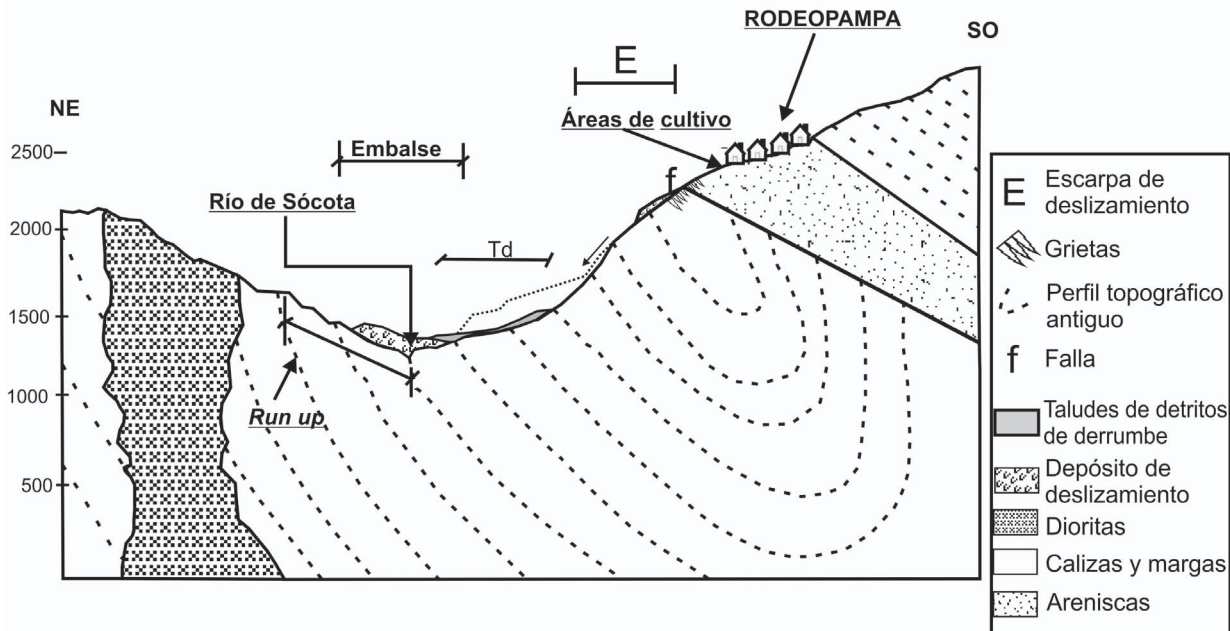


Figura 6. Perfil geológico-geodinámico del área de deslizamiento y embalse.

**CUADRO 5:** Ponderación de variables y obtención de mapa de SS

Variable	Descripción	Obtención	Peso
Pendiente (P)	Seis rangos de pendiente expresado en grados (0°-90°).	DEM, a partir de mapas topográficas a 1:100,000; equidistancia de curvas cada 50 m.	20%
Geomorfología (GM)	Unidades de acuerdo a su amplitud de relieve, altura relativa, pendiente y asociación morfogenética.	Interpretación de Imágenes satelitales, cartas topográficas y chequeo de campo a escala 1:100,000).	20%
Litología (L)	Características del substrato rocoso y depósitos inconsolidados.	En base a los mapas geológicos a escala 1: 100,000 de la carta geológica nacional.	40%
Cobertura Vegetal y Uso de Suelo (CV)	Tipos de vegetación natural y cultivos. Se estima densidad. Se incluyen las áreas urbanas, lagunas y embalses.	A partir del Mapa Ecológico (INRENA) a escala 1: 1'000,000, mapas topográficos actualizados a escala 1: 100,000 del IGN	8%
Unidades Hidrogeológicas (HG)	Caracterización de rocas en base a permeabilidad (acuí-feros porosos, fisurados cársticos, acuitardos, acuicludos).	Con la información geológica y la base del Mapa Hidrogeológico de Perú a escala 1: 1'000,000	12

1974, Uralla 2000), Lima (Payhua, 1959 y 1983; Chungar 1974; Tambo de Viso, 1998; ), Apurímac (Cocha y Pumarana, 1997), Huánuco (aluvión de Ambo, 2010), La Libertad (deslizamiento de Auyos-Asia, 2003), etc., Arequipa (Maca, 1990, Carigua, 1997, Choco, 1998), por mencionar algunos principales que causaron desastres, corroboran esta metodología.

Las condiciones intrínsecas en nuestro territorio, son independientes de los factores detonantes a los que está sujeto nuestro país, como son: lluvias excesivas (El Niño u otras anomalías climáticas), sismos de subducción e intraplaca y actividad antrópica; sin embargo ambos favorecen la generación de grandes MM, causando desastres.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

Ayala-Carcedo, F. y Coraminas, Y. 2003. Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid – España. 194 pp.

Bellier, O., Macharé, J., Sebrier, M. 1989. Extensión actual del norte Perú: estudio de la falla activa de Chalquibamba (Norte del Departamento de La Libertad – Perú). Sociedad Geológica del Perú. Boletín, Vol. 80, p. 1-12.

Costa, J.E. y Schuster, R. L. 1998. The formation and failure of natural dams: Geological Society of América, Washington D.C., v. 100. p. 1054-1068.

Dávila, S., 2001a. Peligro geológico por deslizamiento en la ladera de Choropampa. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (Informe Inédito), 13p. Lima.

Dávila, S., 2001b. Riesgo geológico en el centro poblado menor de Jancos. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (Informe Inédito), 14 p. Lima.

Dávila, S., 2001c. Peligro geológico por remociones en masa en el área de Calquis. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (Informe Inédito), 17 p. Lima.

Hermanns, R., Hewitt, K., Strom, A., Evans, S., Dunning, S. y Scarascia-Mugnozza, G. 2011. The classification of Rockslide Dams. Evans *et al.* (eds.), Natural and Artificial Rockslide dam. Lecture Notes in Earth Sciences 133, 581-593.

Instituto Nacional de Defensa Civil. 2003. Atlas de peligros naturales del Perú - Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo UNDP - INDECI, 327 p. Lima, Perú.

Macharé, J., Leureyro, J. y Sebrier, M. 1991. Actualización del Mapa Neotectónico del Perú a Escala 1: 2'000 000, VII Congreso Peruano de Geología, Lima, Perú.

Macharé, J., Benavente, C. y Audin, L. 2009. Síntesis descriptiva del mapa neotectónico 2008. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 40, 103 p.

McCalpin, J. 1984. Preliminary Age Classification of Landslides for Inventory Mapping, in Pro-

ceedings 21<sup>st</sup> Engineering Geology and Soil Engineering Symposium: University of Idaho, Moscow.

Núñez, S. 2007. Peligro geológico en el poblado de Huambos. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (Informe Inédito), 24 p. Lima.

PMA:GCA. 2007. Movimientos en Masa en la Región Andina: una Guía para la Evaluación de Amenazas. Grupo de Estándares para Movimientos en Masa (GEMMA). Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional N° 4, Santiago, Chile.

Pulgar, J. 1941. Las Ocho Regiones Naturales del Perú. Boletín del Museo de Historia Natural Javier Prado Número Especial, Lima, 1941, 17p. 145-161.

Sebrier M., Huamán D., Blanc J.L., Macharé J., Bonnot D. y Cabrera J. 1982. Observaciones acerca de la Neotectónica del Perú”, Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú.

Silgado, E. 1978. Historia de los sismos más notables ocurridos en Perú (1513-1974). Boletín, Instituto de Geología y Minería, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica, 3, 130 p.

Tavera, H. y Buforn, E. 2001. Source mechanism of Earthquakes in Peru. Journal of Seismology, 5: 519-540.

Varnes, D. J. 1978. Slope movement types and processes. In: Special Report 176: Landslides: Analysis and Control (Eds: Schuster, R. L. and Krizek, R. J.). Transportation and Road Research Board, National Academy of Science, Washington D. C., 11-33.

Varnes, D.J. 1984. Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice. UNESCO, Paris. 63 pp.

Villacorta, S. Fidel, L., Zavala, B., Vilchez, M., Valderrama, P., Nuñez, S., Luque, G., Rosado, M., Medina, L., Vasquez, J y Ochoa, M. 2010. Mapa de Susceptibilidad por Movimientos en Masa del Perú. Resúmenes Extendidos Congreso Peruano de Geología. 4 p.

Wilson, J. 1980. Geología de los cuadrángulos de Jayanca (13-d), Incahuasi (13-e), Cutervo (13-f), Chiclayo (14-d), Chongoyape (14-e), Chota (14-f), Celendín (14-g), Pacasmayo (15-d), Chepén (15-e). INGEMMET. Boletín. Serie A: Carta Geológica Nacional, n. 38, 104 p., 1984.

Zavala B. y Rosado M. 2009. Peligros Geológicos

- en Rodeopampa (Anguía) y La Púcara (Tacobamba), provincia de Chota, Región Cajamarca. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (Informe Inédito), 16 p. Lima.
- Zavala, B. y Rosado, M. 2011. Riesgo geológico en la región Cajamarca. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 44, 396 p, 19 mapas.
- Zavala, B y Valenzuela, G. 1997. Inspección de riesgo geológico en la localidad de Apangoya, provincia de San Ignacio, Cajamarca. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (Informe inédito), 24 p. Lima.
- Zavala, B., Gómez, J.C. y Herrera, B. 2010a. Deslizamiento del cerro Rodeopampa y embalse del río Sócota, Región Cajamarca. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico-Instituto Geofísico del Perú (Informe Inédito) 34 p. Lima.
- Zavala, B., Gómez, J.C. y LU, S. 2010b. Susceptibilidad a movimientos en masa en Cajamarca y el deslizamiento de Rodeopampa del 22 de febrero del 2010. Resúmenes Extendidos Congreso Peruano de Geología. 4 p.

Recibido: 11 de febrero, 2012

Aceptado: 23 de abril, 2012