

Aspectos geomorfológicos del deslizamiento de Punta Colorada, Valle de Majes - Arequipa

GEOMORPHOLOGICAL ASPECTS OF LANDSLIDE FROM PUNTA COLORADA, VALLE DE MAJES – AREQUIPA

Ciro Bedía G.*

RECIBIDO: 22/01/2013 – APROBADO 10/06/2013

RESUMEN

La región del antearco actual de la costa sur del Perú, presenta numerosas estructuras de actividad tectónica muy reciente, como son fallas activas, actividad volcánica actual, grandes deslizamientos y levantamientos de terrazas marinas; son los deslizamientos que se encuentran en el piedemonte del Pacífico, como el deslizamiento de Punta Colorada, los que resaltan en la clásica topografía a manera de grandes cicatrices, en el que se pueden distinguir claramente la superficie de arranque, así como los diversos componentes de la masa deslizada; estos todavía son activos debido a la actividad sísmica actual del antearco sur-peruano.

Palabras clave: megadeslizamiento, Cuaternario, geomorfología, Neogeno, Arequipa - Perú

ABSTRACT

The present preceding arc region of the Peruvian Southern Cost displays numerous structures of recent tectonic activity such as active geologic faults, present volcanic activity, large land slides and marine terrace uplifts. The land slides took place on the Pacific shore such as the Punta Colorada land slide which clearly projects the surface topography in a scar pattern. It can be easily distinguish both the pulled out surface and the many components of the land slide. These components are still active due to present seismic activity of the Southern Peru preceding arc.

Keywords: megalandslide, Quaternary, geomorphology, Neogene, Arequipa - Peru

* Resumen de Tesis de Posgrado. UPG – FIGMMG, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. E-mail: cbediag@unmsm.edu.pe

I. INTRODUCCIÓN

Para poder caracterizar un deslizamiento se debe tomar en cuenta los factores condicionantes del área, y estos son la topografía, sismicidad, lluvias intensas y la meteorización de las rocas.

El deslizamiento ocurrido en la localidad de Punta Colorada es un proceso geológico externo, está considerado como un megadeslizamiento rotacional. Para las investigaciones se tuvo dos etapas, estudios de gabinete y de campo. El estudio de gabinete, consistió en la interpretación geomorfológica utilizando fotografías aéreas e imágenes de satélite. En los estudios de campo, se reconoció la morfología del deslizamiento, dimensionamiento de las escarpas, buzamiento de los estratos, medición de grietas y facturas, dimensionamiento del tamaño de rocas que caen.

Los deslizamientos y caída de rocas constituyen procesos gravitacionales que movilizan pendiente abajo grandes masas de suelo y/o rocas afectando a las infraestructuras civiles asentadas sobre ellas o sus proximidades, causando cuantiosas pérdidas materiales anualmente.

El reconocimiento espacial de estos fenómenos constituye el primer paso en el estudio de los riesgos asociados. La identificación suele llevarse a cabo fundamentalmente a través de la interpretación de rasgos geomorfológicos del relieve. Una vez identificado un movimiento de ladera es necesario ubicar su localización geográfica estableciendo sus coordenadas UTM y la altitud.

Los deslizamientos pueden clasificarse atendiendo a la geometría de la superficie o superficies de rotura en: plana (P), escalonada (E), en cuña (W), circular (C), no circular (NC), circular múltiple (MC) u ondulada (O).

Cuando los deslizamientos se producen sobre tierra o suelos y no sobre rocas ni derrubios, podemos distinguir dos tipos de deslizamientos (Cruden y Varnes, 1996): deslizamiento de tierras rotacional (*rotational earth slide*) y de rotura plana.

La diferenciación entre unos y otros desde una perspectiva estrictamente geomorfológica puede llegar a ser difícil, aunque la observación de las formas del relieve puede develar el tipo de rotura (Soeters y Van Westen, 1996) han establecido una relación entre la profundidad (D) y la longitud (L) de la masa desplazada inferior a 0.1 para deslizamientos de tierra traslacionales, y entre 0.1 y 0.3 para rotacionales.

Una vez identificado el movimiento de ladera ha de estudiarse la geometría de este. Sus dimensiones pueden ser muy variadas tanto en planta como en sección longitudinal, existe una terminología establecida para el estudio de las principales dimensiones utilizadas en la caracterización geométrica de deslizamientos (Dikau *et al.*, 1996).

I.1. Fundamentos del estudio

En el estudio de los grandes deslizamientos de masas (como el de Punta Colorada), en la mayoría de los movimientos de ladera, se basan en los mecanismos de inestabilidad; sin embargo, la tipología del movimiento suele establecerse una vez que la rotura ha tenido lugar, es decir, basándose en los mecanismos de su cinemática.

La energía potencial se determina por las características geométricas y de localización de talud en el momento de la falla, esta energía potencial se convierte en energía cinética a medida que se produce la aceleración del movimiento.

Las condiciones de estabilidad en la fase previa a la rotura se evalúan teniendo presente la geometría inicial de la ladera (topografía), la resistencia de los materiales involucrados (tipos de rocas), estratigrafía, tectónica, las condiciones de agua subterránea y el efecto de eventuales fuerzas externas (sismos, sobrecargas, etc.). Los mecanismos básicos de primeras roturas en laderas pueden resumirse en los siguientes: cizalla, tracción, pandeo, vuelco, fluencia y colapso estructural.

II. UBICACIÓN, ACCESIBILIDAD Y GEOGRAFÍA

2.1. Ubicación

La zona de estudio geográficamente se encuentra ubicada en el Sur del Perú (Figura N.º 1), departamento de Arequipa, provincia de Castilla, distrito de “Corire”, localidad de Punta Colorada (“Valle de Majes”). El área está comprendida entre las siguientes coordenadas:

Coordenadas geográficas:

16°16'30" Latitud Sur, 72°26'30" Longitud Oeste

Coordenadas UTM:

N772,428.22; E8199,339.81

2.2. Accesibilidad

La principal vía de acceso a la zona de estudio desde Lima es a través de la carretera Panamericana Sur hasta el km 855, donde se ubica la provincia de Camaná, de esta vía troncal existe una variante a la provincia de Castilla distrito de Corire (Punta Colorada) con un tiempo de recorrido de tres horas, la carretera es asfaltada siguiendo el Valle del río Majes.

La otra variante parte del cruce “El Alto”, en la margen derecha del valle Sihuas, atraviesa las Pampas de Majes y llega a Punta Colorada después de pasar por las salitreras de Huambrali, con una carretera también asfaltada con tiempo de recorrido de dos horas.

Según el mapa de distribuciones climáticas, el área de estudio corresponde a la parte baja y media del río Majes presenta condiciones de clima desértico (sin lluvias), la información climatológica se obtuvo de los registros del SENAMHI. Correspondiente a las estaciones localizadas en la cuenca del río Majes (Aplao).

El clima de la zona de estudio es un clima cálido, todo el año con una temperatura promedio de 20.5 °C, de acuerdo a los datos obtenidos de SENAMHI en los últimos años. El área es una zona árida en la parte baja a media, con cotas que van de 300 a 1200 msnm, donde no hay vegetación excepto en las zonas bajas del valle, las cuales son irrigadas para el sembrío de arroz.

Las variaciones bruscas de temperatura son un factor para que se produzca la meteorización física de las rocas (desintegración).



Figura N.º 1. Plano de ubicación del Área de Investigación "Punta Colorada".

En la Tabla N.º 1 se presenta los valores mensuales promedios máximos y mínimos de la temperatura registrada en el año 2009 con un valor promedio máximo de 25.9 °C para el mes de noviembre y 10 °C para el mes de julio.

La temperatura media (histórica) en el área en este periodo es de 17.9 °C. Concluyendo que los meses cálidos y con mayor cantidad de horas de sol son setiembre, octubre y noviembre con temperaturas sobre los 25 °C (con una temperatura extraordinaria mensual de 27.9 °C en noviembre de 1967). Los meses fríos son junio, julio y agosto, con un promedio de 15.7 °C (con registro extraordinario mensual media de 7,4 °C en agosto 1965).

Además, se observan los meses secos y húmedos, muestra una época árida o seca que empieza en mayo prolongándose hasta medidas de octubre.

El viento en razón de ser los alisios marítimos, es húmedo o ligeramente húmedo, afecta al clima y está asociado a una ligera nubosidad en la mañana. Los valores promedios

altos se registran en los meses de diciembre a abril con 3.2 m/seg. Y en los meses de junio-agosto con una media de 2,5 m/seg. Por lo general la cuenca tiene coordenadas climáticas estables.

Las precipitaciones pluviales son escasas e irregulares, donde la humedad relativa media está entre los 60 y 90%.

Las mediciones de la estación de Aplao han registrado en el área de estudio, según la ley de probabilidad dentro del área de influencia (parte media de la estación). Donde el servicio nacional de meteorología SENAMHI ha registrado una precipitación anual de lluvias de 1.74 y 12 mm promedio (el máximo se registró en 1967, alcanzando 89.4 mm a 12 mm). El promedio anual de precipitación calculada por el método de Thiessen es de 1.0 mm.

A continuación tenemos datos estadísticos de precipitaciones de los años 2007, 2008 y 2009, que han sido registrados por la estación de Aplao (Ver Figura N.º 2 y Tabla N.º 2).

Tabla N.º 1. Temperatura media mensual Punta Colorada (°C)

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
2009	23.3	23.8	23.3	21.3	18.3	16.4	15.6	17.1	18.0	19.4	21.5	22.6

Tabla N.º 2. Precipitación anual total Punta Colorada

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
2007	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2008	16.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

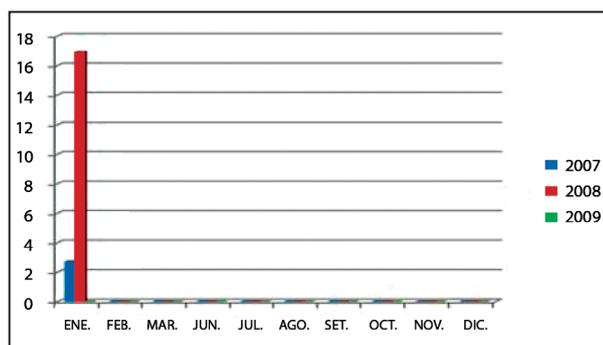


Figura N.º 2. Precipitación anual Punta Colorada.

La humedad relativa está determinada mayormente por las variaciones de temperatura y la precipitación, donde las variaciones mensuales tienen un promedio anual a 73.8% de humedad relativa. En la estación de Aplao se registró valores *altos* en los meses de julio a setiembre y baja en los meses de noviembre a marzo con promedio de 86 a 80%.

La vegetación en zona de estudio, prácticamente no existe por ser una zona árida. La flora más próspera se desarrolla en las orillas del Valle del río Majes, donde consiste de una vegetación hidrófila de monte ribereño. La actividad agrícola se basa principalmente en el cultivo de arroz, vid, caña de azúcar y árboles frutales que son irrigados por el río Majes.

El río Majes es el principal colector de la cuenca, pertenece al sistema hidrográfico del Pacífico y tiene su origen en los nevados de la coordenada occidental de los Andes, el cauce en su origen capta pequeños ríos, en el área de estudio viene a ser el curso medio y tiene una pendiente promedio de 3.2%, aproximadamente.

Las aguas subterráneas quedan circunscritas solamente a la gran llanura fluvial por donde discurre el cauce actual del río Majes, mientras es probable la ausencia de una napa freática en áreas de mayor pendiente como Punta Colorada.

III. GEOLOGÍA REGIONAL

Durante parte del mesozoico (Jurásico) la parte meridional de los andes peruanos comprendía un alto positivo (Macizo de Arequipa) que era bordeada al lado oeste por una zona de subducción.

Una cuenca marginal muy subsidente en el cual los depósitos se ordenaban hacia el lado oeste por series volcánicas y volcano-sedimentarias cuyos espesores están comprendidos entre ~5000 a 12 000 metros de espesor y al lado este de la cuenca, está las gruesas series clásticas (de hasta 5000

metros de grosor) cuya deformación principalmente corresponde al Oligoceno-Mioceno.

Una plataforma estable con una mínima subsidencia el cual era periódicamente invadido por el mar y que durante la deformación cenozoica formaría parte del altiplano.

La serie mesozoica de la parte sur de los Andes peruanos ha sido reportado desde inicios del siglo XX, pero fue con los trabajos de Jenks (1948) que se los reconoció regionalmente para el área de Arequipa; Benavides (1963) sentó las bases de una estratigrafía para esta clásica serie sedimentaria del periodo Mesozoico de la parte meridional de los Andes peruanos que es representado por facies volcánicas del Grupo Chocolate y secuencias clásticas y carbonatadas correspondientes al Grupo Yura (Vicente, 1981; Vicente *et al.* 1982), los que se desarrollan en contexto de cuenca distensiva (Sempere *et al.*, 2002).

3.1. Estratigrafía

Las unidades lito-estratigráficas del Mesozoico sur peruano tienen amplios afloramientos en los sectores de los departamentos de Arequipa, Moquegua y Tacna, en los cuales se puede seguir la evolución sedimentaria del Mesozoico sur peruano.

La serie Jurásica del Valle de Majes (Muñoz, 1960; Guizado, 1968; Vicente *et al.*, 1982; García, 1987) que se ubica en ambas márgenes de la parte media del valle homónimo, departamento de Arequipa (Figura N.º 3), se presenta de manera inclinada hacia el este-noreste, en el cual se puede apreciar las clásicas unidades lito-estratigráficas reconocidas del Grupo Yura como son las formaciones Cachios (caloviano inferior-superior), Labra (Oxfordiano-Kimmeridgiano) y Gramadal (Titoniano inferior) estando ausente por tectonismo la secuencia basal denominado Formación Puente (batoniano); discordantemente sobre estas unidades del Jurásico se sobrepone la Formación Hualhuani que ya corresponde al ciclo de sedimentación del Cretáceo.

3.2. Rocas del basamento

En la zona de estudio se observan unidades estratigráficas con un rango de edad Precámbrico hasta Cenozoico.

El basamento neoproterozoico de la costa sur de Perú fue denominado como complejo basal de la costa (Bellido y Narváez, 1960) para describir una secuencia de rocas metamórficas e intrusivas, tales como gneis y esquistos asociados con intrusivos de granitos rojos y dioritas gneissicas que afloran en el área de Atico, donde conforman parte de la llamada "cadena costanera" que se prolonga hacia el sur,

bordeando el litoral Pacífico, por lo cual, en el cuadrángulo de Punta Bombón y Clemesí (Bellido y Guevara, 1963) se describe una secuencia de gneis y granitos pegmatíticos, los cuales son correlacionados con la edad del complejo basal de la costa, descrito por los autores mencionados.

En la región del presente trabajo aflora a ambos flancos del Valle de Majes, entre las localidades de Puta Colorada y Sarcas, y a partir de la localidad de Toran hacia el suroeste; es el gneis el que se presenta como una roca compacta ligeramente intemperizada, de color gris verdoso que varía a gris rojizo. Por lo general muestra una estructura bandeada bastante definida, llegando las bandas gnéissicas a un espesor de 0.5 a 1 cm de espesor y excepcionalmente a 100 cm de espesor, las bandas claras consisten de feldspatos y cuarzo mientras que las oscuras son de biotita y hornablenda. La foliación del gneis no es constante en toda el área, así en Punta colorada tiene un rumbo N 80° con 45-50° al NE.

Este basamento neoproterozoico aflora ampliamente a lo largo de la costa, hasta la región de Tacna y norte de Chile, en todos ellos el estilo tectónico y su asociación a otras rocas es diferente del afloramiento de Punta Colorada.

3.3. Rocas sedimentarias

3.3.1. Grupo Yura

El rango de Grupo fue propuesto por Vargas (1973) para una serie clástica que abarca desde el Toarciano al Valanginiano, estas mismas unidades que se extienden desde Tacna (parte meridional), también se ubican a ambas márgenes del valle medio del río Majes, entre Uraca y Aplao, alcanzando un espesor de ~3000 m. Esta secuencia se presenta al interior de dos estructuras de inversión tectónica como son la estructura de “Corire” y la estructura de Aplao, en las cuales es posible reconocer unidades que van del Caloviano inferior al Valanginiano.

3.3.2. Formación Cachios

Esta unidad lito estratigráfica tiene su mejor desarrollo en la margen izquierda (Quebrada Sacramento) donde alcanza aproximadamente unos ~500 m de espesor; la base de esta unidad es desconocida razón de que se encuentra afectada por una falla inversa que sobrepone secuencias jurásicas sobre secuencias del Grupo Moquegua, como se lo puede apreciar en el misma quebrada homónima. Litológicamente se compone de una serie monótona de lutitas negras las que se intercalan con delgados niveles de areniscas de gradación normal, en la parte media superior de este afloramiento se puede distinguir estructuras de deslizamiento, como son olistolitos de dimensiones menores, fallas normales sin sedimentarias abiertas hacia el E-SE y estructuras de *slumps*.

3.3.3. Formación Labra

Es una unidad lito-estratigráfica de 1200 metros de espesor, se inicia transicionalmente sobre las lutitas negras de la Formación Cachios y a la vez subyace concordantemente debajo de la Formación Gramadal.

3.3.4. Formación Gramadal

La Formación Gramadal, de 230 metros de espesor, es compuesta de arenas de granulometría fina, calizas y niveles de carbón, que son características facies de *lagoon* y arrecifes de barrera.

3.3.5. Formación Hualhuani

Posteriormente a una discontinuidad erosiva se sobrepone la Formación Hualhuani de 1500 metros de espesor que es compuesta de areniscas con estratificación cruzada con barras progradacionales en un medio de playa frontal asociado a amplias llanuras tidales, en un medio deltaico que ya pertenece más al ciclo de sedimentación del Cretáceo.

En la parte superior de esta unidad litoestratigráfica (nivel 2500-3000) se intercalan numerosos *sills* tabulares paralelos a la estratificación de naturaleza diorítica a gabroica.

La serie de Majes que conforma parte de la sedimentación Jurásica de la Cuenca Mesozoica sur peruana, se encuentra comprendido entre dos estructuras de inversión, comprende esencialmente secuencias clásticas, los que están comprendidos entre el Jurásico medio (Calloviano) al Cretáceo inferior (Valanginiano).

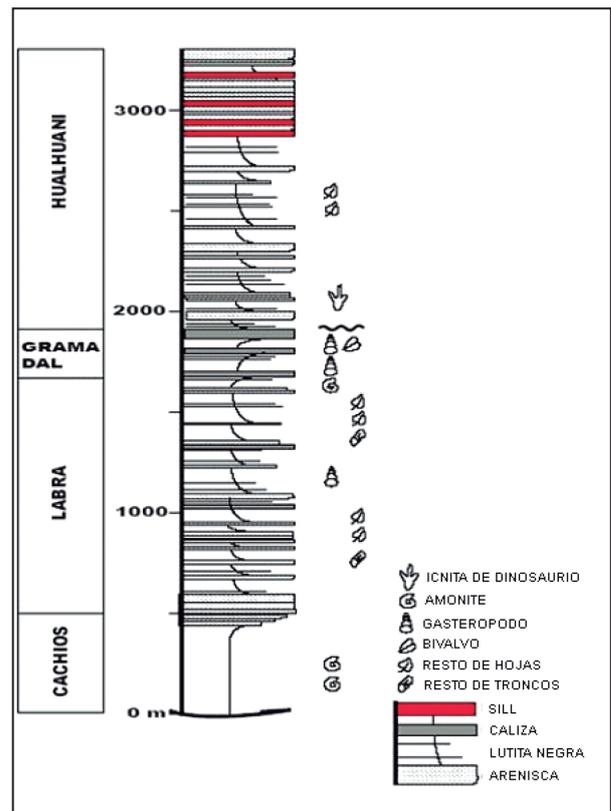


Figura N.º 3. Columna estratigráfica del Grupo Yura del área de Majes (tomado de Jacay 2006).

3.4. Materiales de cobertura

3.4.1. Depósitos coluviales (Q-co)

Se encuentran localizadas en faldas y laderas de cerros con mucha pendiente como consecuencia de la acción de la erosión y que caen por gravedad, está constituido por acumulaciones de material detrítico grueso y fino provenientes de formaciones geológicas de diferente litología.

Características: Son suelos transportados por la gravedad.

Granulometría heterogénea, el tamaño de sus granos es de muy fino a grueso.

La forma de sus granos es angulosa, la forma de los depósitos son completamente irregulares.

No sufre desgaste por transporte no hay nivel freático, es no apto para fundación de construcciones de viviendas

3.4.2. Materiales fluvio-aluviales (Q-fl)

Casi todos los ríos (como el Majes) no tienen carácter torrencial, presentan en su cauce medio materiales a ambos lados del mismo, depósitos de arenas, cantos rodados y limos, dispuestos en masas lenticulares, que se juxtaponen unas a otras.

Su estructura sedimentaria los define como depósitos fluviales, e indican que el río en otros tiempos no circulaba por donde lo hace en la actualidad.

En el campo las terrazas se distinguen bien, a causa de los desniveles que forman en las laderas. Sus arenas y cantos fluviales les dan un aspecto inconfundible; pero frecuentemente son utilizados para la labranza, y solo se reconocen por la llanura casi horizontal que presenta su sección.

Cada terraza revela dos episodios de la actividad del río:

En el Primero, este excavó su cauce y formó un valle plano, gracias a la erosión lateral, y depositó luego sobre él sus materiales de acarreo.

En el segundo, aumentó su capacidad erosiva y se encajó en sus propios sedimentos, transformándolos por disección en terrazas, que quedaron colgadas.

Este proceso se verifica hasta formar todos los niveles de terrazas del río; así, cada terraza es más antigua que su inmediata inferior, y más moderna que la siguiente más alta. Este es uno de los pocos casos en que se incumple el principio de superposición de estratos.

3.5. Deslizamiento Punta Colorada

Se ubica sobre la margen derecha del Valle de Majes, cuya superficie de ruptura que se ubica en el cerro las Salinas (ubicado al lado SW del deslizamiento), superficie que es por cizalla y que tiene lugar en suelos no cohesivos de la Formación Moquegua constituida por partículas gruesas como areniscas lutitas y niveles de tobas, dando lugar a un desprendimiento hacia el NE con una longitud aproximada de 6.5 km con un frente de derrubios en la margen izquierda del Valle de Majes. Este deslizamiento mayor se ve cortado por un segundo deslizamiento *debris flow* de una dirección del NW al SE que conforma la quebrada Pampa Blanca (Figura N.º 4).



Figura N.º 4. Vista panorámica del deslizamiento Punta Colorada, donde se observa la dirección del deslizamiento N 60° E y luego es afectado por un flujo de lodo de menor tamaño.

IV. EVOLUCIÓN MORFOLÓGICA DEL ÁREA DE PUNTA COLORADA

La evolución morfológica en la zona está íntimamente ligada a la evolución del río Majes y áreas aledañas.

Se tiene en el post Jurásico - Cretáceo, un periodo de levantamiento en todo el sur del Perú, hecho que da lugar a la depositación del Grupo Moquegua, periodo que comprende entre el Paleoceno al Mioceno, con un fuerte periodo de incisión al Mioceno superior que se ve denotado por depósitos de conglomerados fluviales de la Formación Millo.

Post Mioceno se tiene una fuerte incisión en todo el sistema, con el encañonamiento progresivo de la formación del valle de Majes en el que se puede observar diversas etapas en la formación morfológica que es asociado a deslizamientos mayores como el de Chuquibamba y Punta Colorada.

Al Pleistoceno inferior tras el cierre del valle del Colca por la erupción del Hualcahuaca y formarse el sistema lacustre de Chivay, numerosos abanicos coluviales cierran el Valle de Majes, los que son cortados y erosionados por ruptura de esta barrera como puede observarse en las localidades del Castillo y las quebradas de Ongoro e Higuerao.

4.1. Sistemas de fracturamientos y diaclasamientos locales

El sistema de fracturamiento regional (en lo referente entre las localidades de Punta Colorada y Corire) es polimodal con dos sistemas principales uno de dirección SW-NE y un segundo principal SE-NW los que se ven magnificados en las cercanías a la gran estructura de colapso de Punta Colorada.

Al interior del colapso en las áreas del desplazamiento divergente y desplazamiento convergente se han distribuido estaciones microtectónicas, las que nos darán una idea del sentido del desplazamiento del colapso de Punta Colorada.

V. RIESGOS GEODINÁMICOS: PELIGROS DE ORIGEN SISMOLÓGICO

Análisis de la sismicidad asociada a la subducción peruana (15-16°) el territorio peruano está ubicado en la línea denominada Cinturón de Fuego del Pacífico, por ello ha sido considerado uno de los países de mayor potencial sísmico, distribuyéndose los sismos entre la línea de fosa y la costa (Bernal *et al.*, 2002). En la región Sur del Perú, hacia el interior del continente, el mínimo de sismos disminuye considerablemente (Figura N.º 4), de acuerdo al análisis sísmico se pudo identificar la ubicación de las principales fuentes tectónicas: los sismos en foco superficial ($h < 60$ km) la primera se ubica entre la fosa y la línea de costa. Y la segunda en el interior del continente paralela a la cordillera andina.

La profundidad focal de los sismos han sido determinados, y en la Figura N.º 5 se muestra su localización y los hipocentros ($M_S > 6.0$), los mismos que han generado intensidades mayores a VII en la escala de Mercalli modificado.

Los sismos en foco intermedio ($60 h < 300$ km) se agrupan en tres fuentes; la primera ubicada paralela a la línea de costa por debajo de los 9° Sur, la segunda en la zona subandina de la región norte, y la tercera sobre la región sur siendo esta la que agrupa la mayor cantidad de sismos.

Los sismos en foco profundo ($h > 300$ km) se agrupan en dos fuentes (Bernal *et al.*, 2002), la primera se ubica en el límite de Perú con Brasil y la segunda entre Perú y Bolivia.

5.1. Historia sísmica regional

La región cuenta con un largo registro histórico de actividad sísmica (Figura N.º 5), desde el punto de vista tectónico la sismicidad regional se desarrolla en el dominio de la zona intraplaca continental.

El siguiente análisis sísmico se trabajó con una base de datos que corresponde al periodo de sismicidad histórica e instrumental (1970 a 2003) que fueron proporcionados por el "Centro Nacional de datos Geológicos, que pertenece al Instituto Geofísico del Perú" en base a la estación "San Gregorio de Camaná", además se cruzó información con datos del catálogo relocalizado del ISC (círculos), y del catálogo temporal de Grange (1984) (cruces).

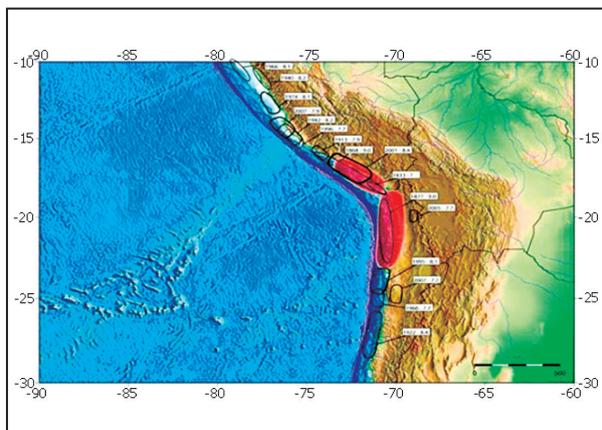


Figura N.º 5 Mapa de sismos Históricos comprendidos entre el sur del Perú y norte de Chile (DEM).

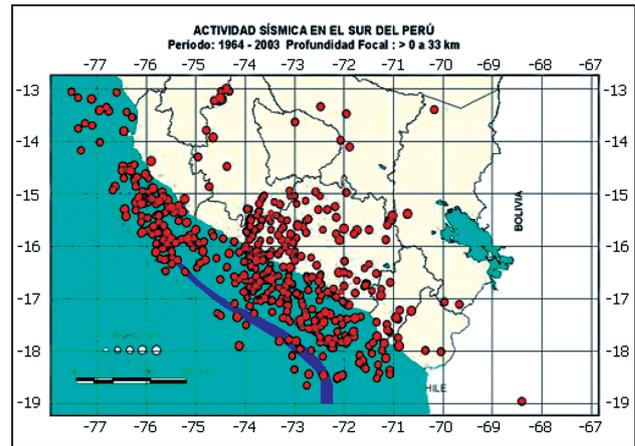


Figura N.º 6. Puntos sísmicos donde nos indican las profundidades Focales "Superficiales" en el área. (Fuente: IGP).

Sismos con foco superficial ($h < 60$ km).- Muestra la distribución en superficies de los sismos con focos formando a profundidades menores a 60 km (Figura N.º 6). Los sismos se distribuyen formando dos grupos:

Grupo S1.- En estos grupos los sismos se distribuyen entre la fosa y la línea de costa de manera irregular formando pequeños agrupamientos Figura N.º 6 en la región Sur, los sismos se distribuyen de manera no continua paralelas a la línea de costa (Tavera, 2002).

Grupo S2.- Los sismos se distribuyen en el interior del continente de manera irregular formando pequeños agrupamiento con cierto alineamiento, en la región Sur los sismos se concentran sobre las trazas de las fallas, por ejemplo de Cabanaconde, en Arequipa, (entre 15-16° S). Los sismos con focos superficiales en la Región Sur con magnitud elevada ($m_b > 6.0$) ocurrieron los años (1979, 1996, 2001), en el interior de continente a lo largo de las fallas, originan una reactivación durante el Cuaternario por sismos que presentan magnitudes del orden de 6.0 mb. Estos mismos se alinean paralelos a la cordillera andina, poniendo en evidencia su origen (Bernal *et al.*, 2002).

Sismos con foco intermedio (60 a 300 km).- Estos sismos se distribuyen principalmente en el interior del continente formando tres grupos localizados cerca de la loma de la Costa (Bernal *et al.*, 2002) (Ver Figura N.º 7).

Grupo I.- Sismos ubicados en la zona subandina, siguiendo una aparente orientación NW-SE.

Grupo II.- Los sismos de este grupo se distribuyen muy próximos a la línea de costa.

Grupo III.- Los sismos se distribuyen principalmente sobre los departamentos de Arequipa, Apurímac y Ayacucho.

Sismos con foco profundo ($h > 300$ km).- Estos sismos son un número menor que los sismos de foco superficial e intermedios, que se agrupan de la siguiente manera (Figura N.º 8).

Los sismos del grupo P1.- Se localizan en el llano amazónico próximo al límite Perú-Brasil (6-11° Sur).

Los sismos del grupo P2.- Localizados alrededor del límite Perú-Bolivia (13-14° Sur) con la orientación Este-Oeste.

Sección C-C (Región Sur)- en esta figura, la profundidad de manera continua con una pendiente de 30° hasta 25° km de profundidad.

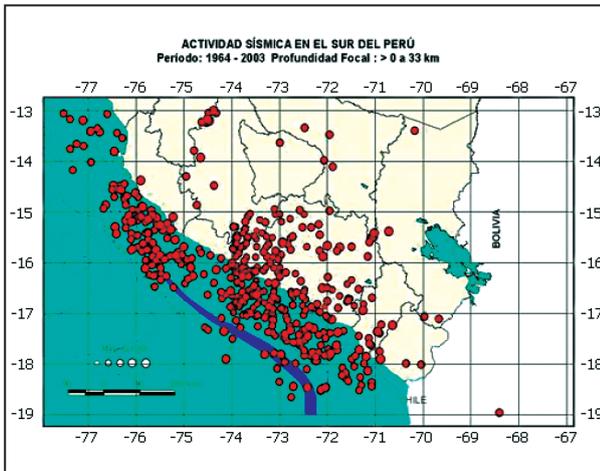


Figura N.º 7. Puntos sísmicos donde nos indican las profundidades focales "intermedias" en el área. (Fuente: IGP).

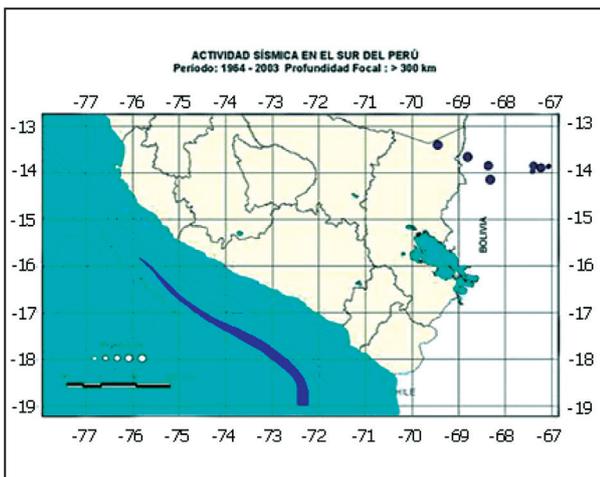


Figura N.º 8. Puntos sísmicos donde nos indican las profundidades focales "profundas" en el área. (Fuente: IGP).

5.2. Efectos en la localidad de Punta Colorada y áreas de influencia

Los sismos en función de su magnitud, distancia del hipocentro al sitio de interés, y condiciones geológicas locales, pueden producir movimientos del terreno con características muy diferentes en cuanto a amplitud, periodo y duración se refiere. Los parámetros anteriores, van a jugar un papel decisivo en los impactos que van a generar los terremotos.

Por ejemplo, los sismos locales, que ocurren a distancias inferiores a 20 km, pueden producir aceleraciones grandes, en el intervalo de periodos cortos, amplitudes pequeñas del desplazamiento y movimientos del terreno de corta duración. Por esta razón, la mismos afectan mayormente las construcciones rígidas (de mampostería de piedra, ladrillos

o bloques, grandes paneles, etc.), cuyos periodos propios de oscilación están comprendidos entre 0.1 y 0.3 seg.

Los sismos cercanos, que ocurren a distancias epicentrales inferiores a 100 km, generan también aceleraciones grandes en el intervalo de periodos cortos entre 0.15 y 0.3 seg., así como velocidades grandes, en el intervalo de periodos de 0.4 - 0.6 seg. La duración de los movimientos más intensos del terreno es mayor que la de los eventos locales, así como más amplio el contenido espectral del movimiento y que posteriormente producen fenómenos geodinámicos.

Por esta causa, se pueden afectar estructuras de variado tipo. Los más peligrosos son aquellos sismos que se localizan dentro de un área circular de 100 km de radio alrededor del área de interés.

A medida que el foco del evento sísmico se aleja del área, las aceleraciones del terreno disminuyen sensiblemente.

El espectro de respuesta se va a caracterizar por la presencia de picos en el dominio de los periodos largos y desplazamientos grandes. Por esta razón, los sismos lejanos suelen ser peligrosos para las estructuras esbeltas y flexibles.

Desde el punto de vista cualitativo, la mayor cantidad de energía Gal liberada en el extremo Norte del departamento de Arequipa (575090 ergios) y gran parte de la misma fue liberada por el sismo ocurrido en junio de 2001 (6.9 mb). La energía liberada por la bomba atómica es equivalente a un sismo ocurrido en superficie con magnitud de 60 mb.

VI. ANÁLISIS Y EVOLUCIÓN GEOMORFOLÓGICA DEL DESLIZAMIENTO PUNTA COLORADA

Los antecedentes bibliográficos de trabajos que se han realizado de manera puntual sobre los problemas geodinámicos del área de estudio, más aun sobre el deslizamiento de Punta Colorada, en el cuadrángulo del levantamiento geológico Aplao 33-r (Guizado J., 1968), solo mencionaron este fenómeno como parte de una remoción de masas, como un fenómeno local; nunca se hicieron estudios de la caracterización y geometría del deslizamiento, los estudios se centraron sobre los problemas de estratigrafía en diferentes periodos, como los estudios de tesis (Rivera, 1950), y el Gómez-Rosado (1964); en los últimos años estudios diversos se ocuparon de los aspectos geodinámicos de este deslizamiento (Bedia *et al.*, 2004, 2012; Bedia y Jacay, 2012).

El deslizamiento de Punta Colorada que tiene una longitud aproximada de 5 a 6 km, de dirección al NE, se le puede clasificar como un megadeslizamiento rotacional, en el que podemos distinguir tres zonas muy marcadas:

La más superior, cercana a la cadena de cerros Las Salinas - Pampa Colorada, es donde se ubica la superficie de despegue, zona se caracteriza por la exposición de una falla listrica (Figura N.º 9), esta zona corresponde a la zona de desplazamiento divergente, en el cual se puede distinguir una serie de hemigrabens de diferentes magnitudes los que se alinean en dirección SE-NW, en esta zona el sistema de diaclasamiento principal es asociado a la dirección principal de desplazamiento del deslizamiento por lo que en algunos de estos sistemas de diaclasas se nota un cierto desplazamiento muy común en fractura asociadas a deslizamientos.



Figura N.º 9. Exposición de la falla lítrica en la parte superior del área, zona superior del desplazamiento divergente.

La parte media que se ubica por encima del poblado de Punta Colorada corresponde a la zona de desplazamiento convergente, es el área donde se puede observar una distorsión interna de todo el sistema; esta parte del deslizamiento es poco manifiesto razón de estar sumamente alterado por factores antrópicos externos postdeslizamiento (Marocco R. y col., 1985).

La parte frontal de este deslizamiento lo constituye una gran zona que se extiende hasta pasando el flanco derecho del valle de majes como podemos evidenciarlo en la parte alta de Mesana, Esmeralda hasta Pedregal; se trata del depósito principal del deslizamiento componiéndose sucesiones de *debris flow* con clastos de diferente tamaño, pudiendo observarse un conjunto de hemigrabens de diferentes tamaños que afectan esencialmente a los depósitos del Moquegua superior.

Todo este conjunto caótico del deslizamiento en su límite norte se ve cortado por un gran *debris flow* que proviene del valle superior de la pampa de Toro-Muerto, este depósito se puede observar en los acantilados del borde oriental de la pampa de Toro-Muerto en una sucesión de aproximadamente 30 metros de espesor, el que contiene clastos de tobas que corresponden al nivel de tobas color salmón en la parte superior del Grupo Moquegua que es común en la pampa de Toro-Muerto.

Posteriormente todo este depósito del megadeslizamiento de Punta Colorada se ve cortado por el desarrollo del Valle de Majes, evento que se desarrolló post ruptura de la presa que formó el paleo lago del Colca (Chivay).

6.1. Contexto geomorfológico

El área de estudio regionalmente se ubica en el Sector denominado llanura o planicie costera, las cuales contras-

tan por sus topografías. De acuerdo a Tossi, en un mapa ecológico del Perú se encuentra dentro de la formación Desértica Montano (bajo) una geoforma elongada con crestones alargados en dirección N 70° E, sobresale en la morfología actual con los planos de estratificación favorable a la carretera. (Ver Figura N.º 9).

6.1.1. Zona de frente de escarpas

Esta geoforma describe y tiene relación con el fallamiento de tipo gravitacional que comprende el espejo de falla y el salto de falla de 150 m de desnivel donde se aprecian los estratos que buzcan en sentido contrario a la pendiente. Está formada por una superficie relativamente agreste que está conformada principalmente por la escarpa principal por debajo de la corona caracterizada por una zona de relieves con pendientes entre 50 a 70°.

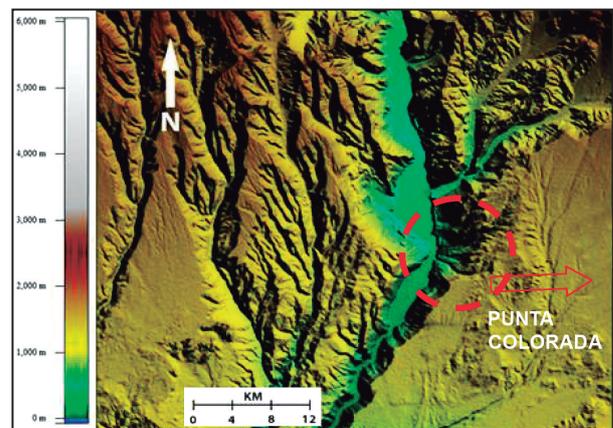


Figura N.º 10. Mapa (DEM) geomorfológico con altitudes del área de deslizamiento Punta Colorada.

6.1.2. Zonas de laderas suaves onduladas

Son las que presentan una superficie con pendientes entre 25 a 35° de inclinación, en esta geoforma del deslizamiento. Están comprendidas las zonas del “Mirador” y Altillo las demás forman parte del cuerpo principal del deslizamiento.

6.1.3. Zonas de terrazas fluviales

Están conformadas por las dos terrazas formadas por el río Majes, siendo la más antigua de poco desarrollo o se encuentra muchas veces modificada por la acción antrópica del hombre para el desarrollo de la actual vía de comunicación; mientras que la segunda terraza también llamada actual planicie fluvial, estas terrazas fluviales actualmente son empleadas para cultivos de arroz, vid y frutales.

6.2. Parámetros geométricos del deslizamiento Punta Colorada

El reconocimiento de los movimientos de ladera se lleva a cabo a través de diversos indicadores geomorfológicos del terreno. Una vez identificados, el estudio de estos procesos exige una descripción de detalle que incluya, además de otros datos, sus dimensiones geométricas.

Coordenadas UTM (zona 18): X(772428.22), Y(8199339.81)

Tabla N.º 3. Parámetros geométricos del deslizamiento Punta Colorada

PARÁMETRO	VALOR
Altitud snm (m)	400 a 1200 m
Superficie de rotura	Circular
Longitud total, L (m)	6496 m
Longitud de la masa desplazada, L (m)	3571 m
Longitud de la superficie de ruptura, L (m)	2869 m
Profundidad de la superficie de ruptura, D (m)	400 m
Profundidad de la masa desplazada, D (m)	650 m
Anchura de la superficie de ruptura, W (m)	3750 m
Anchura de la masa desplazada, W (m)	4500 m
Pendiente mínima-máxima/media de la ladera (°)	22°// 55°
Ángulo de la superficie de rotura (°)	86°
Altura de la superficie de rotura, H (m)	150 m
Relación D/L	0.028 < 0.1

Dichos parámetros geométricos sobre este deslizamiento y la observación sobre la geometría de la escarpa de arranque aún fresca con poca denudación, nos permite inferir sobre la edad muy reciente de este accidente geomorfológico presente en el piedemonte del Pacífico sur peruano.

Este deslizamiento parece haber ocurrido en el Plioceno inferior al cuaternario, razón de que Thouret *et al.* (2007) mencionan edades comprendidas entre 2.05 ± 0.29 y 1.95 ± 0.16 Ma. en el sector de Ocoña, datos geocronológicos sobre tobas que recubren niveles topográficos de paleo valles incisos, los mismos que podrían corresponder a las tobas que se encuentran al interior de los hemigrabens donde se tiene una sucesión sedimentaria (~10 m) con niveles de tobas.

VIII. CONCLUSIONES

Geológicamente en esta parte media del Valle de Majes se observa terrenos que van del Precámbrico al Cuaternario, área con fuerte actividad neotectónica, con gran desarrollo de terrenos del Mesozoico y Cenozoico.

Geomorfológicamente este deslizamiento ocurre en el piedemonte del Pacífico, área de clima árido con precipitación pluvial de tipo desértico.

Este megadeslizamiento se encuentra en un valle amplio encajonado en el que los bordes son casi verticales y con una ligera pendiente por procesos de modificación por erosión posterior.

El megadeslizamiento de Punta Colorada que parece ser de edad Pliocuaternaria presenta una gran superficie de

arranque con cuerpo segmentado en hemigrabens y bloques caóticos tiene un frente de deslizamiento en la rivera opuesta del Valle de Majes.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bedia C. y Jacay J. (2012). Análisis geodinámico del deslizamiento Punta Colorada (Valle de Majes - Arequipa) Sur del Perú. XIII Congreso Chileno de Geología. Vol. Resúmenes Extendidos. CD, T-9, pp. 839-841.
- Bedia C., Castillo E., De La Cruz D., Jacay J., Moreno I., Uribe M. y Yataco J. (2012). Geodinámica del sector del deslizamiento Punta Colorada (Valle De Majes - Arequipa) Sur Del Perú. XVI Congreso Peruano de Geología. Vol. Resúmenes Extendidos. CD, SGPSEG232, 5 pp.
- Bellido B. (1979). Geología del cuadrángulo de Moquegua, Hoja 35-u. Carta Geológica Nacional- INGEN-MET Boletín N.º 15, 78 pp.
- Bellido E. y Guevara C. (1963). Geología de los cuadrángulos de Punta Bombón y Clesesí. Comisión Carta Geológica Nacional. Lima. Boletín N.º 5, 92 pp.
- Benavides V. (1962). Estratigrafía Pre-terciaria de la Región de Arequipa. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, 75, pp. 5-63.
- Bernal I., Tavera H., y Antayhua Y. (2002). Zonas sismogénicas en el Perú: Volúmenes de deformación, gráficos polares y zonificación preliminar. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, Vol. 93, pp. 31-44
- Cruden D.M., Varnes D. J. (1996). Landslide types and processes. In: Turner A.K.; Shuster R.L. (eds.) Landslides: Investigation and Mitigation. Transp Res Board, Spec Rep 247, pp. 36-75.
- Dikau, R., Brunnsden, D., Schrott, L. & M.-L. Ibsen (1996). Landslide Recognition. Identification, Movement and Causes. Wiley & Sons, Chichester. 251 pp.
- García F. (1987). Aspectos sedimentológicos mesozoicos del sector de Sacramento - Cosos (Valle de Majes) (Prov. Castilla-Dpto. Arequipa). Tesis UNSAA, 77 pp.
- Gómez, Rosado A., (1964) El Devónico en la costa del sur del Perú. Huamanitas. Revista de la Facultad de Letras de la Universidad Nacional de San Agustín Arequipa, N.º 2, pp. 203-216.
- Grange, F. (1984). Etude sismotectonique détaillée de la subduction lithosphérique au Sud Pérou. These Docteur 3er cycle, univ.Scientifique et médicale de Grenoble. 152 pp.
- Guizado J. (1968). Geología del Cuadrángulo de Aplao. Lima, Perú: Ministerio de Obras Públicas, Servicio de Geología y Minería. 50p.
- Jacay J., Bulot L., Moreno K., Sempere T. (2006). Aspectos sedimentológicos del Jurásico-Cretáceo (Grupo Yura) en el área del valle de Majes (Arequipa). XIII Congreso Peruano de Geología. Vol. Resúmenes Extendidos, p. 543-546.

14. Jenks W. (1948). Geología de la hoja de Arequipa, al 1/200.000. Boletín del Instituto Geológico del Perú, Vol. 9, 104 pp.
15. Marocco, R., Delfaud, J., Lavenu, A. (1985). Ambiente deposicional de una cuenca continental intramontaña andina: el Grupo Moquegua (sur del Perú); primeros resultados. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, Lima, 75: 73-90.
16. Muñoz P. (1960). Medidas estratigráficas de la Fm. Uraca, valle de Majes. Tesis UNSAA, 35 pp.
17. Sempere T., Jacay J., Fornari M., y Roperch P. (2002). Megasecuencias Sedimentarias en la Parte Inferior del Grupo Moquegua (Área de Aplao, Departamento de Arequipa) XI Congreso Peruano de Geología. Vol. Resúmenes, pp. 55.
18. Soeters, R. y Van Westen, C.J. (1996). Slope instability recognition, analysis and zonation. In Turner, K. y Schuster, R.L. (eds.), Landslides Investigation and Mitigation; Transportation Research Board, Special Report 247, National Academy Press, Washington DC, pp. 129-177.
19. Thouret J.-C., Wörner G., Gunnell Y., Singer B., Zhang X., Souriot T. (2007). Geochronologic and stratigraphic constraints on canyon incision and Miocene uplift of the Central Andes in Peru. Earth and Planetary Science Letters 263 151-166.
20. Vicente J.-C. (1981). Elementos de la estratigrafía mesozoica sur peruana. In: W. Volkheimer & E.A. Musacchio (eds.). Cuenas sedimentarias del Jurásico y Cretácico de América del Sur. Comité Sudamericano del Jurásico y Cretácico. Buenos Aires, Vol. 1, pp. 319-351.
21. Vicente J.C., Beaudouin B., Chávez A., León I. (1982). La Cuenca de Arequipa (Sur Perú) durante el Jurásico-Cretácico Inferior. 5.th Congreso Latinoamericano de Geología. Buenos Aires 1981, 1, pp. 121-153.