

Estas inestabilidades de taludes también están asociadas a modificaciones antrópicas, ligadas a procesos de corte/relleno a lo largo de las vías terrestres mencionadas.

Los resultados muestran que las vías terrestres de la parte sur del país, tanto de primer orden como las de segundo orden son altamente vulnerables a fenómenos de remoción de masas (deslizamientos, derrumbes y caídas de rocas) ante la ocurrencia de eventos sísmicos, como es el caso del ocurrido el 23 de junio del 2001.

El conocimiento de la situación en la cual se producen los deslizamientos de tierra activados por eventos sísmicos, ha servido de guía un tanto empírica para poder predecir la ocurrencia de deslizamientos. Es lógico pensar que la actividad de un deslizamiento disminuya al aumentar la distancia al epicentro y existe una distancia a partir de la cual estos deslizamientos no ocurrirían de determinado tamaño (Keefer, 1984). En la figura 5, se muestra la relación de los volúmenes desplazados por la acción sísmica versus la distancia al área epicentral, y se puede notar claramente la disminución de los volúmenes cuanto más lejos se produjeron estos fenómenos del epicentro del sismo principal.

- Licuación de suelos

Los fenómenos de licuación consisten en la pérdida rápida de resistencia al esfuerzo cortante, temporal o definitiva. Tal pérdida conduce al colapso o daño severo de cualquier estructura, por ejemplo vial o edificaciones emplazadas sobre material potencialmente licuable. Las dos principales causas a que puede atribuirse esa pérdida de resistencia son: el incremento de los esfuerzos cortantes actuantes, el aumento correspondiente de la presión de poros y el desarrollo rápido de elevadas presiones en el agua intersticial, como consecuencia de un sismo.

Previo al trabajo de campo y teniendo en cuenta la extrema aridez de la región costanera del sur de Perú, la ocurrencia de los fenómenos de licuación de suelos estuvo restringida a aquellas planicies o valles aluviales donde fluyen aguas permanentes; es decir, se consideró los valles de los ríos Yauca, Ocoña, Camaná, Tambo, Osmore, Locumba y Sama, donde efectivamente se comprobó la ocurrencia de este fenómeno en

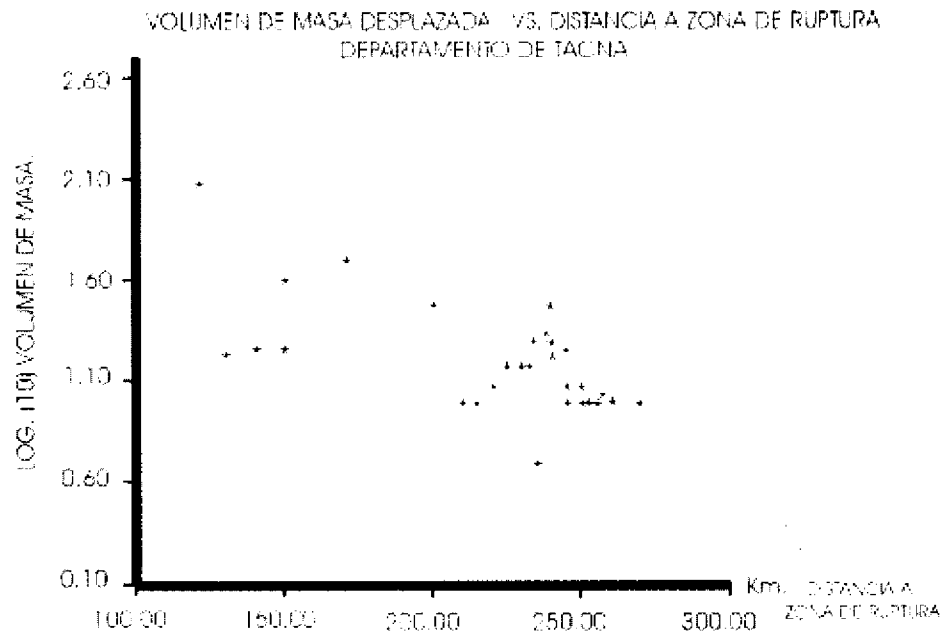


Figura 5. Volumen de masa desplazada en función de la distancia a la zona de ruptura en el departamento e Tacna.

El proceso de licuación de suelos se expresó en los lugares citados, debido al agrietamiento del terreno sobre decenas de metros de longitud a consecuencia del proceso de desparramamiento lateral (lateral spreading), así, fue muy frecuente observar evidencias de agrietamientos más eyección de arena bajo la forma de volcanes de arena en los depósitos aluviales y/o deltaicos costeros del sur del país. Este fenómeno también fue observado en los bancos de arena dentro de los cursos de los distintos ríos con agua permanente.

La zona de mayor evidencia de licuación fue a lo largo del río Camaná y la franja costera entre Mejía y la Punta de Bombón. Así, en el cauce del río Camaná las numerosas evidencias de licuación afectaron el terraplén de la margen izquierda del río (usado para el control de inundaciones de la llanura aluvial cultivada). En el curso del río, las arenas muy finas a intermedias licuaron en aquellos bancos de arena no muy

potentes. Los volcanes de arena tuvieron diámetros de hasta 2.0 m También se midieron fracturas longitudinales a los bancos con eyección de arena (venting fractures) de unos pocos metros de longitud (grietas individuales no mayores de 4 m de longitud), Figura 6.



Figura 6. Imagen del margen izquierdo del río Camana en donde se observa fenómenos de lateral spreading y licuación de suelos arenoso.

Otra área con mayor distribución de evidencias de licuación de suelos, es la llanura deltaica-costera del río Tambo, con eyección de arenas y de lateral spreading, desde las cercanías a Mollendo hasta El Fiscal, y en los tramos: Mollendo - Mejía, Mejía-El Conto, La Curva - El Arenal, y El Arenal - Puente El Fraile.

Los sectores ubicados más al Sur, como las desembocaduras de los ríos Osmore, Locumba y Sama mostraron evidencias de licuación de arenas con volcanes de arena alineados, grietas de ventilación y lateral spreading de pequeñas dimensiones. Los conos de volcanes de arena llegaron a un diámetro máximo de 50 cm y el volumen expulsado también fue mucho menor que en las zonas críticas de Camaná y El Tambo.

Se puede resumir, de manera muy general, que las evidencias de licuación, según su distribución espacial y tamaño, muestran valores máximos en la región de Camaná, para disminuir tanto en frecuencia como en volumen eyectado de arena y agua, hacia el norte y sur de esta localidad.



Figura 7. Volúmenes de arena por efecto de licuación de suelos formados posterior al sismo.

Asimismo, se pudo constatar la ocurrencia de más de una generación de evidencias de licuación, específicamente en el sector de Cerrilos, donde se localizaron conos de arena formados posterior al tsunami ocurrido minutos después del sismo del 23.06.01, esto permite discriminar que estos conos se formaron con alguna de las réplicas, Figura 7.

Agrietamientos de suelo

Los agrietamientos de suelo ocurren como un efecto directo de los esfuerzos inducidos por un sismo en áreas con diversidad de valores de intensidad. Su ocurrencia se observa especialmente, en la corona de taludes de alta pendiente y en los escarpes semi-verticales de terrazas cementadas erosionadas. La magnitud de los agrietamientos depende de la cercanía al epicentro, de las características topográficas y de la estructura geológica de la ladera afectada. Así tenemos, que para el sismo del 23.06.01 se observaron sistemas de agrietamientos de hasta 200 m de longitud con ancho y profundidad variable, presentes a lo largo de los tramos viales inspeccionados. Estos agrietamientos estuvieron asociados a fallas de borde en terraplenes de carretera cuyos trazos se emplazan en laderas empinadas y materiales inconsolidados y/o fracturados. Estos agrietamientos frecuentemente afectaron hasta 1/3 del ancho de la carpeta asfáltica.

La evidencia de inestabilidad del terraplén, que obraron de manera más frecuente en las carreteras, siendo éstas del tipo falla de borde en terraplenes de carretera a falda de relieve. Por otro lado, son muchos los casos donde sólo el borde libre del terraplén de relleno – en sectores donde la carretera corre a flanco de montaña o vertiente – muestra grietas longitudinales de algunas decenas de metros y ocasionalmente alcanzaron el centenar de metros. Los sectores con fallas de borde más pronunciados están entre Atico y Pescadores (km 727-734 de la Panamericana Sur), donde la carretera está construida sobre aspersiones eólicas no consolidadas adosadas a vertientes de unos 30° de pendiente, Figura 8.



Figura 8. Tramo Atico-Pescadores, Panamericana Sur – Sector Cerro de Arena . Agrietamientos en la carpeta asfáltica por falla del borde lateral en zonas de aspersiones eólicas.

Asimismo, otros tipos de agrietamientos fueron producidos por fallas en los terraplenes de relleno y en este caso, de las vías inspeccionadas, no sólo fallaron ambos bordes libres por agrietamiento longitudinal, sino que también la carpeta asfáltica se vió afectada transversalmente, que en algunos casos originaron desniveles importantes que obstaculizaron el tránsito por estas vías. Las vías terrestres afectadas por este tipo de agrietamientos son la carretera Ilo-Panamericana Sur y la carretera costanera Ilo - La Yarada.