

EFFECTOS EN EL TERRENO OCASIONADOS POR LOS SISMOS DEL ALTO MAYO EN PERU

Jorge E. Alva Hurtado (1)
Jorge F. Meneses Loja (1)
Luis A.Chang Chang (1)
José L. Lara Montani (1)
Tomohiro Nishimura (2)

RESUMEN

Dos sismos moderados ocurrieron el 29 de Mayo de 1990 y el 4 de Abril de 1991 en la región nororiental del Perú. A pesar de tener magnitudes relativamente pequeñas, el daño fue severo debido al tipo existente de construcción y las condiciones del suelo en las áreas pobladas de la región. Esta región se localiza en la selva alta del Perú, existiendo una precipitación alta. En las montañas cercanas se encuentran rocas sedimentarias de períodos Jurásico al Cretácico y materiales cuaternarios se ubican en el valle del Alto Mayo. Estos depósitos cuaternarios están compuestos de suelos aluviales, coluviales, fluviales y residuales. Las ciudades de Moyobamba y Rioja son las más importantes en el área. La región está atravesada por el río Mayo, cuyas márgenes están constituidas por depósitos de suelos licuables. Se han reportado los siguientes efectos del terreno: licuación de suelos, inestabilidad y erosión de suelos en los taludes, asentamientos diferenciales, amplificación de suelos y deslizamientos dentro del área epicentral. Un programa de exploración geotécnica se llevó a cabo en las ciudades de Moyobamba, Rioja y Soritor. Se describen los efectos en el terreno ocasionados por los sismos y se presenta un breve resumen de las características geotécnicas de áreas seleccionadas en las ciudades principales.

INTRODUCCIÓN

La región del Alto Mayo en el nororiente peruano ha sido afectada recientemente por sismos moderados. El 29 de Mayo de 1990, a las 9:34 p.m. (hora local), un sismo con magnitud de $m_b=6.0$ ocurrió al suroeste de Rioja. Este sismo causó 70 muertes y ocasionó daños a 6,000 viviendas de las 20,000 existentes en el área epicentral. La mayoría de las viviendas estaban construidas con adobe y tapial. En este sismo se observó una intensidad máxima promedio de VII MMI en Soritor (Alva Hurtado et al, 1990; Huaco et al, 1990; Torres et al, 1990).

(1) CISMID, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú

(2) Tokyo Soil Research, Tokyo, Japón

región, siendo el de mayor magnitud el ocurrido a las 11:30 p.m. (hora local), con una magnitud de $m_b=6.5$ y con epicentro a 30 km al noroeste de Moyobamba, en las cercanías del Cerro Angaisa. El número de víctimas fue de 40, causando graves daños a las propiedades en las provincias de Moyobamba y Rioja. Se observaron intensidades máximas promedio de VII MMI en Moyobamba, Yantalo y Nuevo Cajamarca. Muchas personas salvaron sus vidas, ya que pasaron la noche en los “tambos” de las casas, debido a la alarma producida por los sismos precursores que ocurrieron más temprano en el mismo día (Cuadra y Chang, 1991).

El Centro Peruano-Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, realizó una serie de estudios en la zona afectada. Se han preparado informes preliminares de las misiones de evaluación y reportes sobre la evaluación de daños y la microzonificación sísmica de Moyobamba, Rioja y Soritor. En este artículo se presenta un resumen de los efectos en el terreno ocasionados por los sismos y las características geotécnicas de áreas seleccionadas en las ciudades principales (Chariarse et al, 1991; Cuadra et al, 1991; Fukumoto et al, 1991; Lara, 1992).

HISTORIA SÍSMICA DEL ÁREA AFECTADA

La historia sísmica del área afectada es escasa, principalmente por el aislamiento de los centros poblados y la falta de vías de comunicación. Silgado (1978) ha publicado la historia sísmica del territorio peruano desde el siglo XVI al presente. Se describe a continuación los terremotos más importantes que afectaron la región en estudio (Alva Hurtado et al, 1984).

- 26 de Noviembre de 1877. La ciudad de Moyobamba sufrió los efectos de una recia sacudida de tierra. Intensidad de VI MMI.
- 28 de Setiembre de 1906. Se registró en Chachapoyas un sismo de intensidad VII MMI. La magnitud fue de $M_s=7.5$.
- 14 de Mayo de 1928. Una notable conmoción sísmica ocurrió en el nororiente peruano. Chachapoyas sufrió una destrucción casi total. Un deslizamiento en Pinpincos (Valle de Chamaya) causó 25 muertos. La magnitud del sismo fue de $M_s=7.3$ y la intensidad máxima de X MMI en el área epicentral.
- 6 de Agosto de 1945. Un fuerte movimiento sísmico afectó los departamentos de San Martín y Amazonas. Se reportó una intensidad de VI MMI en Moyobamba. El epicentro se localizó al este de Moyobamba. Ocurrió licuación de suelos en las quebradas de Shango, Tahuishco y Azungue.
- 19 de Junio de 1968. Ocurrió un terremoto en la parte norte del departamento de San Martín, causando la muerte de 15 personas. La magnitud del sismo fue de $M_s=6.9$ y $m_b=6.4$. Se reportaron daños severos en las ciudades de Moyobamba y Yantalo. El epicentro se localizó al noroeste de Moyobamba. Ocurrió licuación de suelos a lo largo de las márgenes del río Mayo y en los alrededores de Moyobamba. La máxima intensidad fue de IX MMI.

GEOLOGÍA

La región pertenece a la Zona Subandina del norte del Perú. Las rocas que afloran en los alrededores del valle del Alto Mayo son rocas marinas y continentales del tipo sedimentario, con edades del Jurásico al Cretácico y rocas continentales del Terciario. Estas rocas están afectadas por una tectónica de pliegues y sobrescurrimientos. El valle tiene depósitos cuaternarios de origen fluvio-glacial que suprayacen a las rocas. Se han realizado sondajes en el valle, que indican la existencia de depósitos de turba de 20 metros de profundidad, lo que significa que la mayor parte del relleno de la cuenca es lacustre a palustre.

El tipo de fallamiento en el área corresponde a pliegues apretados y fallas inversas de alto ángulo que forman sistemas imbricados. Estas fallas pueden disminuir su buzamiento en profundidad, produciendo una estructura de cinturón inverso y plegado. Varias de estas fallas tienen trazas visibles y evidencias de actividad reciente. Pueden verse escarpes al oeste del valle del Alto Mayo, así como valles longitudinales y rasgos morfológicos desplazados, que son típicos de las fallas transcurrentes activas. También, al norte y sur de Moyobamba, pueden verse escarpes rectilíneos que podrían corresponder a fallas activas normales (Martínez y Macharé, 1991).

En la Figura 1 se presenta la geología superficial, así como las trazas de fallas y epicentros de los sismos de 1990, 1991 y de los terremotos pasados.

CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS

Pueden distinguirse cuatro tipos distintos de características geotécnicas en el área investigada (Kuroiwa y Deza, 1968; Martínez Vargas, 1969):

Tipo I Zona de rocas.- Las rocas son de tipo sedimentario: areniscas, calizas y limolitas. Forman los cerros circundantes del valle del Alto Mayo, siendo indentadas por el denso drenaje dendrítico de la zona. Las rocas son susceptibles, por su naturaleza y las condiciones atmosféricas, a los fenómenos de remoción de masas, tales como caídas de rocas, deslizamientos y derrumbes.

Tipo II Zona de suelos residuales.- Se localizan sobre la roca madre y son producto de su meteorización y alteración. En general, son suelos de densidad media a alta (gruesos) o de consistencia media a rígida (finos). Constituyen los suelos de las partes elevadas de las ciudades de Moyobamba y Rioja. Estos suelos tienen una capacidad portante media; sin embargo, sus taludes no son estables cuando tienen gran altura, son empinados y tienen bajo contenido de arcilla.

Tipo III Zona de depósitos cuaternarios densos.- Son depósitos coluviales y aluviales con buen drenaje y alta compacidad. Comprenden coluviones y terrazas con bloques y gravas en matriz arenosa. Se localizan en los valles de los tributarios del río Mayo, en la zona montañosa y en los primeros metros de la zona de baja pendiente. Poseen en general buena capacidad

portante.

Tipo IV Zona de depósitos cuaternarios blandos.- Están constituidos principalmente por arenas finas saturadas localizadas en las márgenes de los ríos principales y quebradas. También lo constituyen las intercalaciones de arcilla, turba y arena de origen lacustre que forman la gran planicie del valle del Alto Mayo. En general, este tipo de suelo tiene un mal comportamiento geotécnico.

La ciudad de Moyobamba fue construída originalmente en una meseta estable formada por suelos residuales tipo II. Los taludes que rodean la ciudad tienen problemas de erosión. Las zonas bajas de Moyobamba, tales como Tahuishco, Shango y Azungue corresponden a depósitos de suelo tipo IV. La ciudad de Rioja presenta una situación similar a la de Moyobamba, zonas altas con suelos residuales y zonas bajas con suelos blandos; sin embargo, los taludes en Rioja son más estables. Soritor se encuentra en la margen derecha del río Tónchima, con suelos tipo III. Existen otras poblaciones en la zona, tal como Nuevo Cajamarca, que se localiza sobre suelo tipo IV.

EFFECTOS SÍSMICOS EN EL TERRENO

Se reportan brevemente los daños de origen geotécnico, tales como: agrietamiento en el terreno, licuación de suelos, amplificación sísmica y deslizamientos. Debe indicarse que la mayoría de daños por sismo tuvo origen estructural, es decir, de diseño y construcción con materiales de tierra. Este tipo de daño no se presentará en el artículo.

Agrietamiento en el terreno.- Se observaron grietas de tensión en 1) la cresta de los taludes de la meseta de Moyobamba, asociadas con licuación de suelos y desplazamiento lateral, 2) carreteras, como zonas de tensión que pueden desarrollar futuros deslizamientos y hundimientos y 3) los suelos blandos en las márgenes del río Mayo. Lamentablemente no se pudo inspeccionar el área epicentral por su difícil acceso.

Licuación de suelos.- Se observó el fenómeno de licuación de suelos en el Puerto Tahuishco en Moyobamba. En el Centro Educativo de Tahuishco se produjo licuación por desplazamiento lateral en 1991, con grietas de 10 centímetros de ancho y 50 centímetros de profundidad. Se destruyó el piso de un aula. Durante el sismo de 1990 se produjo el fenómeno en el patio de la escuela, sin alcanzar ésta. Se apreciaron volcancitos de arena en el patio. Durante los sismos de 1990 y 1991 se destruyeron partes de la carretera Moyobamba-Tahuishco. En Azungue, localizado en la parte baja de Moyobamba, se desarrollaron grietas y desplazamiento lateral del terreno. Las grietas reportadas tuvieron 100 metros de largo y 40 centímetros de ancho, con profundidades de un metro. La mayoría de viviendas localizadas en el talud colapsaron. La estación de bombeo del desagüe y las tuberías existentes en este sector fallaron. Todas las viviendas de tapial y algunas viviendas de albañilería localizadas en terreno blando colapsaron. En el área de Shango las casas de tapial colapsaron, observándose grietas de 80 metros de longitud y escarpas de 20 centímetros. En la calle Miraflores, las grietas tuvieron una longitud de

30 metros y una profundidad de 30 centímetros. Durante el sismo de 1990 se reportó el fenómeno de licuación de suelos en El Chorro y Molino Valencia en Rioja y también en Segunda Jerusalén-Azunguillo, río Negro y La Conquista.

Amplificación de suelos.- Considerando las características geotécnicas de los suelos blandos, que consisten en arcillas, turbas y limos en los depósitos lacustres y fluviales del valle del Alto Mayo, se sugiere que las condiciones locales del suelo han jugado un papel importante en el daño de las estructuras, así como en el agrietamiento del terreno. Puede haber ocurrido amplificación de suelos en Nueva Cajamarca, Naranjos, Segunda Jerusalén, San Fernando, Yuracyacu, etc.

Deslizamientos.- Varios tipos de movimientos de masa se produjeron durante los sismos de 1990 y 1991.

Caída de rocas: ocurrieron en taludes empinados, dejando huellas alargadas y con alturas de 50 metros y anchos de 30 y 40 metros en areniscas fracturadas, calizas y suelos residuales. Ocurrieron principalmente en áreas no pobladas.

Deslizamientos translacionales: se presentaron en los bordes de la meseta de Moyobamba, en materiales arenosos sin finos y en talud empinado. Este tipo de movimiento de masa se reportó al norte y al este de Moyobamba, en Punta San Juan, Punta Tahuishco y el distrito de Coccocho. Las alturas fueron del orden de los 30 metros.

Deslizamientos rotacionales: se observaron en el kilómetro 500 de la Carretera Marginal, en ambos terremotos. Este deslizamiento está relacionado a un depósito coluvial que descansa sobre terreno blando. El daño a la carretera se extendió por 70 metros.

Deslizamiento en bloque: este tipo de deslizamiento se observó en Punta Tahuishco. El bloque consistía de arenas limosas con ancho de 60 metros. La grieta tuvo un ancho máximo de 5 centímetros y una escarpa de 7 centímetros.

Desplazamientos laterales: se desarrollaron en áreas con poco gradiente, donde el subsuelo consistía de arena y limo y el fenómeno de licuación de suelos era evidente. Este tipo de movimiento de masa se registró en Tahuishco y Azungue (Moyobamba).

Los efectos del terreno descritos previamente, que fueron causados por los sismos de Rioja (1990) y Moyobamba (1991) en la región del Alto Mayo, se presentan en la Figura 2, que es una actualización de la figura presentada por Monge (1990). En la Figura 3 se presentan los efectos del terreno en la ciudad de Moyobamba. El subsuelo en las partes bajas de la ciudad, como Tahuishco, Azungue y Shango, consiste de arenas finas y arenas limosas con densidades relativas bajas y nivel freático alto. El suelo en los taludes está constituido principalmente por arenas arcillosas y limosas con densidades medias y nivel freático relativamente profundo, mientras que el terreno en la meseta (platea) consiste de arcillas y arenas arcillosas de capacidad portante media a baja y nivel freático profundo. Las intensidades sísmicas en las partes bajas fueron dos grados más altas que aquellas determinadas en las partes elevadas de

la ciudad de Moyobamba.

CONCLUSIONES

1. La historia sísmica de la región del Alto Mayo indica que la sismicidad es muy alta. Es necesario llevar a cabo estudios detallados de las fallas activas existentes en el área.
2. El tipo de construcción con tierra de adobe y tapial que predomina en la zona, es el principal motivo de los daños severos; sin embargo, las características del terreno también contribuyen al daño. Existe una relación directa entre el nivel de daño y las características del suelo.
3. En las partes bajas de Moyobamba y Rioja, que tienen arenas sueltas con nivel freático alto, ocurrió el fenómeno de licuación de suelos, contribuyendo al daño en las edificaciones.
4. En el área lacustre con suelos blandos, tal como Nuevo Cajamarca, se desarrolló amplificación de suelos.
5. Durante los sismos de 1990 y 1991 se generaron problemas de inestabilidad de taludes en la región del Alto Mayo. En Moyobamba y Rioja se produjeron derrumbes relacionados a problemas de erosión de taludes. Los deslizamientos ocurridos en la región montañosa no afectaron a la población. Los deslizamientos rotacionales dañaron carreteras y canales.
6. No se registraron acelerogramas durante los sismos, tampoco existían estaciones sismográficas en las cercanías. Se recomienda instalar instrumentos en el área.

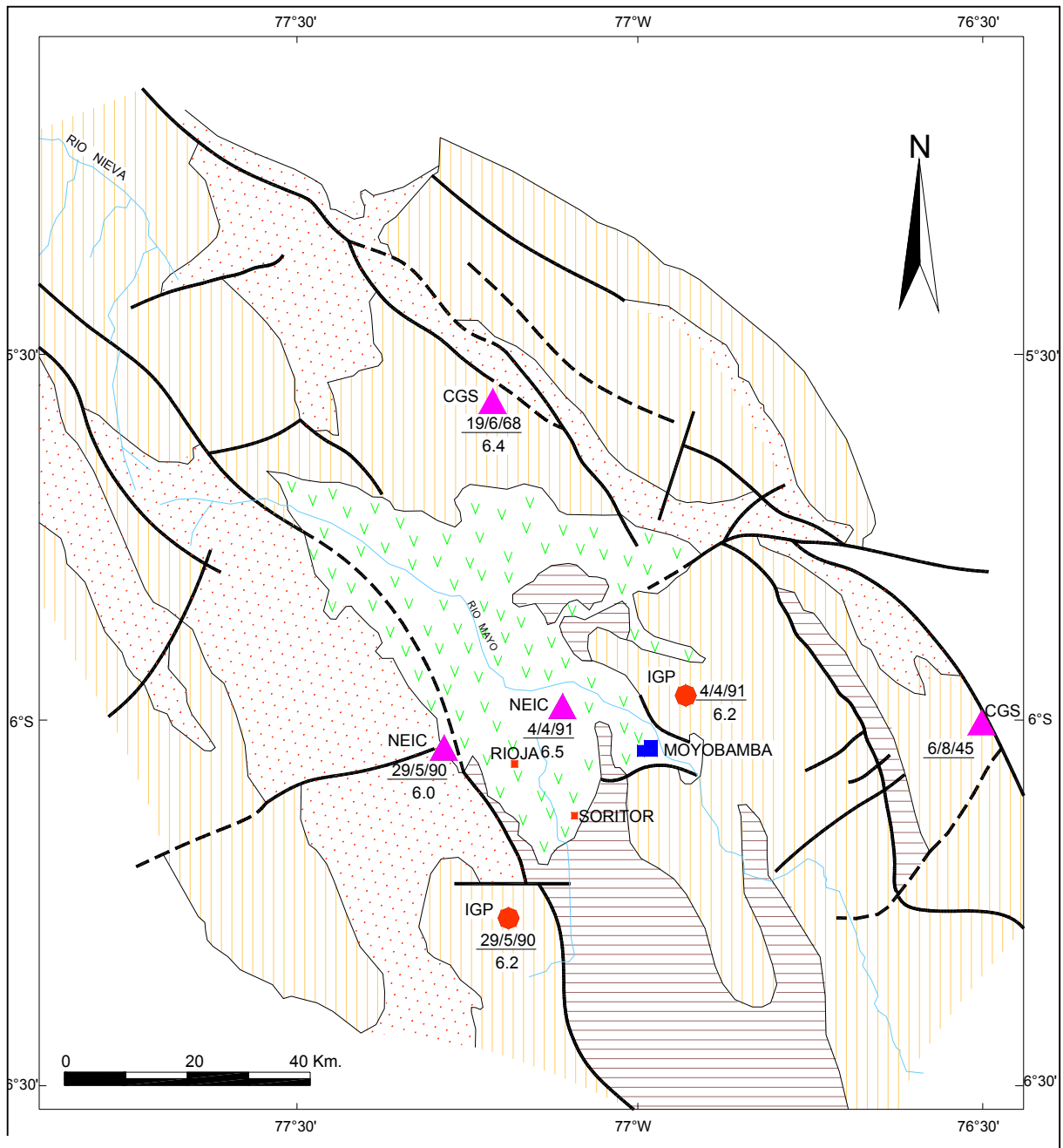
AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo económico recibido de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) y del Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS). Se agradece la colaboración de Z. Aguilar, D. Parra, A. Bustamante, J. Olavarría y R. Zumarán del CISMID.

REFERENCIAS

1. Alva Hurtado J.E., Meneses J.F. y Guzmán V. (1984), "Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas en el Perú", V Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Tacna, Perú.
2. Alva Hurtado J.E., Giesecke A. y Ríos R. (1990), "El Terremoto de Rioja del 29 de Mayo de 1990", Informe preparado para CERESIS, Lima, Perú.
3. Chariarse V., Cuadra C. y Gallardo J. (1991), "Evaluación de Daños Causados por el Terremoto de Rioja del 29 de Mayo de 1990 en la Región del Alto Mayo", CISMID, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
4. Cuadra C. y Chang L. (1991), "El Sismo de Moyobamba del 4 de Abril de 1991", CISMID, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
5. Cuadra C., Ríos A., Gallardo J. y Vásquez J. (1991), "Evaluación de Daños Causados por el Sismo de Moyobamba del 4 de Abril de 1991", CISMID, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
6. Fukumoto S., Alva Hurtado J.E., Meneses J.F. y Nishimura T. (1991), "The May 29, 1990, Rioja Earthquake", Fourth International Conference on Seismic Zonation, Stanford University, Stanford, California, Vol II, pp 801-810.
7. Huaco P., Ponce L., Monge F., Gómez J. y Deza E. (1990), "Intensidades Sísmicas Causadas por el Sismo del 29 de Mayo de 1990 en Moyobamba, Rioja y Soritor", Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú.
8. Kuroiwa J. y Deza E. (1968), "Daños Causados en Moyobamba por el Sismo del 19 de Junio de 1968", Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
9. Lara J.L. (1992), "Microzonificación Sísmica de Moyobamba, Rioja y Soritor", Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
10. Martínez Vargas A. (1969), "Observaciones Geológicas de Campo acerca del Sismo del 19 de Junio de 1968 en Moyobamba y Alrededores del Nororiente Peruano", Primera Conferencia Nacional de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Lima, Perú.
11. Martínez J.M. y Macharé J. (1991), "El Sismo del Alto Mayo, Perú, del 5 de Abril de 1991", Reporte Técnico preparado para CERESIS-UNESCO, Lima, Perú.
12. Monge F. (1990), "Efectos Geológicos del Sismo del 29 de Mayo de 1990 en el Departamento de San Martín, Perú", Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú.
13. Silgado E. (1978), "Historia de los Sismos más Notables Ocurridos en el Perú (1513-1974)", Instituto de Geología y Minería, Boletín N°3, Serie C, Lima, Perú.

14. Torres R., Ishiyama Y., Alva Hurtado J.E., Kumagai Y., Fukumoto S., Chariarse V., Meneses J., Sato J. y Arce I. (1990), "1990 Rioja, Peru Earthquake. Report of the Evaluation Teams". CISMID, Faculty of Civil Engineering, National University of Engineering, Lima, Perú.



L EYENDA



Figura 1.- Mapa Geológico y Sismotectónico del Alto Mayo

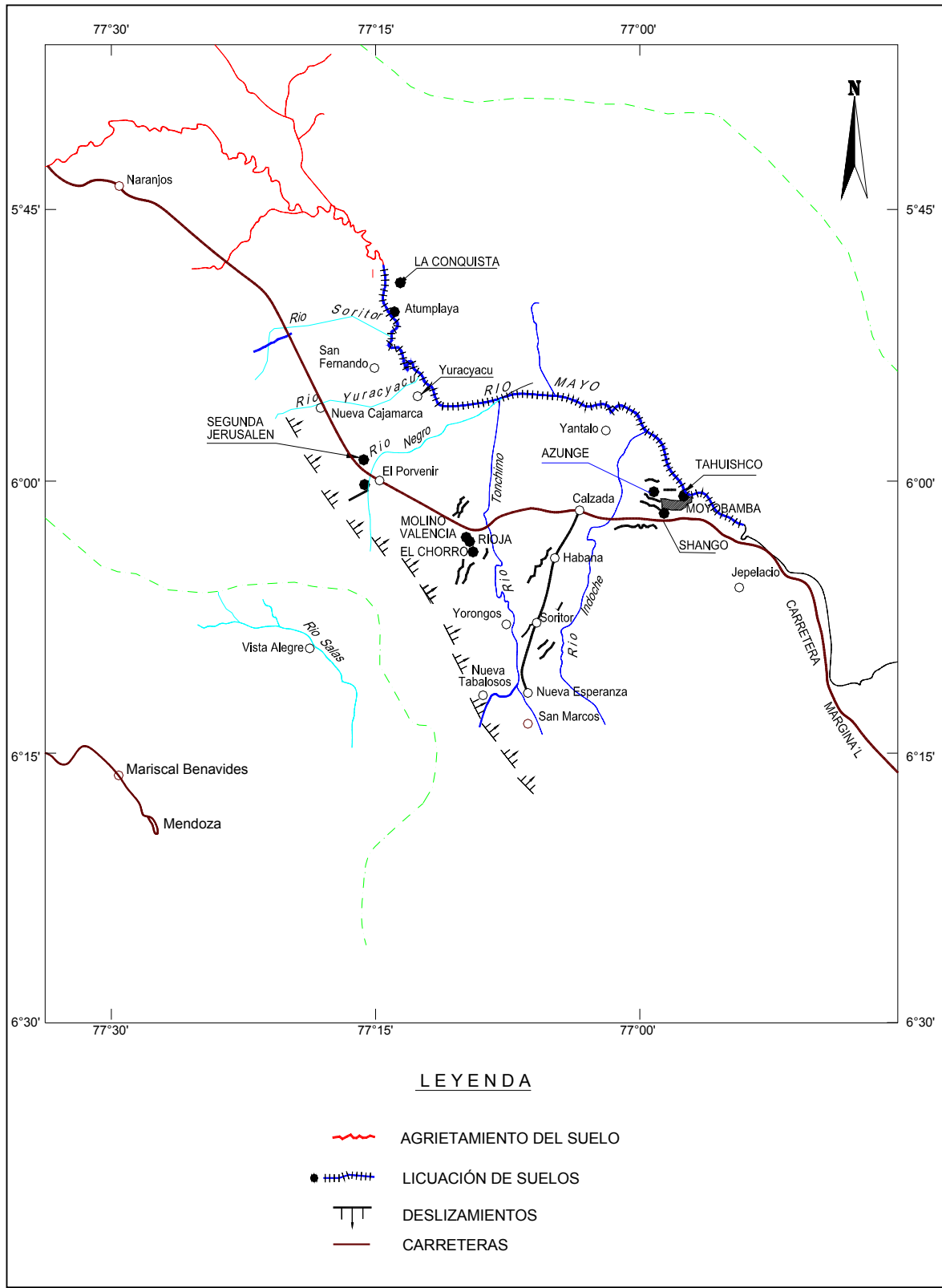


Figura 2.- Efectos Sísmicos en el Terreno en el Alto Mayo

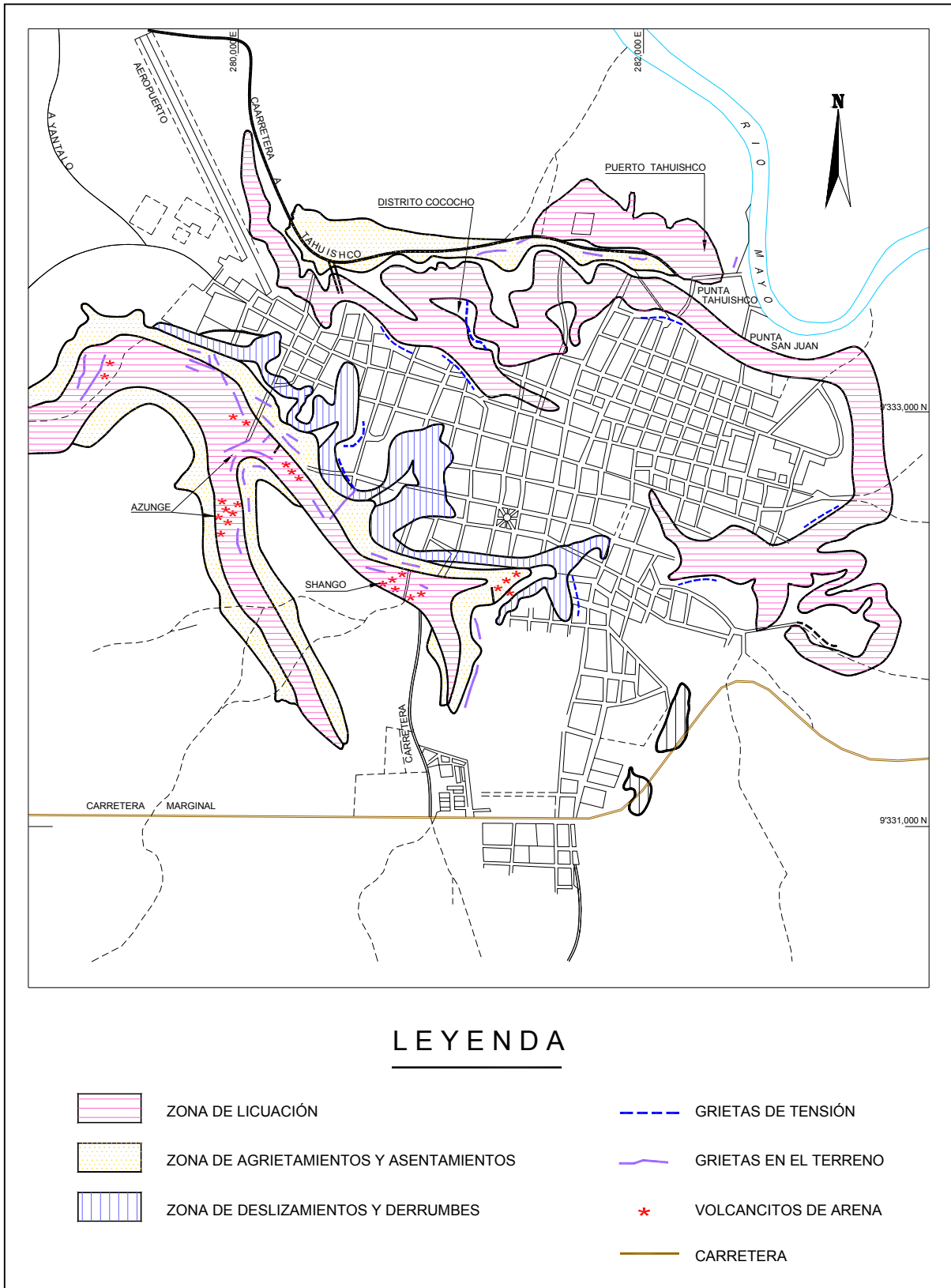


Figura 3.- Efectos Sísmicos en el Terreno en Moyobamba