MICROZONIFICACION SÍSMICA DE LA CIUDAD DE MOYOBAMBA

José Luis Lara Montani [1]
Jorge E. Alva Hurtado [2]

RESUMEN

En este artículo se presenta el estudio de Microzonificación Sísmica de la ciudad de Moyobamba, afectada fuertemente por los sismos ocurridos en el nor-oriente del Perú, en los años de 1990 y 1991; el cual se realizó con el objeto de establecer las áreas susceptibles de sufrir daños sísmicos por efecto de las condiciones locales del suelo.

Para realizar este trabajo se recopiló toda la información geológica y sismológica existente en la zona en estudio, con la cual se planificó un trabajo de exploración de suelos que fuese el más adecuado y con este criterio realizar los ensayos de campo en la cantidad necesaria, y distribuirlos los más adecuadamente posible. Se efectuaron ensayos de laboratorio y posteriormente se evaluaron los datos obtenidos, todo lo cual permitió conocer el comportamiento estático y dinámico del suelo de la ciudad en estudio.

Con el conocimiento de las características geológicas, sismológicas, geotécnicas y evaluación de daños, se delimitó las diferentes áreas con un comportamiento característico observado o probable desde el punto de vista del suelo, frente a la ocurrencia de un evento sísmico; lo que constituye finalmente la Microzonificación Sísmica.

INTRODUCCIÓN

Los sismos se consideran parte de los fenómenos naturales más destructivos, ocasionando pérdidas de vidas humanas y materiales. El Perú se encuentra en una de las regiones de más alta sismicidad que existe sobre la tierra, siendo la región nor-oriental del Perú, la cuenca alta del río Mayo, catalogada como zona altamente sísmica y con intensidades máximas observadas de grado X en la escala de Mercalli Modificada (Kuroiwa y Deza, 1968) (Figura Nº 1).

El 29 de Mayo de 1990, a las 9:34 p.m. (hora local) ocurrió un sismo de magnitud 6.4 en la escala de Richter, con epicentro al sur de Rioja, en las cercanías de Pucatambo, siendo las ciudades de Moyobamba, Rioja, Nueva Cajamarca y Soritor las más afectadas.

[1] Asistente de Investigación del Laboratorio Geotécnico del CISMID, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

[2] Director del CISMID, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Ponencia presentada en el IX Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Ica, del 14 al 20 de Setiembre de 1992.

Este sismo ocasionó aproximadamente 70 muertos, más de 1,600 heridos y las viviendas dañadas pasaron de 6,000 de un total de las 20,000 existentes en la zona epicentral, la mayoría de las cuales eran de tapial y adobe.

El evento sísmico del año 1990 atrajo la atención y el interés del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, el cual se hizo presente en la zona después de ocurrido el sismo y se prepararon informes preliminares de las misiones de evaluación enviadas. Las misiones recomendaron básicamente la microzonificación sísmica de las ciudades de Moyobamba, Rioja y Soritor, las que tuvieron prioridad por ser las que más daño sufrieron, de manera que se pueda elaborar un planeamiento urbano para la mitigación de desastres adecuado para dichas ciudades.

CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y GEOMORFOLOGICAS

Geomorfología

Los aspectos determinantes de la geomorfología del área de estudio lo constituye principalmente el persistente alineamiento estructural nor-oeste de la cordillera oriental, que revela el tectonismo particularmente andino y los eventos cenozoicos referentes a los períodos neógenos y cuaternarios, que por ser los más cercanos, han dado lugar a la geomorfología que muestra esta zona (Figura Nº 2).

Los rasgos topográficos guardan relación directa con la estratigrafía, así los pliegues de anticlinales y sinclinales sobresalen como hileras de montañas y valles respectivamente, encontrándose en las formaciones cretácicas las elevaciones más escarpadas y en las formaciones terciarias las más suaves.

Hay tres relieves predominantes: llano, ondulado y montañoso, donde el comportamiento litológico frente a factores climáticos de lluvias cíclicas moderadas a intensas en zona tropical, dan un modelado especial de erosión y drenaje, haciéndose más crítica la erosión cuando la forestación de la zona montañosa es eliminada (Martínez Vargas, 1968).

El área en estudio presenta una configuración morfoestructural constituida por las cordilleras Cahuapana y Oriental, entre las que se desarrolla el valle del Alto Mayo, donde los suelos están íntimamente relacionados con su génesis, posición fisiográfica, drenaje, naturaleza de la roca madre y situación topográfica.

Estratigrafía

En la zona de Moyobamba y alrededores existen afloramientos rocosos que datan desde el Triásico-Jurásico hasta el Cuaternario reciente (Figura Nº 3), los mismos que están constituidos principalmente por las siguientes secuencias sedimentarias.

Sistema Triásico-Jurásico

Está conformado por depósitos marinos del Grupo Pucará, seguido de sedimentos continentales de la formación Sarayaquillo.

Sistema Cretáceo

Está bastante desarrollado en el área y consiste de tres unidades arenosas: formaciones Cuchabatay, Aguas Calientes y Vivian y dos unidades marinas: formaciones Esperanza y Chonta.

Sistema Terciario

Está representado por el grupo Huayabamba del Terciario Inferior.

Sistema Cuaternario

Está constituido por depósitos sedimentarios de piedemonte en las estribaciones de la cordillera y aluviales a lo largo de las cuencas fluviales. Las terrazas aluviales corresponden a las partes planas. Los sedimentos cuaternarios mayormente son del tipo lacustrino, arcillas y limos de colores variados, con arenas finas; pero también se tienen gravas y conglomerados.

a) Pleistoceno (Qp)

Comprende los siguientes depósitos:

- Depósitos aluviales (Qpa)
  Constituidos por bloques de areniscas, generalmente con matriz areno limosa, limo arcillosa, no plástica. En este tipo de suelo está asentado el pueblo de Jepelacio.

- Depósitos fluviales (Qpf)
  Constituidos por gravas de matriz arenosa, cuarzosa, micácea, con óxidos de fierro y arcillas. La ciudad de Soritor está emplazada en este suelo sobre la margen derecha del río Tónchima.

- Depósitos coluviales (Qpc)
  Se encuentran en los conos deyectivos de las quebradas.

- Depósitos residuales (Qpr)
  Compuestos de sedimentos arcillosos, arcillo-arenosos y areno-limosos, marrón rojizos a amarillentos (20 m). Estos se acumulan in-situ, otros por gravedad al pie de colinas, cerros o montañas de las que derivan con poco transporte. Las ciudades de Rioja, Moyobamba, Calzada y Habana se encuentran sobre estos suelos.

b) Cuaternario Reciente (Qr)

Consiste de sedimentos arcillosos, arenosos y areno-arcillosos, con intercalaciones de conglomerados finos y fragmentos de rocas variadas (60 m). Estos depósitos presentan sedimentación errática y alternancia de suelos orgánicos (turba).

SISMICIDAD DEL AREA AFECTADA

Historia Sísmica

La fuente básica de datos de intensidades sísmicas proviene del trabajo de Silgado (1978), quien describe los principales eventos sísmicos ocurridos en el Perú, los cuales probablemente no sean todos, puesto que durante los siglos XVI a XIX sólo se reportan los sismos sentidos por las ciudades de entonces, de manera que de haber ocurrido sismos importantes en regiones remotas, éstos no fueron reportados y no se conocen. Entre los sismos más importantes ocurridos en el área, tenemos:

- 26 de Noviembre de 1877. Chachapoyas sufrió los efectos de una recia sacudida de tierra. Intensidad de V (MMI) en Chachapoyas.

- 28 de Setiembre de 1906. A las 10:25 horas. Notable conmoción sísmica en un área de 310,000 km^2, desde Guayaquil hasta Tarma y entre Trujillo y Moyobamba. En Chachapoyas intensidad de VII (MMI). En Huancabamba, Piura, Ayabaca, Morropón, Sullana, Tumbes y Santa V (MMI).

- 14 de Mayo de 1928. A las 17:12 horas. Sufrió casi total destrucción la ciudad de Chachapoyas. Graves daños en Huancabamba, Sicaras, Cutervo, Chota y Jaén. En Moyobamba cayeron 150 casas. Grandes derrumbes en el área epicentral. Un deslizamiento sepultó el pueblo de Pinpincos, muriendo 25 personas. Intensidades: en Chachapoyas y en el valle del río Chinchipe IX (MMI); en Moyobamba, Bagua, Chota, Cutervo, Huancabamba y Jaén VII (MMI); en Lambayeque, Piura y Trujillo VI (MMI).

- 6 de Agosto de 1945. A las 18:03 horas. Fuerte movimiento sísmico en los departamentos de San Martín y Amazonas. Destructor en Moyobamba. Percibido en un área de 42,000 km^2. En Moyobamba se dañaron 97 casas. En el valle del Mayo y quebradas adyacentes se formaron grietas, por las que emanaron aguas. Intensidades: en Moyobamba VII (MMI); en Soritor, Calzada, Habana y Jepelacio V (MMI).

- 15 de Junio de 1954. A las 08:30 horas. La región Nor-Oriental fue conmovida por un fuerte sismo que causó daños en Moyobamba, Celendín y Chachapoyas. Intensidades: en Moyobamba, Celendín y Chachapoyas VI (MMI); en Trujillo y Chimbote IV (MMI).

- 19 de Junio de 1968. A las 03:14 horas. Terremoto en la zona norte del departamento de San Martín. Murieron 15 personas. Mayores daños en Moyobamba y Yantaló, en casas de adobón o tapial. Intensidades: en Angaisa X (MMI); en Yantaló VII (MMI) y en Moyobamba VII (MMI).

- 20 de Marzo de 1972. A las 02:34 horas. Sismo en Juanjuí y Saposoa. El sismo dejó 22 heridos y 500 viviendas derrumbadas o semidestruidas. Licuación de arenas en Juanjuí y asentamientos en la carretera marginal. Derrumbes de cerros en Saposoa. Sentido en Tarapoto, Lamas, Moyobamba y Rioja en San Martín y varias provincias de los departamentos de La Libertad, Lambayeque y Huánuco. Intensidad de VII (MMI) en Moyobamba y Rioja.

- 29 de Mayo de 1990. A las 21:34 horas. Sismo de magnitud mb=6.4 con epicentro al sur de Rioja. Ocasionó 70 muertos y 6,000 viviendas dañadas, la mayoría de tapial y adobe. Intensidad VII (MMI) en Soritor y Porvenir; VI (MMI) en Rioja, Yorongos y Habana; V-VI (MMI) en Moyobamba y V (MMI) en Nueva Cajamarca.

- 4 de Abril de 1991. A las 23:30 horas, con magnitud mb=6.2 y epicentro a 30 km al NW de Moyobamba, cerca al cerro Angaisa. Ocasionó 40 muertos y graves daños en viviendas de las provincias de Moyobamba y Rioja. Intensidades VI-VII (MMI) en Moyobamba, Yantaló y Nueva Cajamarca; VI (MMI) en Calzada y V-VI (MMI) en Rioja.

Sismo-Tectónica Regional

El área en estudio se ubica en la zona subandina (selva alta), en donde afloran rocas sedimentarias mesozoicas y cenozoicas de origen continental, tectonizadas por pliegues y fallas a fines del Terciario y durante el Cuaternario. Geodinámicamente, en esta zona subandina se concentró la deformación que libera los esfuerzos producidos por el acercamiento entre el bloque andino y el escudo brasileño.

La depresión tectónica del Mayo, donde se desarrolla el amplio valle del río Mayo, está flanqueada por las cadenas de cerros pertenecientes a levantamientos tectónicos: cordillera Cahuapana y cordillera Oriental.

La cordillera Cahuapana, que corresponde a un levantamiento tectónico conformado por una cadena de cerros que separa el valle del río Mayo del llano amazónico, se extiende longitudinalmente como prolongación de la cordillera Companquiz en el norte y continúa hacia el sur con la cordillera Escalera Azul (sector Tarapoto). Asociada a esta unidad morfo-estructural está la cadena de cerros Angaisa y la falla del mismo nombre, al NW de la ciudad de Moyobamba, a la que se asocia el origen del sismo de Moyobamba de 1968 y el de 1991.

La cordillera Oriental constituye un gran levantamiento tectónico que en su borde nor-oriental limita con la depresión del Mayo por una gran falla inversa tipo sobre-

escurrimiento, que pone en contacto las rocas calcáceas jurásicas (Grupo Pucará) con areniscas más jóvenes (formación Aguas Calientes y Cuchabatay). Asociadas a esta unidad morfo-estructural existen fallas geológicas con orientación NW-SE que corren paralelas a la cadena de cerros Pucatambo, en cuyas bases existen importantes afloramientos de aguas subterráneas a través de cavernas labradas en las rocas calcáreas, las cuales se asocian al sismo de 1990.

En esta zona los sismos son superficiales (25-60 km) e intermedios (hasta 300 km). La existencia de fallas antiguas y de sistemas de fallas que no muestran evidencias de activación reciente hace pensar que el origen tectónico de los últimos sismos sea discutible, de manera que los sismos superficiales continentales a la fecha no pueden ser asociados a fallas activas. Castro Bastos, quién ha hecho estudios geológicos de la zona, piensa que se trata de fallas de superficie de plegamientos hasta los planos profundos de los escurrimientos que son solamente causa de terremotos pequeños y locales.

Martínez Vargas (1968) ha observado que estos sedimentos tienen incompatibilidad por sus propiedades mecánicas, al presentar alternancia de rocas sedimentarias compactadas, como son las areniscas de color blanquecino y que golpeadas con el martillo ofrecen resistencia a dos golpes y al tercero éstas se disgregan, dando verdaderos sedimentos sin cohesión. Si esto se evalúa a escala geológica, puede considerarse como el origen de los escurrimientos de los estratos superiores más resistentes con su consecuente liberación de energía lo que origina estos terremotos moderados.

CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS

La ciudad de Moyobamba se encuentra sobre una planicie elevada, en donde existe material arcilloso de poco espesor en la superficie, suprayaciendo a potentes capas de arena. Existe un grave problema de erosión de suelos en Moyobamba. Los taludes de la planicie de Moyobamba tienen grandes pendientes. En las partes bajas de la ciudad se encuentran depósitos arenosos sueltos con nivel freático alto, en donde ha ocurrido el fenómeno de licuación de suelos.

Investigaciones de Campo

a) Evaluación de Daños

La ciudad de Moyobamba es la capital del departamento de San Martín, ubicada a 25 km al este de Rioja, a 30 minutos por la Carretera Marginal de la Selva.

El casco antiguo fue fundado en 1540, constituyendo la primera ciudad de la amazonía peruana, de manera tal que la ciudad tiene construcciones antiguas; sin embargo, la antigüedad de las mismas es variable, puesto que ante la ocurrencia de sismos las más antiguas colapsaban y las que nó, eran reparadas. Este es uno de los factores del porqué existen construcciones que colapsan ante un nuevo sismo. Los barrios más antiguos de la ciudad de Moyobamba son: Barrio Zaragoza (mayor destrucción en 1968), en los sismos de

1990 y 1991 hubo menor destrucción posiblemente debido a que las construcciones son mas recientes; Barrio de Lluyllucucha (daños moderados en 1968) pero daños muy severos en 1990, lo cual demuestra que las reparaciones sobre las construcciones de tapial tan solo son un tarrajeo (este descuido resulta fatal); Barrio Belén y Barrio Calvario, también muy antiguos y donde los mayores daños ocurrieron en sismos anteriores y recientes. De lo anterior resulta obvio que el mal estado de la construcción por tener cierta antigüedad y una inadecuada reparación y considerando el tipo de construcción (tapial y adobe), fueron factores importantes en la destrucción observada.

El Laboratorio de Estructuras del CISMID ha elaborado un estudio de evaluación de daños de las construcciones existentes para los sismos de 1990 y 1991 (Figura Nº 4). En este trabajo se hace referencia a la evaluación para el sismo de 1990, por considerarse la más representativa.

De acuerdo a esta evaluación se apreciaron los daños: (Tabla Nº 1 y Tabla Nº 2) en donde se puede observar que los tipos de edificaciones existentes son el tapial, adobe, quincha, madera, albañilería y concreto. De un total de 2,879 viviendas evaluadas, las edificaciones de tapial y adobe constituyen el 68% de las construcciones existentes y fueron las que sufrieron mayores daños, los mismos que se deben fundamentalmente a fallas estructurales propias de la edificación (falta de amarre de los encuentros de muros, techo muy pesado, inadecuada cimentación) y en menor proporción a fallas por hundimiento y/o agrietamiento de suelos (licuación de suelos). Para los demás tipos de construcción, fallaron por estar ubicados en zonas críticas (licuación de suelos, deslizamientos); sin embargo, debe indicarse que la mayoría de estas edificaciones tienen defectos de estructuración y ésto se refleja en los daños observados sobre las construcciones de concreto armado durante el sismo de 1991.

El trabajo de evaluación de daños se sintetizó en un plano de intensidades (sismo de 1990) en donde se registraron intensidades de V, VI, VII (MMI). Las intensidades de V se registraron a la entrada de Moyobamba, en el centro de la ciudad y hacia el sector Huastilla (Sur y Este de la ciudad), lo cual está influenciado por el hecho que en estas zonas los suelos son más estables y es donde existe menor densidad poblacional, esto debe tenerse presente para no tener falsas ideas al respecto; la intensidad VI se registró en el resto de la ciudad y esto está condicionado por el hecho que la mayor densidad poblacional está en esta zona; los suelos son mas arenosos y menos estables y es donde se encuentran las construcciones más antiguas. Intensidades de VII se presentan en el sector Recodo y Barrio de Lluyllucucha. Intensidades de VIII se ubican en las partes bajas de Moyobamba, Azungue y Tahuishco, en donde han ocurrido agrietamientos y desplazamientos laterales de los taludes como consecuencia de la licuación de suelos.

b) Zonas Críticas

Básicamente son tres las zonas críticas:

Zona de licuación de suelos

El fenómeno de licuación de suelos arenosos se activa por los sismos, los mismos que al actuar sobre arenas saturadas causan esfuerzos de corte, los que dan una tendencia a la compresión del suelo (inicialmente), pero la condición no drenada del suelo no permite esta compresión, de manera que generan y acumulan presiones de poro en la arena con lo que el esfuerzo efectivo decrece, por lo tanto la resistencia al corte decrece y es donde la arena inicia un estado licuado y sin ninguna resistencia al corte.

La consecuencia de lo anterior es que los suelos se agrieten y de ellos emane agua con arena; se puede manifestar como volcancitos de arena, sin embargo al licuarse el suelo se producen asentamientos y/o hundimientos de las construcciones, puesto que el suelo no tiene resistencia durante la licuación y las viviendas no pueden soportar estos enormes asentamientos y colapsan. Este fenómeno ocurre en las partes bajas de Moyobamba, en donde las condiciones son favorables para que ocurra este fenómeno (suelo arenoso suelto y nivel freático alto).

Este fenómeno se observó en las quebradas de Azungue y Shango, donde se observaron agrietamientos de hasta 100 m de longitud, asentamientos de hasta 1.50 m, volcancitos de arena (Figura Nº 5), casi la totalidad de las construcciones existentes en la zona colapsaron, cualquiera que fuese el material de construcción. En Tahuishco también se evidenció este fenómeno a lo largo de la carretera que va al puerto de Tahuishco. Estos fenómenos se han registrado más extensamente en los recorridos de campo efectuados en 1991 en comparación con sismos anteriores, básicamente porque el acceso es más fácil y las posibilidades de observación mayores. Sin embargo, las zonas licuables son posiblemente mucho más grandes que las reportadas, pero no se reportan por no haberse recorrido y observado.

Zona de agrietamientos y asentamientos

Esta ocurre al norte y oeste de la ciudad, básicamente en los lugares en donde el pie del talud está sobre zonas de licuación de suelos y los taludes no son muy pronunciados. Lo anterior resulta obvio puesto que el agrietamiento se produce por ser los lugares donde se libera la sobrepresión de agua de poros de los suelos y el asentamiento ocurre porque como los taludes tienen una costra de suelo arcilloso y debajo de éste está la arena que ha licuado, este suelo arcilloso actúa como una sobrecarga y considerando que la resistencia de la arena disminuye, entonces ocurre el asentamiento y desplazamiento lateral.

Zona de deslizamientos y derrumbes

Esta zona se encuentra en la parte norte y este de la ciudad, estos derrumbes son frecuentes por la naturaleza muy arenosa de estos taludes y por ser casi verticales. Se observan grietas de tensión en las partes altas: Punta San Juan, Tahuishco, Sector Recodo y Huastilla, principalmente.

c) Ensayos de Campo

El Laboratorio Geotécnico del CISMID ejecutó ensayos de exploración de suelos de acuerdo a las características del suelo del lugar. Se sabía que los suelos tenían un primer estrato de arcilla de espesor variable (0 - 5 m), suprayaciendo suelo arenoso suelto, por lo que se tenía que pensar en un ensayo adecuado. Fue así que se ejecutaron ensayos de Cono Holandés (CPT) de 2 toneladas, el cual es idóneo para la zona; se ejecutaron 20 ensayos distribuidos lo mejor posible en toda la ciudad, pero dando cierta prioridad a las zonas de licuación, con miras a conocer más sobre las características de este fenómeno. Al lado de cada Cono Holandés se realizó una exploración con posteadora manual para conocer la estratigrafía del lugar. El objetivo de usar el Cono Holandés es el de obtener información acerca del estado del suelo (consistencia, densidad) y obtener la capacidad portante del suelo principalmente.

Adicionalmente, se ejecutaron 6 calicatas en donde los suelos son más arcillosos, es decir en donde se pudiesen obtener muestras inalteradas para ensayarse en el laboratorio y obtener los parámetros de resistencia y compresibilidad de estos suelos; las profundidades de estas calicatas fueron de 3 m en promedio y se continuó con posteadora manual hasta los 6 m de profundidad (Figura Nº 6).

Se realizaron 61 mediciones de microtremor en toda la ciudad (Figura Nº 6), de las cuales se puede obtener la distribución de curvas de isoperíodos (Figura Nº 7), en donde observamos que el rango de variación de los períodos predominantes medios varía entre 0.35 - 0.50 seg. De esta distribución de períodos se puede tener una idea, comparativamente hablando, acerca del comportamiento dinámico del suelo y del estado en que se encuentran los suelos, puesto que los valores más altos (0.50 seg) se registran en la zona de licuación de suelos (Azungue y Tahuishco) y en donde los suelos son más sueltos (Sector Recodo, Barrio Zaragoza). Los valores más bajos se registraron en zonas tales como la entrada de Moyobamba, en donde los suelos son de buena consistencia y donde se han evidenciado menores daños (Ts = 0.35 seg).

Investigaciones de Laboratorio

Con las muestras de suelos obtenidas de las calicatas y sondajes efectuados (posteadora) se realizaron 200 ensayos de clasificación de suelos, que consistieron en análisis granulométricos, límites de consistencia y contenidos de humedad. Los perfiles estratigráficos están constituidos por arcillas plásticas a muy plásticas (CH y CL), las mismas que son las que corresponden a la zona I (Figura Nº 8), arcillas que tienen una potencia mayor de 5 m con regular contenido de arena (25%) y se localizan al sur de la ciudad. Las arcillas de mediana plasticidad se localizan en lo que es la zona II, con potencia menos importante (2 - 3 m), pero el contenido de arena es mayor (35%) y de menor consistencia que las que existen en la zona I.

Los suelos areno-arcillosos abundan casi desde la superficie en la zona III suprayaciendo suelos puramente arenosos tipo SM. En la zona V los estratos arenosos son de tipo SM y de potencia no menor de 20 metros.

Con el propósito de determinar las propiedades de resistencia y compresibilidad de los suelos superficiales, se realizaron ensayos de resistencia cortante y consolidación con las muestras inalteradas recuperadas de las calicatas. Se realizaron 5 ensayos de corte directo, 2 ensayos de compresión triaxial y 2 ensayos de consolidación

Con los parámetros de resistencia y compresibilidad de laboratorio y los resultados obtenidos del Cono Holandés, se han calculado las capacidades portantes del terreno, las cuales tienen valores de 0.2 - 1.5 kg/cm^2, considerando una zapata corrida de un ancho de 60 cm y profundidad de cimentación de 80 cm. Los valores más bajos corresponden a las zonas de licuación de suelos, con capacidad portante < 0.20 kg/cm^2 y los valores más altos para la zona I, con capacidad portante de 1.0 - 1.5 kg/cm^2 (Figura Nº 8).

CONCLUSIONES

1. La ciudad de Moyobamba se encuentra emplazada sobre suelos residuales de naturaleza arcillo-arenosa de color marrón rojizo, los cuales no se comportan homogéneamente ante las solicitaciones dinámicas.

2. La zona en estudio se encuentra situada en una faja de deformación activa, que genera sismos pocos profundos (0 - 35 km) de magnitud moderada (mb = 5 a 6.5).

3. Los deslizamientos a gran escala observados en la cordillera Oriental al NW de San Marcos, parecen estar asociados a la dinámica de fallas activas, pues se aprecia en imágenes de satélite al SW de Rioja un sistema alineado de fracturas.

4. El sismo de Mayo de 1990 que afectó más a Rioja y Soritor está asociado al sistema de fallas Rioja/Pucatambo y el del año 1991 al sistema de fallas Chazuta/Angaisa.

5. El estudio de la historia sísmica en el Alto Mayo indica que se han observado intensidades de hasta grado X (MMI) en Angaisa y algo menores en áreas vecinas, VIII y IX (MMI).

6. La ciudad de Moyobamba se encuentra geomorfológicamente expuesta a una destrucción constante por erosión y está destinada a transformarse en el futuro en una ciudad de islas.

7. Los fenómenos de licuación de suelos, erosión e inestabilidad de taludes son los principales problemas de la ciudad de Moyobamba en cuanto a las condiciones locales del suelo. Sobre amplificación sísmica no se puede afirmar nada sin un mejor conocimiento de las características de las ondas sísmicas que se generan durante los sismos.

8. El fenómeno de licuación de suelos ocurrirá siempre en Azungue y Tahuishco para sismos moderados y fuertes.

9. Los problemas de inestabilidad de taludes y de erosión de suelos son inevitables, pero se pueden minimizar con las medidas correctivas del caso, sugiriéndose principalmente un adecuado sistema de drenaje de las aguas de lluvia, reforestación de los taludes y no construir a cierta distancia del borde del talud.

10. La microzonificación sísmica de la ciudad de Moyobamba se sintetiza en lo siguiente:

    La ciudad de Moyobamba se zonificó en 5 zonas, de las cuales las zonas I, II y III se consideran habitables, desde el punto de vista de realizar obras de interés social (Tipo FONAVI) y las zonas IV y V se declaran como críticas. Lo anterior significa que se pueden ejecutar obras en las zonas consideradas como críticas, pero el costo que representaría hacerlas para no poner en peligro la vida del hombre sería elevado.

    Las características más importantes se resumen en el siguiente cuadro.

Zona	Simbolo	Suelo Predominante*	Qad (kg/cm^2)	N.F. (mts)	T_s (segs)	Condición
I		CH-CL	1.0-1.5	> 6.0	0.35-0.40	Habitable
II		CL-SC	0.5-1.0		0.40-0.50	
III		SC-SM	< 0.5			
IV		SC-SM	---	> 4.0	---	Crítica
V		SM	< 0.2	< 0.5	0.45-0.55	

* Suelo predominante, se refiere al que existe a la profundidad activa de la cimentación supuesta (1 - 4 m)

RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios geológicos a fin de detectar y cuantificar en el campo las posibles fallas activas del lugar.

2. Sobrevolar la zona a fin de observar los efectos geológicos a gran escala y elegir las áreas localizadas para estudios puntuales más detallados.

3. Recomendar al Servicio Aerofotográfico Nacional la toma de fotos áreas post-sismo para realizar estudios comparativos con vuelos anteriores.

4. Se recomienda instalar sismógrafos en el Alto Mayo, para poder localizar con precisión los hipocentros de sismos futuros.

5. Se recomienda instalar por lo menos un acelerógrafo en el Alto Mayo con el objeto de determinar las características de las ondas sísmicas que se generen.

6. En la ciudad de Moyobamba se recomienda especialmente:

   - Ejecutar un estudio especial sobre la inestabilidad de taludes a fin de recomendar las medidas adecuadas.
   - Se recomienda reforestar los taludes para minimizar el efecto erosivo.
   - Los sistemas de drenaje deben tener un diseño adecuado puesto que éstos contribuyen a la erosión en las quebradas.
   - Se recomienda hacer un estudio especial para los sistemas de líneas vitales (agua potable y electricidad) en donde éstas atraviesen zonas críticas.
   - Se recomienda emplear las zonas bajas como zonas recreativas y no construir con material pesado (material noble o adobe).
   - Se recomienda reubicar a las personas que viven en las zonas bajas (Azungue y Tahuishco) y en los taludes que dan hacia estas zonas.
   - Se recomienda reubicar las poblaciones en las partes altas, siendo los mejores lugares los que están en las actuales zonas de invasión y los terrenos que circundan la carretera que va hacia los baños termales.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al personal del Laboratorio Geotécnico del CISMID que trabajó en este proyecto, Ing. Luis Chang Ch., Ing. Zenón Aguilar B., Ing. Denys Parra M., Ing. Américo Bustamante y técnicos Julio Olavarria y Roger Zumarán.

REFERENCIAS

1. CISMID-UNI (1990), “Terremotos de Rioja del 29 de Mayo de 1990-Informe Preliminar”. Autores varios.

2. Cuadra C. y Chang L. (1991), “El sismo de Moyobamba del 4 de Abril de 1991”, CISMID, UNI, FIC .

3. Chariarse V., Cuadra C. y Gallardo, J. (1991), “Evaluación de Daños ocasionados por el Terremoto de Rioja del 29 de Mayo de 1990 en la zona del Alto Mayo”, Laboratorio de Estructuras del CISMID, FIC,UNI .

4. Gómez J. (1988), “Estudio Geológico de Peligro Sísmico de la Ciudad de Rioja y Alrededores”, IGP.

5. Kuroiwa J. y Deza E. (1968), “Daños en Moyobamba Causados por el Sismo del 19 de Junio de 1968”, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

6. Lara Montani J. L. (1992), “Microzonificación Sísmica de Moyobamba, Rioja y Soritor”, Tesis de Grado, CISMID, FIC, UNI.

7. Monge F. (1991), “Efectos Geológicos del Terremoto del 29 de Mayo de 1990”, IGP.

8. Martínez Vargas A. (1968), “Geología y Geotecnia de Moyobamba y alrededores después del Terremoto de 1968”, Laboratorio de Geologia y Geomorfologia Aplicada, FIC, UNI, Lima

9. Silgado E. (1978). “Historia de los Sismos más notables Ocurridos en el Perú (1513-1974)”, Instituto de Geología y Minería, Boletín Nº 3, Serie C, Lima.

10. Torres R., Ishiyama Y., Alva Hurtado J., Kumagai Y., Fukumoto S., Chariarse V., Meneses J., Sato J. y Arce O. (1990), “Terremoto de Rioja, Informe Preliminar de las Misiones de Evaluación”, CISMID-UNI, Lima, Perú.

TABLA Nº 1

TIPOS DE EDIFICACIONES SEGÚN EL MATERIAL UTILIZADO
LOCALIDAD DE MOYOBAMBA

MATERIAL	Nº DE EDIFICACIONES	PORCENTAJE
TAPIAL	1752	60
ADOBE	82	03
QUINCHA	214	07
MADERA	27	01
ALBAÑILERÍA	478	17
CONCRETO	353	12
TOTAL	2879	100

TABLA Nº 2

RESUMEN DE DAÑOS EN MOYOBAMBA
(Nº DE EDIFICACIONES)

TIPO DE EDIFICACION	TIPO DE DAÑO			
	SIN DAÑO	DAÑO LEVE	DAÑO SEVERO	COLAPSO
TAPIAL	457	820	280	168
ADOBE	24	44	10	04
QUINCHA	128	76	05	05
MADERA	23	03	--	01
ALBAÑILERÍA	407	64	04	03
CONCRETO	321	29	03	--
TOTAL	1360	1036	302	181

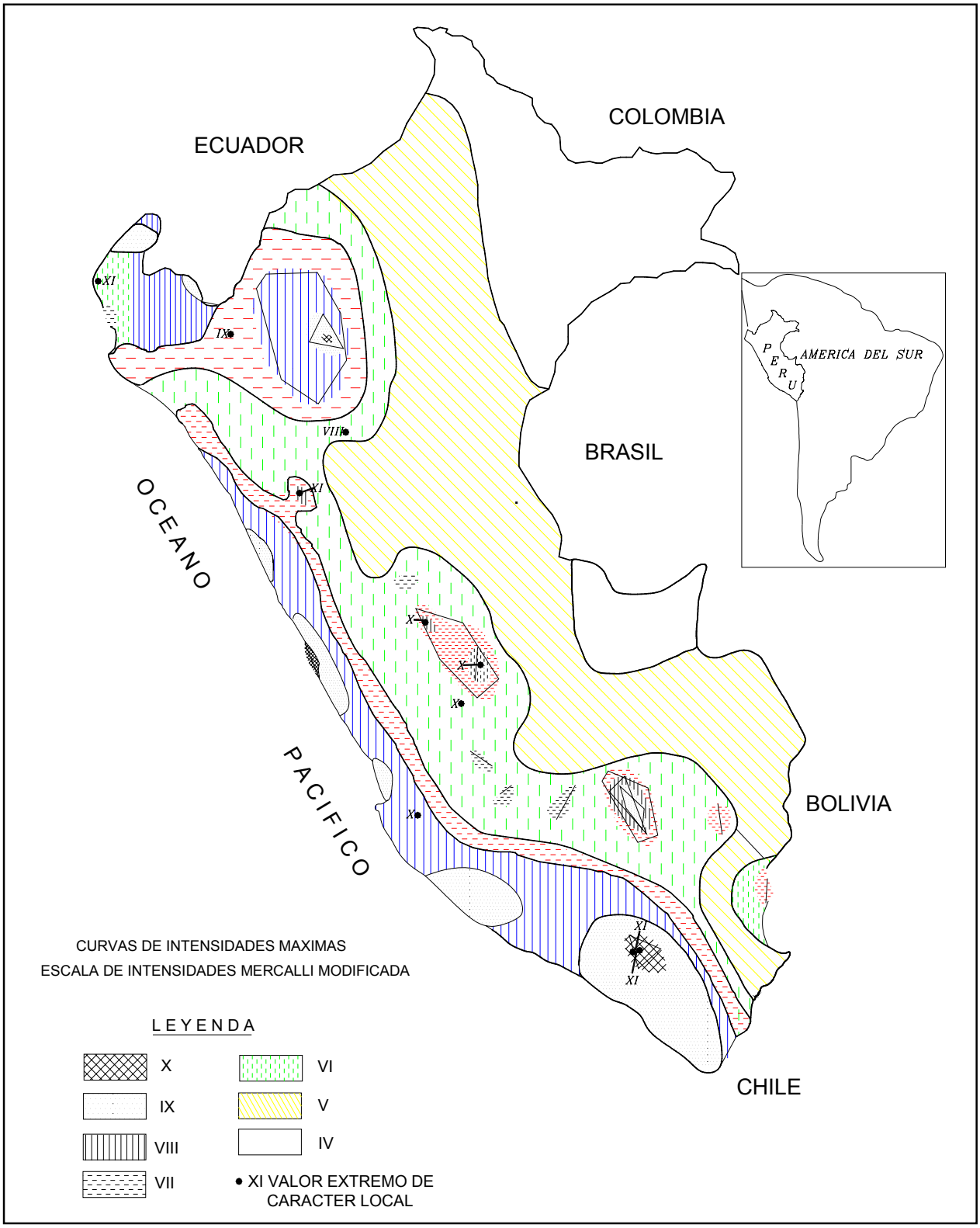


Figura Nº 1.- Mapa de Máximas Intensidades

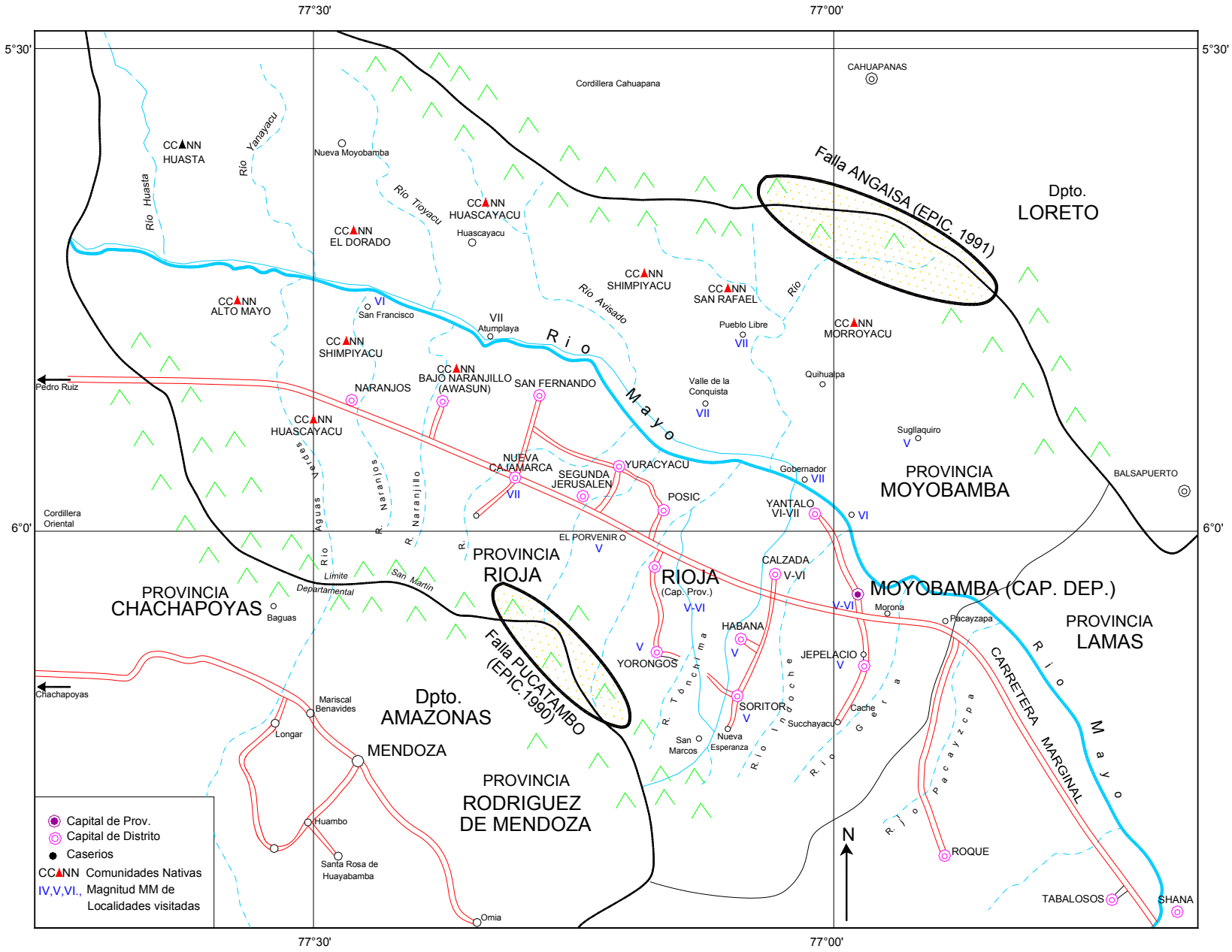


Figura Nº 2.- Zona de Estudio

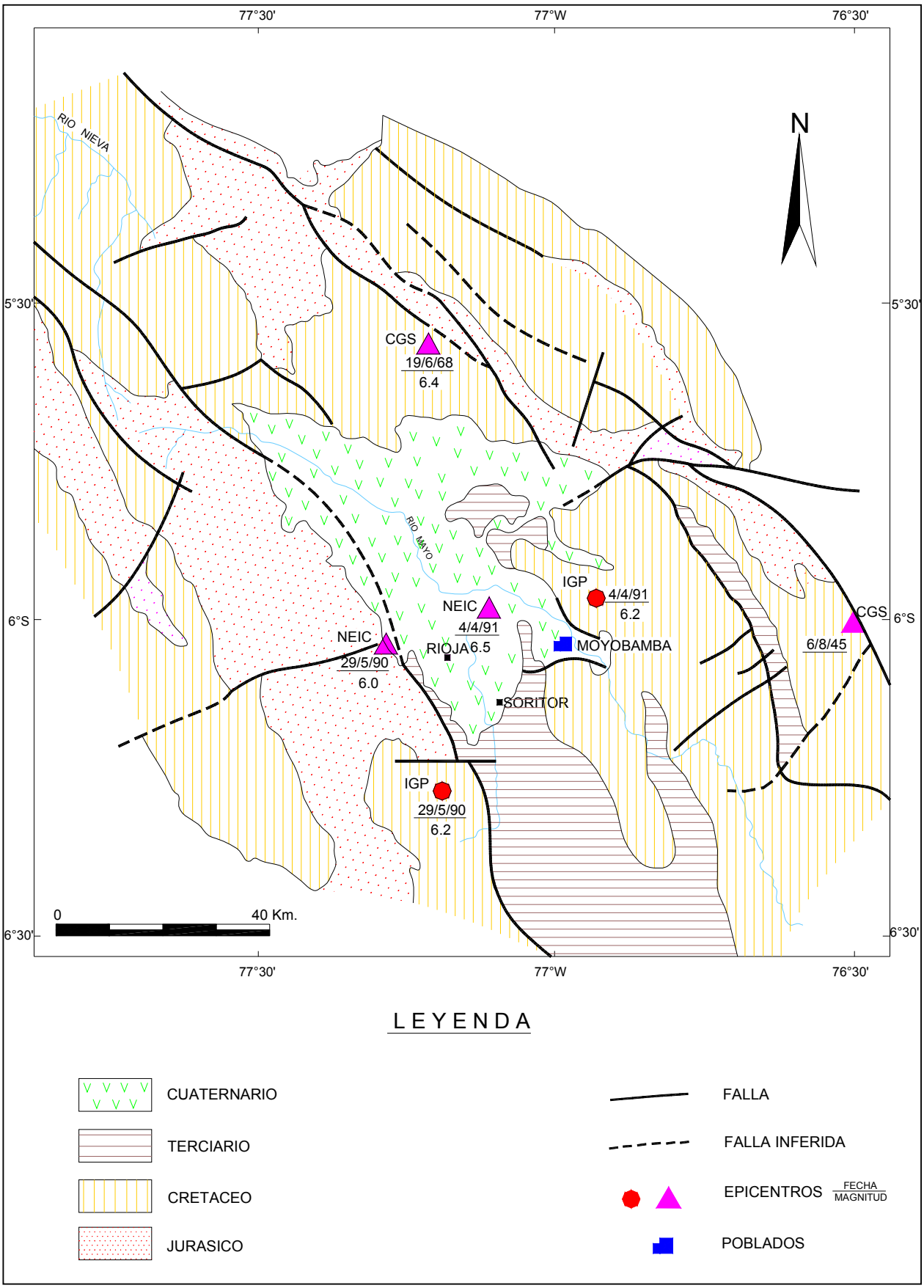


Figura Nº 3.- Mapa Geológico Sismotectónico Regional

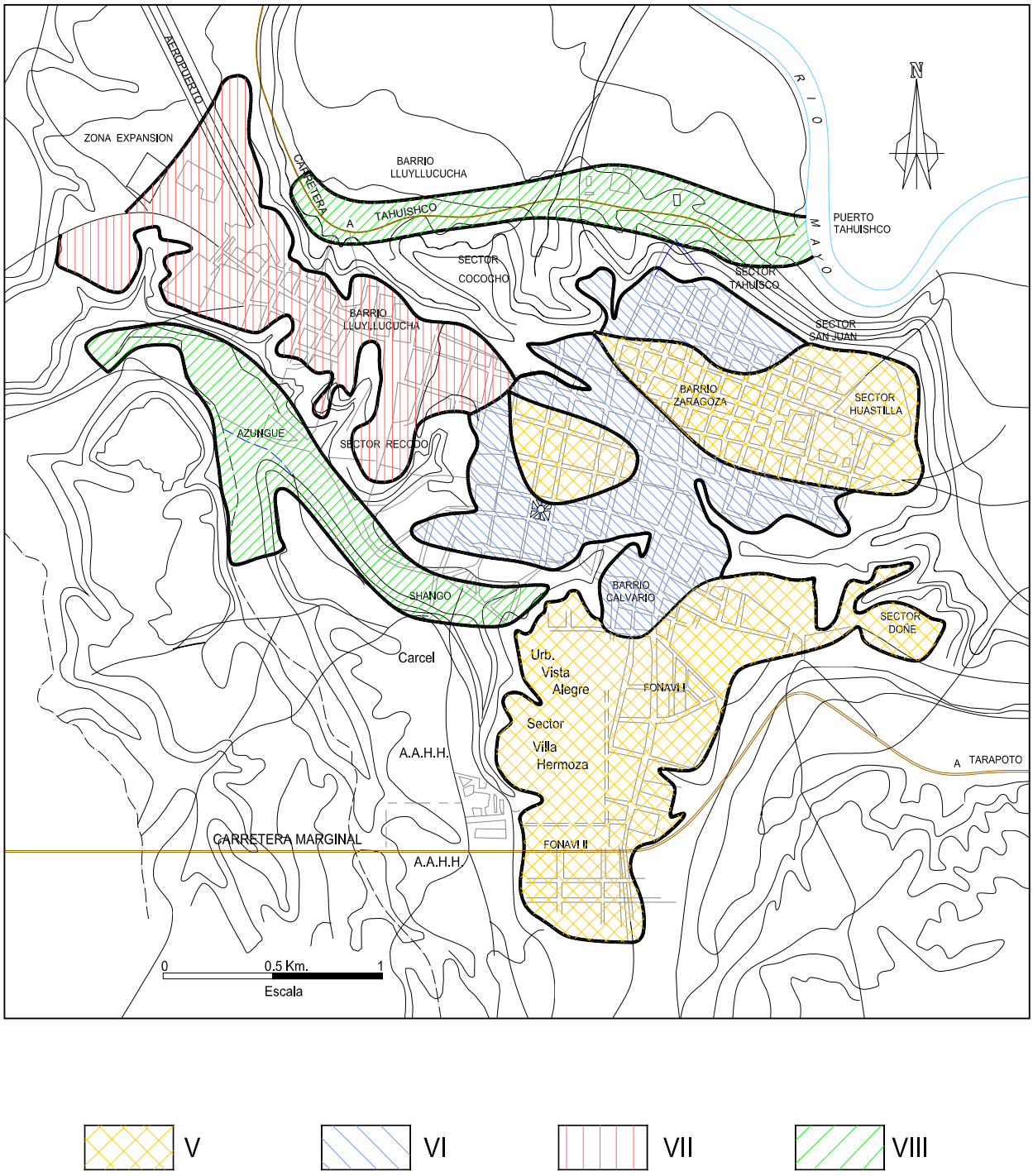


Figura 4.- Plano de Intensidades Sísmicas en Moyobamba (MM)

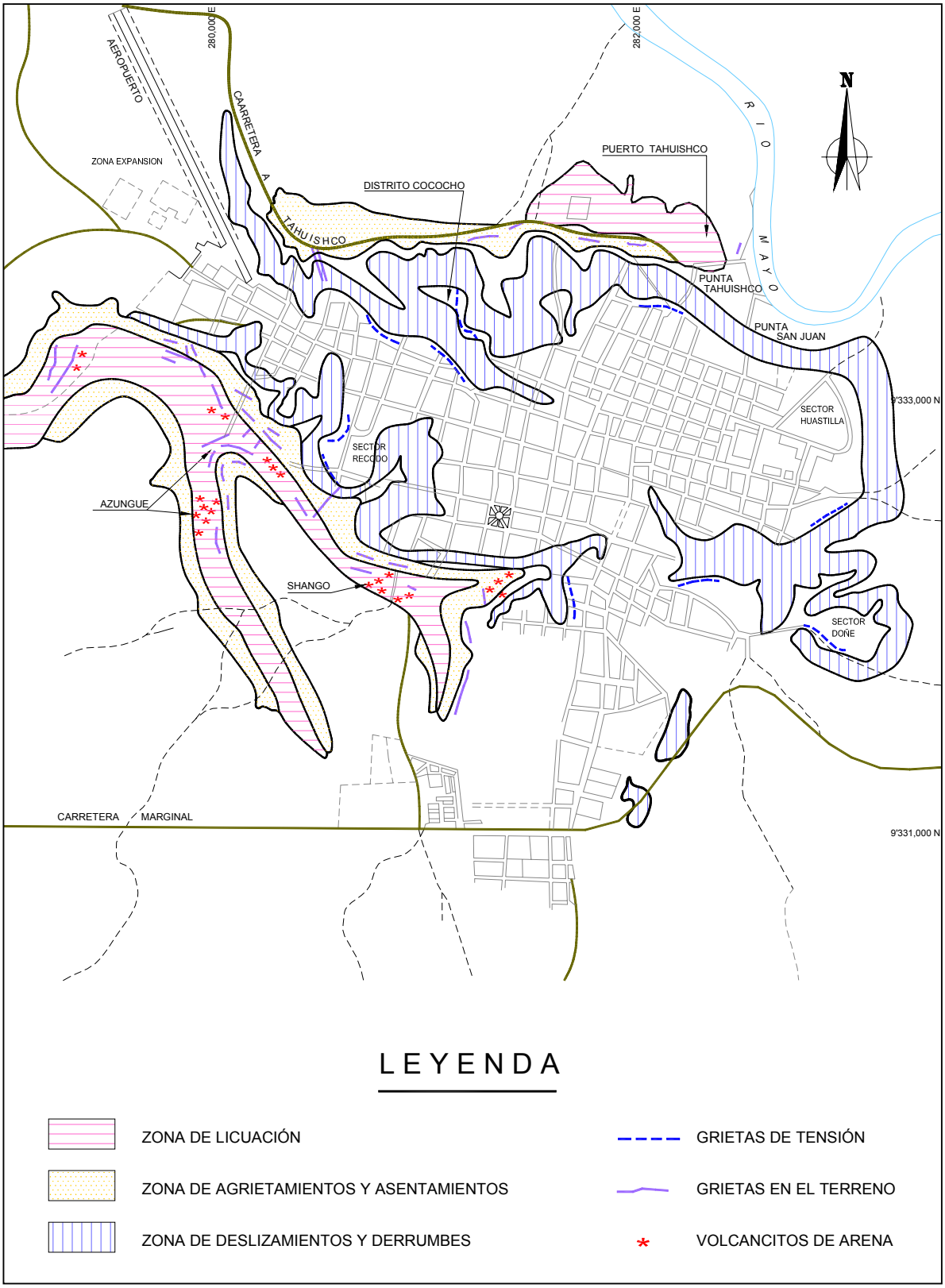
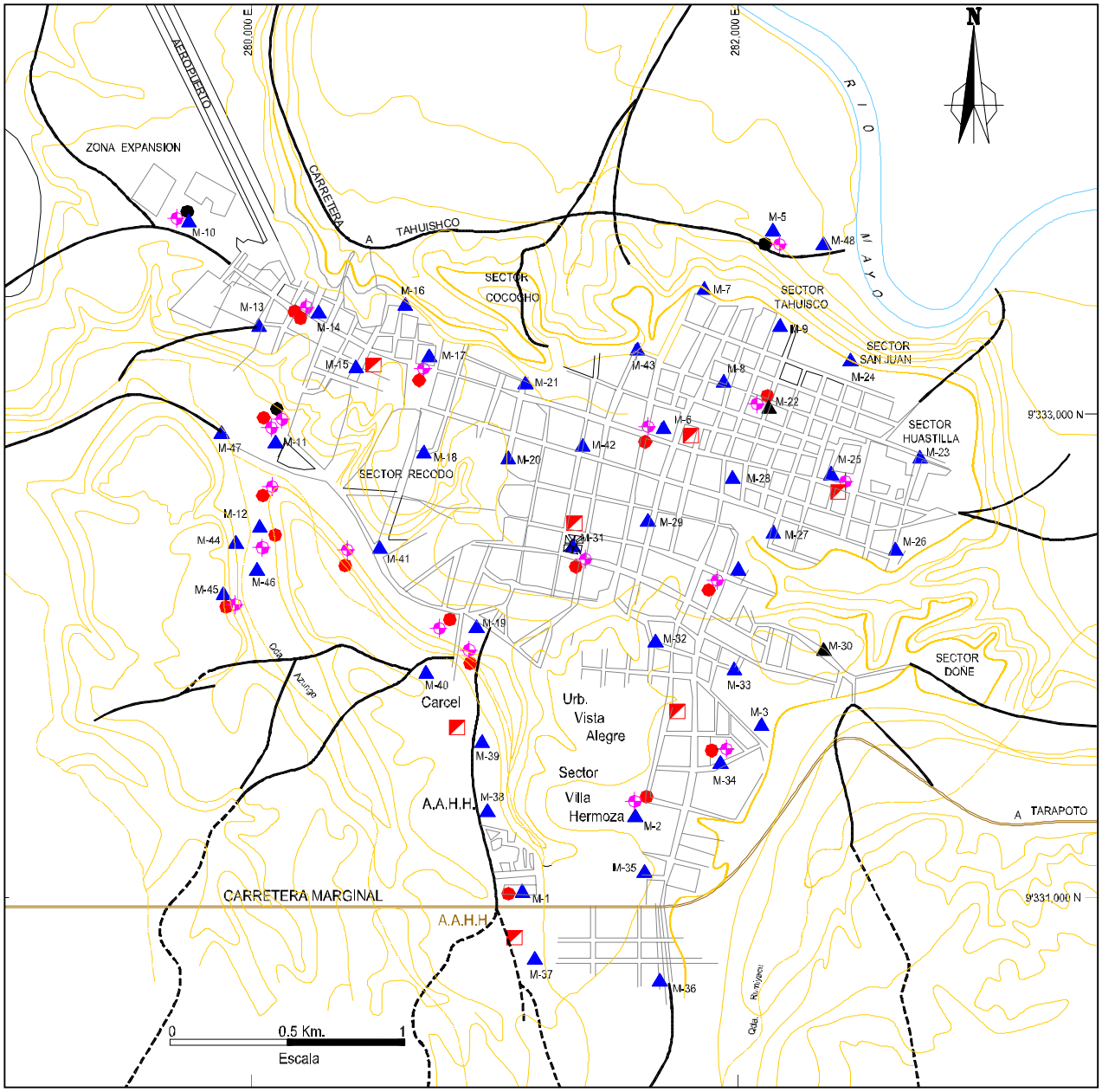


Figura 5.- Plano de Zonas Críticas en Moyobamba



L E Y E N D A

CALICATA CONO HOLANDES POSTEADORA MANUAL MICROTREMOR

Figura Nº 6.- Plano de Ubicación de Sondajes en Moyobamba

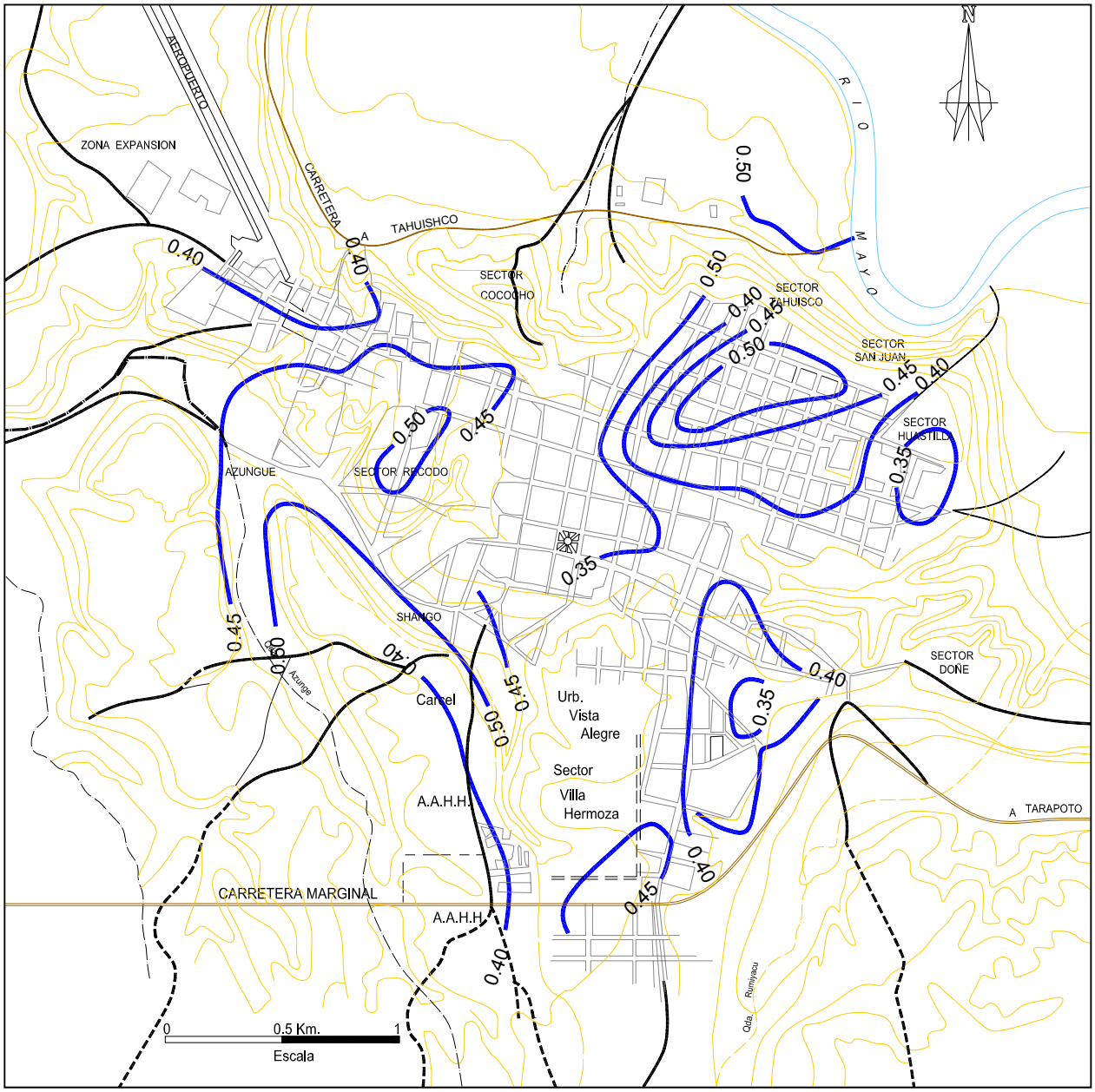


Figura 7.- Plano de Curvas Isoperíodos en Moyobamba

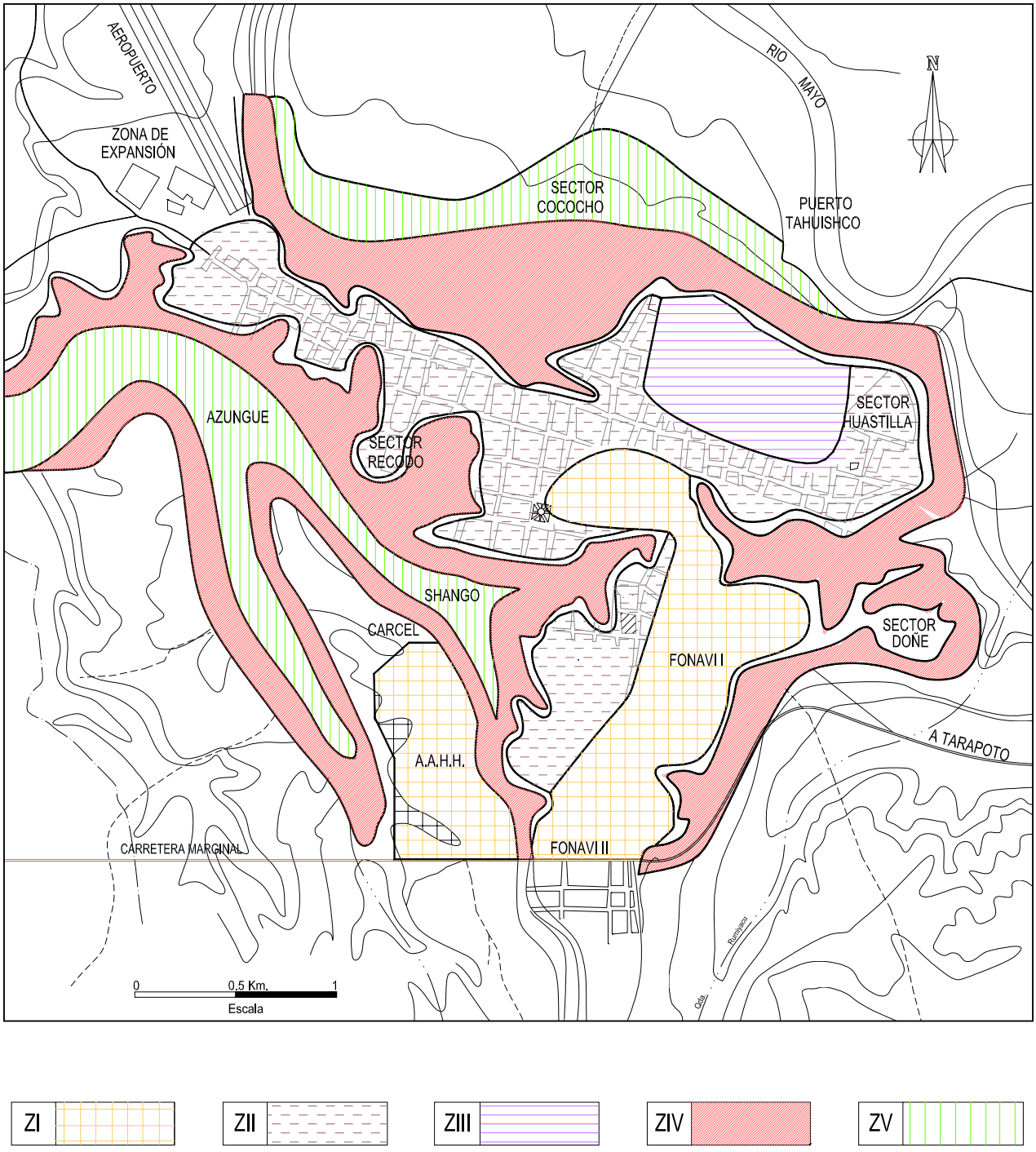


Figura Nº 8.- Microzonificación Sísmica de Moyobamba