VIII CONGRESO NACIONAL DE ESTUDIANTES DE INGENIERIA CIVIL
6 a 11 de Noviembre del 2000, Ica

ESTUDIOS DE MICROZONIFICACION SISMICA DE HUARAZ

Jorge E. Alva Hurtado, Ph D [1]
Carlos E. Huamán Egoávil, MSc [2]
Américo Bustamante Chacón, MSc [2]

RESUMEN

En este artículo se presenta una revisión de las características geotécnicas del subsuelo de la ciudad de Huaraz, determinadas a partir de diversos estudios de microzonificación sísmica realizados por diversas instituciones después del sismo del 31 de Mayo de 1970, que incluyen el estudio de la geología, geomorfología, nivel freático, mecánica de suelos y dinámica de suelos, así como de los daños ocurridos por efecto del sismo y los efectos locales del subsuelo. Un resultado de estos trabajos es la zonificación de la ciudad de Huaraz en términos de la capacidad de carga del terreno para cimentaciones y su comportamiento dinámico ante la ocurrencia de sismos.

INTRODUCCIÓN

A las 3.23 p.m. (hora local) del 31 de Mayo de 1970 ocurrió un terremoto de magnitud Ms= 7.8 y mb= 6.6, con epicentro a aproximadamente 50 km. de la costa del Perú, al Oeste de la ciudad de Chimbote. Las coordenadas del epicentro según el USGS fueron 9.18°S y 78.82°W, con una profundidad focal de 45 km.

El área afectada por el sismo fue superior a los 83,000 km^2, abarcando el departamento de Ancash, gran parte del departamento de la Libertad y algunas provincias de los departamentos de Lima, Huánuco y Cerro de Pasco. Las ciudades de Chimbote, Casma y Huarmey en la costa, así como Caraz, Huaraz y Yungay en la sierra y otras ciudades y pueblos fueron destruidos o dañados en gran parte. La población en la zona afectada era de 1'800,000 habitantes.

En el sismo se perdieron 50,000 vidas y 20,000 personas desaparecieron. El número de heridos fue de 150,000 y más de 500,000 personas quedaron sin vivienda. Un evento peculiar de este sismo fue la gran avalancha originada desde el Nevado Huascarán a 6,768 m.s.n.m. que destruyó las ciudades de Yungay y Ranrahirca localizadas en el Callejón de Huaylas.

[1] Profesor Principal y Asesor del CISMID, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
[2] Profesor Auxiliar e Investigador Asociado, CISMID, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.

Según el Dr. Enrique Silgado un sismo de características similares afectó la región el 6 de Enero de 1725.

En la ciudad de Huaraz el tipo de construcción prevaleciente era la construcción de adobe en un 90% aproximadamente. Con el sismo un elevado porcentaje de dichas edificaciones colapsó o tuvo daño severo. En la ciudad de Huaraz se perdieron 18,000 vidas humanas por efecto del derrumbe de casas. La intensidad sísmica en Huaraz se estimó en VIII grados en la escala de Mercalli Modificada.

Inmediatamente después del sismo del 31 de Mayo de 1970, el gobierno peruano estableció la Comisión para la Reconstrucción y Rehabilitación del Area Afectada (CRYRZA), que durante el período de 1970-1972 realizó estudios en Huaraz sobre geología, geofísica, mecánica de suelos, microtrepidaciones y evaluación de daños por el sismo. Las referencias de dichos trabajos son: Armas (1972), Deza et al (1971), Kuroiwa et al (1973), Lagesa (1972), Michelena y Asociados (1973) y Romaní (1973). La Universidad Nacional de Ingeniería, a través de la Facultad de Ingeniería Civil, participó activamente en esos estudios.

Con el propósito de realizar el estudio de la vulnerabilidad sísmica de las ciudades de Chimbote y Huaraz, como parte del proyecto SISRA-ECOSIS patrocinado por el Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS), la Universidad Nacional de Ingeniería en la década de los ochenta llevó a cabo estudios complementarios en Huaraz que se documentan en: Chávez (1984), Chávez et al (1984), Ordóñez (1984), Ordoñez et al (1984) y Ordóñez y Alva Hurtado (1988).

El Laboratorio Geotécnico del CISMID de la UNI, en coordinación con la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo de Huaraz, desarrolló un programa complementario de investigación del subsuelo entre 1991 y 1992, que consistió en la ejecución de calicatas, sondajes de Penetración Estándar y Cono Holandés, instalación de piezómetros para medir el nivel freático y ensayos de microtrepidaciones. Esta investigación permitió actualizar el conocimiento del subsuelo de la ciudad de Huaraz y proponer una nueva interpretación de la microzonificación sísmica. Estos estudios se documentan en: Huamán et al (1992), Gonzáles (1994), Salazar (1994) y Milla y Gonzáles (1994).

En este artículo se presenta una revisión de los estudios realizados conducentes a la microzonificación sísmica de la ciudad de Huaraz.

CARACTERÍSTICAS DEL SUBSUELO DE HUARAZ

Para determinar las características geotécnicas del subsuelo de la ciudad de Huaraz se ha tomado en cuenta la información proveniente de diversos estudios realizados en las tres últimas décadas, en trabajos realizados por CRYRZA (Armas, 1972), Lagesa (1972) y Michelena y Asociados (1973), además de los estudios de microtrepidaciones en Huaraz (Deza et al, 1971), Chávez (1984), el estudio de la vulnerabilidad sísmica de Huaraz (Ordoñez, 1984), y la microzonificación sísmica de Huaraz realizada por el CISMID y la UNASAM, Huamán et al, (1992), Gonzáles (1994) y Salazar (1994).

Geología y Geomorfología

La ciudad de Huaraz se ubica entre la Cordillera Blanca al Este y la Cordillera Negra al Oeste. Estas cordilleras corren paralelas de Sur a Norte a lo largo de 200 km. en el Callejón de Huaylas. La Cordillera Blanca se compone de un núcleo de granodiorita con rocas sedimentarias en sus flancos. La Cordillera Negra consiste en su mayor parte de flujos y rocas volcánicas. Ambas cordilleras superan los 4500 m.s.n.m. y el pico más alto del Perú, el Huascarán, con 6768 m.s.n.m., se ubica en la Cordillera Blanca. A lo largo del Callejón de Huaylas corre la falla activa del Santa, aunque ésta no fue el origen del sismo de 1970.

El valle del río Santa, donde se ubica Huaraz, está parcialmente lleno de sedimentos de origen glaciar, fluvioglaciar o aluvial, que provienen de la erosión de morrenas y extensos mantos fluvioglaciares. Transversal al río Santa existe el río Quilcay, que causó el aluvión de 1941 en Huaraz. La Figura N° 1 presenta el Mapa Geológico de Huaraz, publicado recientemente por el INGEMMET (1996).

La zona de estudio se encuentra asentada en terrenos compuestos por terrazas fluviales, sedimentos fluvio-gravitacionales, depósitos de arcillas y arenas saturadas y depósitos aluviales, todos ellos a una elevación de 3050 m.s.n.m. Estos materiales han sido formados por acción torrencial, residuos de avalancha y residuos coluviales provenientes de las áreas más elevadas. El proceso de erosión, transporte y acumulación, combinado con la acción modeladora de los ríos Santa y Quilcay han conferido una geomorfología característica a la ciudad de Huaraz, la que se ilustra en la Figura N° 2 (Armas, 1972).

Hidrogeología

La napa freática de Huaraz es alimentada por filtraciones provenientes de las quebradas circundantes, tales como Bellavista y Rataquena. La napa es libre y convergente, con un ancho de 800 metros y atraviesa la ciudad de Huaraz de Este a Oeste. El acuífero es de baja permeabilidad, con gradiente hidráulico entre 0.042 y 0.034.

La Figura N° 3 presenta la distribución de la napa freática superficial en la ciudad de Huaraz, según Ordóñez (1984). En el Centro Urbano el nivel freático está cercano a la superficie, a 1.5 m. de profundidad. En la parte Norte de la ciudad las profundidades son mayores de 3.0 metros. En base al monitoreo del nivel freático mediante la instalación de piezómetros, así como la medición del nivel freático en nuevas calicatas y sondajes, Gonzáles (1994) y Salazar (1994) han actualizado la información produciendo dos mapas que se presentan en las Figuras N° 4 y N° 5, en base a las profundidades del nivel freático encontradas.

La Tabla N° 1 muestra la ubicación, profundidad y registro de los piezómetros instalados por el CISMID en 1992 (Huamán et al, 1992). Debe notarse, sin embargo, que estos niveles varían según las diferentes épocas del año.

Mecánica de Suelos

Las características físicas y mecánicas del subsuelo de Huaraz fueron evaluadas por Ordóñez (1984) en base a las perforaciones de CRYRZA (Armas, 1972) y las posteriores ejecutadas por Lagesa (1972) y Michelena y Asociados (1973). Las perforaciones fueron del tipo pozo-abierto o calicata, con una profundidad de hasta 6 metros. La Figura N° 6 (Chavez, 1984) presenta la ubicación de las perforaciones disponibles en Huaraz hasta 1984. En base a estos sondajes la ciudad fue dividida en tres zonas:

Zona Norte

En el sector que comprende la Av. Confraternidad Oeste predomina el suelo aluvional, compuesto de boleos y cantos de roca de diversos tamaños, mayormente entre 0.15 y 0.80 m. de diámetro, en una matriz de arena o grava limosa de regular gradación. No existe presencia de humedad superficial. Este material es de tipo I, con capacidades portantes de hasta 2.5 Kg/cm^2. En el sector de la Av. Centenario Norte predomina una capa superficial de tierra vegetal sobreyaciendo estratos limo-arenosos en estado duro y seco. Este material es de tipo II con capacidades portantes de hasta 2.0 kg/cm^2. En la parte Este de la Av. Centenario, hacia Nicrupampa, existen capas poco profundas de arcillas limosas de baja plasticidad en estado duro y compacto. Este material es de tipo III, con capacidad portante de hasta 1.5 kg/cm^2. En las zonas aledañas a ladera, al Este, existen suelos duros y compactos, compuestos de bolones de roca esparcidos en matrices limo-arenosas con nivel freático más superficial. Este material es de tipo I, con capacidad portante de hasta 2.5 kg/cm^2.

Zona Central

Esta zona comprende el área aluvional del río Quilcay, entre la Av. Raimondi y el río. El suelo existente es de tipo I, de características semejantes a la zona Noreste. En el antiguo Centro Urbano, comprendido entre las Avenidas Confraternidad Oeste, Gamarra y Villón, existen suelos finos con niveles freáticos superficiales que determinan la existencia de suelos de tipo III, IV y V. Existen capas sucesivas de arenas limosas y arcillosas en el Centro Urbano, así como arcillas de alta plasticidad en Belén y Huarupampa. La capacidad portante en el Centro Urbano varía de 0.5 a 1.5 kg/cm^2.

Zona Sureste

Entre la Alameda Grau y la Prolongación Av. Raimondi existe una capa de arena limosa o tierra vegetal que suprayace estratos sucesivos de material fino con presencia de nivel freático. Los suelos en esta zona son de tipo II, III y IV, con capacidades portantes de 1.0 a 2.5 kg/cm^2. Los barrios La Soledad, Pedregal y Avenida Confraternidad Sur, al sureste de Huaraz, tienen un subsuelo de gravas de diversa gradación en una matriz de arena limo-arcillosa, con estratos húmedos de mediana compacidad. La capacidad portante de estos suelos es superior a 2.0 kg/cm^2.

La Figura N° 7 (Ordoñez, 1984) presenta la distribución de los tipos de suelo en la ciudad de Huaraz, en base a las capacidades portantes. Por otro lado, la Figura N° 8 presenta la

profundidad del basamento rocoso existente en Huaraz (Armas, 1972) determinada en base a ensayos gravimétricos.

Dinámica de Suelos

La determinación de las propiedades dinámicas del subsuelo de Huaraz se realizó por medio de ensayos de microtrepidaciones. En Huaraz se han ejecutado mediciones de microtrepidaciones por Deza et al (1971) y Chávez (1984), que han sido presentados por Chávez et al (1984). En la Figura N° 6 se presenta la ubicación de los citados ensayos para la ciudad de Huaraz hasta 1983. Adicionalmente, el CISMID realizó en 1992 un extenso programa de medición de microtrepidaciones complementarias en el Centro Urbano, así como en la periferie de la ciudad, cuyas ubicaciones se presentan en las Figuras N° 9 y N° 10. En las Figuras N° 11 y N° 12 se presentan las curvas de isoperiodo para las zonas Norte y Sur de la ciudad de Huaraz respectivamente.

De la forma de las curvas frecuencia-período de los ensayos de microtrepidaciones, se concluye que la mayor parte del subsuelo de Huaraz está constituido por estratos de rigidez irregular. En el Centro Urbano se nota una variación de períodos predominantes de 0.1 a 0.3 segundos. El subsuelo en esta zona presenta dos o más estratos y la calidad del suelo es de baja a promedio. Las zonas Norte y Sur de la ciudad presentan ligeras variaciones y parecen ser más regulares que en el Centro Urbano, con la lógica discontinuidad del río Quilcay. En el Norte el período es de 0.1 seg, a excepción de un área que presenta períodos de 0.25 seg. En el sureste el período varía de 0.1 a 0.2 seg, a excepción del Sur de Pedregal que presenta períodos de 0.3 seg.

Las características del subsuelo de Huaraz pueden resumirse del siguiente modo:

1) En partes de la ciudad, tal como el Centro Urbano, existen suelos finos de baja capacidad portante, que son susceptibles a producir amplificación ante la acción sísmica.

2) En otras áreas de la ciudad el subsuelo tiene una capacidad portante mucho mayor, donde los efectos de amplificación sísmica serán menores.

3) El nivel freático en algunas zonas es superficial y tiene una variación con la época del año.

4) Las perforaciones del subsuelo realizadas en Huaraz son relativamente superficiales, por lo que no se tiene información a profundidades mayores de las investigadas. Se recomienda ejecutar perforaciones adicionales profundas y ensayos de refracción sísmica para determinar parámetros geotécnicos sísmicos.

EVALUACIÓN DE DAÑOS Y MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE HUARAZ

Se realizó la evaluación de la distribución de daños en la ciudad de Huaraz de la Figura N° 13 (Armas, 1972) luego del sismo del 31 de Mayo de 1970, con el objeto de preparar el Mapa de Microzonificación Sísmica de Huaraz de la Figura N° 14 (Ordóñez, 1984). Se utilizó la información de CRYRZA y las fotografías aéreas disponibles, con el objeto de determinar el porcentaje de edificaciones de adobe que colapsaron en las distintas áreas de Huaraz. El daño se determinó como edificaciones colapsadas y no reparables o costosamente reparables. Al momento del sismo existía una concentración de edificaciones de adobe en el Centro Urbano y el barrio Centenario, rodeadas de tierras de cultivo. Los barrios de Nicrupampa, Patay y Pedregal, presentaban una gran dispersión de edificaciones. En el Centro Urbano, es decir en donde existen las peores condiciones del subsuelo, el porcentaje de daños en edificaciones de adobe fue mayor del 80%. En Huarupampa, San Francisco, La Soledad y al Sur del Pedregal, el porcentaje de daños fue de 50 a 80%. En estas zonas las caracterísiticas del suelo no son favorables y el nivel freático es superficial. En la Zona Norte y Nicrupampa, donde las condiciones del subsuelo son las mejores, el porcentaje de daños no fue superior al 20%. En las zonas restantes el daño fue intermedio, correspondiendo a condiciones intermedias del suelo. Un factor importante que no fue estudiado es la antigüedad de las construcciones, que al ser de adobe y existir nivel freático superficial, sufrieron un mayor deterioro en algunos sectores de la ciudad.

Se concluye que el sismo del 31 de Mayo de 1970 demostró la influencia de las características del subsuelo de Huaraz en el daño a las edificaciones de adobe, ya que un mayor porcentaje de daños ocurrió en las áreas donde las características del subsuelo son más desfavorables.

Una aplicación inmediata del estudio de las características del subsuelo y la evaluación de daños sísmicos en Huaraz es la elaboración de la microzonificación sísmica de la ciudad, la cual consta de cuatro zonas.

Zona I Existe suelo granular gravoso en matriz limo-arenosa, medianamente compacto. El nivel freático está por debajo de los 6.0 metros. La topografía es plana. No existe la posibilidad de ocurrencia de asentamientos o amplificación con un sismo. La capacidad portante es mayor que 2.0 kg/cm^2.

Zona II El subsuelo consiste de limos arenosos de baja plasticidad que están por encima de una capa dura de arcilla de baja plasticidad. El nivel freático está por debajo de 1.50 metros. La topografía es plana. No existe la posibilidad de asentamientos, sin embargo puede ocurrir amplificación sísmica. La capacidad portante es inferior a 2.0 kg/cm^2.

Zona III Existen gravas y arenas poco cementadas de distinta gradación. El nivel freático está por debajo de los 3.0 metros. La topografía tiene pendiente pronunciada, del orden del 15%. Se pueden esperar amplificaciones sísmicas. La capacidad portante es de 2.0 kg/cm^2.

Zona IV Esta zona presenta las condiciones del subsuelo más desfavorables. La estratigrafía consiste en suelos limo-arcillosos poco consolidados o limos arenosos de baja plasticidad. El nivel freatico es superficial, siendo en algunos lugares menores a 1.50 metros. Con un sismo se esperan asentamientos del terreno y amplificación. La capacidad portante es inferior a 1.0 kg/cm^2.

Debe informarse que la UNASAM, a través de las tesis de grado de Gonzáles (1994) y Salazar (1994), han extendido los estudios hacia las zonas de expansión urbana hacia el Sur y Norte de Huaraz, produciendo mapas complementarios de microzonificación sísmica. Para la parte Norte se propone tres tipos de zonas y para la parte Sur se propone cinco tipos de zonas. Las Figuras N° 15 y 16 presentan la información actualizada sobre la Microzonificación Sísmica de Huaraz.

CONCLUSIONESY RECOMENDACIONES

1. Se ha presentado de modo resumido las características del subsuelo de Huaraz determinadas después de realizar estudios de microzonificación sísmica en los últimos treinta años, que involucran geología, nivel freático, mecánica de suelos y dinámica de suelos.

2. Se ha presentado el efecto de las condiciones del subsuelo de Huaraz en la respuesta de las edificaciones ante el sismo del 31 de Mayo de 1970. Se utilizó la ciudad como un ensayo a escala natural.

3. Se concluye que existe una relación directa entre las características geotécnicas del subsuelo y el porcentaje de daños en edificaciones de adobe durante el sismo de 1970.

4. Existe el factor de antigüedad de la construcción y sistema constructivo en adobe que no ha sido tomado en cuenta en la relación anterior.

5. En base al conocimiento de las características del subsuelo de Huaraz y el efecto sísmico a las edificaciones durante el sismo de 1970, se propuso una microzonificación sísmica de la ciudad en cuatro zonas.

6. Se recomienda la complementación de los estudios geotécnicos en Huaraz, en particular la ejecución de perforaciones profundas, instalación de más piezómetros y realización de líneas de refracción sísmica.

7. Aunque se cuenta actualmente con una estación acelerográfica en el local de la Facultad de Ingeniería Civil de la UNASAM, se recomienda la instalación de acelerógrafos adicionales en las distintas zonas de Huaraz, para registrar sismos futuros y determinar sus espectros de respuesta correspondientes para ser usados en el diseño sismo-resistente de las edificaciones.

AGRADECIMIENTO

Se agradece la participación de los ingenieros que realizaron su tesis de grado sobre diversos aspectos de la Microzonificación Sísmica de Huaraz y al personal técnico y administrativo del Laboratorio Geotécnico del CISMID de la FIC-UNI.

REFERENCIAS

1. Armas C. (1972), "Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Huaraz", Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú.

2. Chávez O. (1984), "Amplificación Sísmica en Algunas Ciudades del Perú", Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú.

3. Chávez O., Taniwangsa W. y Alva Hurtado J. (1984), "Estudio de Microtrepidaciones en Chimbote y Huaraz", V Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Tacna-Perú.

4. Deza E., Lazo E., Lazo M. y Vila E. (1971), "Observaciones de Microtrepidaciones en Huaraz", Informe de CRYRZA, Sub-Comisión Técnica.

5. Gonzáles C. (1994), "Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Huaraz-Sector Sur", Tesis de Grado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz, Perú.

6. Huamán C., Aguilar Z., Castro-Cuba M., y Tang D. (1992), "Microzonificación Sísmcia de la Ciudad de Huaraz", Informe de Investigación presentado a JICA por el CISMID de la UNI.

7. INGEMMET (1996), "Geología de los Cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La Unión, Chiquián y Yanahuanca", Boletín N° 76, Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico.

8. Kuroiwa J., Deza E. y Jaén H. (1973), "Investigation on the Peruvian Earthquake of May 31, 1970", 5th World Conference on Earthquake Engineering, Rome, Italy.

9. LAGESA (1972), "Estudio de Suelos para Cimentación y Pavimentación de la Ciudad de Huaraz", Informe presentado al Ministerio de Vivienda y Construcción, Lima-Perú.

10. Michelena y Asociados (1973), "Estudio de Suelos para Cimentación Centro Cívico y Comercial de Huaraz", Informe presentado a ORDEZA.

11. Milla E. y Gonzáles C. (1994), "Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Huaraz – Sector Sur", X Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Lima – Perú.

12. Ordóñez E. (1984), "Estudio de la Vulnerabilidad Sísmica de Huaraz", Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú.

13. Ordóñez E. y Alva Hurtado J. (1988), "Características Geotécnicas del Subsuelo de la Ciudad de Huaraz", VIII congreso Nacional de Ingeniería Civil, Huaraz-Perú.

14. Ordóñez E., Barrón H. y Alva Hurtado J. (1984), "Vulnerabilidad Sísmica de las Ciudades de Chimbote y Huaraz", V Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Tacna-Perú.

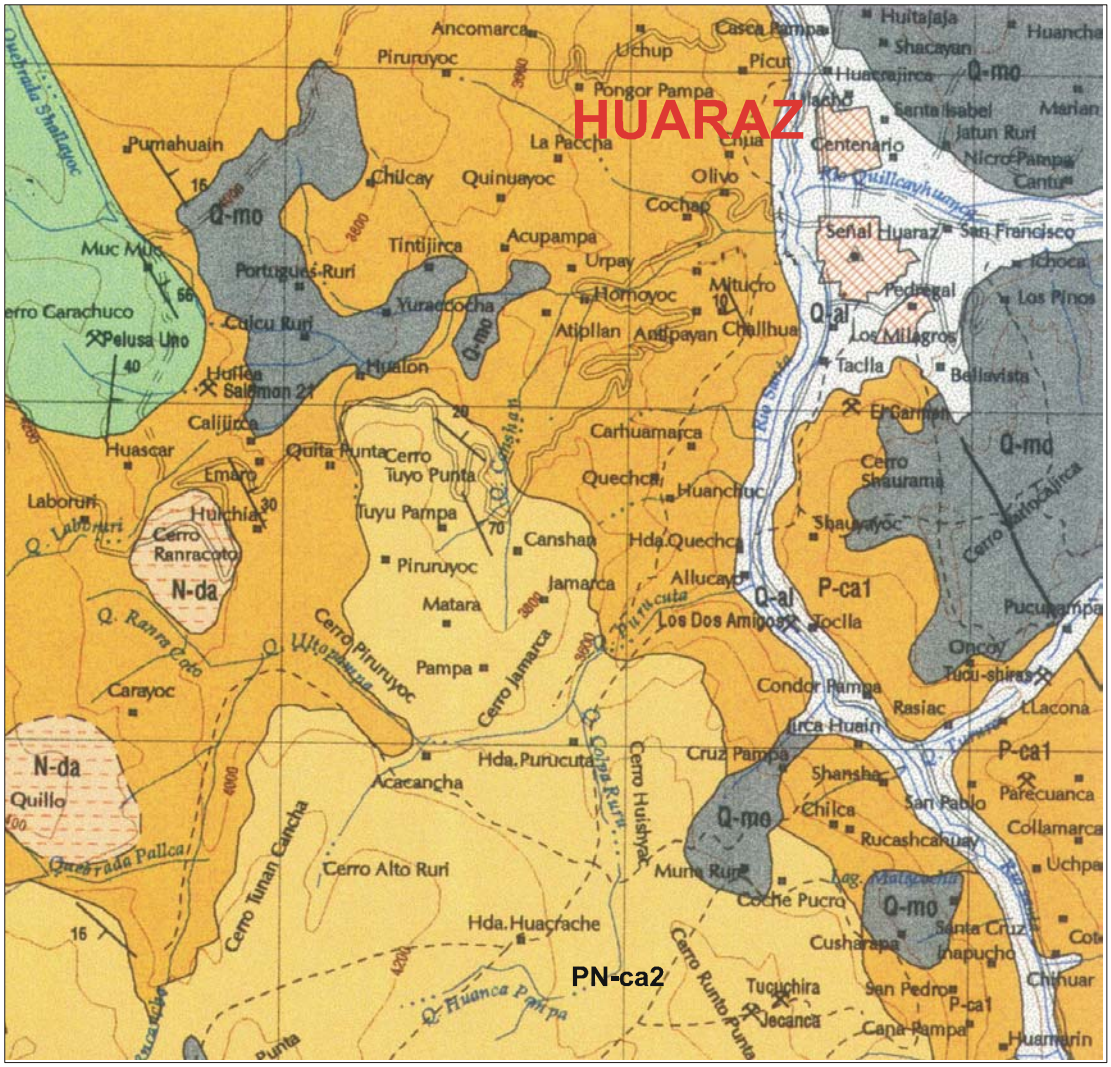
15. Romaní F. (1973), "Soil-Structure Interaction in the May 31, 1970 Peruvian Earthquake", 5 th world conference on Earthquake Engineering, Rome, Italy.

16. Salazar M. (1994), "Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Huaraz-Sector Norte", Tesis de Grado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz, Perú.

TABLA N° 1

UBICACIÓN Y PROFUNDIDAD DE PIEZÓMETROS INSTALADOS EN LA CIUDAD DE HUARAZ (CISMID, 1992)

PIEZÓMETRO N°	UBICACIÓN	PROF. DEL PIEZÓMETRO	PROF. DEL NIVEL
1	Plaza Belén	3.12	1.90
2	Plaza de Armas	2.98	2.70
3	Parque Villa FAP - La Soledad	3.08	1.40
4	Centro Educativo - La Soledad	5.33	4.80
5	Costado de la antena de Radio Huascarán- Rosaspampa	2.45	1.90
6	Local de la UNASAM - Shancayán	2.10	0.90
7	Urbanización del IPSS - Costado de la Cruz roja - Vichay	2.04	1.57
8	A 42.8 m. de la Av. Principal a Monterrey - Palmira	1.40	0.95



ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES ESTRATIGRAFICAS	ROCAS INTRUSIVAS
CENOZOICA	CUATERNARIO		Q-al Depósito Aluvial Q-mo Depósito Morrénico	
	NEOGENO		PN-ca2 Grupo Calipuy PN-ca1 Grupo Calipuy	N-da Dacitas
MESOZOICO	CRETACEO	INFERIOR	Ki-sa/ca Fm. Carhuaz / Fm. Santa GRUPO GOYLLARISQUISGA	

SIMBOLO

- Rumbo y buzamiento de estratos
- Contacto conocido
- Contacto inferido
- Rumbo y buzamiento fotointerpretados
- Eje de sinclinal
- Carretera afirmada
- Carretera carrozable
- Camino de herradura
- Falla conocida
- Falla probable
- Zona de alteración

Figura N° 1: Mapa Geológico Regional de Huaraz (INGEMMET, 1996)

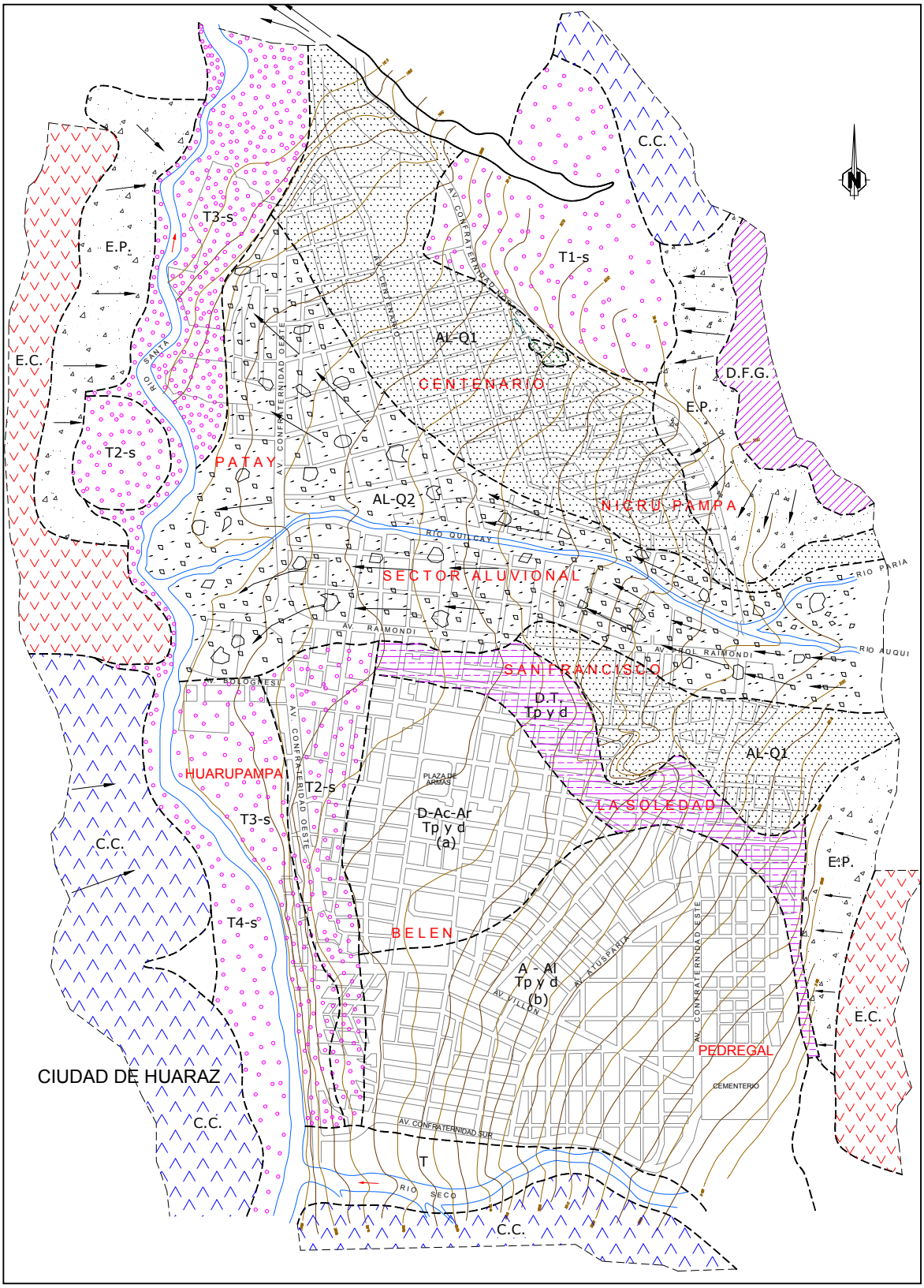


Figura N° 2: Mapa Geomorfológico de Huaraz (Cryrza, 1972)

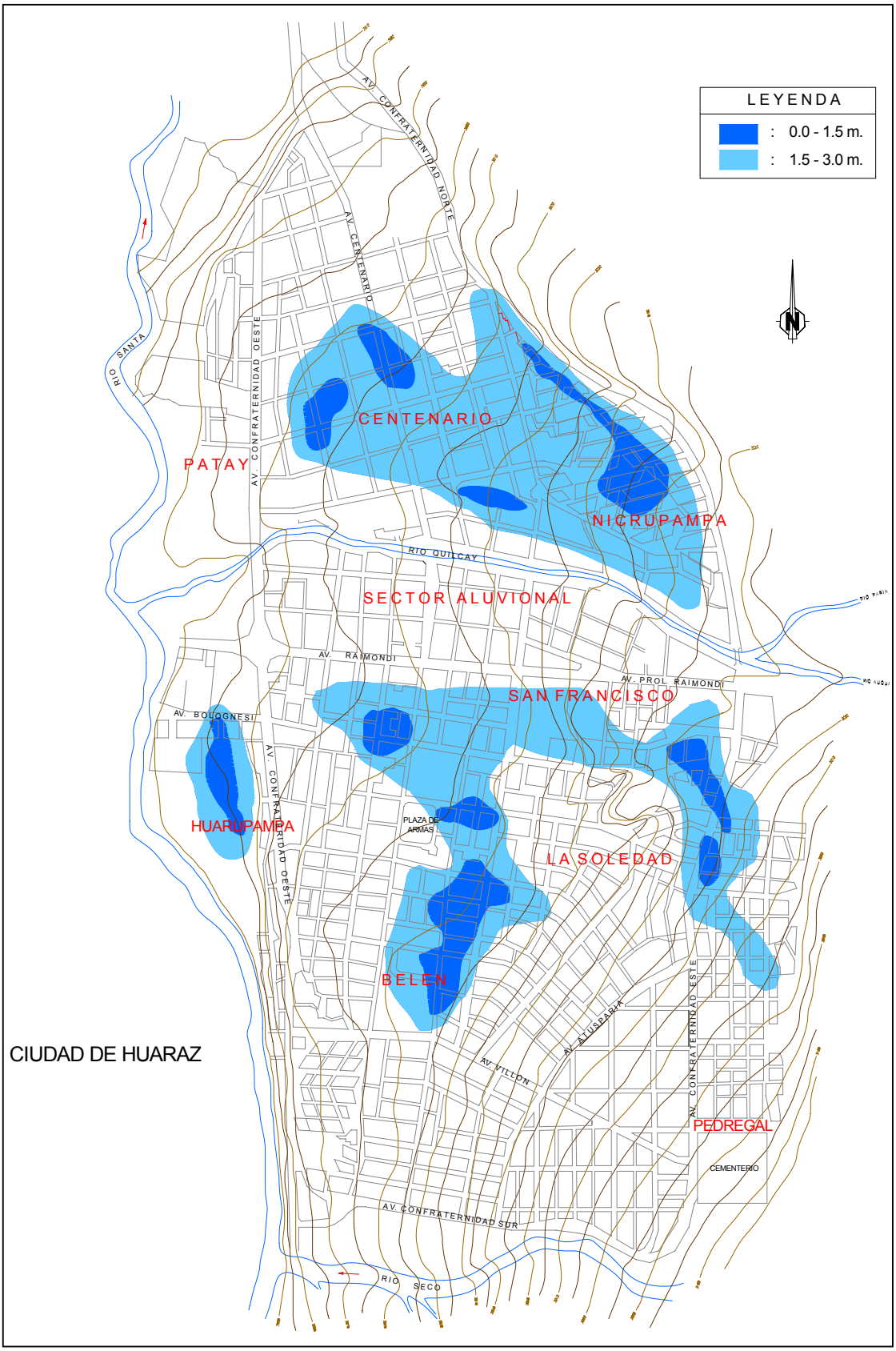


Figura N° 3: Mapa de ubicación de Napa Freática (Lagesa, 1972)

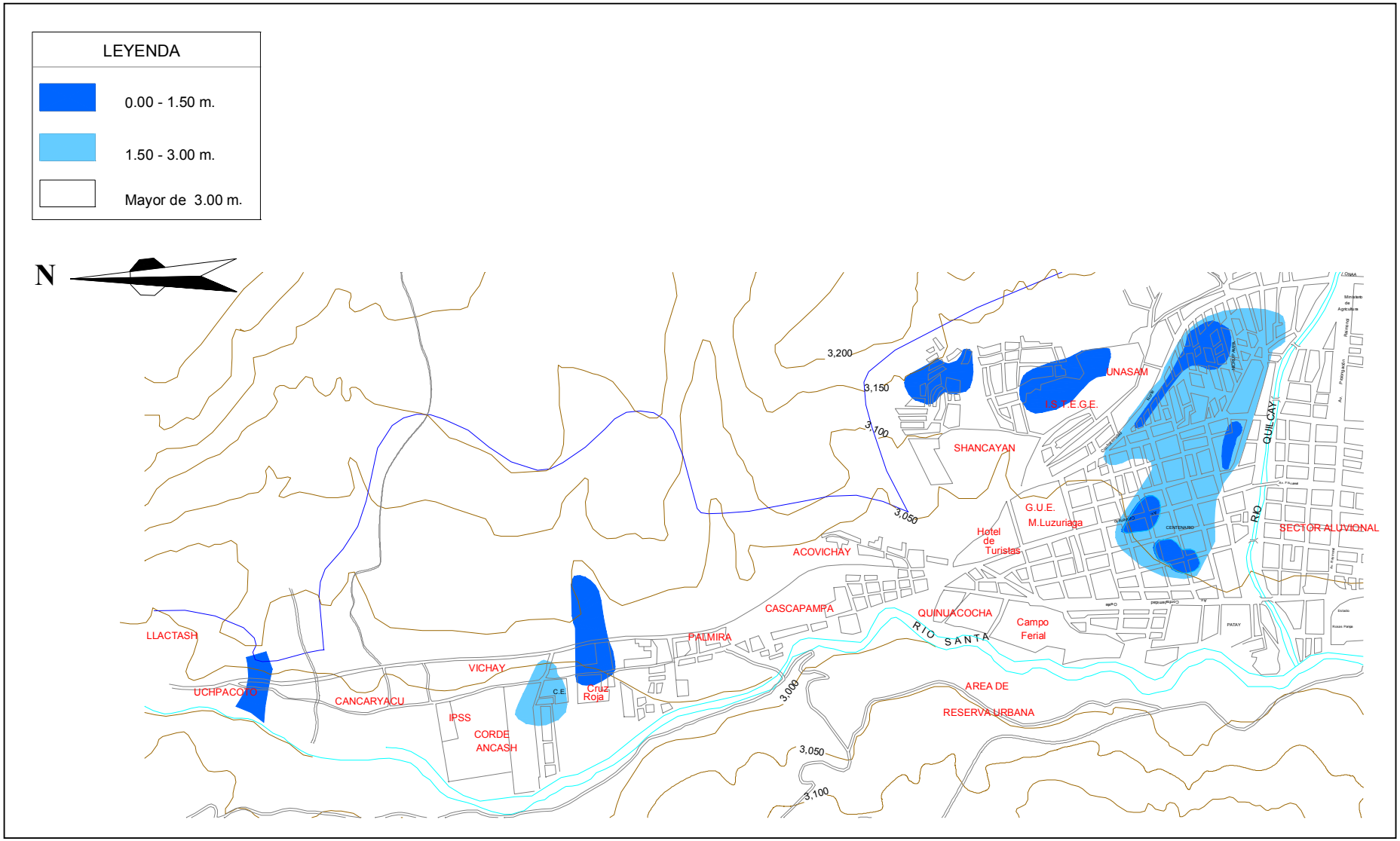


Figura N° 4: Mapa de Ubicación de Napa Freática en Huaraz – Zona Norte (Salazar, 1994)

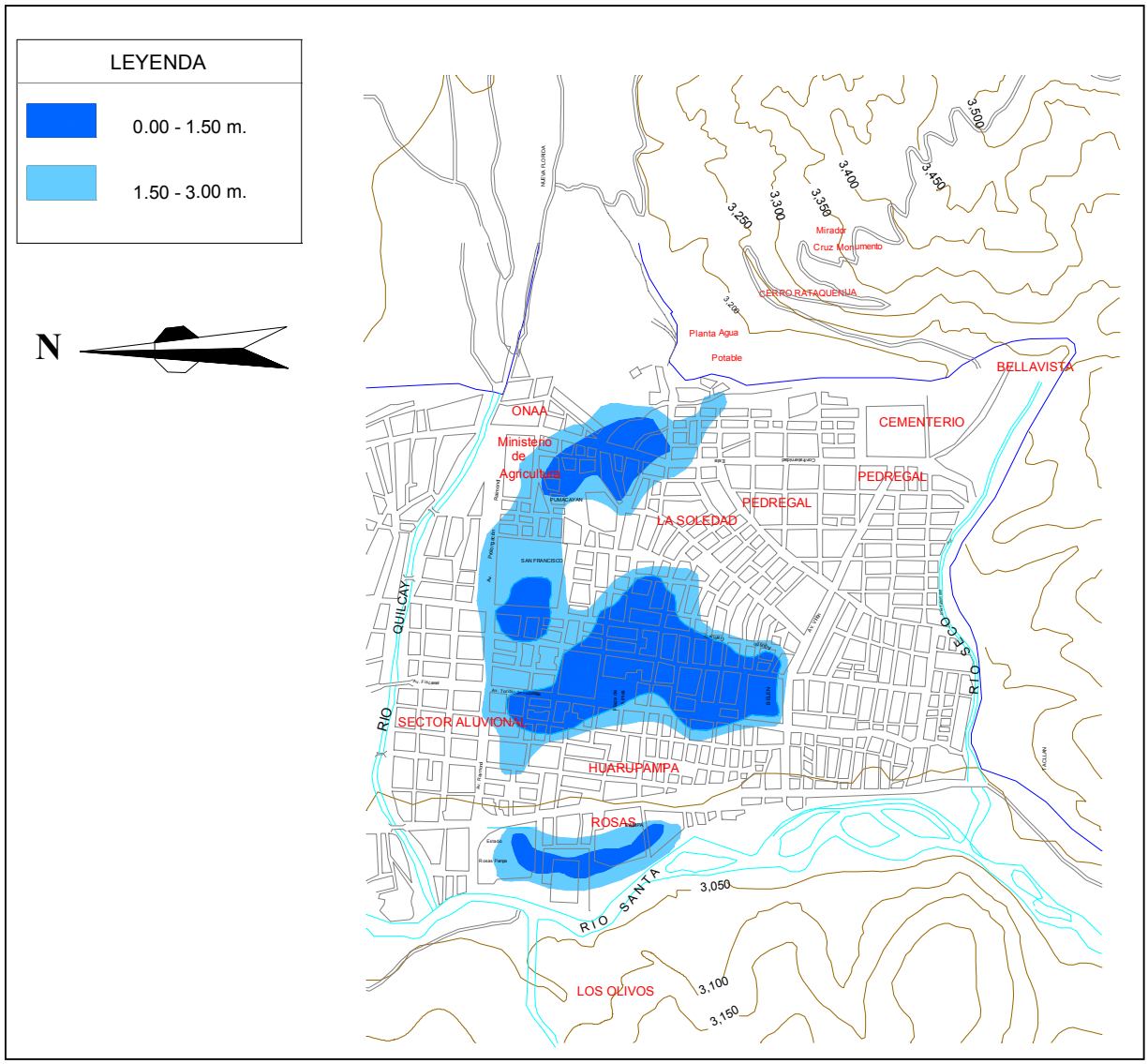


Figura N° 5: Mapa de Ubicación de Napa Freática de Huaraz – Zona Sur (González, 1994)

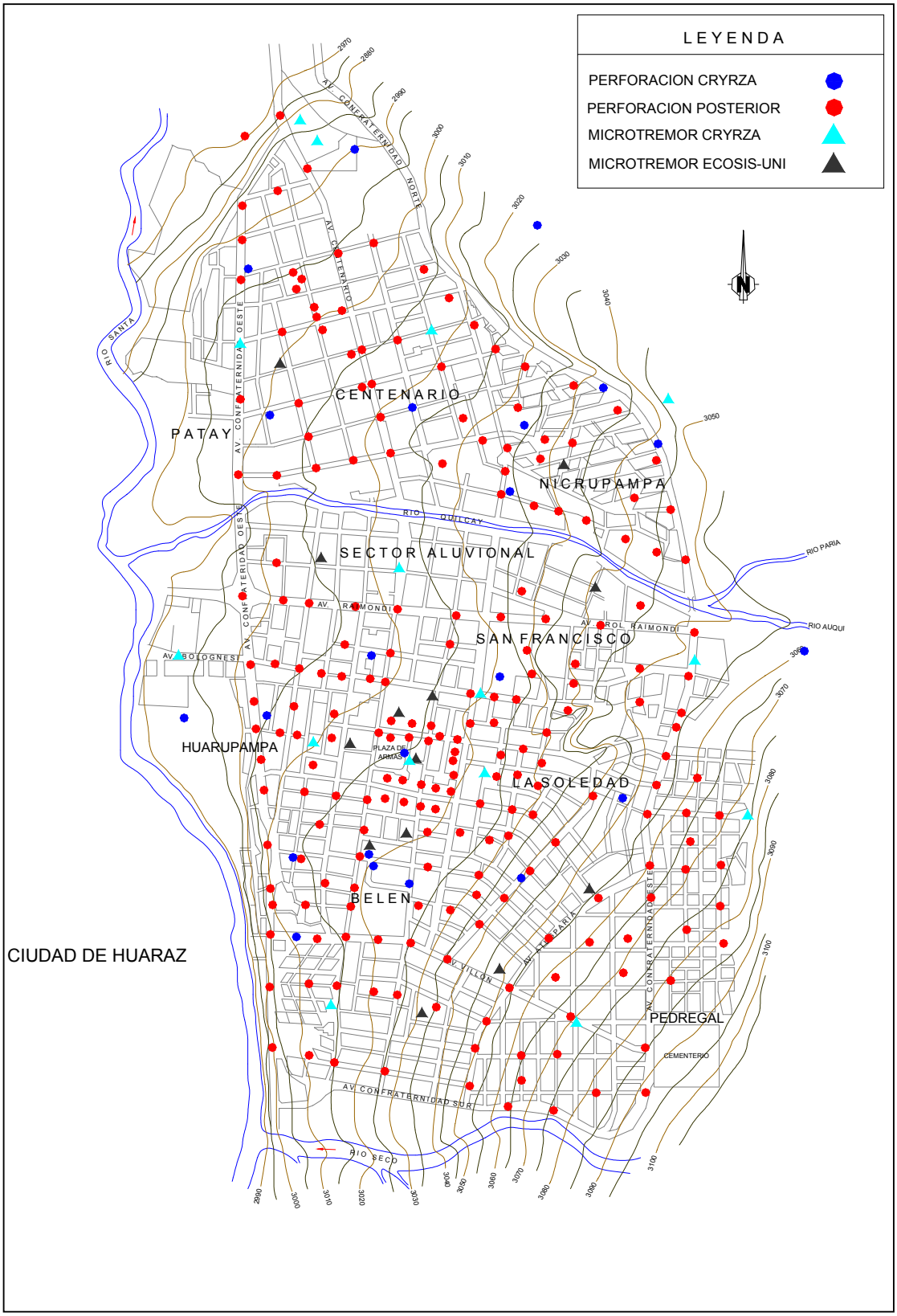


Figura N° 6: Mapa de Ubicación de Perforaciones y Microtremor (Chavez, 1984)

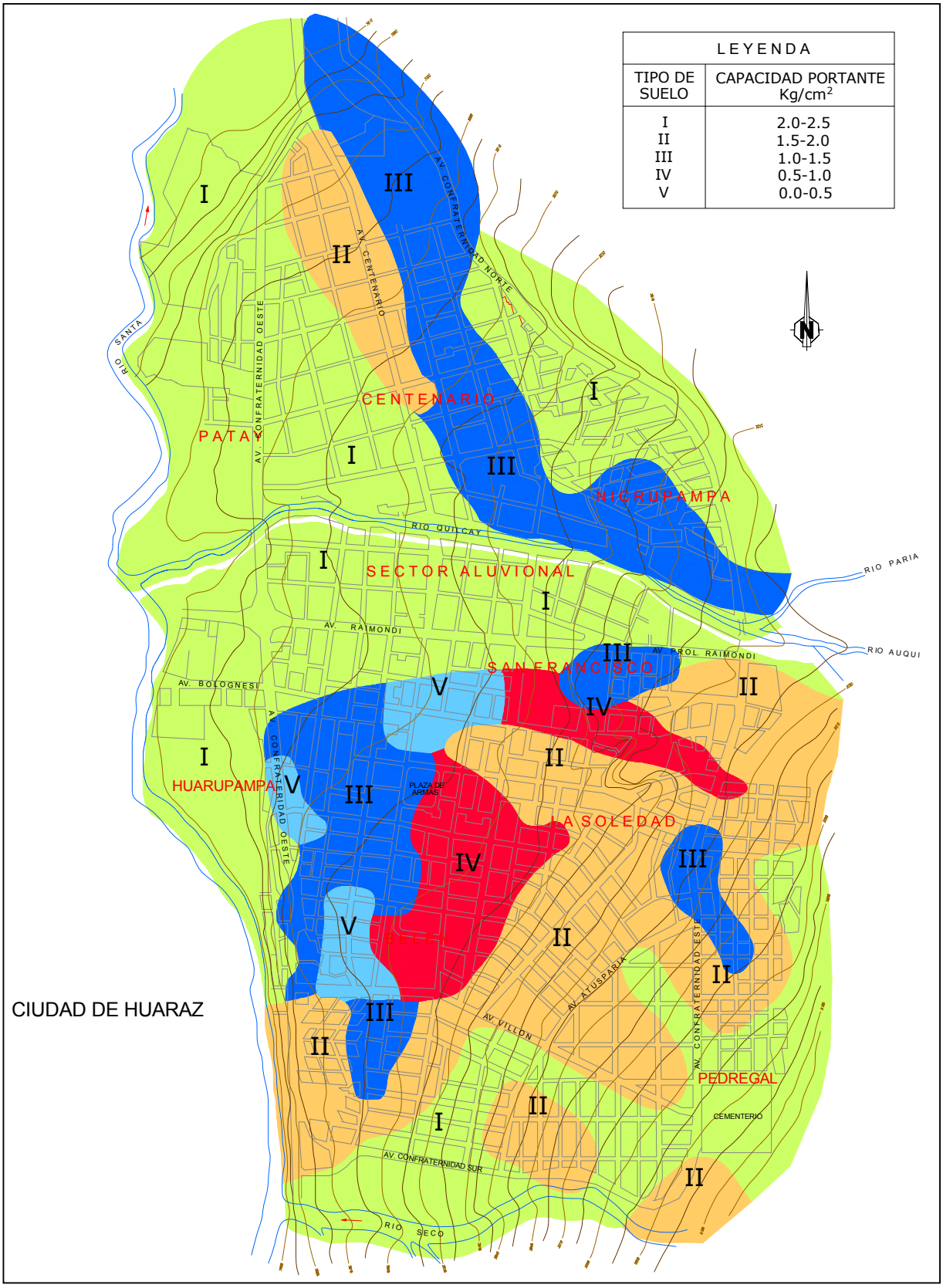


Figura N° 7: Mapa de Tipos de Suelo (Ordoñez, 1984)

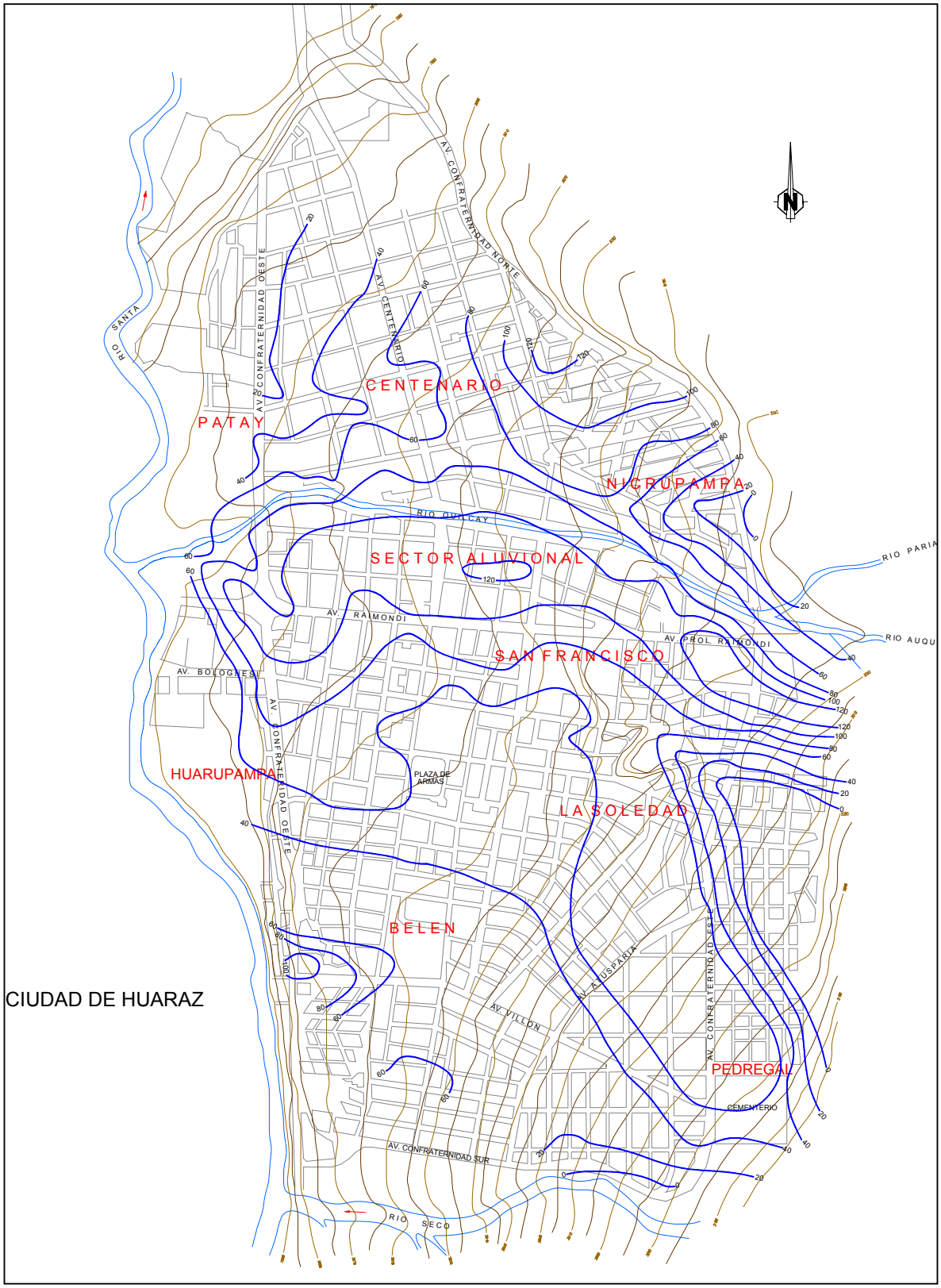


Figura N° 8: Mapa de Profundidades de Basamiento Rocoso (Armas, 1972)

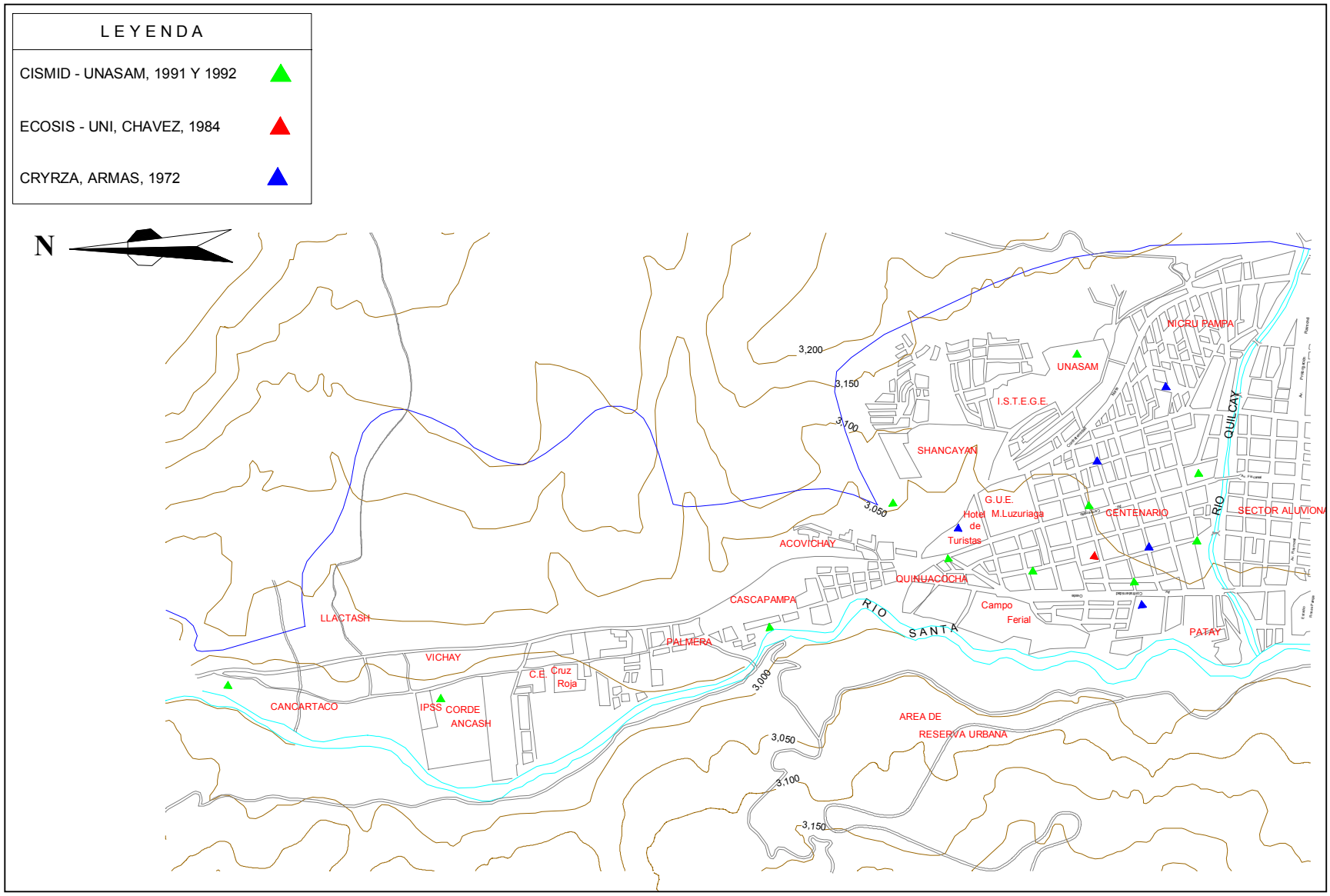


Figura N° 9: Mapa de Ubicación de Microtremor en Huaraz – Zona Norte (Huamán, 1992)

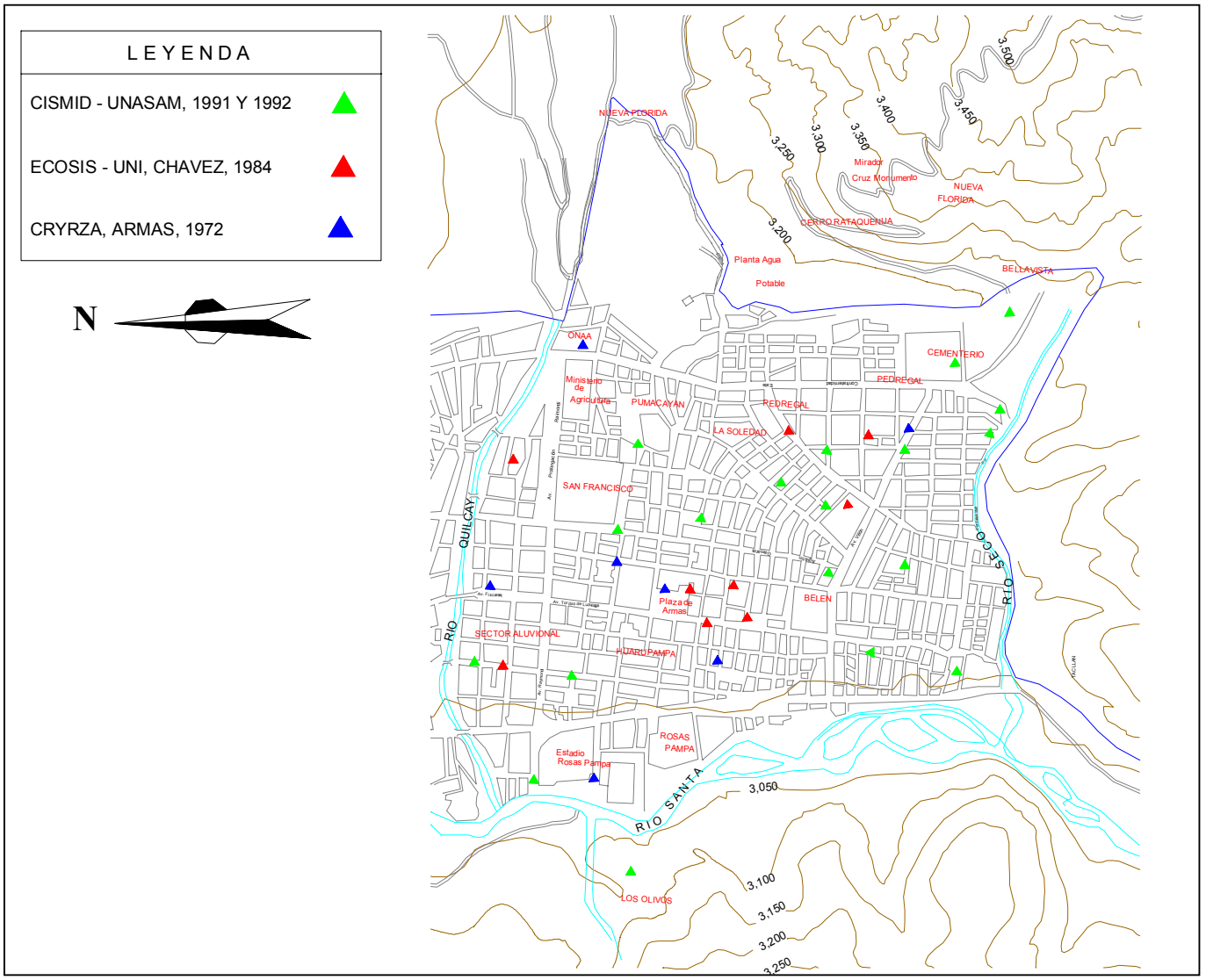


Figura N° 10: Mapa de Ubicación de Microtremor en Huaraz – Zona Sur (Huaman et al., 1992)

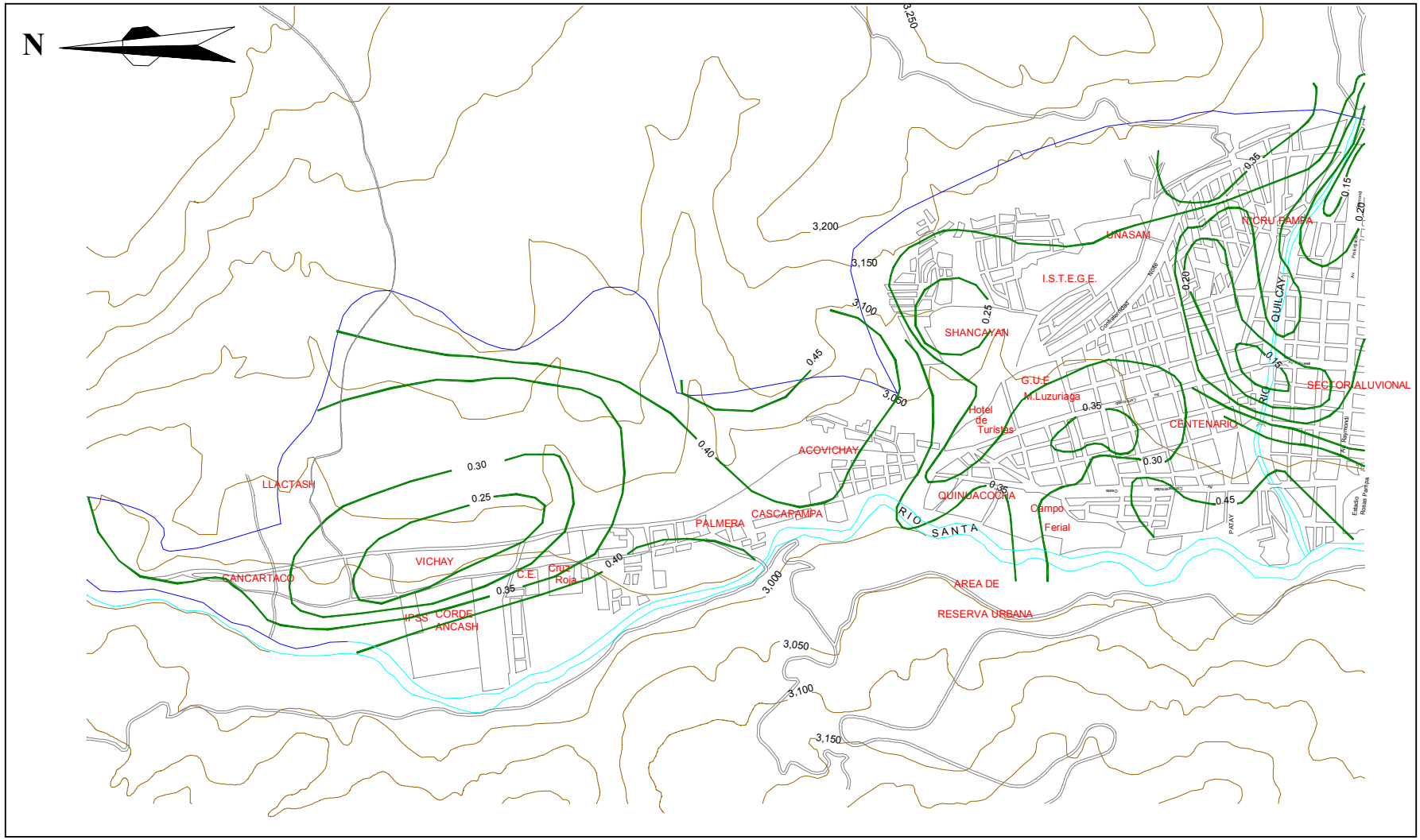


Figura N° 11: Mapa de Curvas Isoperiodo en Huaraz – Zona Norte (Huamán, 1992)

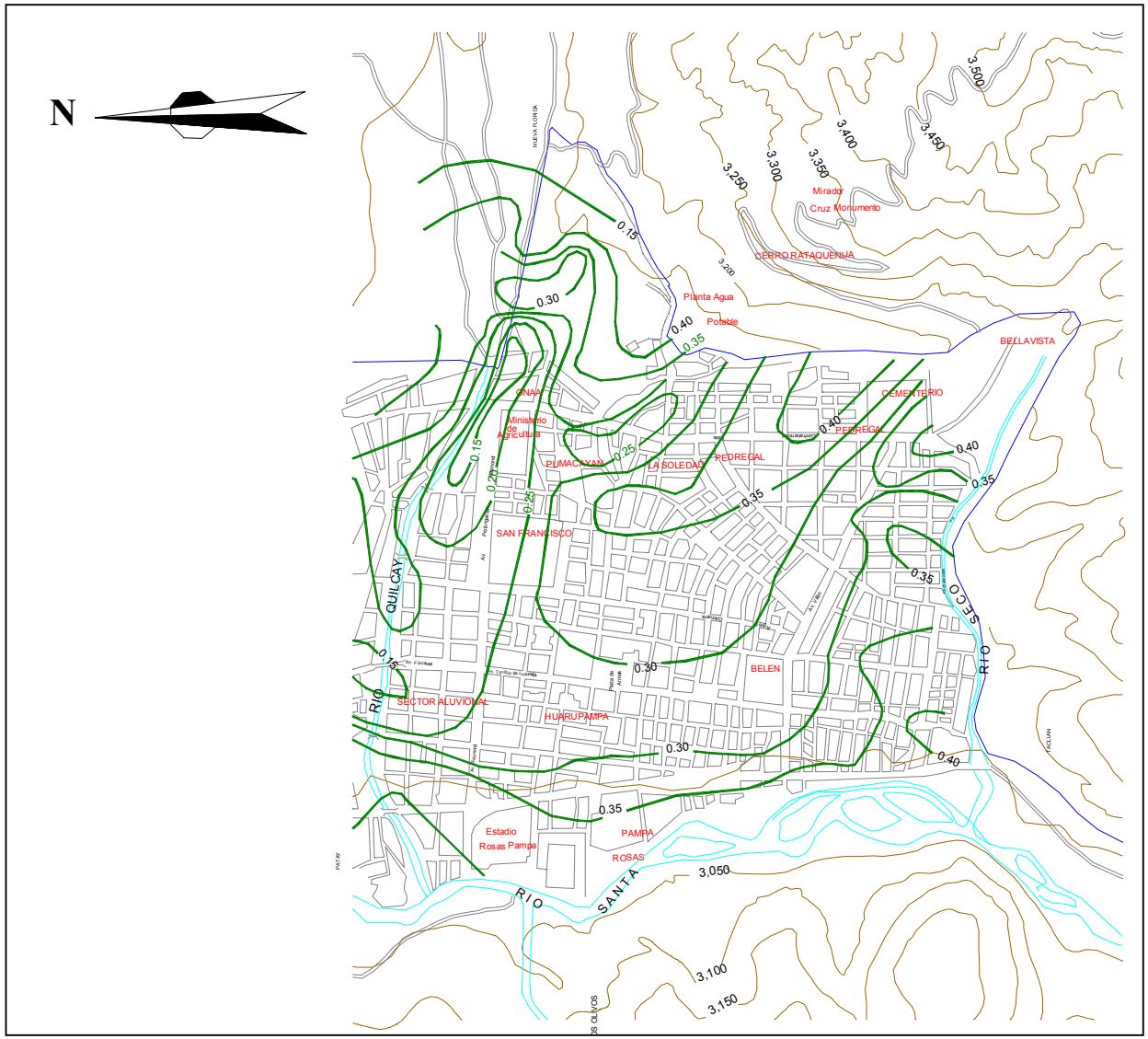


Figura N° 12: Mapa de Curvas Isoperiodo en Huaraz - Zona Sur (Huaman et. al. 1992)

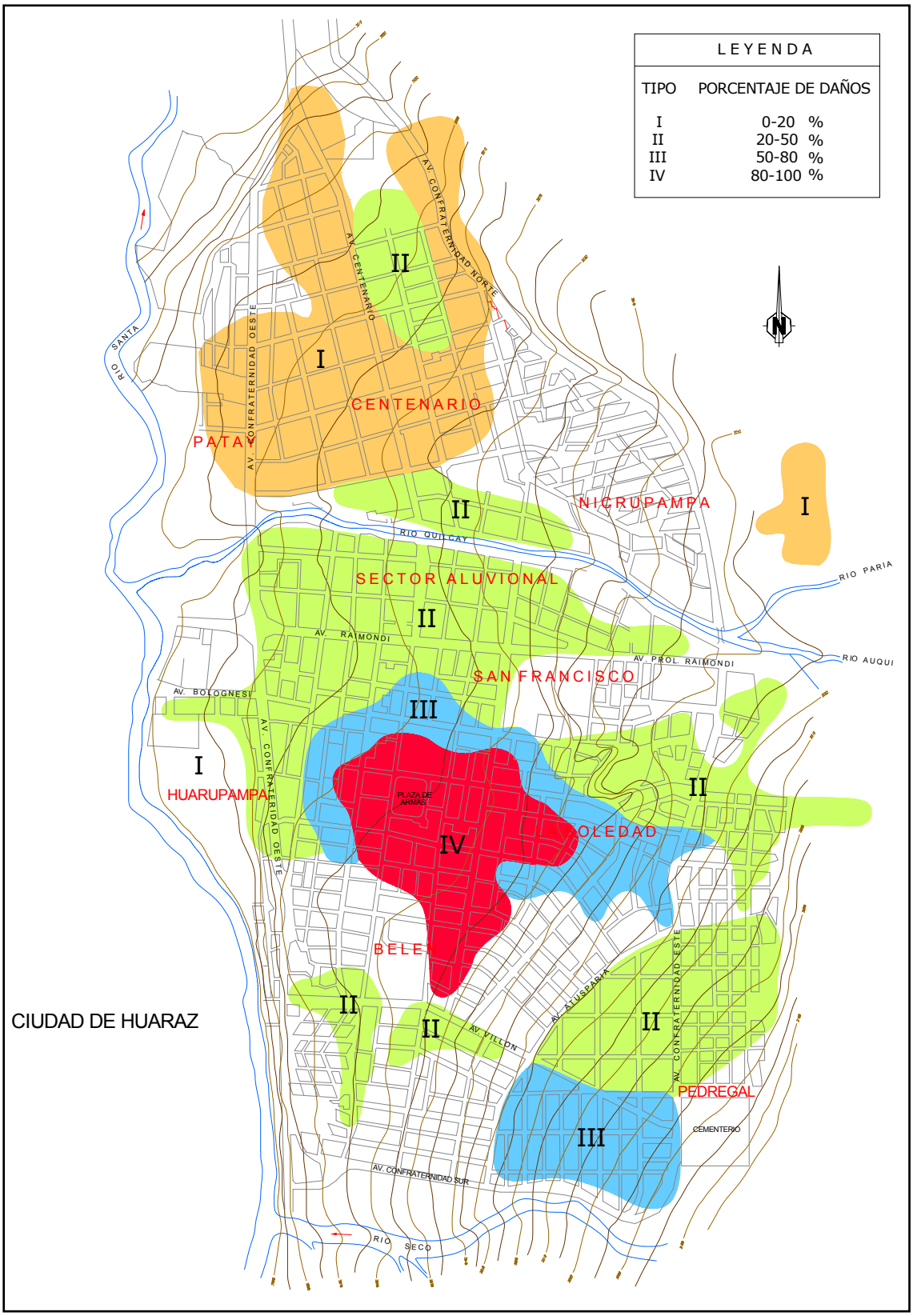


Figura N° 13: Mapa de Distribución de Daños en Adobe durante el Sismo de 1970 (Armas, 1972)

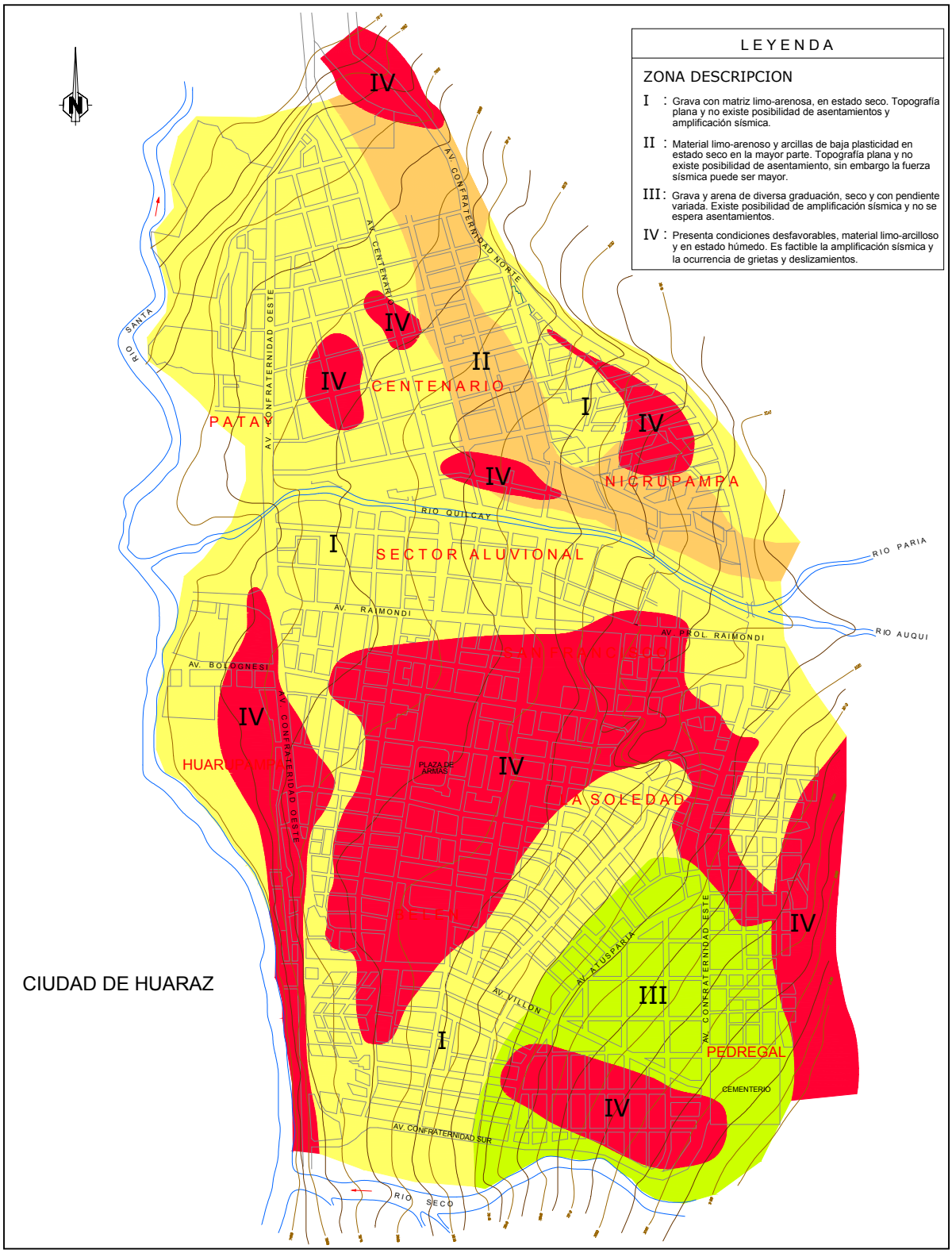


Figura N° 14: Mapa de Microzonificación Sísmica (Ordoñez, 1984)

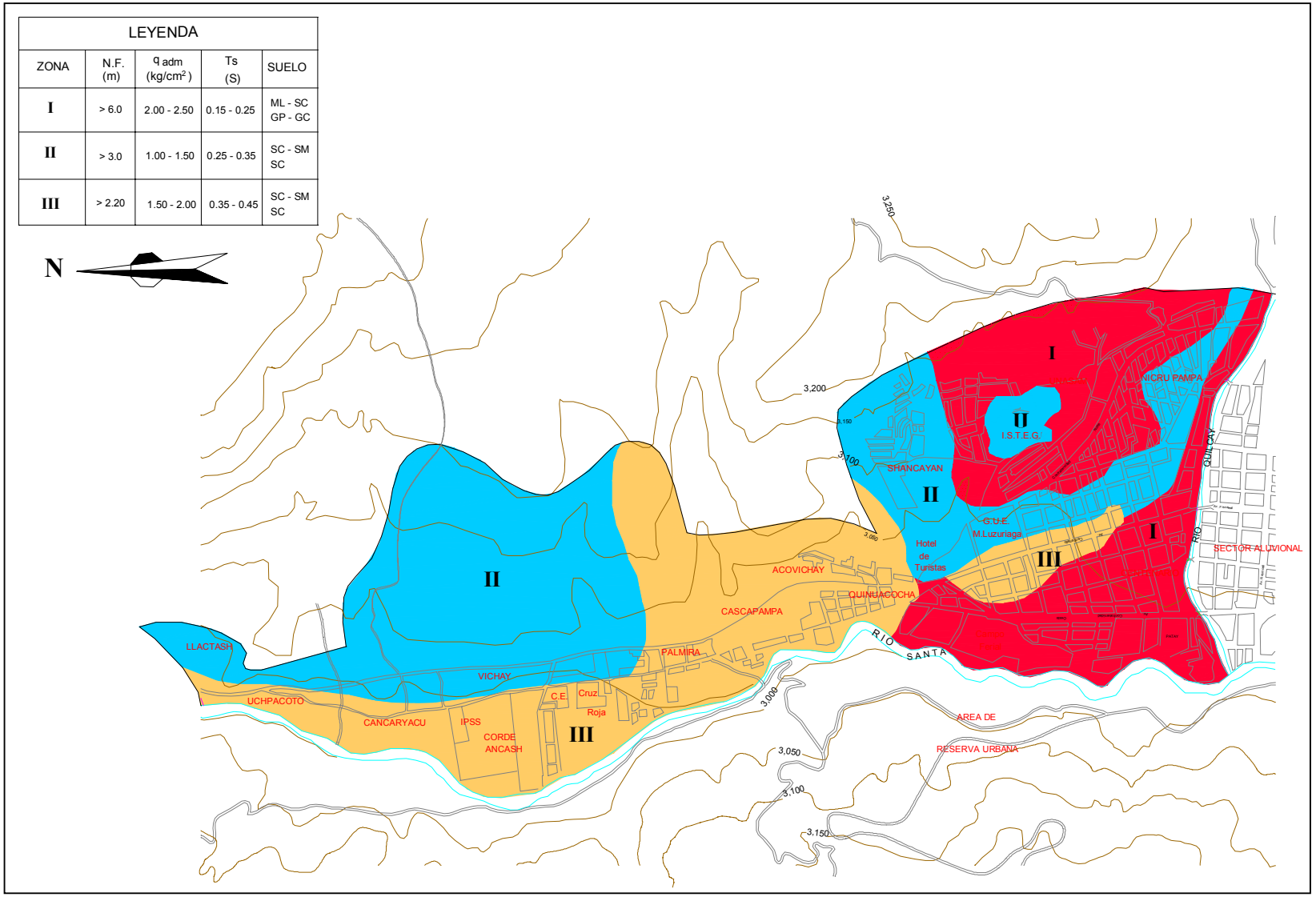


Figura N° 15: Mapa de Microzonificación Sísmica de Huaraz – Zona Norte (Salazar, 1994)

LEYENDA				
ZONA	N.F. (m)	q_{adm} (kg/cm^2)	Ts (s)	SUELO
I	> 6.0	> 2.00	0.15 - 0.20	Trozos de roca GM SP
II	> 3.0	< 2.00	0.30 - 0.40	GP - GM
III	> 6.0	< 1.50	0.30 - 0.40	GP - GM
IV	> 6.0	< 1.50	0.30 - 0.40	GP - GM Mayor amplificación sísmica.
V	< 1.50	< 1.00	0.30	Escombros - relleno arcilla limo arenoso

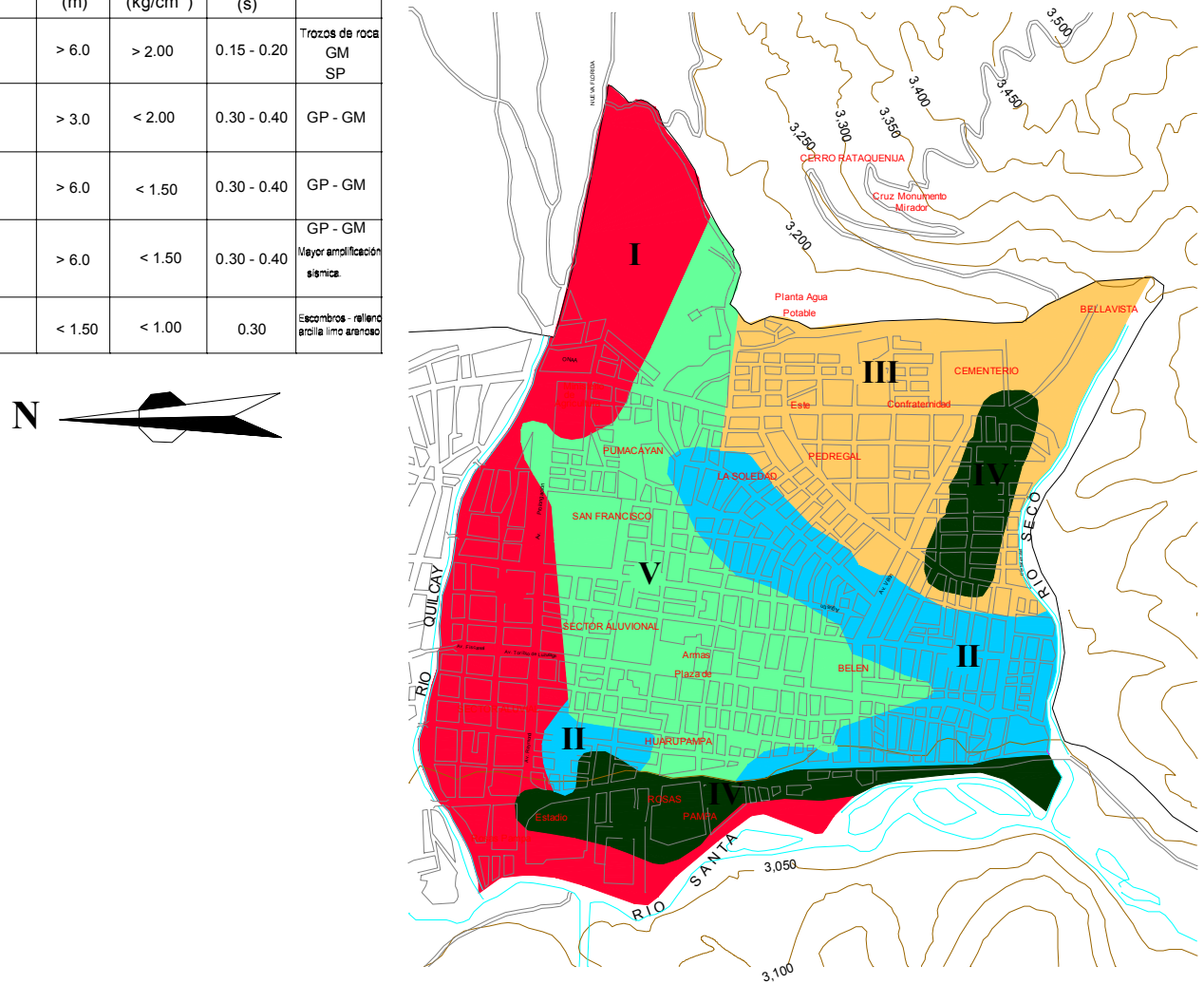


Figura N° 16: Mapa de Microzonificación Sísmica de Huaraz – Zona Sur (González, 1994)