

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



CENTRO PERUANO JAPONES
DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES

DESLIZAMIENTOS Y ALUVIONES EN EL PERU

Ing. Luis Chang Chang
Dr. Jorge E. Alva Hurtado

Marzo, 1991

DESLIZAMIENTOS Y ALUVIONES EN EL PERU

**Ing.Luis Chang Chang
Dr.Jorge E.Alva Hurtado**

**Laboratorio Geotécnico
Centro Peruano-Japonés de
Investigaciones Sísmicas y
Mitigación de Desastres**

**Facultad de Ingeniería Civil
Universidad Nacional de Ingeniería
Lima Perú**

Marzo de 1991

PRESENTACION

El presente informe tiene el propósito de presentar el estudio de recolección de datos de inventario sobre procesos de inestabilidad de taludes y aluviones ocurridos en el Perú, realizado por el Laboratorio Geotécnico del CISMID en años anteriores. El informe está basado en parte del material presentado por el ing. Luis Chang Chang como tesis de grado en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería de Lima, Perú, bajo el asesoramiento del Dr. Jorge E. Alva Hurtado.

Debe manifestarse que todos y cada uno de los reportes revisados y recopilados sobre los problemas de estabilidad de taludes y aluviones se encuentran a disposición de los interesados en el Banco de Datos sobre Deslizamientos y Aluviones del Laboratorio Geotécnico del CISMID.

Este informe también tiene como propósito el contribuir como parte peruana al estudio que realiza el Comité Suramericano de Movimientos en Masa, a cargo de la Sociedad Colombiana de Geotecnia, sobre los Fenómenos de Remoción en Masa. Los resultados de dicho estudio serán presentados en el IX Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones en Viña del Mar, Chile, en Agosto de 1991.

Se agradece muy sinceramente el apoyo económico brindado por la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA) para la publicación de este informe, sin el cual no hubiera sido posible lograr su impresión.

Los Autores

TABLA DE CONTENIDO

	Pag
INTRODUCCION	3
CAPITULO 1 : DESCRIPCION DE LO FENOMENOS OCURRIDOS EN EL PERU	
1.1 EL DESLIZAMIENTO DEL CERRO "CONDOR SENCCA"	6
1.1.1 Ubicación	6
1.1.2 Evidencias de Obstrucciones Anteriores	6
1.1.3 Frecuencia de Obstrucciones	7
1.1.4 Cronología del Derrumbe del Cerro "Cónдор Sencca"	8
1.1.5 Características del Derrumbe	10
1.1.5.1 La Represa y La Laguna	11
1.1.5.2 Causas Geológicas del Derrumbe	12
1.2 EL DESLIZAMIENTO DE MAYUNMARCA	12
1.2.1 Geografía y Geología	12
1.2.2 Condiciones Hidrogeológicas que Determinan el Deslizamiento en Mayunmarca	16
1.2.3 Rasgos	17
1.2.3.1 Rasgos Fisiográficos	17
1.2.3.2 Rasgos Geológicos	19
1.2.4 Comportamiento de las Rocas	21
1.2.4.1 Rocas Metamórficas	21
1.2.4.2 Rocas Sedimentarias Mitu	21

1.2.5 Incompatibilidad de las Rocas y Zonas Críticas	22
1.2.5.1 Incompatibilidad de las Rocas	22
1.2.5.2 Zonas Críticas	22
1.2.6 Geodinámica de la Región	23
1.2.6.1 Estabilidad de Taludes	23
1.2.6.2 Agrietamientos	24
1.2.6.3 Deslizamientos	24
1.2.6.4 Flujo de Barro	24
1.2.7 Registro de los Primeros Deslizamientos Ocurridos en el Valle del Mantaro	24
1.2.8 El Deslizamiento en la Quebrada Ccochacay	25
1.2.8.1 Causas del Deslizamiento	27
1.2.8.2 Análisis de la Mecánica del Deslizamiento	29
1.2.8.3 El Posible Mecanismo de Deslizamiento	31
1.2.8.4 Embalse del Lago por el Deslizamiento	32
1.2.8.5 Rebosamiento y Rompimiento de la Presa	32
1.2.8.6 Descenso del Lago	33
1.2.8.7 Efectos Aguas Abajo	33
1.2.8.8 Volcanes de Limo-Arena	34
1.2.8.9 Litología del Material de Deslizamiento en el Cauce del río Mantaro	34
1.2.8.10 Estudio del Modelo Hidráulico	35
1.2.8.11 Aspectos Sismológicos	36

1.3 EL SISMO DEL 31 DE MAYO DE 1970	38
1.3.1 Ubicación del Area Afectada	38
1.3.2 Historia Sísmica	39
1.3.3 El Sismo y sus Réplicas	40
1.3.4 Intensidad	42
1.3.5 Origen de la Avalancha	42
1.3.6 Recorrido de la Avalancha	43
1.3.7 El Sismo y la Avalancha	44
1.3.8 Avalancha de Escombros del Huascarán en el Area de Yungay y Ranrahirca	45
1.3.9 Gasto Sólido de Material	48
1.3.10 Volumen y Características del Material	48
1.3.11 El Represamiento en la Quebrada de Llanganuco	49
1.3.12 Efecto Aguas Abajo de Yungay	49
1.3.13 Geología del Area Afectada	50
1.3.14 Estudio Geológico y Fisiográfico	51
1.3.14.1 Cordillera Blanca	51
1.3.14.2 Cordillera Negra	52
1.3.15 Cambios Geodéticos y Maremotos	52
1.3.16 Daños Estructurales y Geológicos	53
1.3.16.1 Huaraz	53
1.3.16.2 Caraz	53
1.3.16.3 Carhuaz	53
1.3.16.4 Chimbote	54
1.3.16.5 Huarmey	55
1.3.16.6 Trujillo	55

1.3.16.7	Salaverry	55
1.3.16.8	Huallanca	56
1.3.16.9	Casma	56
1.3.16.10	Paramonga	56
1.4	DESLIZAMIENTO ROTACIONAL DE RECUAY	57
1.4.1	Ubicación	57
1.4.2	Condiciones Geológicas de la Zona	57
1.4.2.1	Estratigrafía	57
1.4.2.2	Formaciones Rocosas Locales	57
1.4.3	Depósitos Cuaternarios Recientes	58
1.4.3.1	Fluvio-Glaciares (Q fg)	58
1.4.3.2	Horizontes de Conglomerados	58
1.4.3.3	Suelo de Corrimientos Antiguos (Sca)	58
1.4.3.4	Sedimentos Lacustres (Ql)	59
1.4.3.5	Travertinos (Qt)	59
1.4.3.6	Terrazas Fluviales (T-1, T-2)	59
1.4.3.7	Depósitos Fluvio-Gravitativos (Qg)	60
1.4.4	Efectos Sísmicos	60
1.4.4.1	Deslizamiento Antiguo	60
1.4.4.2	Deslizamientos Recientes	60
1.5	ALUVION EN CHAVIN DE HUANTAR	62
1.5.1	Origen	62
1.5.2	El Aluvión	62

1.5.3	Area Afectada	62
1.5.4	Geología	63
1.5.4.1	De la Cabecera	63
1.5.4.2	De la Quebrada	64
1.5.5	Causas del Aluvión	64
1.6	EL "ALUD-ALUVION" DE RANRAHIRCA	64
1.6.1	El Medio Geográfico	64
1.6.2	Morfología y Topografía del Valle Aluviónico	65
1.6.3	El Aluvión y sus Características	65
1.6.3.1	Volumen	67
1.7	EL ALUVION DE HUARAZ	67
1.7.1	El Aluvión	67
1.7.2	Fisiografía y Geología Regional	68
1.7.3	Geología Glacial	68
CAPITULO 2	: CARTOGRAFIA EXISTENTE CON RELEVANCIA A DESLIZAMIENTOS Y ALUVIONES	
2.1	Introducción	70
2.2	Mapa Físico del Peru	70
2.3	Mapa Geológico Generalizado del Perú	71
2.4	Mapa Meteorológico del Perú	71
2.5	Mapa de Temperatura Media Anual	71
2.6	Mapa de Máximas Intensidades Sísmicas	72

CAPITULO 3 : INVENTARIO DE DESLIZAMIENTOS Y ALUVIONES EN EL PERU

3.1 DESLIZAMIENTOS Y ALUVIONES POR GRAVEDAD EN EL PERU	73
3.1.1 Introducción	73
3.1.2 Documentación Básica	73
3.1.3 Catálogo de Deslizamientos y Aluviones	73
3.1.4 Conclusiones	111
3.2 DESLIZAMIENTOS Y ALUVIONES POR SISMOS EN EL PERU	112
3.2.1 Introducción	112
3.2.2 Documentación Básica	112
3.2.3 Cronología de los Deslizamientos por Sismos	112
3.2.4 Conclusiones	120

CAPITULO 4 : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones	121
4.2 Recomendaciones	122
BIBLIOGRAFIA	124
FIGURAS	
MAPAS	

INTRODUCCION

El presente informe es una contribución al Banco de Datos sobre Desastres Naturales que debe existir en el Perú. Se refiere principalmente a la recopilación de información disponible sobre los fenómenos de deslizamientos y aluviones en el país.

Estos fenómenos suceden frecuentemente, incidiendo de manera drástica en nuestra economía. Desde el mes de diciembre su presencia se hace notoria en los valles, prolongándose hasta abril, con algunas excepciones en los meses centrales del año.

La mayor incidencia del fenómeno de deslizamientos y aluviones está en la sierra y selva alta, por las condiciones existentes de topografía, geología y clima. En este informe se presenta de manera resumida dichas condiciones y mediante un mapa se localizan los fenómenos recopilados para denotar las áreas sensibles a estos fenómenos.

En el Capítulo 1 se presenta una descripción de los fenómenos más importantes de deslizamientos y aluviones ocurridos en el país, que han concitado atención internacional. Estos fenómenos se describirán brevemente a continuación:

Deslizamiento del Cerro "Cóndor Sencca", que ocurrió el 16 de Agosto de 1945, en Ayacucho. Este deslizamiento de roca de naturaleza granodiorítica, localizado en la margen derecha del río Mantaro, movilizó más de 5 millones de metros cúbicos y formó una presa natural de más de 100 m. de altura, dando lugar a un lago de 16 km. de largo y 96 m. de profundidad. El ancho de la base fue de 579 m. y en la cresta fue de 70 m. El deslizamiento se debió a varios factores, tales como: falla por corte, erosión y pérdida progresiva de resistencia de la roca a la carga por deformación. Fuchs (1945), opinó que la desecación de las arcillas que se encontraban rellenando las diaclasas fue la causa principal del deslizamiento.

Deslizamiento en Mayunmarca, que sucedió el 25 de Abril de 1974 en Huancavelica, arrasando a una velocidad de 140 km/h en 3 minutos la hacienda Mayunmarca y sepultando las haciendas Ccochacay y Huaccoto. En este deslizamiento perdieron la vida más de 460 personas. Al producirse el embalse del río Mantaro se destruyeron tierras de cultivo y carreteras hasta 30 km. aguas arriba del dique. El dique tuvo 3,800 m. de longitud, 2,550 m. de ancho y 170 m. de altura. Después del desembalse de 670 millones de metros cúbicos se destruyeron 76 km. de carreteras, la hacienda Perseverancia, parte del pueblo de Mayoc y numerosos puentes. Los factores que favorecieron la ocurrencia de este fenómeno fueron las mismas condiciones ambientales, geológicas, topográficas, las precipitaciones y las fallas.

El aluvión de Yungay y Ranrahirca, que tuvo lugar el 31 de mayo de 1970. Se produjo a consecuencia del sismo de la misma fecha. Se desprendió una parte de la cornisa del pico norte del nevado Huascarán, con una masa calculada de 1 millón de metros cúbicos que tuvo una caída libre de 1,000 m. hasta el piso del valle Llanganuco, desplazándose por la quebrada Shacsha a 400 km/h. El material acarreado hasta el río Santa fue de 244 millones de m³, represando momentáneamente al río y sepultando a los pueblos de Yungay y Ranrahirca.

El deslizamiento rotacional en Recuay que ocurrió durante el sismo del 31 de Mayo de 1970 fue la reactivación de un deslizamiento antiguo. La traza de la escarpa de deslizamiento alcanzó 1 km. de largo y el desplazamiento vertical varió desde 0.50 m. hasta 15 m. El deslizamiento estuvo asociado a una falla, cuya traza pasaría cerca de la margen izquierda del río Santa. El río Santa fue represado parcialmente.

El aluvión de Chavín de Huantar tuvo lugar el 17 de Enero de 1945, debido a un repentino deslizamiento de roca y hielo del cerro Huatsán, que desplazó el agua de las lagunas Ayhuñaraju y Carhuacocha en las nacientes del valle, ocasionando la muerte de numerosos pobladores.

El aluvión de Ranrahirca sucedió el 10 de Enero de 1962, por el desprendimiento de una parte de la cornisa SO del pico norte del nevado Huascarán. El fenómeno tuvo una velocidad de 100 km/h, llegando al valle del Santa con una velocidad de 30 km/h en un trayecto de 16 km. y un desnivel de 4 km. Desplazó de 10 a 12 millones de m³, cubriendo el valle con un material de 3 a 4 m. de espesor y en el cono de deyección con 2m. La superficie cubierta se estimó en 440 Has.

El aluvión de Huaraz se produjo el 13 de Diciembre de 1941. La ruptura del dique de la laguna Cojup a 4,500 m.s.n.m. originó la avalancha de grandes masas de hielo y agua que se desplazaron con gran velocidad hacia la laguna Jircacocha a 4,120 m.s.n.m. formando olas gigantescas que destruyeron la presa morrénica. El aluvión arrastró entre 8 y 10 millones de m³, causando la destrucción parcial de Huaraz y arrasando las viviendas ubicadas a lo largo del valle Quilcayhuanca.

En el Capítulo 2 se presenta la cartografía existente en el Perú, que es relevante a los fenómenos de deslizamientos y aluviones. Se presenta el mapa físico político publicado por el Instituto Geográfico Nacional, con áreas de distinta altura; el mapa geológico generalizado, publicado por el Servicio de Geología y Minería; los mapas meteorológicos con la distribución de precipitaciones en milímetros cada tres meses, publicados por el Servicio Nacional de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú; el mapa de la temperatura media anual publicado en la colección Gran Geografía del Perú y el mapa de máximas intensidades sísmicas observadas en el Perú del Proyecto Sisra.

En el Capítulo 3 se presenta el inventario de los fenómenos de deslizamientos y aluviones ocurridos en el Perú. Cada evento tiene una referencia bibliográfica que constituye parte del Banco de Datos. El catálogo de deslizamientos y aluviones ha sido dividido en fenómenos causados por la acción de la gravedad y fenómenos causados por sismos. Se presentan en consecuencia dos mapas distintos a la escala 1:4'000,000.

En el Capítulo 4 se presentan las conclusiones y recomendaciones del estudio. Los fenómenos recopilados ocurren con mayor frecuencia entre los 2000 y 4000 m.s.n.m., dependiendo de las condiciones locales de topografía, geología, clima y acción sísmica. Se recomienda continuar los estudios tendientes a conocer sus causas y controlar su magnitud y efectos, para reducir las pérdidas humanas y los daños materiales.

CAPITULO 1

DESCRIPCION DE LOS FENOMENOS OCURRIDOS EN EL PERU

1.1 EL DESLIZAMIENTO DEL CERRO "CONDOR-SENCCA"

1.1.1 Ubicación

El deslizamiento se ubica en la margen derecha del río Mantaro, en un recodo de más de 90 Km. que ha existido desde la edad Terciaria y ha cortado de 1,300 a 2,600 m. a través de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. Ver la Fig.1.

1.1.2 Evidencias de Obstrucciones Anteriores

Garner (1959) sostiene que el registro sedimentario de la cuenca del Mantaro es la interpretación geomórfica de la región. Según Snow (1964) en la primera etapa glacial húmeda, unos 915 metros del cañón en forma de V fue carcomido, produciendo detritus de grano fino. En la etapa interglacial se muestra árido y subárido en todo el este de los ríos andinos. Se llevaron decenas de metros encima de los amplios depósitos aluviales y taludes, como producto del intemperismo mecánico. El presente cañón desenterrado data desde la última etapa glacial húmeda (Pleistoceno Superior, Cuaternario). Esta hipótesis es verificada en la región del Mantaro por la existencia de una gruesa capa coluvial de 900 a 1,600 metros por encima del nivel del río y lo remanente de la terraza aluvial como 180 metros de altura por encima de dicho nivel. La cronología de estos eventos serán usados para estimar la frecuencia de deslizamientos subsecuentes para el último período de erosión.

Existen depósitos alternados de grano fino y grueso a lo largo del río Mantaro que sugieren, por su corta periodicidad, las más trascendentes causas de obstrucciones del río que podrían ser atribuidas al clima o al tectonismo. En el interior del cañón, el nivel del relleno del valle atribuido al período interglacial (Pleistoceno Inferior y Medio,

Cuaternario), los depósitos de las terrazas son de 90 metros de espesor en la vecindad de Alcomachay. Alcomachay es una amplia área del valle en la confluencia de los ríos Mantaro y Huarpa, 6,400 metros aguas arriba del deslizamiento. Predomina grava gruesa, pero existen algunos estratos de arena limosa de unos 25 metros de espesor. Los cascajos están depositados en la inundación del río, mientras los intercalados limo y arena limosa fueron depositados en el lago embalsado por las obstrucciones. Cada depósito de grano fino fue sucedido por depósitos de grano grueso cuando el lago fue rellenado. La sedimentación desde el deslizamiento de 1945 siguió este modelo.

El depósito aluvial de aguas arriba de una obstrucción es distinguido de aquél depositado sobre el lado de aguas abajo. Un antiguo deslizamiento, capaz de represar el río, fue localizado aguas arriba del deslizamiento del año 1945, como es sugerido por la ensenada del lago y un antiguo detritus, como se muestra en la Fig 2.

Las primeras obstrucciones son indicadas por las terrazas más altas de diferente litología:

- a) A 3,200 metros aguas abajo existe una terraza de granodiorita descompuesta, cuyo nivel está sobre los 110 metros por encima del nivel del río.
- b) A 8,000 metros aguas abajo existe un pozo estratificado del tipo de la terraza aguas arriba, probablemente formada por una obstrucción.

Las capas y depósitos formados en 1945 fueron precedidos por varios ciclos iguales. La aparición alternante de arcilla fangosa y cascajo en las laderas del valle indican que hubo por lo menos 4 ciclos de obstrucción, y debajo de la parte plana pueden registrarse aún más. Los depósitos fluviales de grano grueso exceden en espesor a los depósitos lacustres de material fino. La causa más probable para la repetida agradación y degradación en esta zona es la obstrucción ocasionada por derrumbes.

1.1.3 Frecuencia de Obstrucciones

Si la edad de la terraza más antigua fuese conocida, la frecuencia de obstrucciones podría ser aproximada.

De acuerdo a Snow (1964), la determinación directa de la edad es imposible porque los depósitos son inorgánicos; por lo menos dos obstrucciones son conocidas, las cuales precedieron al deslizamiento de 1945. Muchas otras quizás hayan ocurrido, sin embargo sus huellas se han borrado. Una terraza baja asociada con una menor obstrucción sería ocultada por la sucesión de terrazas más altas. Terrazas disparejas que descienden de lo alto, formadas durante un solo periodo de degradación, pueden ser mal interpretadas como evidencias de obstrucciones separadas. Las terrazas de diferente altura pueden ser

atribuidas únicamente a eventos separados. El estado comparativo de descomposición diferencia las terrazas a los 110 y 140 metros hacia abajo del cerro Cóndor-Sencca.

Mientras que la terraza a 110 metros contiene arena densa coloreada, rocas de forma angular y puntiaguda, la terraza a 140 metros contiene arena feldespática amarilla, frágil y rocas blandas, angulares y de superficie amarillenta. Un período Post-glacial (Holoceno, Cuaternario) es representado por el intervalo entre las terrazas. A lo largo del intervalo, también se indicó el tiempo de deposición de la terraza a 110 m. considerando la topografía suavizada de la marca de antiguos deslizamientos, como se muestra en la Fig. 2.

1.1.4 Cronología del Derrumbe del Cerro Cóndor-Sencca

La cronología del evento según Snow (1959) es la siguiente:

16 de Agosto de 1945:

A las 9.00 a.m. los vecinos sintieron un ruido estruendoso y estremecimientos de la tierra. Se había roto una masa de granodiorita fracturada parcialmente descompuesta. No hubo testigos presenciales de los principales detalles debido a que ocurrió en una zona lejana y casi despoblada.

22 de Agosto:

La filtración.- Filtró por debajo de la represa $0.2 \text{ m}^3/\text{seg.}$ de agua clara.

Acumulamiento.- El nivel de la laguna subió a una velocidad de 10 cm/hora; inundó la quebrada a lo largo de 7 kilómetros y se extendió sobre las pampas de Alcomachay. Después bajó la velocidad a 6 cm/hora, debido al ensanche del área de la laguna.

6 de Setiembre:

La filtración.- Apareció la primera filtración en la parte alta de la represa.

17 de Setiembre:

Acumulamiento.- La laguna alcanzó el nivel de 65 m. sobre el lecho del río.

21 de Setiembre:

La filtración.- Aumentó el promedio de la filtración.

Acumulamiento.- La laguna alcanzó un nivel de 81 m.

25 de Setiembre:

Acumulamiento.- Los ingenieros del Estado fueron autorizados para abrir un canal a través de la corona de la represa, a fin de aprovechar las tierras de sembrío aguas arriba. Después, 350 hombres comenzaron la excavación empleando dinamita y herramientas manuales.

14 de Octubre:

A las 8.00 a.m.

La filtración.- Comenzó una fuerte filtración de $100 \text{ m}^3/\text{seg.}$ acarreando gran cantidad de sedimentos. Se dañó el talud aguas abajo de la represa, retrocedió en 45 m. y se formó un acantilado de 27 m. de alto, ver la Fig.3.

Acumulamiento.- La laguna alcanzó un nivel de 92 m.

A las 11.00 a.m.

La filtración.- El flujo disminuyó a $30.40 \text{ m}^3/\text{seg.}$ de agua clara.

28 de Octubre:

A las 8.00 a.m.

La filtración.- Apareció un nuevo flujo a un nivel de 60 m. por debajo del corte. La laguna comenzó a desaguarse a través del canal a razón de $3.4 \text{ m}^3/\text{seg.}$ descendiendo 60 m. y socavando el talud, el que retrocedió más hacia aguas arriba.

Acumulamiento.- La laguna alcanzó el nivel de 95.80 m.

A las 6.00 p.m.

La filtración.- Esta vez se hizo más violenta. Un ingeniero que estaba en un bote cerca de la represa notó los disturbios en el nivel de la laguna (Ing. B. del Valle, 1958, información personal).

Acumulamiento.- Profundidad del agua en el corte; 10 cm.

A las 6.45 p.m.

Hora en que comenzó el rompimiento de la represa, después de una vida de 73 días y 9 3/4 horas.

29 de Octubre de 1945:

Faltando 1/2 hora para la 1.00 a.m. el flujo llegó a Luicho a 90 km. de distancia y alcanzó el nivel de 26 m. sobre el normal, en un cauce de 90 m. de ancho. El ruido y vibración producidos aterrorizaron a los vecinos (S. Talavera, 1958, información personal).

A la 1.00 a.m.

El ingeniero llegó a la cima de una colina que permite una buena vista hacia el Cerro "Cóndor-Sencca" y observó neblina generada por la caída de las aguas.

A las 7.00 a.m.

El ingeniero llegó al lugar de la represa y encontró que había desaparecido.

El sedimento que era acarreado aumentó notablemente con numerosos deslizamientos más pequeños que tuvieron lugar a lo largo de la quebrada, a medida que la corriente carcomía las orillas. Es posible hacer el cómputo del acumulamiento y descarga mediante las aforos de la corriente, los estimados de las contribuciones entre el lugar de aforos y el derrumbe, y los estimados de la filtración a través de la represa. El volumen de agua acumulado durante los 73 días de vida de la laguna fue algo así como $300'000,000 \text{ m}^3$. Si el drenaje de la laguna duró 7 horas, el promedio de descarga fue de $12,000 \text{ m}^3/\text{seg}$, o sea 50 veces la descarga máxima del año.

1.1.5 Características del Derrumbe

La rotura es una zanja de 900 m. de largo con una inclinación de 37 grados, que llegó hasta el nivel del río, a una altura de 2,125 m.s.n.m. La trayectoria del movimiento fue casi hacia el norte, donde el río dobla bruscamente de ESE a NNE. La profundidad de la zanja, medida al plano normal del derrumbe, tiene una variación de más o menos 25 m. cerca a la base, a 200 m. en la cúspide. Estas dimensiones dieron un volumen aproximado de $5'600,000 \text{ m}^3$ Sgow (1959), el que se puede relacionar con el volumen calculado de la represa de $3'500,000 \text{ m}^3$ Gruter (1945). El resto del material se depositó en la zanja, sin llegar a la base. En el lado este quedó una masa colgante en forma inestable, entre 450 y 560 metros sobre el río.

La roca visible en las paredes superiores y en el talud es una granodiorita-biotítica, uniforme, de grano medio, fresca, de color blanco a rosado. Harrison (1945) notó que el

cuerpo de la represa contenía trozos de granodiorita friable, mezclados con arena manchada. En la pared este de la zanja se encuentra roca intemperizada amarilla, desde el nivel del río hasta la mitad. El material intemperizado de la represa debe de haber venido desde la parte baja de la ladera y cuya causa contribuyente puede haber sido su debilidad in-situ.

La extensión y orientación de las juntas influenciaron en la forma de la ruptura. El grupo de juntas más notables tiene un rumbo N30°E y buzamiento de 57°NO, o sea hacia aguas arriba diagonal al declive. Los contrafuertes y los desfiladeros del Cerro Cóndor-Sencca son expresiones de estas juntas, y en la antigüedad hubo por lo menos un derrumbe que siguió la misma trayectoria. La intemperización ha progresado más de 100 metros, siguiendo estas juntas. Aún se puede observar en la superficie de una junta, al lado nor-oeste de la masa colgante cerca de la cima del derrumbe, un producto intemperizado arcilloso de color amarillo ocre. Existen otros dos sistemas de juntas con una trayectoria normal a la dirección del deslizamiento, o sea N80°O; uno de los cuales buza 80°N, y el otro 30°N. El sistema que buza hacia el norte define la cara del lado este de la masa colgante. Un cuarto grupo de juntas tiene un rumbo aproximado de N10°O y buza 70°E. Este último grupo determinó la pared oeste de la zanja y su intersección con el grupo principal (N 30°E buzando 57°NO) y determinó la forma recortada de la cumbre, Snow (1959).

1.1.5.1 La Represa y La Laguna

El derrumbe llenó un cañón de 110 metros de profundidad, formando una represa ancha e irregular de bloques angulares de granodiorita y de arena, con una laguna de 20 km. de largo por 96 m. de profundidad.

La proporción más grande estaba formada por enormes bloques de hasta 15 metros de diámetro, Harrison (1945), pero una buena porción de roca fresca y descompuesta fue triturada al tamaño de granos de arena, haciendo que la represa sea solo moderadamente permeable. El ancho de la represa fue de 580 m. en la base y de 70 m. en la corona, el largo medido transversalmente al canal fue de 60 a 70 m. en la base y de 250 m. en la corona.

El Dr. Santiago Antúnez de Mayolo (1945) anota que de acuerdo al informe del Ministerio de Fomento y Obras Públicas, la altura media es de 133 m. cerca a la orilla izquierda y de 101 m. en una depresión cerca a la orilla derecha, al pie del derrumbe. La inclinación aguas arriba 2.8:1; la de aguas abajo 1.4:1. En cuanto al volumen, se estimó en 3'500,000 m³, Antúnez de Mayolo (1945), aunque en 16'000,000 m³, Harrison (1945), así como en 5'600,000 m³, Snow (1959).

El contrafuerte de la derecha fue un acantilado de granito descompuesto; el de la izquierda, una terraza antigua de 110 m. de alto y suficientemente descompuesta para ser impermeable.

1.1.5.2 Causas Geológicas del Derrumbe

Al derrumbe del cerro "Cóndor-Sencca" no se le puede atribuir una sola causa sino que fue ocasionado por una serie de factores, según Snow (1959):

- a) La margen del río tuvo una entrante en el pie del talud, y la roca sólida se encontraba hacia afuera del actual lecho. La formación de una ladera suficientemente empinada debido a la erosión del río y los derrumbes locales de la roca intemperizada de la parte baja de la ladera, se consideran como causas imprescindibles del derrumbe. Sin embargo, un proceso de esta naturaleza requiere de muchos años y no se pudo determinar el día en que ocurrió el derrumbe, ya que agosto es un mes de sequía en la sierra, época en que las partes exteriores de los recodos de un río deben estar protegidas por un relleno de cascajo.
- b) Un kilómetro al este del derrumbe se encuentran evidencias de movimientos de roca o reptación (creep) en una pequeña planicie situada en la cresta del cerro Cóndor-Sencca, cuya superficie está cerrada por escarpas de más o menos un metro de altura. Se presume que estas escarpas determinan la aparición de superficies deslizables. Un movimiento acelerado, asociado a una deformación lenta producida por gravedad, es una manifestación de una pérdida progresiva de resistencia.
- c) Los registros de precipitación que hizo la Cerro de Pasco Corporation anotaron que la estación del año 1945 empezó un mes antes de lo común y que las lluvias tuvieron una precipitación irregularmente baja (4 centímetros más o menos, de Mayo a Octubre). Fuchs (1945) expresó la opinión de que la desecación de la arcilla en las juntas era la causa principal de este derrumbe. Este es el factor más probable que lo ha podido determinar en tal época del año.
- d) No pueden invocarse causas sísmicas, pues el sismógrafo Benioff del Instituto Geofísico de Huancayo, ubicado a 141 km., no registró movimientos terráqueos locales cercanos a esta zona en el periodo comprendido entre el 10 y 16 de Agosto.

1.2 EL DESLIZAMIENTO DE MAYUNMARCA

1.2.1 Geografía y Geología

El área de estudio se encuentra en la margen derecha del río Mantaro, en el km. 56 de la carretera La Mejorada-Ayacucho, entre la represa de Tablachaca y Anco, dentro de la jurisdicción del distrito de Andabamba, provincia de Acobamba, departamento de Huancavelica, ver la Fig. 4. En la vecindad del deslizamiento, la superficie plana está cerca de los 4000 a 4500 m.s.n.m., mientras que el piso del valle está en los 2500 m.s.n.m.

Como se muestra en la Fig.5 y en los símbolos descritos en la Tabla 1, se notó que en la abertura de estas 2 quebradas estuvieron 2 grandes haciendas H3 y H4, por lo cual el deslizamiento comprometió a hogares de muchas familias.

Tabla 1

Nombres de Lugares Correspondientes a la Fig. 5

Cerros:

C1	Conuissayhua	Elev.	4,400 m.s.n.m.
C2	Cussuro	Elev.	4,300 m.s.n.m.
C3	Potrero	Elev.	4,300 m.s.n.m.
C4	Vicuñayoc	Elev.	4,300 m.s.n.m.
C5	Yanaorca	Elev.	4,400 m.s.n.m.

Haciendas:

H1	Huanupata	
H2	Yanac	
H3	Huaccoto	Destruída por el deslizamiento
H4	Ccochacay	Destruída por el deslizamiento
H5	Ropac	
H6	Palmero	
H7	Sillero	
H8	Piedra Labrada	

H9 Lirio Huaycko

H10 Jatan Ckasa

Pueblos:

Mayunmarca

Destruída por el deslizamiento

Lagunas: Quebradas:

L1 Aljaccocha

Q1 Zaprailla

L2 Minascococha

Q2 Sojosbanba

L3 ?

Q3 Huachae

L4 ?

Q4 Ccochacay

L5 Yanacocha

Q5 Tinte

Q6 Hospital huaycyccko

Ríos:

Pumaranra

(Pequeño)

Mantaro

(Grande)

Una sección transversal a lo largo de la Quebrada Ccochacay (Q₄), en la dirección sur-oeste desde el río Mantaro hacia la parte superior y sobre el pico de la montaña, se muestra en la Fig. 6.

Galdos Bustamante (1973) enfatizó el significado de las filtraciones del río Pumaranra y de varias pequeñas lagunas en las elevaciones sobre el otro lado del lomo del área del deslizamiento. Sugirió que esto podría ser una fuente de agua filtrante en el talud para el lado del río Mantaro.

Debido a la filtración del otro lado de la loma o debido a otras causas, incluyendo el movimiento general del agua freática en el área, la quebrada de Ccochacay parece haber

sido algo inestable por un considerable espacio de tiempo previo al estudio geológico hecho por Galdos Bustamante (1973). Como se muestra en la Fig. 6, la escarpa mayor de 10 m. circunda la parte superior del valle cerca de la ubicación del contacto entre la cubierta de detritus y los estratos subyacentes de areniscas y arcillas lutáceas. Otras escarpas y grietas de menor dimensión, no obstante los mayores rasgos topográficos, ocurrieron por toda el área.

Galdos Bustamante (1973) predijo que no únicamente la presente tendencia de continuos movimientos de suelos localizados, sino que el área total sería afectada por un deslizamiento o un sistema de deslizamientos que vienen de los alrededores y recomendó que los habitantes de Mayunmarca deberían ser reubicados en un suelo más estable fuera del área activa (Lomas Cocumpampas) y que ciertas medidas de filtración y drenaje deberían instalarse para estabilizar el suelo. Desafortunadamente, estas medidas no fueron acatadas antes que ocurra el gran deslizamiento.

Martínez Vargas (1974) también estudió las condiciones geológicas en el perfil del eje mayor del deslizamiento (Dirección EO) y distinguió las siguientes formaciones:

- a) En la base y formando el lecho y riberas inmediatas al río Mantaro existen rocas metamórficas constituidas por esquistos y otras rocas complejas, de foliación muy acentuada con fracturas en la superficie y fuertemente tectonizadas.
- b) En la parte media, especialmente en la depresión erosional de Mayunmarca, se encontraban potentes masas elásticas de todos los tipos de suelos existentes en la zona.
- c) En las partes altas constituyendo la zona de desgarre o parte inicial del deslizamiento se encuentran formaciones de roca sedimentaria constituidas por areniscas con intercalaciones de limolitas y lutitas.

Uno de los aspectos de orden estructural de mayor influencia para el desarrollo del fenómeno descrito, es que las formaciones sedimentarias se encuentran formando el flanco de un anticlinal erosionado, donde las capas que lo forman tienen un rumbo NS y un buzamiento de 45° a 50° en dirección hacia el cañón del río Mantaro y paralelo a la inclinación de las laderas. Por otro lado, las observaciones que se pueden hacer en los escasos afloramientos rocosos de la serie metamórfica indican una roca muy fracturada y disturbada por el tectonismo.

Las propiedades geomecánicas de cada una de las formaciones descritas ha jugado un papel preponderante, así se tiene que las rocas metamórficas se deshacen produciendo material fino que facilita los deslizamientos por su naturaleza algo lubricante (esquistos sericiticos arcillosos, etc.), además existen zonas donde estas rocas están formadas de material suelto (milonitas descompuestas), que al contacto con el agua originan alteraciones de la estabilidad de las masas rocosas y el consiguiente desprendimiento o asentamiento.

Los depósitos detríticos a pesar de un alto contenido de bloques y fragmentos angulosos se presentan como material intersticial (matriz), la arcilla cuyo comportamiento está en función del contenido de agua en saturación, pierde su consistencia y son susceptibles a fluir. Los horizontes definidos de las lutitas y limolitas dentro de la formación sedimentaria de la zona de desgarré ofrecen gran susceptibilidad a la descomposición, originando zonas arcillosas que al contacto con el agua funcionan como lubricantes y planos definidos de deslizamiento.

1.2.2 Condiciones Hidrogeológicas que Determinan el Deslizamiento en Mayunmarca.

Para las condiciones hidrogeológicas, Martínez Vargas (1974) resume que la presencia de zonas pantanosas, convergencia de las quebradas hacia la zona de mayor acumulación detrítica y la presencia de pequeñas lagunas en la parte superior del área cuya percolación ha saturado tanto a las rocas como a los suelos, crea condiciones inestables.

Hutchinson y Kojan (1975) anotaron que el promedio de lluvias anuales en el área es de 736 mm. y el clima es algo temperado, en invierno la temperatura raramente baja a 0°C. Martínez Vargas (1974) comentó que la zona es de considerable precipitación, pudiendo determinarse que ésta llega al orden del 600 a 1200 mm. anuales. Hutchinson y Kojan (1975) proporcionaron ideas acerca de la distribución de la precipitación descrita en la Tabla 2.

Tabla 2

Precipitación mensual en milímetros, de la Estación Meteorológica de Huayao, cerca de Ruancayo.

	1973	1974
Enero	152.8	154.9
Febrero	153.7	176.8
Marzo	137.1	67.9
Abril	97.4	56.6
Mayo	12.9	0.5

Junio	3.6
Julio	23.9
Agosto	21.3
Setiembre	48.1
Octubre	94.1
Noviembre	39.8
Diciembre	87.9
TOTAL	872.6

De los años 1922-1973 inclusive, se dan datos como:

Precipitación Promedio Anual	736.5 mm.
------------------------------	-----------

Precipitación Promedio Mínima (en 1947)	545.7 mm.
---	-----------

Precipitación Promedio Máxima (en 1923)	936.5 mm.
---	-----------

1.2.3 Rasgos

1.2.3.1 Rasgos Fisiográficos

Según Taype (1976), el área de estudio presenta una superficie accidentada; la quebrada de Ccochacay, subsidiaria del río Mantaro, presenta flancos con pendientes de 35° a 40°; antes del deslizamiento correspondía a una terraza aluvial suavemente inclinada hacia el río Mantaro. La quebrada nace de las faldas del cerro Cussuro a 4,300 m.s.n.m. y Vicuñayoc a 4,200 m.s.n.m.

El río Mantaro nace en la laguna de Junín a los 4,090 m.s.n.m. y corre en una dirección SE con una longitud de 300 km. hasta el poblado de Mayoc donde forma la primera curva del río Mantaro, conociéndose con el nombre de la Península de Tayacaja; luego se dirige al NO por unos 90 Km. y forma la segunda curva, conociéndose con la nominación de la Península de Guitarra, para luego desembocar en el río Apurímac.

El río Mantaro en este tramo correspondiente a su curso medio presenta un cauce estrecho y profundo, en su trayecto experimenta frecuentes cambios de curso debido al control estructural efectuado por el rumbo y buzamiento de las capas y la existencia de fallas transversales y longitudinales del valle.

El valle presenta varios niveles de terrazas fluviales de espesores variables, limitadas por flancos de fuerte pendiente que oscilan de 50° a 60°.

En la cima de la cuenca de recepción de la quebrada Ccochacay existen tres lagunas denominadas Yanacocha, Minascocha, Aljacocho y el río Pumaránra; estas lagunas disminuyeron su volumen a raíz del deslizamiento en la quebrada de Ccochacay, unas se secaron por completo, mientras que otras se hallaban con poca cantidad de agua, lo que indica que hubo un flujo importante de agua que accionó sobre la estabilidad del manto mueble de la quebrada Ccochacay, originando la sobresaturación de los materiales rocosos.

Galdos Bustamante (1975), describió los rasgos fisiográficos principales:

- El altiplano
 - Valle del Mantaro: Vertiente occidental y oriental.
- a) El Altiplano. Esta región se localiza sobre los 4,100 m.s.n.m. y corresponde a las partes más altas de la zona, presenta un relleno ondulado pero en algunos sectores se torna escarpado y agreste, dando así origen a un conjunto de colinas y cimas truncadas en las que la erosión diferencial ha dejado en relieve los afloramientos calcáreos de la formación Pucará y si bien ya no se observan glaciares o nieves persistentes, es de suponer que gran parte de estas crestas delimitaron antiguos circos glaciares.
- b) Valle del Mantaro. Las laderas del valle presentan caracteres morfológicos producidos por una acción erosiva diferencial en la que los movimientos de derrubios de la vertiente oriental han seguido procesos diferentes a los de la vertiente occidental.

En el sector inmediato inferior a estas escarpas se localizan numerosas cuencas de recepción con caracteres morfológicos diversos, pero en su mayoría presentan un sistema de drenaje detrítico que se proyecta desde las partes altas hasta aproximadamente los 3,300 m.s.n.m. Se observan numerosas terrazas de origen fluvio-aluvial que son utilizadas como tierra de cultivo y cuyo origen podría relacionarse con una de las etapas primarias de la evolución del río Mantaro.

- b-2) **Vertiente oriental.** En esta vertiente predominan las rocas metamórficas cuyo afloramiento se proyecta desde más allá de Tablachaca hasta el caserío de Angayacu, lo que ha determinado condiciones uniformes en los rasgos fisiográficos de estas laderas, que pueden generalizarse como sigue: el sector comprendido entre el altiplano y la curva de los 3,500 m.s.n.m. presenta pendientes moderadas atravesadas por vertientes rectilíneas poco profundas, característica que habrá de mantenerse a través de una extensa superficie, para más abajo de los 3,200 m.s.n.m. irse acentuando la pendiente hasta determinar laderas muy empinadas terminadas en paredes casi verticales hacia el lecho del río Mantaro. Los cauces en un principio poco profundos observados sobre los 3,500 m.s.n.m. van tornándose en quebradas profundas y estrechas en actual etapa de erosión regresiva intensa. Entre las laderas anteriormente descritas y conformando caprichosas curvas cruza el tormentoso río Mantaro disectando en algunos sectores terrazas y restos de remociones antiguas y recientes.

1.2.3.2 Rasgos Geológicos

En la zona donde ocurrió el deslizamiento y sus alrededores se han identificado rocas cuyas edades van desde el Paleozoico Inferior hasta el Cuaternario Reciente (Taype, 1976).

a) Paleozoico Inferior:

Grupo Excelsior.- Está constituido por rocas metamórficas consistentes de filitas y esquistos. Las filitas son de color gris verdoso de grano fino, compactas, con foliación bien marcada y muy débilmente ondulada. Estas rocas al intemperizarse originan fragmentos de brillo satinado. Los esquistos cloritosos se destacan por su coloración verdosa y exfoliación pronunciada; al romperse forman fragmentos astillosos. Estas rocas afloran mayormente en la margen izquierda del río Mantaro, subyacentes y en forma discordante al grupo Mitu.

Grupo Mitu.- Está constituido por rocas sedimentarias de tipo continental, de edad Permiana. Consiste de una secuencia de areniscas rojizas bien estratificadas con intercalaciones de conglomerados arenosos, lutitas y rocas volcánicas andesíticas. Estos afloramientos rocosos se identifican en su mayor parte en la margen del río Mantaro.

b)Cuaternario Reciente:

Cubierta Regolítica.- Está constituida por la acumulación de sedimentos finos, gravas angulosas, arenas, y limos depositados al pie o falda de las laderas. Dichas masas detríticas se han originado in situ o por la desintegración mecánica de los esquistos, filitas, areniscas y lutitas, cuyos elementos por la acción de la gravedad han caído a las partes bajas de los cerros y hondonadas, donde se han acumulado con ángulos de reposo que oscilan entre 30° a 40°. El espesor de la cubierta regolítica se calcula entre los 10 a 25 m., llegando en algunos casos a espesores muy superiores.

Depósitos Fluviales.- Este tipo de material se halla cubriendo gran parte del fondo del valle del río Mantaro, formando terrazas de los episodios. Están constituidos por rodados heterogéneos de dimensiones variables, a veces con selección granulométrica de gravas, arenas y limos; alcanzan espesores de 20 m.

c)Rasgos Estructurales:

Taype (1976) comentó que en la zona del Mantaro, en la península de Tayacaja, los esfuerzos orogenéticos que han accionado aproximadamente en dirección NE-SO han comprometido a las rocas metamórficas y sedimentarias, plegándolas y fracturándolas, ocasionando pliegues y fallas principales en sentido longitudinal y transversal al curso del río Mantaro.

Localmente la zona tratada presenta pliegues anticlinales, sinclinales y fallas, siendo de mencionar el anticlinal cuyo eje pasa por las nacientes de la quebrada Ccochacay en el cerro Cussuro y la falla que sigue el curso de la quebrada Ccochacay-Tinte y que parece ser la prolongación al NE de la falla regional identificada desde las cercanías de la Mina Sulcani y que pone en contacto tectónico al Mitu frente a Pucará. Los depósitos recientes se encuentran afectados por agrietamientos de orientación general paralela al curso del río Mantaro.

Galdos Bustamante (1975) agregó que el rasgo estructural de mayor importancia en la zona lo constituye un anticlinal asimétrico cuyo eje sigue la dirección NO-SE y en cuyo flanco nor-oriental estuvo ubicado el pueblo de Mayunmarca.

1.2.4 Comportamiento de las Rocas

Taype (1976) anotó acerca del comportamiento de las rocas lo siguiente:

- 1.2.4.1 Rocas Metamórficas.-** El grado de compacidad y esquistocidad de las rocas metamórficas está en función de su composición mineralógica y anisotropía. Un contenido de cuarzo produce roca de mayor coherencia y de menor esquistocidad. Comparativamente la esquistocidad y la fisibilidad es mayor en las filitas y pizarras y menor en los esquistos sericiticos-cloríticos, los cuales son ricos en cuarzo tanto como integrante esencial, como en forma de lentes.

Los esquistos afloran en la margen izquierda y parte en la derecha desde Mantacra hasta Anco y el divortium principal de Tayacaja, ocupando por lo tanto una parte de la zona interesada. Las filitas afloran concordantemente sobre los esquistos en los flancos del Mantaro Sur, a largo de una faja comparativamente más delgada. Los colores típicos de las rocas de la serie metamórfica son el color verde en los esquistos y el color negro a gris caracteriza a las filitas y pizarras. Al intemperizarse estas rocas en la superficie y al infiltrarse las aguas superficiales por las fisuras se vuelven inestables y propensas a los fenómenos geodinámicos.

- 1.2.4.2 Rocas Sedimentarias Mitu.-** Aparecen formadas por cantos subredondeados poligénicos en cemento o ligazón parcialmente arcilloso de color morado. Los cantos son de 2-10 cm. de diámetro y fragmentos de otras rocas de la serie Mitu, areniscas arcósicas, lutitas y rocas efusivas. Se presentan en paquetes de decenas hasta centenares de metros de espesor, poco o nada estratificados. Se eliminan y fracturan con facilidad hasta presentarse incoherentes, quebradizos y deleznales. Los conglomerados se encuentran por lo general con areniscas de grano variable. Las areniscas de granulometría variable, de grano grueso a fino, representan fases más difundidas y quizás cuantitativamente la mayor en el grupo Mitu. El color típico es rojo vivo a morado, bien estratificado, con horizontes de 2 a 6 m. de espesor. Estas rocas afloran mayormente en la margen derecha del río Mantaro desde Tablachaca hasta Anco y Mayoc, donde suprayacen a las rocas metamórficas. Las rocas del grupo Mitu tienen una potencia de 1,800 a 2,000 m. en el sector del deslizamiento de Mayunmarca. Estas rocas son las más susceptibles a los fenómenos geodinámicos en los Andes Centrales, debido a la incoherencia y gran plasticidad de las arcillas o lutitas, que al contacto con el agua se expanden fácilmente hasta provocar grandes deslizamientos. A las rocas del grupo Mitu se les asigna una edad Permiana.

1.2.5 Incompatibilidad de las Rocas y Zonas Críticas

1.2.5.1 Incompatibilidad de las Rocas:

Martínez Vargas (1974) estimó que la incompatibilidad de las rocas del grupo Mitu fue favorable para la inestabilidad de los taludes dentro de la secuencia estratigráfica, como las condiciones geológicas estudiadas por Narváez y Guevara (1968), principalmente en las partes altas (Tabla 3), habiendo contribuido la posición estructural del remanente de un flanco del anticlinal, cuya área mostraba intensa fracturación anterior.

Tabla 3

3.- Incompatibilidad de las rocas existentes originadas por:

- 3.1 Estratigrafía de la zona
- 3.2 Característica de las rocas
- 3.3 Sentido de buzamiento
- 3.4 Tectonismo

El buzamiento variable de 30° a 60° en los estratos cuya dirección hacia el valle aumenta la inestabilidad; las características físicas y mecánicas de las rocas que van de las rígidas como las areniscas cuarzosas, semirígidas como las limolitas, a las plásticas como las lutitas etc., han incrementado el estado crítico para generar el movimiento. Es más, la zona está atravesada por una falla regional no activa, pero que ha disturbado la zona por el tectonismo del Terciario.

1.2.5.2 Zonas Críticas:

Martínez Vargas (1974) hizo un análisis del comportamiento de las rocas y la ubicación de zonas críticas- Tabla 4 - dentro de la masa rocosa; plantea que éstas son responsables de las diferentes formas de ruptura, ver la Fig.7. Que debido a la existencia de intensa fracturación en el flanco del anticlinal, se han originado movimientos anteriores con desprendimientos de bloques que contribuyen en los deslizamientos por translación de bloques, conduciendo al estado más crítico en la parte alta, iniciándose de esta forma el fenómeno del deslizamiento-aluvión en el cerro Cussuro, como ocurrió en el año de 1971, Vergara (1973) y Galdos Bustamante (1973).

Tabla 4

2.- Análisis de las zonas críticas:

2.1	Superior	:	Derrumbe por la fracturación intensa en el plegamiento.
2.2	Superficial	:	Deslizamiento por translación de bloques de los estratos inclinados.
2.3	Inferior	:	Discordancia angular.
2.4	Interior	:	Micro-planos de deslizamientos en las lutitas.

Una visión rápida de la zona en los pares aerofotográficos anteriores al fenómeno pone en evidencia cicatrices de muchos deslizamientos ocurridos en la cuenca de recolección del torrente. No se descarta que han contribuido además de los mencionados, movimientos a lo largo de los estratos de limolitas y sobre todo en las lutitas.

1.2.6 Geodinámica de la Región

1.2.6.1 Estabilidad de Taludes

Taype (1976) mencionó que los taludes, declives, vertientes, etc. de la región, debido a los diferentes tipos de materiales que lo conforman, tienen distintos comportamientos a los agentes dinámicos. Por ejemplo, las filitas y esquistos por ser rocas impermeables no permiten la infiltración de agua en las mismas, estando solo limitadas a un discurrimiento superficial; sin embargo, cuando estas rocas se presentan fuertemente fracturadas o fisuradas, el agua de infiltración ocasiona pérdida de cohesión, generando derrumbes y deslizamientos. Las areniscas con intercalaciones de lutitas del grupo Mitu son generalmente rocas permeables; las lutitas al saturarse con agua se expanden y forman masas plásticas constituyendo elementos deslizantes.

1.2.6.2 Agrietamientos

Estos fenómenos estructurales se han identificado en ambos flancos de la quebrada Ccochacay. La ocurrencia del deslizamiento en la zona alcedaña ha generado fuerzas tensionales en las inmediaciones de arranque, provocando de esta manera la formación de agrietamientos. Se ha podido constatar que estos agrietamientos además de afectar la cubierta superficial comprometen al substratum de naturaleza sedimentaria, originando taludes inestables que en las épocas de fuertes precipitaciones pluviales generan derrumbes y otros fenómenos similares.

1.2.6.3 Deslizamientos

Las relaciones establecidas entre los caracteres fisiográficos estructurales y litológicos de la zona afectada, permiten establecer que estos fenómenos geodinámicos han tenido origen en el sector comprendido entre las escarpas de los cerros: Potrero, Vicuñayoc y el centro comunal de Mayunmarca, donde se habría generado un deslizamiento complejo. Este proceso principal habría generado el desequilibrio de las laderas superiores del valle, dando origen a un desplazamiento rotacional del sector sur en las nacientes del valle y diversos deslizamientos de laderas a lo largo de la quebrada Ccochacay.

1.2.6.4 Flujo de Barro

Sobre el deslizamiento descrito se proyectó un considerable volumen de flujo de barro que llevó consigo material grueso proveniente de los derrumbes originados años atrás de los cerros: Cussuro, Potrero y Vicuñayoc. Estos flujos de barro habrían de desplazarse desde los 3,500 m.s.n.m. cubriendo longitudinalmente, a manera de una franja central la pista de deslizamiento, para luego proyectarse irregularmente sobre la presa y quedar limitados por la depresión o cuello pre-existente.

1.2.7 Registro de los Primeros Deslizamientos Ocurridos en el Valle del Mantaro.

Sobre el estrecho río Mantaro, desde aguas abajo de Tablachaca hasta el pueblo de San José de Secce, se han reportado los siguientes deslizamientos, según Hutchinson y Kojan, (1975) como se muestra en la Fig.8.

- Hacia el Norte y Oeste, la superficie del anfiteatro fue y es denominada por su topografía paso de escalera, formada por una serie de bancos y escarpas distribuidos en zonas concéntricas; cada zona está bordeada por escarpas o taludes empinados. Es evidente que esta porción del anfiteatro está bajo una serie de grandes y antiguos deslizamientos rotacionales.

- En 1930 un deslizamiento de escombros tomó lugar en la margen derecha del río Mantaro, en Quichicane, frente a Quicchuas, Defensa Civil (1974).
- El 16 de Agosto de 1945 un considerable deslizamiento de roca ocurrió en la parte Nor-Oeste del talud del Cerro Cóndor-Sencca, en la margen derecha del río Mantaro. El deslizamiento es descrito por Snow (1964).
- En Diciembre de 1960 un deslizamiento fue observado en Chihuanhay, entre La Mejorada y Anco, Kunkel y Kunkel (1963).
- El huayco en Ifuaccoto (km.56 de la carretera Mejorada-Ayacucho), ocurrido el 2 de Mayo de 1971, causando la muerte de 31 pasajeros de un ómnibus, Taype (1976).
- En Enero de 1972, un deslizamiento-huayco de Anco (km.106 de la carretera Mejorada-Ayacucho) Defensa Civil (1974).
- En Noviembre de 1973, agrietamientos y deslizamientos en Mayunmarca, estos fueron precedentes al deslizamiento de Ccochacay, Taype (1976).

1.2.8 El Deslizamiento en la Quebrada Ccochacay

Según Lee y Duncan (1975), el deslizamiento ocurrió el día jueves 25 de Abril de 1974 a las 9.00 pm. hora local. No hubo testigos, aunque se rumoreó que un sobreviviente que cabalgó por la zona fue hospitalizado a consecuencia del shock producido por la espectacular escena.

Datos del Deslizamiento

Volumen total de material deslizado.	$1.6 \times 10^9 \text{ m}^3$
Volumen de material que represó el río.	$1.3 \times 10^9 \text{ m}^3$

Material restante en el valle o lados opuestos al río.	$0.3 \times 10^9 \text{ m}^3$
Longitud de deslizamiento de la escarpa.	7.5 Km
Altura de deslizamiento de la escarpa.	1.9 Km
Duración del deslizamiento.	cerca de 3 min.
Velocidad estimada de deslizamiento.	140 Km/hr

Datos del Escombros de la Presa

Altura del escombros que represó al río.	170 m
Longitud del escombros que represó al río en el cañón.	3.8 Km
Ancho de la cresta del escombros que represó al río en el cañón.	1 Km

Accidentes y Daños

-Personas muertas.	Se estima de 200 a 600 personas.
-Personas evacuadas luego del deslizamiento	2,500 (de 10 centros poblados).

-Carreteras destruidas.	3.8 Km.
-Carretera destruidas por inundación.	30 Km.

Lee y Duncan (1975) presentaron una vista en planta del área de deslizamiento que se muestra en la Fig.8 con referencia a la Fig.5; indica que el área actual fue aproximadamente como el área puesta en peligro indicada por Galdos Bustamante (1973). El pueblo de Mayunmarca fue totalmente acarreado y las haciendas Huaccoto y Ccochacay fueron sepultadas por el deslizamiento de escombros. Las vibraciones causadas por el movimiento del deslizamiento fueron transmitidas como ondas sísmicas y fueron registradas en varias estaciones sismológicas, indicando una duración del movimiento cercana a 3 minutos. De ahí se determinó que la velocidad fue de 140 Km/hora con un recorrido de 7 a 8 Km. La estación de Huancayo no registró sismo alguno durante el período del suceso, tampoco existe reporte en las estaciones de Ayacucho y Pisco. Existen también otras evidencias que indican que se desarrollaron altas velocidades. Al menos en una localidad, sobre la hacienda Huanupata (III) en la Fig.8, el deslizamiento de escombros pareció haberse transportado por el aire. Una gran cantidad de barro se encontró en la parte alta del talud, sobre el lado de la quebrada Tinte (lado opuesto al deslizamiento). Además, el material pareció primero haber fluído hacia la parte alta del talud de la quebrada Tinte. El gran deslizamiento atravesó el río y retrocedió unos 150 a 200 m. hacia su posición final más baja, indicando que el escombros debe haber sido justamente un fluído durante el estado de deslizamiento. Algunos borbotones de arena se encontraron en el escombros cerca de la quebrada Tinte, otra vez, indicando que algún material al menos debe haber licuado durante el deslizamiento con los borbotones de arena, convirtiéndose en escombros consolidado y luego reposar entre dos bancos del río Mantaro. El deslizamiento de escombros represó completamente el río, el cual permaneció seco aguas abajo, sin filtración, hasta que comenzó el rebosamiento el 6 de Junio, después de 42 días de ocurrido el deslizamiento.

Según Hutchinson y Kojan (1975) todas las características dominantes del deslizamiento son mejores descritas como un flujo de escombros-deslizamiento de roca, aunque en detalle la estructura y morfología del deslizamiento es bastante compleja, involucrando varios tipos de deslizamientos y flujos con contrastes de mecanismos y causas. Lee y Duncan (1975) describen figuras como las Figuras 9 y 10 que muestran el área antes y después del evento. La Fig 11 muestra la sección transversal antes y después del deslizamiento. Martínez Vargas (1974) confeccionó en base al análisis del mosaico aerofotográfico, un croquis de la evolución del deslizamiento-aluvión. ver la Fig. 12.

1.2.8.1 Causas del Deslizamiento

Los factores favorables para la ocurrencia de este fenómeno, fueron según Galdos Bustamante (1975):

- a) El deslizamiento se habría originado por la sobresaturación y pérdida de la cubierta detrítica, como resultado de las fuertes infiltraciones provenientes de las aguas de lluvia, lagunas Minascocha, Yanacocha y del río Pumaraura.
- b) La fuerte erosión regresiva sobre el material pobremente cementado (estudio realizado por el Ing. Galdos en 1973), dando origen a quebradas profundas de laderas muy inestables.
- c) El proceso de los fenómenos geodinámicos se habría iniciado con un asentamiento-deslizamiento de la terraza ocupada por el pueblo de Mayunmarca, esto es entre los 3,000 y los 3,450 m.s.n.m.
- d) El contacto entre las areniscas del grupo Mitu y los esquistos sericíticos del grupo Excelsior estaría en los 3,450 m.s.n.m., sector ocupado por el antiguo frente de flujos de lodo.
- e) El desequilibrio producido por el deslizamiento de las terrazas de Mayunmarca generó en forma instantánea deslizamientos rotacionales en ambas laderas del valle y el desplazamiento de un gran volumen de flujo de lodo procedentes del sector medio entre las cotas de los 3,500 y 3,900 m.s.n.m.
- f) Subsecuentemente se habrían de producir numerosos derrumbes y deslizamientos tipo losa, procedentes de los cerros Cussuro y Vicuñayoc. El asentamiento-deslizamiento inicial se habría producido entre la cubierta del sustrato rocoso.
- g) Las fuertes precipitaciones pluviales de la región, producidas entre Octubre y Marzo, delimitando la resistencia de los materiales aluviales incoherentes y del sustrato sedimentario.
- h) La existencia de grietas y escarpas escalonadas inestables en el círculo de la zona de arranque, que comprometieron el sustrato compuesto de areniscas, conglomerados, arcillas, etc.
- i) El buzamiento a favor de la pendiente, o sea hacia el río Mantaro, del sustrato sedimentario.
- j) El fracturamiento intenso de las rocas de los grupos Mitu y Excelsior, a causa de una falla transversal al río Mantaro y a lo largo de la quebrada Ccochacay.
- k) Pendiente del terreno y potentes acumulaciones del material cuaternario en taludes de 45 a 60 grados.

- l) La existencia de niveles lutáceos y arenosos intercalados (grupo Mitu).
- m) Afloramientos de la napa freática.
- n) El aumento de peso por sobresaturación.
- o) Lubricación de planos potenciales de deslizamientos.
- p) La alteración y alterabilidad de las rocas.
- q) Movimiento regional y local: levantamiento andino, zona de falla.
- r) El régimen de aguas subterráneas: filtraciones, contenido de humedad y ataque químico de las rocas, presión de poros en las fracturas.
- s) Régimen de lluvias: escorrentía, erosión.

Asimismo se estima que existía en Mayunmarca la presencia de depósitos sedimentarios, suelos saturados y con evidencia de movimientos. Se destaca que el régimen de lluvias correspondiente a los meses de Enero, Febrero y Marzo facilitó el deslizamiento de una zona altamente disturbada, donde el agua se infiltró, humedeció, saturó y presionó las rocas en sus fracturas, llevando al colapso una masa de suelos y rocas que finalmente originó el aluvión que represó el río Mantaro.

1.2.8.2 Análisis de la Mecánica del Deslizamiento

Durante su viaje de inspección, Lee y Duncan (1975) escucharon varias teorías e hipótesis concernientes a la causa, naturaleza y mecanismo del deslizamiento. La posibilidad de que fuera causado por un sismo local ha sido descartada por Berrocal (1974); se ve que se requiere la existencia de un efecto sustancial de agua en el suelo. El exceso de agua y la presión en los poros no son inmediatamente obvios

Galdos Bustamante (1973) expresó que una significativa fuente de exceso de agua en los poros podría haber venido de los ríos y lagos de las montañas cercanas al deslizamiento. Otros pensaron que la precipitación y el drenaje local podrían haber proporcionado suficiente agua a los poros para causar el deslizamiento.

El deslizamiento ocurrió el 25 de Abril al final de la estación de lluvias, cuando el suelo acumuló gran cantidad de agua y la escorrentía local de los alrededores de la colina en el área de Ccochacay habría sido la más grande durante el año. El agua pluvial asociada con el conocimiento marginal de estabilidad como reportó Galdos Bustamante (1973), fue probablemente la causa suficiente para el deslizamiento.

En el estudio de los sismogramas registrados durante el deslizamiento (Berrocal 1974), se indicó que 3 etapas diferentes de movimiento estuvieron presentes, sugiriendo 3 etapas en el desarrollo del deslizamiento; en otras discusiones se sugirió que el deslizamiento total no fluyó como una simple masa, sino en 3 diferentes bloques.

De acuerdo a Taype (1976), el deslizamiento tiene la forma de un rectángulo irregular con una longitud aproximada de 6 Km., un ancho promedio de 1 Km. y un espesor aproximado de 100 a 150 metros. La superficie tiene una pendiente promedio de 30°. La mecánica del deslizamiento presenta las siguientes características:

- a) La zona de arranque comienza al pie del cerro Cussuro, en la cota 4200 m.s.n.m., donde existen una serie de grietas tensionales y escarpas con saltos de 12 a 15 m. de altura y con aberturas de 1.5 a 2.0 m., que se encuentran localizadas en forma de un semicírculo en el tope de la cuenca de recepción. Esta masa se desplazó pendiente abajo, fragmentándose en su trayecto los materiales rocosos, la cubierta detrítica y el sustrato sedimentario de la formación Mitu.
- b) En el sector del plano de deslizamiento se desplazaron todo tipo de materiales, arrastrando las masas rocosas de los flancos de la quebrada con un volumen aproximado de $1.6 \times 10^9 \text{ m}^3$, dejando a lo largo de los 6 Km. una superficie lisa y pulida con una serie de ondulaciones. Se estima en 140 Km/hora la velocidad con que se movilizó el material desde la zona de arranque hasta el cauce del río Mantaro.
- c) En el sector de acumulación, los materiales del deslizamiento colmaron el cauce del río Mantaro (2600 m.s.n.m.), formando montículos aislados y depresiones. Los materiales acumulados fueron mezclas de bloques de rocas de dimensiones considerables, bloques medianos de areniscas y gravas, limos, lodos y troncos de árboles, formando en su conjunto una masa conglomerádica de 4 Km. de longitud con un ancho de 1.5 Km. y una altura de 170 m.

El análisis de la mecánica del deslizamiento mostró que el deslizamiento en la quebrada Ccochacay fue mixto y del tipo transicional o progresivo y que tuvo dos fases:

- Desplazamiento del sustrato sedimentario que llegó hasta la quebrada Tinte, alcanzando una altura de 400 a 500 m. como se pudo observar en las huellas dejadas por el impulso del material; luego los materiales deslizados regresaron al lecho del río Mantaro para rellenar el cauce

- Desplazamiento de la cubierta superficial o material aluvial por efectos de sobresaturación, acumulándose mayormente en la margen derecha del río.

Tanto en la margen derecha como en la izquierda se distinguió una gran diferencia de los materiales en su colocación y distribución granulométrica. Actualmente existe sobrecarga de materiales en ambos flancos de la quebrada Ccochacay, observándose en el flanco derecho escarpas escalonadas con saltos de 12 a 15 metros de altura en estado inestable con proceso de desprendimiento; igualmente en el tope del deslizamiento se notaron agrietamientos y escarpas activas.

1.2.8.3 El Posible Mecanismo de Deslizamiento

El perfil longitudinal del deslizamiento consistió esencialmente de un talud inclinado hacia atrás (back slope) y hacia adelante (forward slope) de 25° y 10° respectivamente, sobre los cuales el escombros se dispersó a gran velocidad. Esta geometría cóncava bilineal, de gran significado en relación al movimiento de la masa, fue enfatizada por Hutchinson y Bhandari (1971).

Hutchinson y Kojan (1975) mencionaron que es claramente cierto que la falla inicial tiene la forma de un deslizamiento de roca a lo largo del plano de estratificación sobre el talud hacia atrás del anfiteatro de Ccochacay. Este deslizamiento tomó lugar oblicuamente a la línea del talweg principal de la quebrada de Ccochacay, como se graficó sobre el talud de 35°.

También mencionaron que el volumen de flujo de escombros se movió en estado seco. Entonces, ¿Cómo fue la naturaleza del fluido o fluidos que ocuparon los intersticios del material en movimiento?, los volcanes de arena y limo proporcionaron la evidencia de excesos de presiones de agua en los poros, pero estos rasgos se han encontrado únicamente en dos localidades cercanas al margen en la parte norte del pie del flujo, donde el agua involucrada podría haber sido derivada del río Mantaro.

En vista del considerable aumento de volumen en los poros del escombros que habría ocurrido cuando el deslizamiento de roca del talud retrocedió e impactó violentamente en la parte frontal del talud y la predominante apariencia seca del escombros, es más probable que la mayoría de sus vacíos habrían sido rellenados por aire o vapor, antes que por agua. A causa de las altas velocidades y la enorme energía del movimiento de escombros, es también de esperarse que fueron generadas altas temperaturas.

1.2.8.4 Embalse del Lago por el Deslizamiento

Hutchinson y Kojan (1975) muestran en la Fig.13 los datos sobre el ascenso del nivel del agua en el embalse cuando ocurrió el deslizamiento el 25 de Abril de 1974 y el desembalse el 8 de Junio del mismo año. El promedio de ascenso entre el 5 y 30 de Mayo fue de 2.2 m/día. Los deslizamientos de escombros tomaron lugar en las márgenes del río durante el llenado del lago; la mayor parte de la carretera entre Tablachaca y Huaccoto que sigue la margen izquierda del río ha sido destruida. Se observó previo al rebosamiento, niveles de oleaje entre 1.00 y 1.50 m. como resultado de deslizamientos ocurridos en las márgenes del río.

El volumen total de agua acumulada ha sido calculado por Defensa Civil en alrededor de $670 \times 10^6 \text{ m}^3$. El lago formado se extendió cerca a 30 Km. aguas arriba de la presa natural y distante de 1 a 2 Km. de la represa de Tablachaca.

1.2.8.5 Rebosamiento y Rompimiento de la Presa

El primer escurrimiento de agua sobre la cresta de la presa tuvo lugar en la mañana del 6 de Junio. No hubo evidencia de filtración o socavación a través de la presa. La descarga aumentó ligeramente el 7 de Junio, pero el principal rebosamiento y la consecuente rotura tuvo lugar el día 8 de Junio, 44 días después que el río Mantaro fue bloqueado.

Hutchinson y Kojan (1975) establecieron que la situación general indicada probablemente era correcta, pero su detalle sería visto con cautela, como estima la descarga pico. El 8 de Junio a la 1.00 pm. alcanzó la máxima descarga, el máximo nivel alcanzado por el almacenamiento de agua es marcado claramente en el talud sobre el lado derecho de la parte alta; la profundidad del cañón fue erosionado, ocasionando el correspondiente descenso del nivel del lago. La observación, aguas abajo de la presa, de la naturaleza uniforme de los lados del cañón, indica que el material en esta localidad es homogéneo.

También estimaron que el corte en la garganta parece haber sido afectado principalmente por la erosión sobre el talud aguas abajo de la presa; proceso retrogresivo desde el pie hasta la cresta. Este proceso no únicamente creó el cañón por la parte superior de la presa natural sino también resultó en la deposición de un grueso depósito de material aluvional fuera del cauce aguas abajo.

Lee y Duncan (1975) presentaron un mapa describiendo los tipos de daños causados en varias localidades, ver Fig. 14.

1.2.8.6 Descenso del Lago

Según Hutchinson y Kojan (1975), la velocidad de descenso de la laguna luego del rebosamiento y la subsecuente rotura, se muestra en la Fig.13. La máxima velocidad de descenso se alcanzó entre el 8 y 9 de Junio, con una velocidad aproximada de 40 m/día. Además, los deslizamientos alrededor del perímetro de la laguna ocurrieron durante el descenso. Se evacuaron aproximadamente 2,500 personas que vivían en las márgenes del lago, en una extensión de 3 Km., por Defensa Civil como precaución contra el peligro de fallas frescas o reactivaciones de antiguos deslizamientos.

1.2.8.7 Efectos Aguas Abajo

Hutchinson y Kojan (1975) anotaron que los eventos aguas abajo de la presa natural siguiendo a la rotura fueron escasos. Los habitantes del Valle del Mantaro fueron evacuados de áreas menores de 200 m. en altura vertical encima del río, y no hubo pérdidas de vida durante su paso. Muchos suelos agrícolas, hogares, carreteras de longitud considerable y algunos puentes fueron destruidos. Grandes volúmenes de material aluvional se depositaron en el cauce del río Mantaro, hacia aguas abajo de la presa y por muchos kilómetros. Esto llevó al desarrollo de amplios canales en forma de trenzas; la erosión llevó a muchos deslizamientos usualmente de pequeño a moderado tamaño. Las alturas de inundación se presentan en la Tabla 5. Se estimó que la velocidad inicial de crecida varió entre 15 y 30 Km/hora.

Tabla 5

Alturas estimadas, Hutchinson y Kojan (1975)

Distancia aproximada	Lugar	Altura	Fuente
Aguas abajo de la presa (Km)		estimada	
15	Esmeralda	35	Defensa Civil
45	Mayoc	10-12	Defensa Civil
100	Central Hidroeléctrica del Mantaro.	20	Binnie y Partners

1.2.8.8 Volcanes de Limo-Arena

Hutchinson y Kojan (1975) comentaron que pequeños e inactivos volcanes de arena se observaron el 16 de Junio sobre la superficie entre el lomo y hacia el norte del acantilado en la abertura de la quebrada Tinte, más no el cuerpo principal del flujo de escombros.

Se contaron 35 volcanes dentro de un área de 20 m. de largo por 1 a 4 m. de ancho situados a 10 y 30 m. de la base del acantilado. Sus cráteres centrales variaron entre 5 y 50 cm. de diámetro y generalmente ocuparon los centros de los montículos cónicos de arena fina limosa de 0.2 a 1.0 m. de radio y con talud de los lados de 12° a 13°. Estos volcanes se localizaron a 2,665 m.s.n.m., que está 40 m. más alto que el nivel del lago embalsado. Esto indica la fuga de agua bajo presión artesiana. Estos pueden haber tenido lugar en la parte alta de la quebrada Ccochacay en el curso de la transformación del deslizamiento de roca en flujo de escombros o por el agua del río atrapada por el flujo de escombros. Los excesos de presiones podrían haberse derivado totalmente o en parte de la carga no drenada producida por el retroceso del escombros. Muchas áreas grandes de volcanes inactivos de limo o barro se observaron entre el 18 y 20 de Junio en áreas planas expuestas sobre el lado aguas arriba de la presa y en el lado sur-este del río Mantaro. Estos volcanes fueron ligeramente más grandes que aquellos descritos anteriormente.

1.2.8.9 Litología del Material de Deslizamiento en el Cauce del río Mantaro.

Taype (1976) estimó que la masa acumulada en la margen izquierda proveniente de la primera etapa del deslizamiento era la más elevada y estaba compuesta por material incoherente de color rojizo a morado. El material deslizado en la margen derecha del río Mantaro se depositó por encima del material anterior en la segunda etapa del deslizamiento. En general, se puede decir que todo el material en conjunto formó una masa conglomerádica de granulometría heterogénea semi compacta de apariencia impermeable; en ella se apreció el siguiente porcentaje en forma global:

-Bloques de roca (areniscas) de diámetro 2 a 3 m.	20%
-Bloques de roca (areniscas) de diámetro 0.50 a 1.0 m.	10%
-Gravas o Clastos de diámetro 0.10 a 0.50 m.	30%

-Arenas, lodolitas y arcillas	40%
	100%

1.2.8.10 Estudio del Modelo Hidráulico

Los estudios fueron realizados en el Laboratorio Nacional de Hidráulica de la Universidad Nacional de Ingeniería en Lima, bajo el patrocinio del Ministerio de Agricultura. Los resultados fueron presentados en dos reportes (Humala y otros, Mayo de 1974 y Ministerio de Agricultura, 3 de Junio de 1974). Ambos fueron publicados antes que rebosara la presa el 8 de Junio.

El equipo de inspección enviado al lugar perforó 4 pozos a lo largo de la parte más baja del canal de escurrimiento hasta una profundidad máxima de 4 m. y algunas muestras de suelo fueron recuperadas. El análisis del tamaño de los granos de estas muestras y las medidas de las rocas grandes se muestran en la Fig.15. El tamaño máximo de estos bloques es de 1 m. pero los reportes anteriores mencionados citaron que las rocas exceden los 3 m. de diámetro.

Según Lee y Duncan (1975), el modelo fue construido de arena disponible en el laboratorio. Cuatro tipos diferentes de arena fueron usados para varios ensayos. La distribución del tamaño de los granos se muestra en la Fig. 15.

El primer modelo de ensayo fue concerniente al estudio de la naturaleza y relación de erosión del escombros cuando rebosó. Estos ensayos se realizaron en modelos no distorsionados a escalas de 1:500, que fueron completados y reportados el 23 de Mayo de 1974, y 1:250 el 3 de Junio de 1974 respectivamente. Los resultados de ambos ensayos fueron similares. Se realizó un tercer modelo de ensayo usando una escala distorsionada 1:5000 horizontal y 1:250 vertical para estudiar la naturaleza de la inundación aguas abajo de la presa.

Un resumen de los resultados del modelo no distorsionado 1:250 para estudiar el flujo de erosión a través de la presa se presenta en la Tabla 6.

Tabla 6

Predicción del modelo hidráulico y observaciones actuales para descarga del reservorio.

Modelo Hidráulico	E n s a y o N°				Observación actual
	1	2	3	4	
- Profundidad de erosión en el escombros de la presa (m).	110	103	96	105	107
- Volumen de material erosionado ($106m^3$)	640	630	610	630	400
- Tiempo para el vaciado del lago (Hr)	12	20	28	29	12
- Flujo máximo de descarga durante 15 minutos pico (m^3/seg)	23,000	18,000	18,000	12,000	10,000
- Promedio de flujo de descarga (m^3/seg)	14,000	9,000	6,000	6,000	-----

Nótese que la profundidad de erosión y volumen de escombros erosionado fue aproximadamente predicho, así como el orden de magnitud de la relación de máxima descarga y el tiempo requerido.

1.2.8.11 Aspectos Sismológicos

El sismógrafo de la región registró fuertes vibraciones en el momento del deslizamiento, debido a que el área es sísmicamente activa; existe una cuestión inmediata si el deslizamiento fue accionado por un sismo. El Instituto Geofísico encargó esta tarea y otros aspectos sismológicos a Berrocal (1974).

El registro de la sismicidad del área dentro de un radio de 100 a 150 km. del deslizamiento se muestra en la Fig. 16; este mapa muestra las localidades de todos los sismos registrados de magnitud mayor que 4 en el período de 1911 a Mayo de 1974. Berrocal consideró que la actividad de la región fue relativamente baja. Únicamente un sismo en esta zona durante este período de 63 años tuvo una magnitud de aproximadamente 6.0. Uno de los dos sismos localizados más cercanos al deslizamiento ocurrió el 14 de Marzo de 1974, seis semanas antes del deslizamiento y tuvo una magnitud de 4.3; es posible que este sismo haya podido haber aflojado el suelo, contribuyendo al deslizamiento. Berrocal (1974) sugiere que es altamente remoto e improbable. La profundidad focal de este sismo fue del orden de 100 km., de modo que la superficie sacudida sería muy pequeña. El deslizamiento fue de gran tamaño, y la onda sísmica producida se registró en al menos 4 estaciones sismológicas en los Andes, ver la Tabla 7.

Tabla 7

Registro de las estaciones de sismógrafos de la onda de tierra producida por el deslizamiento sobre el río Mantaro el 25 de Abril de 1974.

Estación	Abreviación	Distancia desde el deslizamiento (km)
Huancayo	HUA	82
Naña	NNA	240
Arequipa	ARE	580
Las Penas	PNS	889

En la Fig. 17 se muestra una copia del movimiento vertical registrado en Huancayo, a 82 km. de distancia. Este registro fue hecho sobre el período de instrumento de 1 segundo que pasa considerablemente a movimiento de alta frecuencia. Nótese que la duración total del sacudimiento fue del orden de 3 minutos.

Lee y Duncan (1975) mencionaron que el sacudimiento del suelo del deslizamiento principal fue diferente al de un sismo tectónico; la fórmula usual para el cálculo de la magnitud del registro sísmico no se aplicaría necesariamente. Sin embargo, el uso de las

fórmulas con factores de corrección basados en varias suposiciones llevaron a un estimado equivalente de una magnitud entre 3.7 y 4.7. El registro sismográfico jugó un papel importante en la opinión concerniente al mecanismo del deslizamiento, así como la distancia de desplazamiento de la masa (cerca de 7 km.) y el tiempo de sacudimiento (cerca de 3 minutos); se calculó una velocidad promedio de 140 km/hora.

Una descripción del mecanismo del deslizamiento fue adelantado por Berrocal (1974) en base a los registros sismográficos, distinguiendo 3 etapas, que fueron atribuidas a diferentes aspectos del deslizamiento, éstas son:

- Etapas 1.-** Un completo y limpio periodo de 20 a 24 segundos. Fue sugerido que éstos correspondieron a la rotura principal cuando una gran porción del material se liberó del suelo y comenzó a deslizarse, de este modo desprendiéndose considerable energía elástica como la masa liberada del suelo subyacente.
- Etapas 2.-** Un tren de amplitud irregular de ondas de periodo corto. Se sugirió que estas ondas correspondían a la masa de material deslizándose hacia la parte baja y golpeando el fondo del río y llegando hasta la quebrada Tinte.
- Etapas 3.-** Pequeñas amplitudes de periodos cortos de ondas (2 segundos) superpuestas sobre periodos más grandes de ondas. Se sugirió que esta etapa final comprende a deslizamientos secundarios de material de los lados de la escarpa y grandes bloques de roca deslizándose o rodando hacia abajo de la parte superior de la escarpa.

1.3 EL SISMO DEL 31 DE MAYO DE 1970

1.3.1 Ubicación del Area Afectada

De acuerdo a Deza y otros (1984), el sismo se ubica en la región central del Perú, al norte de Lima. Dentro de este territorio, la cordillera occidental de los Andes se divide en dos ramales paralelos al eje longitudinal andino; estos ramales son conocidos como Cordillera Negra (rama occidental) y Cordillera Blanca (rama oriental), ambos forman el valle del río Santa, conocido también como Callejón de Huaylas, ver Fig. 18.

1.3.2 Historia Sismica

Silgado (1978) hizo reseña de los terremotos que han ocurrido en la zona de influencia sísmica:

19 de Febrero de 1619.

El sismo se sintió a lo largo de 200 kms. de la costa y 300 kms. hacia el interior, originó destrucción en la ciudad de Trujillo y probables daños en el Callejón de Huaylas y Chimbote. Los sismos posteriores que causaron daños mayormente en Trujillo ocurrieron el 10 de Febrero de 1635 y el 14 de Febrero de 1658.

6 de Enero de 1725.

Originó daños en Trujillo. En la Cordillera Blanca se originó la rotura de una laguna glaciar, al desbordarse ésta, arrasó un pueblo cercano a Yungay.

2 de Setiembre de 1759.

Algunos daños de edificios en Trujillo y de las localidades de la serranía; no se tiene mayores datos.

21 de Junio de 1937.

Daños leves en Trujillo, Lambayeque y Salaverry, así como en Cajamarca y Cutervo, con intensidad de VI MM, Chimbote y Casma V y Callejón de Huaylas IV en la escala Mercalli Modificada.

24 de Mayo de 1940.

Fue destructivo para Lima, cuya intensidad para esta área fue de VIII, Chimbote y Huaraz VI en la escala Mercalli Modificada; en el Callejón de Huaylas se produjeron derrumbes y deslizamientos.

10 de Enero de 1946.

Ocurrió un sismo que afectó Pallasca y Pomabamba, 100 kms. al norte de Huaraz con magnitud 7 Ms. El sismo estuvo asociado a un movimiento de fallamiento normal con un desplazamiento vertical máximo de 3.50 m. En áreas próximas al epicentro se produjeron derrumbes y deslizamientos.

14 de Febrero de 1948.

Fue la réplica de mayor energía del sismo anterior y produjo daños en las áreas próximas, sin haber afectado la región del Callejón de Huaylas y Huaraz mismo.

18 de Febrero de 1956.

Fue destructor en el Callejón de Huaylas. En Carhuaz el sismo originó daños en las viviendas. Podría estar conectado al sismo de fallamiento activo del flanco oriental de la Cordillera Blanca.

3 de Julio de 1961.

Originó daños leves en Chimbote con magnitud VII MM y gran alarma en Huaraz.

18 de Abril de 1962.

Causó leves daños en las construcciones de adobe de Casma y Huaraz, aparte de los deslizamientos de relaves de Quiruvilca.

24 de Setiembre de 1963.

Ocurrió un sismo destructor en algunos pueblos de la Cordillera Negra, sufrieron averías las construcciones de adobe; los regadíos, canales y caminos fueron afectados por deslizamientos y derrumbes. El epicentro fue ubicado en el mar a 80 Km. de Huarmey, cuya magnitud fue de 7 Ms.

1.3.3 El Sismo y sus Réplicas

De acuerdo a Lomnitz (1970), un terremoto de magnitud 7.75 en la escala de Richter se produjo a las 20:23:27 GMT (3.23 p.m. hora local) el día 31 de Mayo de 1970,

frente a la costa del norte del Perú. El epicentro determinado por el Centro Regional de Sismología para América del Sur en Lima, permitió determinar el siguiente epicentro corregido, como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8

Los parámetros epicentrales del terremoto del Valle del Santa, Perú del 31 de Mayo de 1970.

Hora Local	:	3.23 p.m.
Latitud	:	9.18° S
Longitud	:	78.83° O
Profundidad del Foco	:	52 Kms.
Magnitud Ms	:	7.8
Magnitud Mb	:	6.6
Epicentro	:	25 Kms. al oeste del puerto de Chimbote.

La estimación fue obtenida en base a registros sísmicos de 20 estaciones sudamericanas, incluyendo 4 estaciones peruanas (Ñaña, Huancayo, Arequipa e Ica), además de un número seleccionado de estaciones de Norteamérica.

Ericksen y otros (1970) describieron que de acuerdo a las explicaciones de los testigos, el terremoto comenzó sin previos indicios, como un suave balance que finalizó en pocos segundos y fue seguido por un fuerte movimiento de una duración entre 30 a 90 segundos (el mejor cálculo parece ser de alrededor de 45 segundos). No existía un acelerógrafo en el área afectada en el momento de la sacudida principal pero varios instrumentos portátiles que fueron instalados luego, registraron algunas de las réplicas. Muchos testigos describieron los movimientos del terremoto, como un movimiento pronunciado de lado a lado, que hizo difícil caminar o correr, pero no lo suficientemente fuerte como para arrojar a la gente al suelo. En muchos lugares visitados las estructuras de adobe comenzaron a derrumbarse después de solo 15 segundos de la fuerte sacudida.

1.3.4 Intensidad

De acuerdo a Berg y Husid (1970), la intensidad del terremoto en la escala de Mercalli Modificada no es precisa y es algo subjetiva, luego el observador puede proporcionar diferentes resultados de los efectos según él. Intentando evaluar la intensidad en base a los efectos promedios en las localidades y tomando en cuenta la calidad de la construcción se determinaron las intensidades en la escala de Mercalli Modificada para las siguientes ciudades, ver Fig. 19.

Casma	VIII
Chimbote	VIII
Huaraz	VII +
Huallanca	VI
Huarmey	VII
Trujillo	VII -

Según Giesecke y Deza (1970), las intensidades originadas por el sismo fueron delimitadas en forma muy preliminar, en la Fig. 19. Esta ha sido elaborada por las observaciones llevadas a cabo en las áreas afectadas y por la evaluación de informes verbales correspondientes a lugares no visitados. Las líneas delimitan áreas dentro de las cuales hubo una determinada intensidad indicada a cada caso. En ningún lugar se sobrepasó el grado VIII de la Escala de Mercalli (escala de XII grados). Alrededor de 85 mil Km² fueron afectados por el sismo. La magnitud calculada usando amplitudes de las ondas superficiales es de 7.5 grados en la escala de Richter. Esta magnitud del desastre, que no tiene precedentes, según la vida de más de 50 mil personas. Pero en realidad nunca se sabrá la cifra con precisión.

Ericksen y otros (1971), observaron que no existe una obvia correlación entre la intensidad de los daños estructurales y los materiales de cimentación en muchas áreas donde la falla de la cimentación no ocurrió. En los pueblos se apreció que casas de adobe han colapsado, las casas siguientes de edad similar y construcción fueron moderadamente dañadas o no dañadas. La razón de esta variación no es muy clara, pero la sutil diferencia en composición y/o contenido de agua en el material de cimentación podría ser un factor importante, también la clara diferencia en construcción y la propagación de la onda sísmica pueden ser igualmente importantes.

1.3.5 Origen de la Avalancha

Ghiglini (1971) a este tipo de fenómeno lo llamó alud-aluvión, ya que la fuente que lo produce es el desprendimiento de hielo que al recorrer incorpora morrenas y materiales diversos, formando una masa bastante densa, la que por el alto contenido de hielo

se desplaza a grandes velocidades. Conforme se va licuando el hielo en su recorrido, la velocidad va disminuyendo y la densidad de la masa también decrece.

El alud-aluvión de Yungay y Ranrahirca fue motivado por el sismo del 31 de Mayo, el que por su intensidad originó el desprendimiento de grandes masas de rocas a lo largo del pico N-O del Huascarán, rocas que al desprenderse arrastraron consigo el hielo que tenían encima, así como el de la cornisa, en una extensión aproximada de 1,500 m. Esta masa de roca y hielo al caer verticalmente más de 800 m. de altura, arrastró parte del hielo de la falda del Huascarán que al salir por la pendiente rocosa incorporó en su masa todas las morrenas frontales y laterales que aún quedaban en la zona.

De acuerdo a Lornitz (1970), el andinista japonés K. Takahasi, quien se encontraba acampando frente a la cumbre norte del Huascarán (elevación 6654 m), fue testigo del comienzo de la avalancha. De acuerdo con este testigo presencial, se desprendió un borde de hielo de dimensiones 20x30x50 m. de la orilla superior de un precipicio que se encuentra a unos 700 m. al poniente de la cumbre. Esta capa de hielo cayó libremente unos 1,000 m. precipitándose por sobre el glaciar 511, iniciándose así la avalancha. Cluff (1971) lo esbozó como avalancha según las Figs. 20 y 21.

1.3.6 Recorrido de la Avalancha

De acuerdo a Ghiglini (1971), parte del alud siguió el mismo recorrido del alud del 10 de Enero de 1962 y el resto continuó hasta la quebrada de Encayoc, incorporando a su paso los materiales depositados en épocas antiguas en las terrazas anteriores a los ventisqueros.

Por esta quebrada siguió su recorrido en línea recta hacia Huaracanca, que está al pie del cerro Aira. Debido a la velocidad y a la gran masa del alud, este cerro que tiene una altura de 200 m., fue rebasado en una extensión de 600 m., cayendo la masa alud-aluviónica sobre el caserío de Huashao, donde arrastró casas y materiales, erosionando profundamente las tierras de cultivo y luego continuó su recorrido devastador sobre Yungay, ciudad con más de 18,000 habitantes, la cual quedó totalmente sepultada por el alud-aluvión. Solo una pequeña parte de este alud llegó al río Santa y el resto se quedó en la planicie de Yungay.

Lliboutry (1970) anotó que de las palmeras de 12 a 13 m. de altura ubicadas en la plaza de Armas de Yungay, ahora sólo queda de 8 a 10 m. El espesor del aluvión es pues allí de 3 a 4 m. Siendo el área cubierta de unos 16 Km², se estima al volumen de sedimentos depositado en unos 50 millones de m³.

Según Ghiglini (1971), el alud que no pasó el cerro Aira, continuó por la quebrada de Ranrahirca como una bola gigantesca, la que al ingresar a la zona Ranrahirca se abrió en abanico, destruyendo a su paso el resto del caserío Huarascucho y de Ranrahirca,

que quedaron como testigos del aluvión de 1962, y luego llegó al río Santa cubriendo una extensión de 3 Km. de ancho.

Por la velocidad con que bajó este alud-aluvión, al llegar al río Santa rebasó la margen izquierda hasta llegar al pueblo de Matacoto que está a más de 50 m. sobre el nivel del río, destruyendo parte de la población.

La punta sur del alud cerró el cauce del río Santa, represándolo momentáneamente, por lo que el agua al almacenarse llegó hasta el pie de Mancos. Dado que el gasto del río Santa en ese momento era de aproximadamente $70 \text{ m}^3/\text{hora}$, no se cree que este represamiento haya durado más de media hora. El resto del aluvión (desde este punto se considera únicamente como aluvión) siguió su recorrido por el río Santa destruyendo toda la campiña de Caraz, inclusive el aeropuerto de San Miguel, y dejando a su paso sobre las terrazas los escombros rocosos que llevaba en suspensión.

1.3.7 El Sismo y la Avalancha

Casaverde (1970) reportó que llegó a Yungay procedente de Huaraz el 31 de Mayo a las 14:30. Día Domingo, la Plaza de Armas estaba tranquila, sin mucha gente. Aparentemente la mayoría de sus habitantes se encontraban descansando o esperando la transmisión radial del partido de fútbol entre Rusia y México en el Campeonato Mundial de México'70. Estuvo acompañado de G. Patzelt, pasearon algunos minutos en la Plaza y el Mercado que estaba por cerrar sus puertas; era cerca de las 15:10 hrs. cuando bajaron al cementerio. Patzelt tomó algunas fotografías del cementerio y Casaverde tomó 2 fotografías del Huascarán parcialmente nublado, en cuyo visor se pudo apreciar con claridad grietas horizontales en la parte baja y visible del Huascarán Norte. Comentó extrañamente con Patzelt que el Huascarán constituía un serio peligro y que en cualquier momento se podía venir abajo. El pronóstico se cumplió a los pocos minutos, cuando retornaba hacia Huaraz. La camioneta que le servía de transporte saltaba verticalmente con tal fuerza que era difícil su control y observó desde el carro como se desplomaban las casas de adobe y un puente próximo a la carretera. Se apreció con mayor claridad la componente vertical de las ondas sísmicas siendo aparentemente más intensa que la horizontal. Se observó como se producían ligeras grietas sobre el asfalto de la carretera y simultáneamente deslizamientos de tierra de pequeña magnitud en la Cordillera Negra. En otras partes del Callejón informaron que se habían registrado deslizamientos mayores.

Abandonó el vehículo cuando el terremoto estaba terminando. Escuchó un ruido que procedía de la dirección del Huascarán y observó entre Yungay y el nevado una nube gigante de polvo, color casi arcilla. Se había producido el alud; parte del Huascarán Norte se vino abajo. Eran aproximadamente las 15:24 hrs.

En la vecindad lo único que ofrecía seguridad era el cementerio, construido sobre una colina artificial, una "Huaca" incaica de forma circular con 5 terrazas. Un Cristo de cemento blanco, de unos 6 a 8 m. de altura, se yergue imponente sobre la colina con los

brazos abiertos hacia el Huascarán. Corrió 100 m. de carretera antes de ingresar al cementerio que también sufrió daños. A la entrada atinó a voltear la vista hacia Yungay y en ese momento pudo observar claramente una ola gigante de lodo color gris claro, de unos 60 m. de alto, que bajó cubriendo todo y con ligera inclinación iba a golpear el costado izquierdo de la ciudad. Esta ola no tuvo polvo.

En la carrera sobre las escalinatas de entrada a las terrazas derruidas, logró alcanzar la segunda terraza y encontró la vía a la tercera más obstruida y con un hombre, una mujer y tres niños tratando de alcanzarlo, desvió a la derecha sobre la misma segunda terraza cuando como un golpe seco de látigo, una porción de la avalancha alcanzó el cementerio en su parte frontal, prácticamente al nivel de la segunda terraza. El lodo pasó a unos 5 m. de sus pies. Se oscureció el cielo por la gran cantidad de polvo posiblemente originado por las casas destruidas de Yungay. Volteó la mirada; Yungay con sus 20,000 habitantes había desaparecido en pocos segundos. Un silencio paradójicamente sepulcral siguió aquel ruido decreciente que indicaba que la avalancha seguía su camino bajando por el río Santa y el mayor volumen de la avalancha proseguía seguramente a menos velocidad por Ranrahirca. Habían pocas rocas, todo era lodo gris y hielo, un lodo viscoso que sobre la ladera de Yungay se quedó totalmente estático, ofreciendo un cuadro dantesco. A las 16:30 hrs. se pudo observar solamente la silueta del sol por la fuerte polvoreda que cubrió el Callejón, reduciendo intensamente la visibilidad. En el cementerio lograron salvarse 92 personas, la mayoría adolescentes, que se refugiaron allí hasta el día siguiente en la mañana. Durante la noche se sintió unas 25 réplicas de las cuales por lo menos 3, las más fuertes, estuvieron acompañadas por ligeras avalanchas por Ranrahirca indicadas por el ruido típico que producían.

De la ciudad de Yungay escaparon con vida 350 personas en su mayoría adolescentes y niños. Los niños habían asistido al circo Berolina instalado en las afueras de Yungay, en el campo de fútbol.

1.3.8 Avalancha de Escombros del Huascarán en el Área de Yungay y Ranrahirca.

Ericksen y otros (1970) comentaron del suceso lo siguiente: el aspecto más destructivo y geológicamente más fascinante del terremoto fue el alud de hielo y roca que cayó desde el pico norte del Nevado Huascarán. La mayor parte de la avalancha y los escombros parecen originados por un desprendimiento de rocas y hielo de aproximadamente 800 m. de ancho desde la pared oeste del pico, a una altitud entre los 5,500 m.s.n.m., ver la Fig. 21.

Nuestras observaciones acerca de la configuración del área donde se originó la avalancha, indican que la masa incluyó probablemente un volumen de hielo y roca que se estima en más de 23 millones de metros cúbicos. La cantidad de roca fue probablemente mucho más grande que la de hielo.

Conforme la avalancha se movió hacia abajo del costado del Huascarán hacia el valle de Llanganuco, adoptó un aspecto de barro altamente fluido, debido al derretimiento de su parte de hielo (como resultado de la fricción y la energía producida por la masa en rápido descenso) y agua que saturó la masa pastosa que bajó. Poco después del primer remezón del terremoto, una masa enorme de roca, hielo y barro se había desplazado 14 Km. del Huascarán hacia el río Santa. La avalancha represó el río Santa temporalmente, de modo que éste retrocedió a 2 Km. aguas arriba, llegando hasta las pendientes bajas de la Cordillera Negra.

Un área de más de 15 Km² fue destruida de inmediato. Yungay fue barrida por una lengua relativamente pequeña de barro y roca de un espesor de varios metros que rebotó en un cerro de 200 m. de altura que se erigía entre Yungay y el flanco mayor de la avalancha que siguió hacia el río Santa. Solo las puntas de algunas palmeras en la plaza de Armas y parte de la Iglesia que ahora sobresale encima del barro, marcan el lugar de esta pintoresca ciudad. La parte principal de los restos de la avalancha que fue canalizada a lo largo del valle del río Llanganuco enterró la mayor parte de Ranrahirca, como muchas otras aldeas pequeñas a lo largo de los fértiles valles del río Llanganuco y el río Santa. Un cálculo de 1,800 personas muertas en Ranrahirca y un desconocido pero muy probable número adicional de muertes ocurrieron en una extensa área cubierta por acarreos.

De acuerdo a los testigos, la avalancha de escombros fue provocada durante el terremoto. Esta se desprendió en bajada a alta velocidad con un ruido ensordecedor y estaba en todas partes acompañada o precedida por un fuerte y turbulento vendaval. Según relato de los sobrevivientes, la avalancha recorrió 16 Km. de distancia desde su origen hasta las cercanías del cementerio en Yungay, en 2 a 4 minutos, a un promedio de velocidad entre 217 y 435 Km. por hora.

Una velocidad del orden de 400 Km/hora es indicada cerca de la parte media del recorrido por las trayectorias de miles de peñones, muchos con un peso de más de 3 toneladas, algunos lanzados más de 700 m. a través del valle de Llanganuco. Esta mortal lluvia de rocas mató e hirió a mucha gente y fue extremadamente destructiva en las construcciones, vegetaciones y ganado.

La excepcional altísima velocidad y gran volumen de la avalancha le permitió pasar por encima de grandes obstáculos topográficos, incluyendo la colina entre Yungay y Llanganuco. Su impulso en el río Santa alcanzó 10 Km. desde su origen, llevándola a través del río tanto como 50 mt. verticalmente y varios cientos de metros horizontalmente hasta la orilla opuesta, donde destruyó parte de un pequeño pueblo. La velocidad de la avalancha fue debido a la combinación de la pendiente empinada (como 70 grados) en el origen del área y al gran relieve vertical (3700 m.) a lo largo de su trayectoria de 16 Km. al río Santa.

En la parte superior media de su curso la pendiente vertical es de casi 3,000 m. a un promedio de inclinación de 23 grados; en la parte baja la caída es de sólo 700 m. y un promedio de inclinación de 5 grados.

La resistencia friccional a los deslizamientos de la masa puede haber sido notablemente reducida (coeficiente de fricción 0.22) por la mezcla de nieve, hielo y particularmente por la captura de aire debajo de la masa. Cojines de aire que flotaban cerca del origen son el factor por el cual la avalancha aparentemente se movió a través de colinas de material no consolidado morrénico sin desborotarlo.

Muchos de los daños causados por esta avalancha fueron en las partes cultivadas y pobladas del curso debajo de los 2,600 m. de altitud. Aquí el esparcimiento de los escombros atravesó un área de bajo relieve en 3 ramales en un área de cerca de 9 Km². La máxima amplitud a través de esta área, cerca del río Santa, es de 4.3 Km.

Estos ramales enterraron Yungay, la mayor parte de Ranrahirca y varias pequeñas comunidades. También destruyeron 3.3 Km. de la carretera principal del valle del Santa y cerca de igual cantidad de líneas de transmisión primaria eléctrica de la planta Hidroeléctrica de Huallanca.

El espesor del depósito de escombros, como fue medido en ciertos lugares a lo largo de sus márgenes y canales de corriente cortados, variaba de pocos centímetros a 10 m., y un cálculo conservador de un término medio de 3 m. El espesor es de cerca de 5 m. en la ubicación de la plaza de Yungay, como se ha calculado comparando las alturas de las 4 palmeras que se extienden encima de la superficie de los escombros con la altura total de las palmeras del mismo lugar que fueron arrastradas por la corriente. Considerando un promedio de 3 m., el volumen de los escombros sólo en los ramales es del orden de 27 millones de m³. Un adicional de 5 a 10 millones de m³ de escombros (principalmente pedrones) fueron depositados en la parte superior de la avalancha en un área de cerca de 10 Km² y aún un mayor volumen de escombros ha sido arrastrado hacia el río Santa. Así, el volumen total del material sólido movido por la avalancha puede fácilmente ser del orden de 50 millones de m³.

El material depositado por el aluvión es principalmente barro y rocas. Cerca del término, el agua contenida en la masa fue incrementada por la fundición de hielo y nieve incorporados y por el desbordamiento de la corriente. Este particularmente se presenta como un flujo de acarreo viscoso, consistente de barro y piedra. El barro es un depósito gris que contiene en la parte cónica roca salitrosa glacial derivada de los depósitos morrénicos a lo largo de la montaña. Este es suave cuando está húmedo y muy duro con profundas rajaduras resecaadas cuando está seco.

Los escombros de la avalancha probablemente se movieron como una onda de vibración a alta velocidad que recogía y movía incluso las rocas grandes que se encontraban en su camino, mientras dejaba otras a su paso. Tal mecanismo podría ser compatible con los relatos de los testigos, como una pared de escombros tan alta como un edificio de 10 pisos con pronunciados ventarrales que acompañaron la avalancha y con la gran disparidad entre la altura de la roca recubierta de barro y otros objetos en el paso de la avalancha y con la relativa capa delgada de barro sobre el área atravesada por la avalancha. Además, una masa de agua fangosa se ha visto pasar debajo del río Santa al mar.

1.3.9 Gasto Sólido de Material

Según Ghiglini (1971), en los sedimentos dejados tanto en Yungay como en Ranrahirca (observación hecha 3 días después del aluvión) se distinguen dos aspectos:

Primero: Durante los primeros días se vió que las superficies eran más o menos uniformes y no se notaba gran acumulación de roca como se ve ahora; ésto debido a que la masa estaba aún cargada de hielo que al licuarse ha dejado aflorar todas las rocas. El porcentaje de sólidos en el sector de Ranrahirca al pasar el alud-aluvión ha sido del orden del 75%, motivo por el que la sedimentación ha sido elevada, habiéndose acumulado la cantidad de $19'000,000 \text{ m}^3$ de materiales (roca, grava, arena y poca cantidad de tierra).

Segundo: Se ha calculado que por encima del cerro Aira han pasado aproximadamente 6 millones de m^3 de material al que se ha sumado 3 millones de materiales erosionados de Huashao, dando como resultado una masa muy compacta como se ha podido apreciar en las proximidades del Estadio de Yungay y en la parte baja de la campiña, donde el alud ha terminado con alturas variables de 1 a 1.5 m. y cuyos extremos terminaban bruscamente en una superficie convexa casi vertical.

Del alud que pasó por Yungay sólo una pequeña parte llegó al río Santa por el lado sur del cementerio y una faja angosta por el lado norte. El resto del material se quedó sobre Yungay habiendo alcanzado alturas variables de 1 a 5 m. de espesor; de aquí que se ha calculado que el volumen del sedimento depositado sobre Yungay es de $7'000,000 \text{ m}^3$.

1.3.10 Volumen y Características del Material

De acuerdo a Ghiglini (1971), calcular los volúmenes de hielo y roca desprendidos del Huascarán es muy relativo, por carecer de los planos y mediciones que se hubieran podido obtener después del alud. Sin embargo, en el plano al 25,000 del SAN (Servicio Aerofotográfico Nacional) se ha podido determinar en forma aproximada los volúmenes desprendidos del Huascarán, los que dan:

Del pico Norte del Huascarán	:	Roca	5 millones de m^3
		Hielo	9 millones de m^3
De la falda del Huascarán	:	Hielo	6 millones de m^3

Morrenas y escombros de
las laderas : 30 millones de m³

Tierra del cerro de
Aira y Huashao : 3 millones de m³

De aquí que el volumen total al pasar por Yungay y Ranrahirca haya sido de 53 millones de m³.

Comparando este volumen con el del alud-aluvión del 10 de Enero de 1962, se vé que la magnitud de éste último ha sido cinco veces más grande que el del anterior.

1.3.11 El Represamiento en la Quebrada de Llanganuco

Una gran cantidad de hielo procedente del glaciar 515 al Noroeste del Pico Norte del Huascarán cayó entre las dos lagunas de Llanganuco, sepultando a 15 andinistas (14 Checoslovacos y 1 Chileno) que acampaban allí.

De acuerdo a Lliboutry (1970), el glaciar se extiende entre 4,700 m.y 5,800 m. de altitud, siendo dominado por una pared de rocas de unos 700 m. Hubo derrumbe de roca y hielo desde la cumbre, pero parece ser que fue la parte baja del glaciar, que reposa sobre rocas aborregadas bien inclinadas, que se desprendió hasta los 3,480 m., es decir unos 1000 m. más abajo. El cono del alud tuvo unos 1000 m. de largo y 780 m. de ancho en su base, una superficie de 0.47 km². Las aguas represadas detrás del cono del alud hicieron crecer la laguna alta en unos 250 m³ al día.

1.3.12 Efecto Aguas Abajo de Yungay

Según Ericksen y otros (1970) el flujo de agua fangosa y escombros de rocas continuó aguas abajo del río Santa, causando extensos daños a las estructuras, rutas de transporte y redes de comunicaciones aguas abajo de Yungay. De acuerdo a las versiones de los testigos el flujo alcanzó Huallanca, a 52 kms. de Yungay a las 5 p.m. más o menos. Esta velocidad del flujo indica un promedio de velocidad de 35 km/hora.

Once kilómetros aguas abajo de Yungay el flujo de escombros rebalsó el cauce del río Santa e inundó el aeropuerto de Caraz, muchos caminos y extensas áreas de agricultura. Caraz mismo no fue dañada por el flujo Sin embargo, el río Parón que pasa a través de

Caraz al río Santa, tuvo un mayor flujo de escombros que localmente inundó sus orillas y dañó pequeñas áreas del pueblo. Entre Caraz y Cañón del Pato, la carretera fue localmente cubierta de barro donde los escombros del flujo desbordaron el cauce del río Santa. El puente alto a través del río Santa a Choquechaca fue destruido.

1.3.13 Geología del Area Afectada

Según Deza y otros (1984), en el área afectada se presentan mayormente rocas sedimentarias e ígneas intrusivas.

En la costa las rocas más antiguas están constituidas por rocas del Cretáceo Inferior conformadas por areniscas cuarzosas y lutitas carbonosas de la llamada Formación Chimú; encima de esta formación se encuentra la Formación Santa constituida por calizas y la Formación Carhuaz constituida por lutitas-areniscas; suprayaciendo a éstas se ubica la Formación Casma constituida por derrames volcánicos y piroclásticos de naturaleza andesítica y basáltica intercalados con lutitas, areniscas y algo de calizas. Suprayaciendo al Cretáceo, se encuentra el Terciario Inferior constituido por derrames piroclásticos andesíticos y riolíticos, denominados volcánicos Calipuy. Encima de estos volcánicos, en algunos lugares, se encuentra el Cuaternario constituido por depósitos aluviales y eólicos.

En el Callejón de Huaylas las formaciones rocosas se presentan desde el Jurásico Superior hasta el Cuaternario. Las rocas del Jurásico Superior identificadas como la Formación Chicama, están compuestas por lutitas pobremente intercaladas con areniscas, cuarcitas y limolitas; sobre esta formación se ubica la serie del Cretáceo Inferior descrita anteriormente, presentando además la Formación Farrat (cuarcitas, areniscas y lutitas), la Formación Chulec (calizas intercaladas con lutitas y areniscas) y la Formación Pariatambo (margas y lutitas intercaladas con calizas). En el Cretáceo Superior se ubican las formaciones Jumasha (calizas y dolomitas), Celendín (lutitas intercaladas con calizas) y la Huaylas (bancos conglomeráticos intercalados con areniscas).

Suprayaciendo el Cretáceo Superior se encuentra el volcánico Calipuy del Terciario Inferior ya descrito. Encima del Calipuy y en discordancia angular se encuentra la Formación Yungay conformada por rocas piroclásticas y tufáceas.

El período Cuaternario se caracteriza por estar constituido por depósitos consolidados de origen glacial y aluvial de edad Pleistocénica hasta el reciente. En la actualidad y por la intensa glaciación, se continúa depositando material morrénico y aluvial.

En general, las rocas ígneas intrusivas en esta área tienen una extensa distribución, conformando lo que se conoce como el batolito de la costa peruana. Este batolito está constituido por un complejo de rocas predominando el granito-granodiorita, diorita, gabro, andesitas y diabasas, estas rocas afloran extensamente a lo largo de ambas cordilleras. La edad de estos intrusivos es Cretáceo Terciario, Jaén y otros (1970).

1.3.14 Estudio Geológico y Fisiográfico

Las principales áreas pobladas afectadas incluye la región costera desde las Zorras en el sur hasta Trujillo en el norte y el valle del río Santa.

Ericksen y otros (1970) describieron que la Cordillera Negra consiste grandemente de deslave volcánico terciario y rocas clásticas volcánicas, andesítica fraccionada, pero también riolítica en su composición. Las rocas granodioríticas y sedimentarias Mesozoicas están expuestas ampliamente en la parte norte de la Cordillera Negra. El valle del Santa está parcialmente lleno en forma profunda con material reseco y fluvio-glacial y aluvional, que en algunas localidades alcanza un espesor de varios cientos de metros. Una parte considerable del material aluvional y escombros se ha originado por el rebalse de los lagos glaciales y por avalanchas de hielo y piedra en la Cordillera Blanca. Pese a ésto, el material es suficientemente coherente para soportar cortes casi verticales y laderas altas; éste es relativamente inestable y el deslizamiento se origina cuando está saturado o sujeto a movimientos sísmicos. La Cordillera Blanca tiene un núcleo de granodiorita, rocas mesozoicas marinas sedimentarias que yacen en las laderas y en algunos lugares sobresale la granodiorita en el centro de la cordillera.

La mayor parte de las ciudades y pueblos en este valle han sido construidos sobre este tipo de material o en depósitos fluviales, fluvio-glaciales no cementados.

1.3.14.1 Cordillera Blanca

Ericksen y otros (1970) anotaron que los profundos valles glaciales en forma de U de la Cordillera Blanca desaguan hacia el oeste, en los afluentes del río Marañón. Muchos de estos valles contienen lagos morrénicos; antiguamente (quizás durante los últimos 10,000 años) probablemente todos contuvieron uno o más lagos. Algunos de los lagos más antiguos han sido gradualmente llenados con sedimentos y aparecen ahora como valles planos o áreas pantanosas. Algunos fueron cortados a través de su represa morrénica y de este modo fueron drenados. Otros lagos fueron drenados por la súbita destrucción de la represa morrénica, probablemente debido a su frecuente desborde por las olas generadas por la caída de bloques de hielo o rocas. El repentino drenaje de estos lagos puede terminar en un aluvión catastrófico.

Las pendientes superiores de la Cordillera Blanca están excesivamente inclinadas, alcanzan un talud comúnmente entre 45° y 90° y están en una condición extremadamente inestable. En algunas áreas como fue observado por Ericksen en 1941-49, pequeñas avalanchas de hielo ocurren varias veces al día. En otras localidades, mayores avalanchas de hielo son reportadas cada pocos meses o pocos años. Evidentemente, el pico Norte del Huascarán es actualmente de los más inestables en la Cordillera Blanca.

1.3.14.2 Cordillera Negra

De acuerdo a Ericksen y otros (1970), la Cordillera Negra en contraste con la Cordillera Blanca, tiene un topografía más generosa y relativamente ancha, con sus cimas suavemente onduladas; está cerca de 4500 m. de altura y carece de glaciares y campos de nieve.

Los valles en los flancos tienen forma de V, y están profundamente cortados en sus partes bajas, mostrando que han sido cortados por las corrientes más que por los glaciares. Pequeños círculos y morrenas laterales cerca de las cumbres de la cordillera confirman una antigua glaciación local. Las rocas volcánicas en los precipicios inclinados de la Cordillera Negra están profundamente desgastadas o fuertemente fracturadas, y en consecuencia están sujetas a deslizamientos durante la temporada de lluvias, o de lo contrario debido a movimientos sísmicos.

1.3.15 Cambios Geodéticos y Maremotos

Según Lomnitz (1970) no se anticiparon cambios geodéticos en gran escala, ya que la magnitud del sismo fue inferior a 8. Las observaciones en la zona costera de Chimbote y Casma fueron difíciles, debido a que los puntos de referencia se encontraban localizados en sedimentos que sufrieron importantes hundimientos por compactación o deslizamiento, a consecuencia del sismo.

No se han encontrado efectos geodéticos de sollevamiento o levantamiento costero. A unos 12 minutos después del comienzo del terremoto se registró en el mareógrafo de Chimbote una perturbación que consistió en una subida rápida de unos 30 cms. del nivel del agua, posiblemente a consecuencia del oleaje normal. Luego se produjo un registro típico de maremoto con un descenso inicial del nivel del mar de unos 30 cms. y con una amplitud total del orden de 1 m. No se produjo inundación ya que la elevación máxima del maremoto fue menor que el nivel de las mareas altas. Giesecke y Deza (1970) anotaron que no se observó la generación de un maremoto en dicha ciudad, pero en las localidades de Casma, Chimbote y en otras del Callejón de Huaylas se reportó variaciones del nivel de agua subterránea, siendo en la mayoría de los casos un aumento de nivel del orden de 0.50 m.

El maremoto fue registrado en el mareógrafo del Callao (La Punta), con una amplitud total del orden de 30 cms. La señal fue registrada una hora y media después del terremoto pero su comienzo fue ilegible debido al oleaje. No se observó el maremoto en las estaciones de Talara, San Juan y Matarani.

1.3.16 Daños Estructurales y Geológicos

1.3.16.1 Huaraz

Según Ericksen y otros (1970), Huaraz la ciudad más grande del valle del Santa, fue destruida en un 90%. Las condiciones de buena cimentación fueron convenientes para la reconstrucción en el presente lugar de la ciudad y otras localidades del valle.

Berg y Husid (1970) comentaron que las construcciones de adobe al sur del río fueron casi completamente destruidas. La Iglesia Catedral con estructura de ladrillo colapsó parcialmente y el municipio, que es una construcción de concreto reforzado de 2 pisos con muros de ladrillo y techo de tejas, sufrió agrietamientos.

Giesecke y Deza (1970) anotaron que existieron marcados contrastes respecto a daños en edificios de concreto. Mientras que en la Unidad Escolar Toribio Luzuriaga colapsó parte de un pabellón, otros como el Colegio de los Padres Alemanes, a menos de 200 m. al oeste, no presentó ningún daño. Asimismo, el Hotel de Turistas sufrió daños en las estructuras del comedor y bar, mientras que en una casa de 200 m. al oeste construida totalmente de ladrillo no sufrió ni siquiera agrietamientos.

1.3.16.2 Caraz

Ericksen y otros (1971) comentaron que las construcciones fueron de adobe de 1 y 2 pisos con techo de teja y construidas sobre un antiguo abanico aluvial del río Llullan.

De acuerdo a Ericksen y otros (1970), la ciudad fue destruida en un 70% a 80% por un fuerte aluvión en la Boca de la quebrada Parón. Su basamento geológico es similar al de Huaraz. Potencialmente está en situación peligrosa con respecto a otras ciudades o pueblos del valle del Santa. La laguna de Parón, en la cabecera de la quebrada Parón, es el lago más grande de la Cordillera Blanca; está parcialmente represado por un glaciar y por un dique morrénico.

1.3.16.3 Carhuaz

De acuerdo a Ericksen y otros (1971), menos del 50% de las construcciones que son de bloques de adobe y techo de teja fueron severamente dañadas o destruidas; sin embargo, todas las construcciones de adobe sufrieron algún daño. El material de cimentación es relativamente estable, consistiendo de un abanico aluvial del río Chucchun

que está parcialmente cubierto con un material de avalancha de escombros en la parte sur del pueblo.

1.3.16.4 Chimbote

Berg y Husid (1970) comentaron que la ciudad de Chimbote fue menos destruida que Huarney o Casma.

Las estructuras más informativas fueron los colegios, que son similares en su diseño; son estructuras de concreto reforzado de 2 pisos y muros de ladrillo, con muros transversales de piso a techo alternados para formar los salones de clase, vigas longitudinales en los niveles de piso, paredes bajas, ventanas altas. Se observaron daños en la Gran Unidad Escolar San Pedro, en el Colegio Regional y en la Escuela Normal Las Américas.

El Convento de las Madres Dominicas de Ohio fue un edificio de concreto reforzado de 2 pisos con muros de ladrillos, que colapsó completamente. El Hospital Obrero, una combinación de construcciones de 1 y 2 pisos de concreto, fue demolido. El Politécnico Nacional del Santa es un grupo de aulas de ladrillo; el mortero, los ladrillos y la mano de obra fue de mejor calidad que los demás edificios en Chimbote, los techos soportados por pilostras, dinteles continuos de concreto reforzado sobre la ventana y puertas, algunas de las paredes se agrietaron horizontalmente a menos de 1 m. del piso. El Hotel Chimú, una construcción de 3 pisos en forma de U, con daños menores en el cobertizo, El Banco Nor-Perú en la Av. Bolognesi No.723 es un edificio de 4 pisos de concreto reforzado con columnas largas y mezanine; la falla ocurrió con los elementos más rígidos como muros y columnas por el mezanine a media altura. Algunos distritos fueron notablemente dañados como San Pedro que fue demolido; en Buenos Aires, las construcciones nuevas fallaron casi totalmente. También se presentó el fenómeno de licuación y los conos de arena.

Ericksen y otros (1970) estimaron que Chimbote fue destruida seriamente en un 70% a 80%. Varias partes de Chimbote han sido construidas en playas y depósitos deltáicos, depósitos fangosos y laderas de depósitos. En algunos lugares la napa de agua subterránea estaba en o cerca de la superficie antes del terremoto y en otros estaba a profundidades de varios metros. En diferentes lugares, la diferente compactación y el incipiente hundimiento y deslizamiento del material de base fueron las principales causas que determinaron los daños de Chimbote. Hubo asentamientos cerca al embarcadero de la Planta de Acero, hundimientos irregulares de las bases de las vías, de tal manera que las una vez rectas vías de ferrocarril fueron onduladas.

Debido a que la parte central de Chimbote está virtualmente al nivel del mar, la ciudad está en peligro de destrucción por tsunamis (maremotos) originados en cualquier lugar de la región del Pacífico. Una evaluación del peligro destructivo de un tsunami en Chimbote permite mostrar que la configuración de la bahía de Chimbote puede reducir grandemente el peligro de grandes inundaciones; sin embargo, el tsunami asociado con el

terremoto de Chile en 1960, produjo olas aún más altas que no pueden ser producidas por terremotos más cercanos o por terremotos en el Océano Pacífico oeste.

Giesecke y Deza (1970) indicaron que las fallas en los edificios de concreto y ladrillo se debieron a asentamientos del suelo y a la aparición de grietas en suelos arenos-arcillosos saturados de agua y aumento del nivel del agua subterránea. Las grietas afectaron solamente al paquete arcilloso arenoso y no así la roca de basamento. Estas grietas fueron paralelas a la línea de la costa.

El muelle de pescadores más próximo al Terminal Marítimo ha sufrido un asentamiento en su primer tramo original, probablemente por deslizamiento del bloque del suelo en que se asienta el muelle.

1.3.16.5 Huarney

Berg y Husid (1970) observaron que las estructuras de adobe mayormente fueron destruidas más no las de quincha. Las columnas de concreto reforzado del mercado fueron seriamente dañadas. El hospital de concreto reforzado no fue dañado.

De acuerdo a Ericksen y otros (1970) la ciudad fue destruida en un 70% a 80%. El pueblo ha sido construido sobre sedimentos aluviales, que no ofrecen ningún peligro de reconstrucción en el mismo lugar.

1.3.16.6 Trujillo

De acuerdo a Berg y Husid (1970), la ciudad sufrió menos daño que Chimbote, pero muchas construcciones de adobe colapsaron parcialmente o completamente y algunas de ladrillo y concreto armado fueron dañadas. El Seminario Regional sufrió daños en las columnas de sus unidades en el primer y tercer piso. El Colegio Claretiano y la Fidería Nicolini sufrieron daños en las ventanas altas y bajas, así como en los muros.

1.3.16.7 Salaverry

Según Berg y Husid (1970), las construcciones en este pueblo mayormente son de madera. Ninguno de los almacenes o dique de carga del Terminal Marítimo sufrieron daño estructural.

Ericksen y otros (1970), agregaron que pequeñas iglesias y pocas construcciones de adobe sufrieron daños. Un área en el puerto se hundió provocando rajaduras en una plataforma de cemento cerca a un depósito del puerto.

De acuerdo a Giesecke y Deza (1970), el muelle Gildemeister no tuvo daños estructurales y sólo se observó un ligero hundimiento en las losas en un área restringida cerca a la bodega de azúcar.

1.3.16.8 Huallanca

Berg y Husid (1970) reportaron que esta ciudad fue completamente aislada por las caídas de rocas en la carretera y en la línea férrea. La parte principal del pueblo no fue dañada por el flujo de barro. Las construcciones de adobe fueron afectadas pero mucho menos que en otros pueblos del sur.

Después de 1 1/2 horas de haber ocurrido el sismo, llegó el flujo de barro. En este intervalo las puertas de entrada a los túneles fueron cerradas, por lo que el flujo no entró a los túneles ni a la casa de fuerza.

1.3.16.9 Casma

Berg y Husid (1970) comentaron que esta ciudad fue casi completamente destruida; las construcciones de adobe colapsaron. En un edificio de un Banco de concreto reforzado con muros de ladrillo, el parapeto se deslizó y el resto quedó intacto. El nuevo hospital, una construcción de concreto reforzado de 1 piso tuvo varias columnas fracturadas. Colegios de 1 y 2 pisos con muros de ladrillo y un tanque elevado, ambos de concreto reforzado, colapsaron. La calidad de concreto fue pobre, así como los ladrillos y el mortero usado en su construcción. El pilar y los estribos de un puente reticulado de acero de varias luces sufrieron desplazamientos. Las estructuras de quinchas no sufrieron daños.

1.3.16.10 Paramonga

Según Berg y Husid (1970), el edificio de administración del Complejo Industrial Paramonga, que es de concreto reforzado de 2 pisos con muros de ladrillos, sufrió daños por los sismos del 17 de Octubre de 1966 y 31 de Mayo de 1970, siendo en este último más severos. No hubo asentamiento en las cimentaciones.

1.4 DESLIZAMIENTO ROTACIONAL DE RECUAY

A consecuencia del sismo del 31 de Mayo de 1970 que asoló gran parte del norte medio, se produjeron fenómenos de destrucción de poblados. Numerosas viviendas fueron fuertemente agrietadas y algunas colapsaron y ocurrieron fenómenos de tipo geológico, como el deslizamiento de una masa inestable que se localiza en la loma de Huancapampa y el subsiguiente embalse de las aguas del río Santa, inundaciones y agrietamientos.

1.4.1 Ubicación

Recuay, capital de la provincia del mismo nombre en el departamento de Ancash, es una ciudad de aproximadamente 4000 habitantes (1970).

1.4.2 Condiciones Geológicas de la Zona

Véliz (1971) describió la geología de la zona de la siguiente forma:

1.4.2.1 Estratigrafía

Las rocas más antiguas están dadas por derrames piroclásticos correspondientes al volcánico Calipuy, de edad Cretáceo-Terciaria. Suprayacente a esta discordancia erosional se encuentran una serie de rocas de aproximadamente 600 m. de espesor, compuestas por areniscas, lutitas y conglomerados a las que se ha denominado Formación Aco. Su edad se estima como Terciario Superior-Cuaternario. Finalmente, hacia el tope de la columna se encuentran los depósitos Cuaternarios (Pleistoceno a Reciente) identificados como depósitos fluvio-glaciares, travertinos, depósitos fluviales que constituyen terrazas y depósitos gravitacionales.

1.4.2.2 Formaciones Rocosas Locales

a) Rocas Volcánicas

Afloran en el lado oeste y sur-oeste de la ciudad de Recuay y en las laderas de la Cordillera Negra. Se identificó alteraciones que tienden a la caolinización y limonización, están diaclasadas, siendo su rumbo de diaclasamiento predominante N10°W. En algunos afloramientos estas rocas se presentan macizas; se ha podido identificar en su constitución epidotas (silicato de fierro, calcio y aluminio color verde) y abundante cuarzo. Aparentemente esta unidad rocosa formaría el basamento y se identificó como perteneciente al grupo Calipuy.

b) Rocas Sedimentarias

En el lecho del río se observó afloramientos pequeños de lutitas, areniscas y conglomerados violáceos, rojizos, en capas bien definidas y con buzamiento promedio de 70°E. Estos afloramientos se ubicaron en ambas márgenes del río, donde hace un rápido en el meandro, hacia el este de la calle Burgos y la comisaría de Recuay. Las mismas capas afloran en mayor proporción en el lado norte del área estudiada.

1.4.3 Depósitos Cuaternarios Recientes

1.4.3.1 Fluvio-Glaciares (Q_{fg})

En la margen derecha del río Anta, hacia el lado oriental de la población de Recuay, se observó sedimentos de material fluvio-glaciar constituidos por clastos de diferente naturaleza y tamaño con cantidad de clastos de cuarcita, granitos, granodioritas, pizarras y algunos restos de carbón en menor proporción; en general son subangulosos. Los clastos están en una matriz arcillo-arenosa. En la margen derecha del río Atoc-Huancaca (afluente del río Santa) se observó alternancia de clastos conglomerádicos con arena y arcilla con buzamiento 23° NO.

1.4.3.2 Horizontes de Conglomerados

Hacia el sur-oeste de la Plaza de Armas de Recuay, entre el afloramiento de rocas volcánicas y un corte de la carretera que va de Recuay a Aija, se localizó un conglomerado conformado por clastos volcánicos con cemento arcilloso-calcáreo. Este depósito sugiere ser un remanente erosional.

1.4.3.3. Suelo de Corrimientos Antiguos (Sca)

Se identificó hacia el este de Recuay, entre el río Atoc-Huacanca y el río Pueblo Viejo, suelos de corrimientos antiguos conformados litológicamente por los mismos componentes del fluvio-glaciar ya descrito. Estos suelos de corrimientos son escalonados, siendo su límite el oeste del río Santa.

1.4.3.4 Sedimentos Lacustres (Ql)

En las terrazas fluviales se distinguió depósitos sedimentarios y más al sur de dichos afloramientos, sedimentos cuaternarios recientes, que dan la idea de ser depósitos de ambiente lacustre o de embalse, concordantes con los depósitos de terrazas fluviales. En los lugares observados, estos sedimentos son casi horizontales o con suaves inclinaciones de hasta 5 grados NO y están constituidos por estratos alternados de arena, conglomerados y arcillas. En el lugar afloran con un espesor de 27.40 m.

1.4.3.5 Travertinos (Qt)

Los depósitos sedimentarios muy recientes están manifestados por la fusión de aguas carbonatadas formando travertinos que al precipitarse lentamente han formado estratos muy finos casi horizontales o siguiendo la dirección de la pendiente. Estos travertinos están a una altura uniforme en el lado occidental de la ciudad y forman parte de una serie de carbonatitas que se observó tanto al norte del área estudiada como al sur (hacia Ticapampa) fuera del mapa, donde estas manifestaciones son mayores. Por otra parte, también se apreció cavernas de estalactitas y estalagmitas bien definidas.

Su potencia es variable entre 1.00 a 40.00 m., tal es el caso del travertino que aflora en el lugar de Cachipata, el más extenso del área. Hacia el Nor-Oeste de la población se observó un afloramiento de travertino recristalizado con apariencia de chert.

1.4.3.6 Terrazas Fluviales (T-1, T-2)

La acción erosiva del río Santa en el proceso de formación del Callejón de Huaylas, a través de su diferentes etapas, ha dejado sus remanentes en las terrazas fluviales que se encuentran en ambas márgenes del río en el área de Recuay.

Estas terrazas escalonadas están formadas por rodados bien retrabajados de diferentes tamaños (grandes, medianos y pequeños), en mayor cantidad cuarcitas sobre otros elementos (granitos, granodioritas, andesitas, pizarras). Todos ellos se hallan englobados por una matriz arenosa, formada por la desintegración de los mismos elementos, con un grado de consolidación, ya sea por las presiones de la masa que soporta o por la cementación proporcionada por la efusión de carbonatos de los travertinos. En estos casos el grado de consolidación es pequeño en la terraza más reciente, por donde discurre el actual cauce del río Santa.

Morfológicamente se apreció terrazas en ambos lados del río Santa, pudiéndose diferenciar hasta 2 de ellas, la terraza T-1 donde está ubicada la actual población, la Terraza T-2 ubicada marginando el río Santa en los niveles más bajos. Finalmente la Terraza T-3 en proceso de formación que comprende el área de influencia del actual cauce del río.

1.4.3.7 Depósitos Fluvio-Gravitativos (Qg)

Como consecuencia de la desintegración intensa de la roca base (volcánica), por acción de agentes externos en el área, es posible mapear depósitos aluvio-gravitativos constituidos por materiales arcillosos o arcilloso-arenosos impuros, de espesor variable, que están en función de la inclinación topográfica; así, en la parte superior donde naturalmente la pendiente es más fuerte (30° - 35°), el espesor varía entre 0.10 - 0.30 m., a medida que la pendiente disminuye (5° - 10°) el espesor aumenta en 1.50 m. Este material suelto en su mayor parte constituye áreas de cultivo en el lado Oeste y suprayace discordantemente a las rocas volcánicas (Tv) en su parte superior o a los materiales conglomerádicos, sean éstos fluvio-glaciares o fluviales en su parte media e inferior. Es de naturaleza arcillosa o areno-arcillosa impura, de un color rojizo amarillento genérico, con elementos ferromagnesianos. Estos elementos son más pequeños hacia la superficie y aumentan en diámetro a medida que se profundiza, en donde se observó clastos angulosos de tamaño medio.

1.4.4 Efectos Sísmicos

Después del sismo ocurrido el 31 de Mayo de 1970, la Unesco envió especialistas para el estudio y evaluación de daños, observándose en distintos lugares viviendas afectadas, así como deslizamientos antiguos y recientes.

1.4.4.1 Deslizamiento Antiguo

Según Lliboutry y otros (1970), existe un deslizamiento antiguo originado durante la formación del valle. El lecho del río se encontraba entonces a más de 200 m. al este del actual. Luego las vertientes del valle han sido erosionadas por el río. Es difícil averiguar hasta qué grado la tectónica cuaternaria contribuyó al desarrollo del deslizamiento. El pie de este deslizamiento antiguo ha sido escondido por unos fenómenos más recientes; no obstante, hay todavía un farallón frontal que forma una vertiente escarpada de casi 50 m. de alto en la base del cual se formó un pantano lleno de agua con cerca de 200 m. de ancho. El deslizamiento se produjo a raíz del desplazamiento del lecho del río hasta su situación actual. Considerando la topografía actual se puede evaluar la cantidad de roca maciza objeto del deslizamiento, en unos 50 millones de metros cúbicos.

1.4.4.2 Deslizamientos Recientes

De acuerdo a Véliz (1971), el deslizamiento de la loma de Huancapampa fue una reactivación de los anteriores habidos en dicha área y presenta las características siguientes:

- a) Se movió una masa de aproximadamente $10'000,000$ de m^3 , siguiendo la pendiente de esta loma hacia el río Santa y terminó en una escarpa que se formó en la margen izquierda del río.
- b) El deslizamiento se tipificó como rotacional con un salto máximo de arranque de 10 m. en la coronación.
- c) Entre el límite superior del deslizamiento y el frente del levantamiento en la margen derecha del río Santa, se ha podido graficar una serie de grietas de tensión con rumbos y desplazamientos diferentes dentro de esta serie; es notable un cierre de grietas en la culminación del arco de deslizamiento.
- d) Como movimiento masivo se determinó en la terraza (T-2) en la margen izquierda del río Santa y evidentemente ha recorrido sobre una superficie de lutitas en un proceso de desplazamiento o levantamiento del lecho del río Santa hasta una altura media de 4.00 m., produciéndose el embalse.

Lliboutry y otros (1970) observaron que la parte del pie siguió probablemente la superficie de fracturación del deslizamiento posterior, pues el movimiento reciente estuvo ubicado cerca del borde sur de este antiguo deslizamiento. La masa de los depósitos fluviales y los materiales volcánicos fue comprimida y se levantó hasta una altura de 15 m. por encima de la planicie aluvial. Se debe relacionar la aparición de este deslizamiento durante el movimiento sísmico con la existencia del antiguo derrumbe. En forma general, los extensos desprendimientos de terreno raramente demuestran una superficie de fracturación rotacional. Este es casi vertical en el tope, cerca del tope se formó un declive abrupto hacia abajo con una inflexión aguda y luego es casi horizontal.

Plafker y otros (1971) comentaron que el deslizamiento involucró un bloque de sedimento fluvio-glacial de 1,100 m. de longitud y un ancho de 550 m. que aumentó bruscamente 100 m. el nivel del río Santa. Este enorme bloque contiene al menos 8 millones de m^3 , y probablemente 20 millones de m^3 , dependiendo de la profundidad de la superficie de falla.

Cluff (1971) estudió el aspecto más interesante de este deslizamiento. Su plano de falla se extendió bien por debajo del lecho del valle del Santa, sugiriendo que el plano de deslizamiento fue formado probablemente durante las primeras etapas de desarrollo del valle y fue reactivado por el sismo del 31 de Mayo de 1970, ver la Fig.22.

Según Ericksen y otros (1971), la mayoría sino todos los deslizamientos en esta categoría, parecen ocurrir en depósitos fluvio-glaciales no consolidados, rocas volcánicas piroclásticas pobremente consolidadas, estratos delgados y rocas sedimentarias pizarrosas.

1.5 EL ALUVION EN CHAVIN DE HUANTAR

1.5.1 Origen

De acuerdo a Indacocha e Iberico (1947), el 17 de Enero de 1945, más o menos a las 7.00 a.m., 2 pastores de ovejas del lugar vieron "venir una avalancha de nieve y barro" del nevado de Huantsán o Ayhuñaraju que cayó sobre la laguna Ayhuñaraju, la que rompió su presa y su contenido se vació en la laguna Carhuacocha. Otros pastores aseguraron que muchas veces vieron descender grandes bloques de hielo a la laguna superior Ayhuñaraju produciendo un ruido seco en la quebrada, ver la Fig 23.

1.5.2 El Aluvión

Según Indacocha e Iberico (1947), las lagunas Ayhuñaraju y Carhuacocha, como casi todas las de la Cordillera Blanca, son de origen glaciar y están formadas por una presa de escombros morrénicos del antiguo valle glacial. La presa morrénica está constituida por piedras y arcillas, de modo que es poco resistente; cualquier irregularidad en el deshielo como la brusca alza de presión ocasionada por el aumento del caudal de agua, como en este caso, hizo que la presa cediera y permitió el desague catastrófico de la laguna.

La rotura de las cubetas de Ayhuñaraju y Carhuacocha produjeron el aluvionamiento de la cuenca inferior del valle de Huachecsa y el pueblo de Chavín de Huantar. La consistencia del material fue de lodo o barro de color negro, cuyo elemento sólido ha sido derivado de las pizarras y areniscas negras que afloran en la parte alta y oriental de la Cordillera Blanca; y bajó por la quebrada de Huachecsa. Por múltiples informaciones sobre el paso del aluvión por la quebrada se supone una velocidad de 32 Km/hora.

El tiempo que duró la descarga en Chavín de Huantar fue de 30 minutos; pero en este período se sucedieron 3 avenidas a intervalos aproximados de 12 a 13 minutos; lo que bajo concepto de compensación, el movimiento considerado como continuo y uniforme no ha tenido una duración mayor de 2 minutos. El volumen de material descargado fue aproximadamente de $900,000 \text{ m}^3$.

1.5.3 Area Afectada

Indacocha e Iberico (1947) anotaron que el aluvión afectó un área de $370,000 \text{ m}^2$ en la ciudad de Chavín de Huantar, en algunas calles dejó un sedimento de 0.50 m. de espesor como el Jr. Bolívar, 1.50 m. en el Jr. Raymondi, más al sur del mismo Jirón 0.50 m.; 0.80 m. en la Plaza Centenario, al lado de las ruinas del castillo y en la carretera el sedimento llegó a tener 2.50 m. También afectó a los poblados de Racuacancha,

Huantsampampa, Colapapampa, Chichucancha y Lanchan; arrasando seres humanos, reses y ganado lanar, ver la Fig.24.

1.5.4 Geología

1.5.4.1 De la Cabecera

Spann (1947), describió la geología de la cabecera de dicha quebrada de la siguiente forma:

a) Estratigrafía.

Saliendo de Huantsampampa valle arriba y atendiendo el carácter estratigráfico, se nota las siguientes formaciones: una caliza compacta oscura de 400 m. de espesor; sobre una arenisca roja de no más de 50 m. de potencia, la cual yace sobre una capa de pizarras negras andalusíticas de 300 m. La roca intrusiva, que constituye el mismo cerro Huantsán, es una andesita piritizada que ha resistido mejor la erosión que las rocas sedimentarias circundantes.

b) Tectónica.

Los buzamientos que se observan en todo el trayecto de la quebrada de Huachecsa son en la cabecera muy pronunciados llegando la arenisca roja y la pizarra metamórfica a ser verticales. Los ejes de sus pliegues llevan una orientación de N 20°E poco más o menos, que cortan normalmente el río en algunos sitios.

c) Fisiografía.

El río Huachecsa afluente izquierdo del río Mosna o Puccha, tiene su origen en la cabecera de la quebrada Huanstsán, en los riachuelos provenientes del agua de fusión de varios glaciares que ocupan las faldas de los cerros circundantes. El más alto de estos cerros es el Huantsán o Ayhuiñaraju en la parte oeste de la cabecera. El macizo del Huantsán situado entre los nevados de San Juan al norte y Rurec al sur, pertenece a los contrafuertes meridionales de la Cordillera Blanca y alcanza 6,395 m.s.n.m. En la falda este del macizo se descubre una enorme morrena cuneiforme con dirección N-S y muy regular que se eleva a unos 100 ó 150 m. verticales sobre el fondo de la quebrada de Huachecsa y se compone principalmente de detritos andesíticos mezclados con arcilla y arena. Su inclinación valle abajo es de 7° y su ancho varía entre 150 y 500 m.

1.5.4.2 De la Quebrada

Según Indacoecha e Iberico (1947) en la quebrada afloran areniscas, pizarras y calizas en paquetes potentes y bastantes plegados. Los ejes de los plegamientos llevan una orientación N 310° y el río en algunos puntos corta normalmente estos ejes.

Atendiendo al carácter tectónico, se distinguen las siguientes formaciones: una inferior integrada por areniscas y pizarras, destacándose entre ellas una capa compuesta por interestratificaciones de ambas; en Asua afloran unas areniscas negras poco compactas y superyacentes a otras rojas de más de 100 m. de espesor. Encima de este paquete existe otro formado por tres capas: dos de calizas de color gris oscuro y una de pizarras aún más oscuras; el espesor de este paquete es de unos 300 m. y se le ve aflorar entre Lanchan y Racri, llevando más o menos la misma orientación mencionada anteriormente, con un buzamiento de 50° a 60° hacia el eje de un sinclinal.

1.5.5 Causas del Aluvión

-Indacoecha e Iberico (1947), comentaron sobre el origen de la avalancha de hielo y escombros que fueron fenómenos ligados a la desglaciación andina y agregaron que llama la atención que este fenómeno como los anteriores se hayan producido en momentos próximos a la aparición del sol en el horizonte, es decir a la hora en que la temperatura llega diariamente a un mínimo.

-Spann (1947), opinó que el deslizamiento repentino se ha debido seguramente a la desintegración mecánica de la roca por las heladas.

-La ruptura de las lagunas Ayhuñaraju y Carhuacocha como causa del aluvión.

1.6 EL "ALUD-ALUVION" DE RANRAHIRCA

1.6.1 El Medio Geográfico

Según Dollfus y Peñaherrera (1962) se trata de un complejo batolito granítico que penetra dentro de series sedimentarias plegadas y más o menos metamórficas del Secundario y dentro de capas volcánicas de la misma era o posteriores, que ha sido exhumado en "Horst" por movimientos tectónicos o posteriores. Su borde occidental rectilíneo, por lo menos a la altura de Yungay, está constituido por un espléndido escarpamiento de falla muy reciente, que parece corresponder en una gran extensión a las superficies de las diaclasas de techo, pero donde una observación más precisa facilitada notablemente por la limpieza que en su base ha realizado la lava torrencial, muestra espejos de falla muy recientes. Esta región

está situada en los Andes tropicales del Perú y bajo los 9° latitud Sur, es una zona donde los contrastes topográficos y climáticos son grandes; en Yungay a 2,585 m. las temperaturas anuales y la no existencia de heladas permite el crecimiento normal de palmeras y cítricos; sin embargo, a 9 Km. de esta ciudad, a partir de 4,800 m. las heladas se producen todas las noches del año.

1.6.2 Morfología y Topografía del Valle Aluviónico

Dollfus y Peñaherrera (1962) anotaron que la cornisa de hielo que pudo tener más de 100 m. de espesor, domina una pared rocosa de aproximadamente 800 m. de largo y con una pendiente media de 60° a 62°. Es decir, un plano inclinado entallado en rocas metamórficas y en granodioritas cubiertas de placas de nieve y hielo, de donde bajaron los bloques rocosos por encima de un vasto glaciar de más de 2 Km. de largo y con una pendiente de aproximadamente 30°, ver la Fig.25.

El torrente de Acraranco, que evacuaba las aguas de fusión descendió en forma recta y siguiendo el pie del gran relieve de falla de la Cordillera Blanca por un relleno de escombros rocosos y materiales de morrenas más o menos de 3 Km. de largo y 20° de pendiente, antes de inclinarse hacia el NW. Su valle con un ancho de 200 m. se encajona entre la vertiente granítica con una inclinación de 40° a 45° por su margen derecha y una vertiente de alrededor de 200 a 300 m. de alto y pendiente de 50° a 55°. Está cubierta por antiguas morrenas y depósitos de lavas anteriores, por su margen izquierda, luego una gran morrena, heredada de una lengua de hielo que descendió por el auge de Llanganuco, modifica por segunda vez el trazo del valle que hace un ángulo recto, cambiando también de nombre para tomar el de Armapampa. Hasta recibir por su margen izquierda la quebrada de Chaquirure donde nuevamente cambia de dirección formando un ángulo bastante abierto para dirigirse hacia la quebrada de Pumahuain que bordea un trecho de la antigua terraza y confluye finalmente con Llanganuco, para formar el río Shacsha con un ángulo débil de más o menos 30°

Después de la confluencia con Llanganuco el valle se ensancha, pero siempre encajonado atraviesa gruesos bancos de cuarcita enderezados y a menudo fracturados, para desembocar finalmente sobre el amplio cono extendido de Ranrahirca, donde la generatriz hasta el Santa tiene poco más de 3 Km. de largo con una pendiente promedio ligeramente cóncava y de más o menos 3°, que está cubierto de bloques transportados por lavas anteriores.

1.6.3 El Aluvión y sus Características

De acuerdo a Dollfus y Peñaherrera (1962), ocurrió el 10 de Enero de 1962 a las 6.00 p.m.; se originó por el desprendimiento brusco de una sección de la alta cornisa SW del pico Norte del nevado Huascarán a 6,655 m.s.n.m., que pudo tener más de 100 m. de espesor, domina una pared rocosa de aproximadamente 800 m. de largo con una pendiente

media de 60° a 62°. Es decir un plano muy inclinado entallado en rocas metamórficas y en granodioritas cubiertas de placas de hielo y nieve, de donde bajaron los bloques rocosos por encima de un vasto glaciar de más de 2 Km. de largo y con una pendiente de 30°. Bajó por la pared rocosa arrancando bloques de granito y esquisto metamórfico y limpiando "seracs" enteros antes de saltar sobre el glaciar, en un potente alud de hielo y rocas que removió. Bajo el efecto del choque, la parte inferior del glaciar y la lengua cuya superficie puede ser estimada en más o menos 20 Ha., se despegaron de la pared rocosa iniciando un deslizamiento de gran potencia. Se estimó que unos 5 ó 6 millones de metros cúbicos de hielo, piedras y agua rodaron y rebotaron sobre la pendiente del glaciar, a más de 100 Km/hora.

Al llegar al codo 1, la avalancha subió 200 m. sobre la vertiente que encontró, haciendo saltar por encima de la cresta algunos bloques y un poco de lava, ver las Figs. 26 y 27. Se puede estimar que la velocidad de descenso en este sector fue de 80 Km/hora y considerando la disminución progresiva de la velocidad, que fue de 30 Km/hora en el momento que llegó al río Santa, se puede estimar que la lava demoró 15 minutos en recorrer los 16 Km. que separan la cornisa del Huascarán desde donde cayó el alud y su desembocadura en el Santa. El aluvión, según la terminología peruana, atacó perpendicularmente el codo 2 de la morrena lateral de Llanganuco, erosionando profundamente el pie de la vertiente y desbordando sobre una pequeña planicie.

En el canal 2, con una pendiente media de 8°, el aluvión describió una serie de ondas más próximas entre sí que el canal 1. Depositó sus arenas, barro y bloques en el fondo y en las vertientes hasta alturas de 50 m. en un equilibrio muy inestable, lo que originó un constante desprendimiento aún 14 días después.

Al confluir con Llanganuco, la lava obstruyó momentáneamente su valle, que dió origen a un pequeño lago de 1 Ha. de superficie que no constituyó mayor peligro debido a que el débil ángulo de confluencia no favoreció la formación de un potente dique. La lava que llegó al valle de Llanganuco se precipitó violentamente, subiendo alrededor de 100 m. sobre la vertiente de la margen derecha, para destruir a su paso el poblado de Yanamachico a 2,850 m.s.n.m. y luego llegó a la parte superior del cono de deyección a 2,600 m.s.n.m. con un muro de 10 a 15 m. de alto, desplegando en forma de abanico y a una velocidad superior a 50 Km/hora, que descendió hasta 30 Km/hora al desviarse hasta la parte sur del cono. La lava barrió el pueblo de Shacsha y la mitad de Huacrachucho, ambas a la salida del cono y a 2,600 m.s.n.m. para borrar del mapa casi en su totalidad al pueblo de Ranrahirca a 2,500 m.s.n.m. Al arribar al río Santa tuvo un ancho de casi 1.5 Km, atravesó el río y fue a chocar contra un eslopón de la ribera izquierda donde subió 15 m. Sin embargo, no parece que las lavas originaron un dique que obstruyera completamente al río Santa, debido a que arribó con poca velocidad y a la constitución de materiales más arenosos que arcillosos, lo cual facilitó la erosión y filtración. Si la matriz fina hubiera tenido mayor porcentaje de arcilla, con seguridad se hubiera producido una gran represa.

Se encontró considerables masas de hielo que llegaron y siguieron el curso del río Santa. La presencia de estos bloques se fundieron por las fricciones continuas y originó una cantidad de agua que alimentó la lava del "alud-aluvión". Sobre el cono la lava está

ligeramente inclinada hacia el sur con un ángulo de 30° y tuvo la fuerza suficiente para hacer rodar grandes bloques, como el que mide $20 \times 15 \times 12$ m.

Aproximadamente a las 3.00 a.m. del día siguiente al alud-aluvión, un gran volumen de agua proveniente quizás del vaciado de otros bolsones sub-glaciares que se incrementaron con las aguas almacenadas dentro de la lava depositada el día anterior, desencadenó un segundo aluvión con una lava más líquida y de un volumen mucho menor que barrió nuevamente el valle. Esta segunda lava no sobrepasó los 10 m. de altura en el canal 2 y se desplazó igualmente con un movimiento ondulante; no tuvo la competencia suficiente para desplazar los bloques traídos más grandes y abandonados por la lava precedente; se limitó a menudo a lavar sus partes bajas o voltearlos ligeramente.

Este aluvión dió muerte a más de 5,000 personas.

1.6.3.1 Volumen

El área cubierta en la zona del valle es aproximadamente 220 a 240 Ha, y se estimó un espesor promedio de 3 m. y el volumen entre $6'600,000$ a $7'200,000$ m³. Por el cono de deyección donde la superficie barrida por las lavas ocupó unas 200 Ha. con un espesor promedio de 2 m., el volumen ascendió a $4'000,000$ m³. Sin contar con el material arrastrado por el río Santa y que no es despreciable, ni los que se encuentran sobre las vertientes, la evaluación sería más o menos de 10 a 12 millones de metros cúbicos.

1.7 EL ALUVION DE HUARAZ

1.7.1 El Aluvión

Oppenheim (1946) comentó que la ruptura del dique de la laguna Cojup sucedió el 13 de Diciembre de 1941 y originó el aluvión. Fue un fenómeno común en el desarrollo de un lago glacial formado por morrenas frontales, porque el material de morrenas en lagos de este tipo es limitado así como la altura de la base de morrenas; sin embargo, la fuente de agua es ilimitada, en consecuencia estos lagos están siempre sujetos a desbordamientos y rupturas eventuales.

Al producirse el desastre, las aguas de la laguna Cojup (4,550 m.s.n.m) llegaron con gran velocidad hacia la laguna Jircacocha situada a 4,120 m.s.n.m., la débil presa de esta última laguna no resistió el fuerte empuje del agua y piedras que bajaban de Cojup en una masa. Al romper la presa de Jircacocha, el total de la masa de agua con barro y grandes bloques de piedra puede haber alcanzado un volumen de 8 a 10 millones de m³, causando la

destrucción parcial de la ciudad de Huaraz, que en parte estaba construida en el lecho antiguo del río Huaraz.

La ruptura del dique fue por avalancha de grandes masas de hielo del glaciar, que desplazando considerables volúmenes de agua y formando una ola subsecuente produjo la ruptura de la presa morrénica.

1.7.2. Fisiografía y Geología Regional

De acuerdo a Oppenheim (1946), el río Huaraz, tributario del río Santa, se forma en la confluencia de los ríos Paria y Auqui, los principales valles de éstos son las quebradas de Cojup y de Quilcayhuanca. La quebrada Cojup nace en la laguna del mismo nombre a 4,550 m.s.n.m. y desemboca al río Huaraz a 3,550 m.s.n.m.; en la parte superior de su curso recibe un gran número de cascadas provenientes de distintos lagos glaciales. Desde la altura aproximada de 3,800 m.s.n.m., la quebrada Cojup corre en un cañón de paredes verticales que se extiende hasta el circo glacial al pie del cual está el lago del mismo nombre. El valle de Quilcay es paralelo al de Cojup y tiene el mismo aspecto, aunque es considerablemente más amplio y abierto y es unos 10 Kms. más largo. En sus cabeceras recibe el caudal de agua mucho más grande que el Cojup, tanto de los nevados más amplios, así como del lago Tullpa-Raju y de la quebrada Cayash, ver la Fig. 28.

La laguna de Cojup está a 4,550 m.s.n.m., la de Cuchillacocha a 4,650 m.s.n.m. y la de Tullpa-Raju a 4,306 m.s.n.m. Las lagunas que alimentan los valles colgantes en la parte superior de las quebradas, se encuentran en general a niveles superiores a 4,600 m.s.n.m., estando la laguna de Perol Grande a 5,000 m.s.n.m.

La geología regional está representada por grandes masas de granodiorita en el macizo de Cojup y de granodiorita con cuarcitas esquistosas y pizarras metamórficas en el macizo de Cuchilla. Los dos forman parte de gran batolito granodiorítico que probablemente es de edad mesozoica.

1.7.3 Geología Glacial

Según Oppenheim (1946), la geología física de la región está afectada por fenómenos de intensa glaciación pleistocénica. Las formas típicas de fisiografía glacial se encuentran en 5 niveles de glaciación y son:

El primer nivel: Se encuentra de 2,700 m.s.n.m. o sea unos 300 m. más abajo de la posición de Huaraz. Estos indican un nivel inferior al cual llegaron los hielos pleistocénicos en la región.

El segundo nivel: Se destaca claramente de 3,100 a 3,200 m.s.n.m. en forma de una serie de elevadas y antiguas morrenas glaciales que alcanzan una altura de 200 m.

El tercer nivel: Se evidencia de 3,800 m.s.n.m. en forma de largas cadenas de morrenas laterales que flanquean las entradas en los profundos cañones o valles en forma de U de las quebradas Llaca, Cojup, Quilcay y Shallap.

El cuarto nivel: Se distingue a 4,100 m.s.n.m. y se le puede relacionar con la antigua laguna de Jircacocha.

El quinto nivel: Corresponde a las morrenas frontales actuales que forman los hielos retrocedentes de la Cordillera Blanca.

Estos cinco niveles corresponden indudablemente a cinco épocas durante las cuales los hielos pleistocénicos quedaron estacionados durante largo tiempo antes de emprender su retroceso, el cual tiene lugar también en la actualidad en forma perceptible.

CAPITULO 2

CARTOGRAFIA EXISTENTE CON RELEVANCIA A DESLIZAMIENTOS Y ALUVIONES

2.1 Introducción

En este Capítulo se presenta una compilación de la cartografía existente en relación a los fenómenos de deslizamientos y aluviones en el Perú. Todos los mapas han sido dibujados a la escala 1:4'000,000, con el propósito de tener una misma escala de comparación.

Se describen a continuación los mapas que se presentan en este capítulo. El mapa Físico del Perú, dibujado con tres rangos de altitud, de 0-2, 2-4 y 4-6 kilómetros de altura sobre el nivel del mar. El mapa Geológico Generalizado del Perú, en donde se presentan los tipos de rocas, su procedencia y sus edades. Los Mapas Meteorológicos donde se presentan las distribuciones de precipitación en milímetros por mes, para cada una de las estaciones del año, verano, otoño, invierno y primavera. El Mapa de Temperatura Media Anual se presenta a intervalos de 2 y 4 grados centígrados. El Mapa de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas se presenta en líneas de contorno en la escala de Mercalli Modificada.

2.2 Mapa Físico del Perú

En base al mapa físico-político del Perú, preparado por el Instituto Geográfico Nacional, se ha elaborado el Mapa Físico del Perú (Mapa N°1).

En este mapa se indican las capitales de departamento y las zonas con diferente altura en el territorio nacional. En la costa, las alturas máximas son inferiores a los 2,000 metros. Las alturas en la sierra están comprendidas entre los 2,000 y 4,000 metros. Se aprecia que en la sierra norte las alturas máximas son inferiores a los 4,000 metros sobre el nivel del mar, mientras que en la sierra centro y la sierra sur existe una gran extensión de territorio con alturas mayores a los 4,000 metros. La ceja de selva tiene alturas mayores de 2,000 m. y la selva baja alturas inferiores a los 2,000 metros.

2.3 Mapa Geológico Generalizado del Perú

El Mapa Geológico del Perú es una obra de la Comisión Carta Geológica Nacional, actualmente una Dirección del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico del Perú.

El mapa presentado a la escala 1:4'000,000 es una reducción de aquél de la Carta Geológica Nacional a la escala de 1:1'000,000, que a su vez es una compilación de los trabajos propios del Instituto, que efectúa el levantamiento geológico nacional a la escala de 1:100,000 en cuadrángulos de 30' y de trabajos y levantamientos parciales de las compañías mineras y petroleras, que han efectuado a la fecha extensos levantamientos geológicos en las tres regiones naturales del Perú: costa, sierra y selva.

Las rocas en el mapa están agrupadas por su edad geológica, así como su origen: rocas sedimentarias y volcánicas de origen marino y continental y rocas intrusivas. El Mapa N°2 presenta el mapa geológico generalizado del Perú.

2.4 Mapa Meteorológico del Perú

Se presentan cuatro mapas de distribución de precipitación en milímetros por mes en todo el territorio nacional. Los mapas indican las precipitaciones medias para las estaciones de verano (enero-febrero-marzo); de otoño (abril-mayo-junio); de invierno (julio-agosto-setiembre) y de primavera (octubre-noviembre-diciembre).

Los mapas han sido preparados por la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú en 1982. Las precipitaciones en la costa están en el orden de 1 milímetro por mes, a excepción en la costa norte, que durante el verano asciende a 5 y 10 milímetros por mes. Un fenómeno excepcional es el Fenómeno del Niño, con valores todavía mayores. En la sierra existen precipitaciones de hasta 100 milímetros por mes y en la selva de 150 a 250 milímetros por mes.

Los mapas N°3,4,5 y 6 presentan la distribución de precipitación mensual en el Perú por cada estación del año.

2.5 Mapa de Temperatura Media Anual

La distribución de la temperatura media anual en el Perú se presenta en el Mapa N°7. La fuente ha sido tomada de Villachica (1986) y es parte de la publicación Gran Geografía del Perú Naturaleza y Hombre.

En la zona de la costa la temperatura media anual es de 18° a 20° Centígrados, a excepción de los departamentos de Piura y Tumbes, en donde el promedio es de 22° a 24°C. En la sierra central la temperatura media anual varía de 10° a 14°C, mientras que en la sierra norte los valores son de 14° a 24°C. En la sierra sur se tiene un mínimo de 6° en el altiplano, con una variación de 10 a 14°C en otros lugares. En la ceja de selva la temperatura media anual es de 18° a 20°C, aumentando progresivamente conforme se avanza al llano amazónico.

2.6 Mapa de Máximas Intensidades Sísmicas

Alva Hurtado et al (1984) presentaron el mapa de máximas intensidades sísmicas observadas en el Perú, preparado como parte del Proyecto SISRA (Sismicidad de la Región Andina), patrocinado por el Centro Regional de Sismología para América del Sur, CERESIS. (Mapa N°8).

El mapa se realizó en base a treinta isosistas de sismos peruanos y datos de intensidades puntuales de sismos históricos y sismos recientes. En el mapa se presentan los niveles de daños producidos por los terremotos, sin distinguir si tales daños se debieron a la vibración localizada del suelo, a la licuación de suelos, a deslizamientos y otros fenómenos locales.

El mapa de distribución de máximas intensidades sísmicas observadas presenta líneas de contorno de intensidades máximas en la escala Mercalli Modificada y puntos representando valores extremos de carácter local o valores máximos de intensidades sísmicas cuyas isosistas no se conocen.

Además de la alta sismicidad existente en la costa del Perú, se aprecia una gran actividad sísmica en la Zona Subandina, localizada en la selva alta.

CAPITULO 3

INVENTARIO DE DESLIZAMIENTOS Y ALUVIONES EN EL PERU

3.1 DESLIZAMIENTOS Y ALUVIONES POR GRAVEDAD EN EL PERU

3.1.1 Introducción

Se presentan los datos de los deslizamientos y aluviones ocurridos en el Perú que están graficados en un Mapa de Areas de Deslizamientos y Aluviones a escala 1:4'000,000 (Mapa N°9). Se hace notar que esta información es parcial y se espera que sea completada con trabajos posteriores Chang y Alva-Hurtado (1988).

3.1.2 Documentación Básica

Se recopiló y revisó los datos disponibles de los informes realizados por especialistas. Se tomó en cuenta la versión preliminar presentada como memoria descriptiva del Mapa de Deslizamientos preparada por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú (1983). Ver Mapa N°10.

Se ha preparado un catálogo de los fenómenos ocurridos por cada departamento del Perú. Cada evento tiene asociado un número, en donde se presenta el nombre del artículo o reporte técnico, el autor o autores del mismo, la ubicación del fenómeno por coordenadas geográficas y altitud y su fuente bibliográfica. Los fenómenos catalogados han sido transferidos a un mapa del Perú a escala 1:4'000,000

3.1.3 Catálogo de Deslizamientos, y Aluviones

A continuación se lista el catálogo de deslizamientos y aluviones por departamentos.

ANCASH

1.- Derrumbe y Deslizamiento de Tierras de Pomabamba

Autor	:	D. Torres Vargas
Ubicación	:	Dist.y Prov.Pomabamba, Dpto.Ancash
Coordenadas	:	Lat. 8°49'49" S Long. 77°29'10" O Alt. 3,067 m.s.n.m
Fuente	:	Bol. Cuerpo de Ingenieros de Minas del Perú N° 130
Fecha	:	Enero de 1943

2.- Deslizamiento de Tierras de Tipo Anormal en Huari

Autor	:	J. Fernández-Concha
Ubicación	:	Dist. y Prov. Huari, Dpto.Ancash
Coordenadas	:	Lat. 9°21'30" S Long. 77°14'00" O Alt. 3,079 m.s.n.m.
Fuente	:	Bol. Soc. Geológica del Perú, Tomo 30
Fecha	:	Noviembre de 1956

3.- Deslizamiento de Tierras en Conchucos

Autor	:	V. Carrillo H.
Ubicación	:	Dist. Conchucos, Prov.Pallasca, Dpto. Ancash
Coordenadas	:	Lat. 8°17'00" S

Long.	77°52'00"O
Alt.	3,200 m.s.n.m.

Fuente : INIFM

Fecha : Abril de 1962

4.- Deslizamiento del Cerro Muschuquino

Autor : J. Wilson

Ubicación : Dist. y Prov. Pallasca,
Dpto. Ancash

Coordenadas	Lat.	8°15'00" S
	Long.	78°00'30" O
	Alt.	3,050 m.s.n.m

Fuente : Servicio de Geología y Minería

Fecha : Diciembre de 1962

5.- Deslizamiento de Tierras en el Distrito de Aczo

Autor : A. Ballón

Ubicación : Dist. Aczo, Prov. de Huari,
Dpto. Ancash

Coordenadas	Lat.	9°05'40" S
	Long.	76°55'42" O
	Alt.	2,800 m.s.n.m.

Fuente : Bol. Servicio de Geología y
Minería, N° 13

Fecha : Setiembre de 1964

6.- Derrumbe Producido en el Caserío de Llaymucha

Autor : G. Ortiz y M. Gonzales G.

Ubicación : Dist. y Prov. Pallasca,
Dpto. Ancash

Coordenadas : Lat. 8°16'30" S
Long. 78°01'30" O
Alt. 2,650 m.s.n.m

Fuente : Servicio de Geología y Minería

Fecha : Setiembre de 1972

7.- Estudio Geodinámico del Area de Rahuapampa

Autor : J. Maita F. y L. Fidel S.

Ubicación : Dist. Rahuapampa, Prov. Huarí,
Dpto. Ancash

Coordenadas : Lat. 9°20'15"- 9°23'00" S
Long. 77°03'00"- 77°04'50" O
Alt. 2,500 m.s.n.m.

Fuente : INGEMMET

Fecha : Diciembre de 1980

8.- Estudio Geodinámico del Area de Socosbamba

Autor : J. Galdos B.

Ubicación : Dist. Socosbamba, Prov. Mrcal. Luzuriaga
Dpto. Ancash

Coordenadas : Lat. 8°56'00" S
Long. 77°21'51" O
Alt. 2,800 m.s.n.m

Fuente : Servicio de Geología y Minería

Fecha : Diciembre de 1974

9.- Deslizamiento en la Ciudad de Yauya

Autor : L. Castro B.

Ubicación : Dist. Yauya, Prov. Huari,
Dpto. Ancash

Coordenadas : Lat. 8°55'30" S
Long. 77°16'30" O
Alt. 3,200 m.s.n.m.

Fuente : Servicio de Geología y Minería

Fecha : Abril de 1950

10.- Deslizamiento de Tierras en la Prov. de Aija

Autor : V. Arizola

Ubicación : Dist. Aija, Prov. Aija,
Dpto. Ancash

Coordenadas : Lat. 9°46'36" S
Long. 77°36'31" O
Alt. 3,363 m.s.n.m.

Fuente : INIFM

Fecha : Setiembre de 1960

11.- Reconocimiento Geológico del Deslizamiento de Quechas y Canchas

Autor : C. Sotomayor G.

Ubicación : Dist. Huachis, Prov. Huari,
Dpto. Ancash

Coordenadas : Lat. 9°22'00" S
Long. 77°03'00" O
Alt. Quechas 3,200 m.s.n.m.
Canchas 2,900 m.s.n.m.

Fuente : INGEOMIN

Fecha : Octubre de 1976

12.- Movimientos del Suelo de Pariacancha y Ataquero

Autor : A. Indacochea

Ubicación : Dist. Uco, Prov. Huari,
Dpto. Ancash

Coordenadas : Lat. 9°10'51" S
Long. 76°45'39" O
Alt. 3,200 m.s.n.m.

Fuente : Servicio de Geología y Minería

Fecha : Enero de 1944

13.- Deslizamiento de Tierras en el Distrito de San Luis

Autor : V. Taype R. y J. Galdos

Ubicación : Dist. San Luis, Prov. Huari,
Dpto. Ancash

Coordenadas : Lat. 9°03'00" S
Long. 77°20'00" O
Alt. 3,200 m.s.n.m.

Fuente : Servicio de Geología y Minería

Fecha : Agosto de 1972

14.- Estudio Geológico sobre Seguridad Física del Distrito de Bolognesi

Autor : G. Ibarra y J. La Cruz

Ubicación : Dist. Bolognesi, Prov. Pallasca
Dpto. Ancash

Coordenadas : Lat. 8°22'00" S
Long. 78°08'00" O
Alt. 2,880 m.s.n.m.

Fuente : CRYRZA
 Fecha : Agosto de 1972

15.- Agrietamiento, Asentamiento y Deslizamiento de Tierra en el Cerro Shongo Huarco

Autor : G. Pérez V.
 Ubicación : Prov. Sihuas,
 Dpto. Ancash
 Coordenadas : Lat. 8°34'15" S
 Long. 77°45'00" O
 Alt. 3,300 m.s.n.m.
 Fuente : Servicio de Geología y Minería
 Fecha : Julio de 1973

91.- Informe Geológico del Arca Urbana y Sub-urbana de Recuay

Autor : J. Véliz B
 Ubicación : Prov. Recuay,
 Dpto. Ancash
 Coordenadas : Lat. 9°42'00" S
 Long. 77°28'00" O
 Alt. 3,370 m.s.n.m.
 Fuente : CRYRZA
 Fecha : Agosto de 1971

92.- El Aluvión de Chavín de Huantar

Autor : J. Spann
 Ubicación : Dist. Chavín de Huantar, Prov. Huari,
 Dpto. Ancash

Coordenadas	:	Lat.	9°34'53" S
		Long.	77°10'26" O
		Alt.	3,723 m.s.n.m.
Fuente	:	Bol.de la Sociedad Geológica del Perú, N°20	
Fecha	:	1947	

93.- El Aluvión de Huaraz

Autor	:	V. Oppenheim	
Ubicación	:	Prov. Huaraz, Dpto. Ancash	
Coordenadas	:	Lat.	9°31'38" S
		Long.	77°31'48" O
		Alt.	3,091 m.s.n.m.
Fuente	:	Bol. Sociedad Geológica del Perú, Tomo XIX.	
Fecha	:	1946	

94.- El Alud-Aluvión de Ranrahirca

Autor	:	O. Dollfus y C. Peñaherrera	
Ubicación	:	Dist. Ranrahirca, Prov. Yungay, Dpto. Ancash	
Coordenadas	:	Lat.	9°10'07" S
		Long.	77°43'03" O
		Alt.	2,500 m.s.n.m.
Fuente	:	Bol.Soc.Geográfica de Lima, Tomo LXXIX.	
Fecha	:	1962	

AMAZONAS

16.- Deslizamientos Producidos en las Faldas del Cerro Calvario

Autor : G. Pérez V.
Ubicación : Dist. Cochamal, Prov. Rodríguez de Mendoza,
Dpto. Amazonas.
Coordenadas : Lat. 6°23'00" S
Long. 77°31'00" O
Alt. 1,600 m.s.n.m.
Fuente : Servicio de Geología y Minería
Fecha : Setiembre de 1975

17.- Estudio Geodinámico de la Localidad de Chachapoyas y Alrededores

Autor : J. Galdos B.
Ubicación : Prov. Chachapoyas,
Dpto. Amazonas
Coordenadas : Lat. 6°13'00" S
Long. 77°52'00" O
Alt. 2,334 m.s.n.m.
Fuente : Servicio de Geología y Minería
Fecha : Agosto de 1975

18.- Estudio Geotécnico de la Localidad de Leimebamba

Autor : G. Pérez V. y V. Taype R.
Ubicación : Prov. Chachapoyas,
Dpto. Amazonas
Coordenadas : Lat. 6°42'00" S
Long. 77°52'00" O

	Alt.	2,280 m.s.n.m.
Fuente	:	Servicio de Geología y Minería
Fecha	:	Marzo de 1973

APURIMAC

19.- Deslizamiento de Tierras en Leontocllma y Yurac-Mayo en Las Vecindades de la Ciudad de Abancay

Autor	:	L. Castro B.
Ubicación	:	Dist. Abancay, Dpto. Apurimac
Coordenadas	:	Lat. 13°37'21" S Long. 72°52'21" O Alt. 2,378 m.s.n.m.
Fuente	:	Servicio de Geología y Minería
Fecha	:	Agosto de 1959

20.- Informe sobre el Deslizamiento de Tierra en el Paraje de Leontocllama

Autor	:	E. Bellido B.
Ubicación	:	Prov. Abancay, Dpto. Apurimac
Coordenadas	:	Lat. 13°39'42" S Long. 72°56'13" O Alt. 2,750 m.s.n.m.
Fuente	:	Ministerio Fomento y Obras Públicas
Fecha	:	Junio de 1959

21.- Observaciones Geológicas sobre los Deslizamientos en la Quebrada Ampay

Autor : C.Kalafatovich V.

Ubicación : Dist. Tambúrcu, Prov. Abancay,
Dpto. Apurímac

Coordenadas : Lat. 13°35'00" S
Long. 72°54'00" O
Alt. 2,500 m.s.n.m

Fuente : Rev. Universitaria, Cusco,
Perú, Año XXXIX, N°9
2do Semestre, pp. 224-232
Soc. Geológica del Perú

Fecha : 1950

22.- Deslizamiento de Tierras y Polvareda en Yurac-Mayo

Autor : L. Castro B.

Ubicación : Dist. y Prov. Abancay,
Dpto. Apurímac

Coordenadas : Lat. 13°37'00" S
Long. 72°57'00" O
Alt. 2,377 m.s.n.m.

Fuente : INIFM

Fecha : Setiembre de 1961

23.- Deslizamiento de Tierra en la Zona de Pampallacta

Autor : V. Carrillo H.

Ubicación : Dist. Chaupimarca, Prov. Aimaraes
Dpto. Apurímac

Coordenadas : Lat. 14°01'00" S
Long. 73°06'00" O
Alt. 3,450 m.s.n.m

Fuente : INIFM
Fecha : Mayo de 1963

24.- Deslizamiento de Quelloccacca y Quebrada Honda-Carretera Abancay-Cuzco

Autor : V. Taype R.
Ubicación : Dist. Curahuasi, Prov. Abancay,
Dpto. Apurímac
Coordenadas : Lat. 13°33'30" S
Long. 72°39'50" O
Alt. 3,300 m.s.n.m.
Fuente : Tesis de Grado, Esc. de Geología, UNMS
Fecha : Julio de 1966

25.- Deslizamiento de Yanaccacca Carretera Abancay-Puquio

Autor : V. Taype R.
Ubicación : Dist. Caraibamba, Prov. Aimaraes,
Dpto. Apurímac
Coordenadas : Lat. 14°20'00" S
Long. 73°10'00" O
Alt. 3,200 m.s.n.m.
Fuente : Servicio de Geología y Minería
Fecha : Marzo de 1971

26.- Estudio Geodinámico de la Localidad de Huancaray y Alrededores

Autor : J. Galdos B.
Ubicación : Dist. Huancaray, Prov. Andahuaylas,
Dpto. Apurímac
Coordenadas : Lat. 13°14'44" S

	Long.	73°01'25" O
	Alt.	3,000 m.s.n.m.
Fuente	:	INGEOMIN
Fecha	:	Setiembre de 1976

27.-Reconocimiento Geodinámico de Cayara

Autor	:	L. J. Lizano
Ubicación	:	Dist. Chincheros, Prov.Andahuaylas, Dpto. Apurímac
Coordenadas	:	Lat. 13°33'00" S Long. 73°43'00" O Alt. 3,250 m.s.n.m
Fuente	:	INGEOMIN
Fecha	:	Mayo de 1977

28.- Derrumbes en la Localidad de Capaya

Autor	:	F. Perales C.
Ubicación	:	Dist. Capaya, Prov. Aymaraes, Dpto. Apurímac
Coordenadas	:	Lat. 14°07'30" S Long. 73°20'00" O Alt. 3,290 m.s.n.m.
Fuente	:	Servicio de Geología y Minería
Fecha	:	Mayo de 1972

29.-Fracturamiento, Agrietamiento y Derrumbes en el Area de Quisque.

Autor	:	G. Ortiz M.
Ubicación	:	Dist. Tapairihua, Prov.Aymaraes,

Dpto. Apurímac

Coordenadas : Lat. 14°10'00" S
Long. 73°08'00" O
Alt. 3,000 m.s.n.m.

Fuente : Servicio de Geología y Minería

Fecha : Agosto de 1973

95.-Informe Preliminar sobre el Aluvión en la Quebrada de Ampay.

Autor : A. Indacochea

Ubicación : Dist. Ampay, Prov. Abancay,
Dpto. Apurímac

Coordenadas : Lat. 13°35'00" S
Long. 72°53'00" O
Alt. 2,489 m.s.n.m.

Fuente : INIFM

Fecha : Junio de 1951

96.- Aluvión de la Quebrada Ancaypahua

Autor : A. Indacochea

Ubicación : Dist. y Prov. Andahuaylas,
Dpto. Apurímac

Coordenadas : Lat. 13°39'14" S
Long. 73°23'10" O
Alt. 2,500 m.s.n.m.

Fuente : INIFM

Fecha : Junio de 1951

AREQUIPA

30.- Estudio Geodinámico del Area de Llacas

Autor : J. Galdos B.

Ubicación : Dist. Chuquibamba, Prov. Condesuyos,
Dpto. Arequipa

Coordenadas : Lat. 15°53'40" S
Long. 72°42'42" O
Alt. 2,200 m.s.n.m.

Fuente : Servicio de Geología y Minería

Fecha : Mayo de 1973

31.- Deslizamiento en el Cerro Quehuisa en los Distritos de Lari y Madrigal

Autor : W. Garcia M.

Ubicación : Dist. Lari y Madrigal, Prov. Caylloma,
Dpto. Arequipa

Coordenadas :

	Lari	Madrigal
Lat.	15°37'25"S	15°36'40" S
Long.	71°46'20"O	71°48'40" O
Alt.	3,296 m.s.n.m.	3,256 m.s.n.m.

Fuente : Servicio de Geología y Minería

Fecha : Julio de 1963

32.- Estudio de los Movimientos de Tierra en el Caserio de Llacas

Autor : L. Castro B.

Ubicación : Dist. Chuquibamba, Prov Condesuyos,
Dpto. Arequipa

Coordenadas : Lat. 15°59'43" S
Long. 72°43'15" O

	Alt.	2,750 m.s.n.m
Fuente	:	Servicio de Geología y Minería
Fecha	:	Diciembre de 1956

AYACUCHO

33. Deslizamiento de Tierra en la Región de San Pedro

Autor	:	V.Carrillo H.
Ubicación	:	Dist. San Pedro, Prov. Lucanas, Dpto. Ayacucho
Coordenadas	:	Lat. 14°46'00" S Long. 74°06'00" O Alt. 3,000 m.s.n.m.
Fuente	:	INIFM
Fecha	:	Noviembre de 1963

34.- Deslizamiento del Cerro Cóndor-Sencca

Autor	:	D. T. Snow
Ubicación	:	Dist. Luricocha, Prov. Huanta, Dpto. Ayacucho
Coordenadas	:	Lat. 12°50'00" S Long. 74°18'00" O Alt. 2,210 m.s.n.m.
Fuente	:	Eng. Geology Case Histories N° 5-6, New York.
Fecha	:	1964

35.- Deslizamiento de Tierra en el Area de Atacocha

Autor : V. Taype R y J. Galdos B.

Ubicación : Dist. Santiago de Pischa, Prov. de Huamanga,
Dpto. Ayacucho

Coordenadas : Lat. 13°05'00" S
Long. 74°24'00" O
Alt. 3,188 m.s.n.m.

Fuente : Servicio de Geología y Minería

Fecha : Agosto de 1972

36.- Deslizamiento de Tierra en las Vecindades del Pueblo de Socos.

Autor : F. Megard

Ubicación : Dist. Vinchos, Prov. Huamanga,
Dpto. Ayacucho

Coordenadas : Lat. 13°13'12" S
Long. 74°17'27" O
Alt. 3,390 m.s.n.m.

Fuente : Servicio de Geología y Minería

Fecha : Noviembre de 1967

37.- Estudio Geodinámico de la Localidad de Acocro y Alrededores

Autor : J. Galdos B.

Ubicación : Prov. Ayacucho,
Dpto. Ayacucho

Coordenadas : Lat. 13°12'48" S
Long. 74°02'48" O
Alt. 3,247 m.s.n.m.

Fuente : Servicio de Geología y Minería

Fecha : Febrero de 1976

38.- Condiciones Geológicas y Estabilidad de Runoa Nuevo y Poblaciones Vecinas

Autor : D. Girard
Ubicación : Dist. Accomarca, Prov. Cangallo,
Dpto. Ayacucho
Coordenadas : Lat. 13°46'54" S
Long. 73°48'50" O
Alt. 3,350 m.s.n.m.
Fuente : Servicio de Geología y Minería
Fecha : Julio de 1964

39.- Derrumbe de Tierra en el Sector de Palica

Autor : V. Taype R.
Ubicación : Dist. Hualla, Prov. Victor Fajardo,
Dpto. Ayacucho
Coordenadas : Lat. 13°52'00" S
Long. 73°57'30" O
Alt. 3,350 m.s.n.m.
Fuente : Servicio de Geología y Minería
Fecha : Octubre de 1973

CAJAMARCA

40.- Deslizamiento de Tierra en Shillac

Autor : V. Carrillo N.

Ubicación : Dist. Oxamarca, Prov. Celendín,
Dpto. Cajamarca

Coordenadas : Lat. 7°02'00" S
Long. 78°04'00" O
Alt. 3,150 m.s.n.m

Fuente : INIFM

Fecha : Diciembre de 1962

41.- Deslizamiento de Tierra en el Area de Cuyumalca

Autor : J. Caldas.

Ubicación : Dist. y Prov. Chota,
Dpto. Cajamarca

Coordenadas : Lat. 6°33'23" S
Long. 78°37'52" O
Alt. 1,800 m.s.n.m.

Fuente : Servicio de Geología y Minería

Fecha : Mayo de 1971

42.- Deslizamiento de Tierra en el Sector de Santo Domingo de Capilla

Autor : F. Perales C.

Ubicación : Dist. y Prov. Cutervo,
Dpto. Cajamarca

Coordenadas : Lat. 6°18'00" S
Long. 78°51'00" O
Alt. 1,850 m.s.n.m

Fuente : Servicio de Geología y Minería

Fecha : Julio de 1971

43.- Deslizamiento de Tierra en el Cerro Chilcapuco

Autor : V. Taype R. y G. Pérez V.
Ubicación : Caserío de San José, Dist. Chimban,
Prov. Chota, Dpto. Cajamarca
Coordenadas : Lat. 6°18'00" S
Long. 78°26'00" O
Alt. 1,600 m.s.n.m.
Fuente : Servicio de Geología y Minería.
Fecha : Mayo de 1972

44.- Deslizamiento de Tierra en el Cerro Huayaquil-La Sacilla

Autor : V. Taype R. y G. Pérez V.
Ubicación : Dist. Toribio de Casanova, Prov. Cutervo,
Dpto. Cajamarca.
Coordenadas : Lat. 5°56'00" S
Long. 78°42'00" O
Alt. 1,500 m.s.n.m.
Fuente : Servicio de Geología y Minería
Fecha : Mayo de 1972

45.- Estudio Geodinámico del Pueblo Santa Rosa y Alrededores

Autor : J. Galdos B.
Ubicación : Prov. Jaén,
Dpto. Cajamarca
Coordenadas : Lat. 5°03'51" S
Long. 78°35'33" O
Alt. 1,200 m.s.n.m.
Fuente : INGEOMIN
Fecha : Mayo de 1977

46.- Fracturamiento del Suelo en el Pueblo Chumuch

Autor : A. Ballón

Ubicación : Dist. Chumuch, Prov. Celendín,
Dpto. Cajamarca

Coordenadas : Lat. 6°36'18" S
Long. 78°13'00" O
Alt. 2,250 m.s.n.m.

Fuente : Servicio de Geología y Minería

Fecha : Marzo de 1964

47.- Reconocimiento Geológico del Distrito de Yauyucán (Deslizamiento)

Autor : F. Perales C.

Ubicación : Dist. Yauyucán, Prov. Santa Cruz,
Dpto. Cajamarca

Coordenadas : Lat. 6°41'00" S
Long. 78°50'00" O
Alt. 2,400 m.s.n.m.

Fuente : Servicio de Geología y Minería

Fecha : Julio de 1971

48.- Estudios Geodinámicos en el Distrito de Sayapullo

Autor : G. Pérez V.

Ubicación : Prov. Cajabamba,
Dpto. Cajamarca

Coordenadas : Lat. 7°37'00" S
Long. 78°28'00" O
Alt. 2,250 y 2,700 m.s.n.m.

Fuente : Servicio de Geología y Minería
Fecha : Diciembre de 1975

CUSCO

49.- Deslizamiento de Pacchac y Yurac-Mayo

Autor : A. Linares
Ubicación : Dist. Pacchac, Prov. Calca,
Dpto. Cusco
Coordenadas : Lat. 13°19'12" S
Long. 71°56'20" O
Alt. 3,152 m.s.n.m.
Fuente : INGEMMET
Fecha : Abril de 1979

50.- Deslizamiento y Planeamiento Geológico en el Distrito de Colcha

Autor : O. Galarza A.
Ubicación : Dist. Colcha, Prov. Paruro,
Dpto. Cusco
Coordenadas : Lat. 13°50'00" S
Long. 71°45'40" O
Alt. 2,740 m.s.n.m.
Fuente : INIFM
Fecha : Abril de 1965

51.- Asentamientos en el Area Machu-Picchu

Autor : A. Linares

Ubicación : Dist. Machupicchu, Prov. Urubamba,
Dpto. Cusco

Coordenadas : Lat. 13°09'36" S
Long. 72°37'30" O
Alt. 3,390 m.s.n.m.

Fuente : INGEMMET

Fecha : Abril de 1979

HUANCAVELICA

52.- Estudio Geodinámico en el Area de Anco

Autor : V. Taype R.

Ubicación : Dist. Anco, Prov. Tayacaja,
Dpto. Huancavelica

Coordenadas : Lat. 12°40'00" S
Long. 74°35'00" O
Alt. 2,500 m.s.n.m.

Fuente : Servicio de Geología y Minería

Fecha : Abril de 1972

53.- Sobre Deslizamiento de Tierras en Quilla

Autor : A. Indacochea

Ubicación : Dist. Canaica, Prov. Huancavelica y
Dpto. Huancavelica

Coordenadas : Lat. 12°31'04" S
Long. 75°00'32" O
Alt. 3,600 m.s.n.m.

Fuente : INIFM

Fecha : Abril de 1952

54.- Deslizamiento de Tierras en las Inmediaciones de Huachos

Autor : J. Fernández-Concha y M. Iberico

Ubicación : Dist. Huachos, Prov. Castrovirreyna,
Dpto. Huancavelica

Coordenadas : Lat. 13°12'00" S
Long. 75°32'00" O
Alt. 3,500 m.s.n.m.

Fuente : Bol. Soc. Geológica del Perú, Tomo XVIII.

Fecha : Abril de 1945

55.- Estabilidad de la Laguna Azulcocha

Autor : G. Márquez

Ubicación : Dist. Anta, Prov. Acobamba,
Dpto. Huancavelica

Coordenadas : Lat. 12°49'45" S
Long. 74°36'58" O
Alt. 3,200 m.s.n.m.

Fuente : Servicio de Geología y Minería

Fecha : Abril de 1967

56.- Deslizamiento de Tierras en Arca de Chiris

Autor : V. Taype R.

Ubicación : Dist. Huachos, Prov. Castrovirreyna,
Dpto. Huancavelica

Coordenadas : Lat. 13°13'00" S
Long. 75°23'00" O
Alt. 3,350 m.s.n.m.

Fuente : Servicio de Geología y Minería
Fecha : Mayo de 1972

57.- Asentamiento, Agrietamiento y Deslizamiento de Tierras en Huayacundo Arma

Autor : G. Pérez V. y J. Galdos B.
Ubicación : Dist. Huayacundo Arma, Prov. Castrovirreyna,
Dpto. Huancavelica
Coordenadas : Lat. 13°32'00" S
Long. 75°22'00" O
Alt. 3,150 m.s.n.m.
Fuente : Servicio de Geología y Minería
Fecha : Agosto de 1972

58.- Estudio Geodinámico del Deslizamiento de Mayunmarca

Autor : J. Galdos B.
Ubicación : Dist. Andabamba, Prov. Acobamba,
Dpto. Huancavelica
Coordenadas : Lat. 12°38'12" S
Long. 74°40'32" O
Alt. 3,400 m.s.n.m.
Fuente : Servicio de Geología y Minería
Fecha : Enero de 1975

58.- Mecánica del Deslizamiento de Ccochacay, en el Río Mantaro.

Autor : V. Taype R.
Ubicación : Dist. Andabamba, Prov. Acobamba,
Dpto. Huancavelica
Coordenadas : Lat. 12°38'12" S

		Long.	74°40'32" O
		Alt.	3,400 m.s.n.m.
Fuente	:	Bol. Soc. Geológica del Perú, Tomo 52	
Fecha	:	1976	

59.- Huaycos en el Area de Tocas

Autor	:	M. Gonzáles G.	
Ubicación	:	Dist. Colcabamba, Prov. Tayacaja, Dpto. Huancavelica	
Coordenadas	:	Lat.	12°26'30" S
		Long.	74°38'50" O
		Alt.	3,000 m.s.n.m.
Fuente	:	Servicio de Geología y Minería	
Fecha	:	Abril de 1974	

60.- Derrumbe de Tierras en el Cerro Puca Puca

Autor	:	W. García M.	
Ubicación	:	Dist. Acoria, Prov.y Dpto. Huancavelica	
Coordenadas	:	Lat.	12°35'00" S
		Long.	74°50'00" O
		Alt.	3,000 m.s.n.m.
Fuente	:	Servicio de Geología y Minería	
Fecha	:	Mayo de 1964	

HUANUCO

61.- Deslizamiento de Tierras del Pueblo de Mosca al SW de Ambo

Autor : A. Heim

Ubicación : Dist. Huacar, Prov. Ambo,
Dpto. Huánuco

Coordenadas : Lat. 10°14'30" S
Long. 76°18'20" O
Alt. 3,500 m.s.n.m.

Fuente : Bol. Inst. Geológico del Perú, N°8,

Fecha : Agosto de 1946

62.- Estudio Geodinámico del Area de Llicua

Autor : V. Taype R.

Ubicación : Dist.Llicua, Prov. y Dpto. Huánuco

Coordenadas : Lat. 9°58'00" S
Long. 76°12'00" O
Alt. 2,000 m.s.n.m.

Fuente : Servicio de Geología y Minería

Fecha : Mayo de 1975

JUNIN

63.- Deslizamiento de Tierras en el Anexo de Yana-Yana

Autor : A. Indacochea

Ubicación : Yana-Yana, Dist. Chongos Altos,
Prov. Huancayo, Dpto. Junín

Coordenadas : Lat. 12°18'18" S
 Long. 75°17'34" O
 Alt. 3,634 m.s.n.m.
 Fuente : INIFM
 Fecha : Junio de 1951

64.- Deslizamiento en el Pueblo Ulcumayo

Autor : S. MENDÍVIL E.
 Ubicación : Dist. Ulcumayo, Prov. y Dpto. Junín
 Coordenadas : Lat. 10°58'00" S
 Long. 75°50'00" O
 Alt. 4,000 m.s.n.m.
 Fuente : Servicio de Geología y Minería
 Fecha : Abril de 1962

65.- Deslizamiento y Aluvionamiento Ocurridos en el Area de San Ramón-La Merced

Autor : A. Ballón
 Ubicación : Dist. San Ramón, Prov. Tarma,
 Dpto. Junín
 Coordenadas : Lat. 11°07'30" S
 Long. 75°20'00" O
 Alt. 800 m.s.n.m.
 Fuente : Servicio de Geología y Minería.
 Fecha : Abril de 1965

66.- Estudio Geodinámico del Deslizamiento del Cerro Pelado

Autor : V. Taype R.
Ubicación : Dist. y Prov. Satipo,
Dpto. Junín
Coordenadas : Lat. 11°15'18" S
Long. 74°40'54" O
Alt. 629 m.s.n.m.
Fuente : INGEMMET
Fecha : Setiembre de 1980

67.- Informe sobre las Condiciones Geológicas de las Lagunas Arca, Morococha y Derrumbes de Payhua y Ayahua

Autor : J. Cruzado
Ubicación : Dist. Morococha, Prov. Yauli,
Dpto. Junín
Coordenadas : Lat. 11°06'35" S
Long. 76°08'15" O
Alt. 4,467 m.s.n.m.
Fuente : INGEMMET
Fecha : Marzo de 1959

68.- Estudio Geodinámico en el Distrito de Ulcumayo

Autor : G. Pérez V.
Ubicación : Dist. Ulcumayo, Prov. y Dpto. de Junín
Coordenadas : Lat. 10°58'00" S
Long. 75°50'00" O
Alt. 4,000 m.s.n.m.
Fuente : Servicio de Geología y Minería
Fecha : Marzo de 1974

LA LIBERTAD

69.- Informe sobre los Deslizamientos de Cahuañe-Mayllucada

Autor : A. Indacochea

Ubicación : Dist. Usquil, Prov. Otuzco,
Dpto. La Libertad

Coordenadas : Lat. 7°48'00" S
Long. 78°25'20" O
Alt. 3,160 m.s.n.m.

Fuente : Servicio de Geología y Minería

Fecha : Diciembre de 1946

70.- Informe sobre el Deslizamiento de Tierra en el Distrito de Uchumarca

Autor : H. Jaén y L. Vargas

Ubicación : Dist. Uchumarca, Prov. Bolívar,
Dpto. La Libertad

Coordenadas : Lat. 7°07'38" S
Long. 77°50'43" O
Alt. 2,870 m.s.n.m.

Fuente : Servicio de Geología y Minería

Fecha : Junio de 1963

71.- Fenómenos Geodinámicos de Remoción de Masas en el Area de Condormarca

Autor : C. Sotomayor G.

Ubicación : Dist. Condomarca, Prov. Bolívar,
Dpto. La Libertad

Coordenadas : Lat. 7°33'00" S
 Long. 77°36'00" O
 Alt. 2,980 m.s.n.m.
 Fuente : Servicio de Geología y Minería
 Fecha : Febrero de 1976

LIMA

72.- Informe Sobre los Deslizamientos de Tierras en el Caserío de Ichoca

Autor : J. Cruzado y S. Mendivil
 Ubicación : Dist. Matucana, Prov. Huarochirí,
 Dpto. Lima
 Coordenadas : Lat. 11°50'48" S
 Long. 76°23'20" O
 Alt. 2,374 m.s.n.m.
 Fuente : Servicio de Geología y Minería
 Fecha : Febrero de 1959

73.- Flujos Aluvionales a lo Largo de la Quebrada Pampas y Destrucción del Caserío "Puente de Auco"

Autor : G. Pérez V.
 Ubicación : Dist. Auco, Prov. Yauyos,
 Dpto. Lima
 Coordenadas : Lat. 11°35'00" S
 Long. 75°56'00" O
 Alt. 3,379 m.s.n.m.
 Fuente : Servicio de Geología y Minería
 Fecha : Mayo de 1972

74.- Derrumbe en el Cañón del Infiernillo, Carretera Huallampecacra

Autor : A. Cossio N.

Ubicación : Dist. Caca, Prov. Yauyos,
Dpto. Lima

Coordenadas : Lat. 12°48'00" S
Long. 75°51'00" O
Alt. 1,300 m.s.n.m.

Fuente : Servicio de Geología y Minería

Fecha : Junio de 1966

75.- Derrumbes Producidos en el Morro Ayacato e Inundación Parcial del Area Urbana del Distrito de Tomas

Autor : G. Pérez V.

Ubicación : Dist. Tomas, Prov. Yauyos,
Dpto. Lima

Coordenadas : Lat. 12°14'30" S
Long. 75°45'00" O
Alt. 3,705 m.s.n.m.

Fuente : Servicio de Geología y Minería

Fecha : Mayo de 1972

76.- Derrumbe en las Faldas del Cerro "Bala Rumi"

Autor : G. Pérez V. y J. Galdos B.

Ubicación : Dist. Paríamarca, Prov. Canta,
Dpto. Lima

Coordenadas : Lat. 11°08'30" S
Long. 76°37'00" O
Alt. 3,200 m.s.n.m.

Fuente : Servicio de Geología y Minería
 Fecha : Setiembre de 1972

MOQUEGUA

77.- Movimiento de Tierras en el Pueblo de Hembruna

Autor : L. Castro B.
 Ubicación : Dist. La Capilla, Prov. Sánchez Cerro,
 Dpto. Moquegua
 Coordenadas : Lat. 16°46'00" S
 Long. 71°10'00" O
 Alt. 2,100 m.s.n.m.
 Fuente : INIFM
 Fecha : Octubre de 1957

78.- Deslizamiento de Tierras en el Departamento de Moquegua

Autor : M.A. Rivera Vera
 Ubicación : Dist. Ichuña y Puquina, Prov. Sánchez Cerro,
 Dpto. Moquegua
 Coordenadas : Lat. 16°29'30" S 16°38'30" S
 Long. 70°43'15" O 71°14'00" O
 Alt. 3,070 m s.n.m.
 Fuente : Bol.Soc.Geológica del Perú, Tomo 32,
 Fecha : Noviembre de 1957

79.- Remoción de Tierras en el Anexo de Anascapa

Autor : S. Mendivil E.

Ubicación : Dist. Ubinas, Prov. Sánchez Cerro,
Dpto. Moquegua

Coordenadas : Lat. 16°25'00" S
Long. 70°51'00" O
Alt. 3,152 m.s.n.m.

Fuente : Comisión Carta Geológica Nacional

Fecha : Octubre de 1964

80.- Remoción de Tierras en el Distrito de Ubinas

Autor : S. Mendivil E.

Ubicación : Dist. Ubinas, Prov. Sánchez Cerro,
Dpto. Moquegua

Coordenadas : Lat. 16°23'00" S
Long. 70°51'00" O
Alt. 3,375 m.s.n.m.

Fuente : Comisión Carta Geológica Nacional

Fecha : Noviembre de 1964

PASCO

81.- Deslizamiento de Tierras en el Area de Yuncampata

Autor : G. Morales

Ubicación : Dist. Paucartambo, Prov. y Dpto. Pasco

Coordenadas : Lat. 10°39'00" S
Long. 75°45'00" O

	Alt.	2,470 m.s.n.m
Fuente	:	Bol. Servicio de Geología y Minería, No.13
Fecha	:	Marzo de 1963

82.- Deslizamiento de Tierras en el Cerro Martín Capasha

Autor	:	S. Mendivil E.
Ubicación	:	Dist. Huariaca, Prov. y Dpto. Pasco
Coordenadas	:	Lat. 10°27'45" S Long. 76°05'30" O Alt. 3,000 m.s.n.m.
Fuente	:	Servicio de Geología y Minería
Fecha	:	Abril de 1963

83.- Deslizamiento de Tierras en el Cerro Raya-Pasco

Autor	:	G. Pérez V.
Ubicación	:	Dist. Paucar, Prov. Daniel A. Carrión, Dpto. Pasco
Coordenadas	:	Lat. 10°18'00" S Long. 76°22'00" O Alt. 3,350 m.s.n.m.
Fuente	:	Servicio de Geología y Minería
Fecha	:	Marzo de 1971

84.- Flujos de Barro, Deslizamientos y Agrietamientos en los Alrededores de Chupaca

Autor	:	G. Pérez V
Ubicación	:	Dist. Paucartambo, Prov. y

Dpto. Pasco

Coordenadas : Lat. 10°51'00" S
Long. 75°59'00" O
Alt. 3,800 m.s.n.m.

Fuente : Servicio de Geología y Minería

Fecha : Agosto de 1971

85.- Informe de la Inspección Geotécnica de las Lagunas de Chungar y Yanahuin

Autor : V.Taype R. y M. Gonzáles G.

Ubicación : Dist. Huayllay,
Prov. y Dpto. Pasco

Coordenadas : Lat. 11°00'00" S
Long. 76°23'34" O
Alt. 2,200 m.s.n.m.

Fuente : Servicio de Geología y Minería

Fecha : Agosto de 1975

86.- Flujos de Barro y Derrumbe en la Quebrada de Chaupiloma y Chapallulla

Autor : G. Pérez V. y V. Taype R.

Ubicación : Caserío Lirio Pampa, Dist. Paucartambo,
Prov. y Dpto. Pasco

Coordenadas : Lat. 10°46'12" S
Long. 75°48'59" O
Alt. 3,400 m.s.n.m.

Fuente : Servicio de Geología y Minería

Fecha : Marzo de 1972

87.- Estudio Geológico del Area Afectada por el Derrumbe del Cerro Chungar

Autor : G. Pérez V., F. Perales C y V. Taype R.
Ubicación : Dist. Huayllay, Prov. y Dpto. Pasco
Coordenadas : Lat. 11°08'00" S
Long. 76°32'00" O
Alt. 2,035 m.s.n.m.
Fuente : Servicio de Geología y Minería
Fecha : Marzo de 1971

88.- Deslizamiento de Tierras y Agrietamientos en el Area Ticiacayán

Autor : G. Pérez V.
Ubicación : Dist. Ticiacayán, Prov. y Dpto. Pasco
Coordenadas : Lat. 10°30'00"S
Long. 76°10'00"O
Alt. 3,500 m.s.n.m.
Fuente : Servicio de Geología y Minería
Fecha : Julio de 1971

89.- Derrumbes Producidos en el Cerro "Misahuíyanan" Caserío Virgen de Fátima

Autor : G. Pérez V. y Taype R.
Ubicación : Dist. Yanahuanca, prov. Daniel A. Carrión,
Dpto. Pasco.
Coordenadas : Lat. 10°28'30"S
Long. 76°30'00"O
Alt. 3,200 m.s.n.m.
Fuente : Servicio de Geología y Minería
Fecha : Mayo de 1972

PIURA

90.- Estudio Geodinámico del Area de Huancabamba y Alrededores

Autor : J. Galdos B.

Ubicación : Dist. Huancabamba, Dpto. Piura

Coordenadas : Lat. 5°14'26"S
Long. 79°27'30"O
Alt. 1,961 m s.n.m.

Fuente : INGEOMIN

Fecha : Octubre de 1976

Notas

INIFM Instituto Nacional de investigación y Fomento Minero.
INGEMMET Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico.
INGEOMIN Instituto Geológico y Minero.
CRYRZA Comisión de reconstrucción y Rehabilitación de la Zona
Afectada por el Sismo de 1970.
UNMSM Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

3.1.4 Conclusiones

Se concluye que los fenómenos de deslizamientos y aluviones ocurren frecuentemente en el territorio peruano, especialmente donde las condiciones de topografía, clima y geología favorecen su ocurrencia.

La estadística de los fenómenos de deslizamiento y aluviones por gravedad se presenta a continuación por cada departamento.

Departamento	N°de Deslizamientos	N°de Aluviones
Ancash	16	4
Anazonas	3	
Apurímac	11	2
Arequipa	3	
Ayacucho	7	
Cajamarca	9	
Cusco	3	
Huancavelica	9	
Huánuco	2	
Junín	6	
La Libertad	3	
Lima	5	
Moquegua	4	
Pasco	9	
Piura	1	
TOTALES	91	6

Se aprecia que los deslizamientos ocurren con mayor frecuencia en los departamentos andinos de Ancash, Apurímac, Cajamarca, Huancavelica, Pasco, Ayacucho y Junín. Los aluviones han ocurrido en Ancash y Apurímac.

El mapa de deslizamientos y aluviones refleja el conocimiento de los autores sobre las referencias disponibles sobre dichos fenómenos. Se espera la contribución de los especialistas para completar el mapa propuesto.

3.2 DESLIZAMIENTOS Y ALUVIONES POR SISMOS EN EL PERU

3.2.1 Introducción

Se presenta la información disponible sobre el fenómeno de deslizamientos y aluviones por sismos ocurridos en el Perú, y su representación en un mapa de áreas de deslizamientos por sismos (Mapa N°10).

El mapa está dibujado a la escala 1:4'000,000 y presenta distinciones entre casos seguros y casos probables, de acuerdo a la interpretación de la información disponible en la literatura. Este capítulo documenta además la información que evidencia el fenómeno de deslizamiento por sismos Alva-Hurtado y Chang (1985).

3.2.2 Documentación Básica

Se recopiló y revisó la información disponible en la literatura sobre sismos peruanos. Un listado de las referencias se presenta en Alva Hurtado (1981).

En la revisión de la literatura se trató de encontrar evidencias sobre el fenómeno de deslizamiento por sismos, interpretando los casos como seguros y probables. Los casos probables por lo general fueron aquellos asociados a sismos históricos y a sismos recientes donde la descripción del fenómeno no era detallada. También se contó con una versión preliminar del Mapa de Deslizamientos por Terremotos presentado por INGEMMET (1983).

En el mapa de áreas de deslizamientos por sismos se incluye el nombre de la localidad en donde se produjo el fenómeno, así como la fecha de ocurrencia. También se incluye en el mapa la red hidrográfica nacional.

3.2.3 Cronología de los Deslizamientos por Sismos

1513 a 1515

Silgado (1978) en base a la obra de Esquivel y Navia reporta que en esos años ocurrieron grandes sismos, acompañados de formidables deslizamientos de tierras en el Cusco.

22 de Enero de 1582

Terremoto de Arequipa. Fray Victor Barriga (1915) comenta que "los cerros conmovidos ayudaron al temor con el ruido, desgalgo de piedras, la tierra y el mucho polvo parecía que unos con otros se apresuraban a sepultar a los vivientes".

28 de Febrero de 1600

Hubo un fortísimo temblor en Arequipa el 19 de Febrero causado por la explosión del cráter del volcán Huaynaputina (Omate). Esta explosión fue precedida y seguida por una serie de temblores.

El Padre Descourt (1600) indicó que el 28 de Febrero quedaron en Omate sepultados 6 ó 7 pueblos pereciendo todos sus habitantes. El río Tambo quedó represado por los torrentes de escombros y lavas; la rotura posterior de ese dique terminó por asolar el valle.

31 de Marzo de 1650

Terremoto en el Cusco. Silgado (1978) se refiere a la obra de Esquivel y Navia (1740) para indicar que se produjeron grandes deslizamientos en las parte altas de Pisac y Paucartambo; uno de ellos represó el curso del río Apurímac. La tierra se agrietó en varios lugares.

6 de Enero de 1725

Movimiento sísmico en Trujillo. Silgado (1978) indica que en los nevados de la Cordillera Blanca el sismo originó la rotura de una laguna glaciaria, la cual desbordándose, arrasó un pueblo cercano a Yungay, muriendo 1,500 personas.

28 de Octubre de 1746

Terremoto en Lima y Tsunami en el Callao. Silgado (1978) indicó que en algunos parajes de Lucanas (Ayacucho) ocurrieron agrietamientos del terreno y deslizamientos debido a este sismo.

4 de Marzo de 1904

Intensos movimientos sísmicos en Lima. Silgado (1978) indica que en Matucana hubo desprendimientos del material meteorizado de la parte alta de los cerros, y en Pasamayo fueron profusos los deslizamientos en los acantilados de arena.

6 de Agosto de 1913

Terremoto en Caravelí. Según Umlauff (1915) el movimiento de pocos segundos de duración produjo desplome de edificios y derrumbes en las laderas, ocasionando varios muertos.

11 de Setiembre de 1914

Se repitió en Caravelí otro violento sismo que la volvió a dejar en escombros, y ocasionó derrumbes en los cerros que rodeaban a la ciudad. (Umlauff, 1915).

28 de Diciembre de 1915

Según Umlauff (1915), fortísimo temblor en Caravelí donde cuarteó viviendas, agrietó parte de las torres de la iglesia y causó deslizamientos de las partes sueltas en los cerros.

8 de Febrero de 1916

Sismo de origen cordillerano. Silgado (1978) indica que afectó Ayacucho y Huancavelica. En Ocos se cayeron viviendas y hubo deslizamientos de la parte alta de los cerros.

9 de Abril de 1928

Terremoto de Ayapata, Puno. Silgado (1978) refiere que en el pueblo de Ollachea se oían detonaciones subterráneas y luego venían sacudimientos de tierra. Del nevado Allinocapae se desprendieron con estrépido enormes masas de hielo. Los derrumbes de los taludes del río Esquilaya formaron una represa natural que más tarde se rompió.

14 de Mayo de 1928

Terremoto de Chachapoyas, Amazonas. Silgado (1978) indica daños graves en Huancabamba, Cutervo, Chota y Jaén. La formación de grietas en el suelo, algunas de ellas hasta de dos metros de profundidad, y grandes derrumbes fueron comunes en el área epicentral. Uno de los deslizamientos, en el valle de Chamaya, sepultó al pueblo de Pimpincos. (Kuroiwa y Deza, 1968).

24 de Diciembre de 1937

Terremoto en las vertientes orientales de la Cordillera Central. Silgado (1978) anotó que hubo grandes deslizamientos en los cerros boscosos de Chontabamba y Chorobamba, en una extensión aproximada de 50 Km. En los caminos de herradura a Huancabamba se produjeron enormes grietas y derrumbes de cerros.

2 de Julio de 1938

La ciudad de Tarma y poblaciones situadas en los valles del Mantaro y Chanchamayo fueron sacudidos por dos violentos sismos (Silgado, 1978). En Tarma el segundo movimiento causó el derrumbe de varios cerros.

24 de Agosto de 1942

Terremoto en Nazca. Silgado (1978) indica derrumbes en los cerros en los tramos de la carretera de acceso al interior, especialmente a la altura de Puquio y en otros lugares de la vertiente occidental, así como al nor-oeste de Cangallo, en la vertiente atlántica.

10 de Noviembre de 1946

Terremoto en Ancash. Heim (1949) destaca que grandes derrumbes se produjeron en las quebradas de Pelagatos, Shuitococha, Huaychihuaco, Llama, San Miguel, Mayas, Mirador y Quiches. Desprendidas de los cerros Novillo, Bandera y Acobamba. Silgado (1951) comenta que en la quebrada Pelagatos se estimó en unos 25 millones de metros cúbicos la masa del material granítico descompuesto que había caído al valle. En el derrumbe de Huaychayaco, en la parte alta de Quiches, se desprendieron de las faldas del cerro unos 5 millones de metros cúbicos de material calizo-margoso. Un deslizamiento de grandes proporciones sepultó al caserío de Acobamba donde murieron 217 personas. Otros derrumbes notables ocurrieron en Portachuelo, cerca del nevado Pelagatos y sobre el río Marañón.

1 de Noviembre de 1947

Terremoto en Satipo. Silgado (1948) comenta que desde los vuelos de reconocimiento entre San Ramón y Satipo se observó infinidad de derrumbes y desprendimientos de las partes altas de las zonas boscosas hacia el fondo de las quebradas, las cuales causaron represamientos. Deslizamientos en Carrizales, Calabazas y Cerro Pelado.

14 de Febrero de 1948

Violento temblor en Quiches. Silgado (1978) indica que los derrumbes de los cerros ocasionaron la muerte de 7 personas, heridos y la interrupción de varios tramos de los caminos de herradura.

28 de Mayo de 1948

Terremoto en Cañete. Silgado (1978) reporta que en las inmediaciones de Calaveras se produjeron varios deslizamientos en terrenos pantanosos. En las faldas del cerro Candela se formaron grietas, observándose en el lugar pequeños derrumbes debido a la saturación del terreno.

21 de Mayo de 1950

Terremoto en el Cusco. Silgado et al (1952) indican que en el lado sur del valle, al sur-este del pueblo de San Sebastián, se observó en una longitud de 5 Km. una zona de extensa fisuración. Las grietas eran de forma irregular, de abertura variable y de 10 a 50 mts

de longitud. Los deslizamientos fueron de magnitud reducida y ocurrieron principalmente en algunas laderas escarpadas y en los taludes de gravas aluviales.

9 de Diciembre de 1950

Fuerte temblor en Ica. Ocurrieron derrumbes en la carretera de Ica a Córdova. En Pacarán y en el pueblo de Huaytará hubo deslizamiento. (Silgado 1952).

12 de Diciembre de 1953

Un fuerte y prolongado movimiento sísmico afectó la parte Noroeste del Perú y parte del territorio ecuatoriano. Silgado (1957) indicó deslizamientos de material suelto en El Alto, en los alrededores de Zorritos y de las partes altas del Cañón del río Tumbes.

21 de Abril de 1954

Movimiento ligeramente destructor en el sur del Departamento de Lima. Derrumbe en el sector de Pasamayo y entre Chíncha y la Florida se produjo un deslizamiento de arena en el talud de falla de Jahuay (Silgado, 1957).

18 de Febrero de 1956

Sismo destructor en el Callejón de Huaylas. Silgado y Castro (1956) indicaron daños intensos en Carhuaz. Se produjo deslizamiento del talud de un cerro en el sector de Shapasmamarca, así como grietas y deslizamientos en un sector del Cerro Runto frente a Shilla.

18 de Febrero de 1957

Movimiento sísmico sentido a lo largo de la costa, desde Huarmey hasta Chíncha. Silgado (1978) anota que en las cercanías del pueblo de Sayán, en el río Huaura, los deslizamientos de grandes bloques de piedra rompieron el muro de contención de un canal de irrigación. Derrumbes de arena en los acantilados de Pasamayo.

15 de Enero de 1958

Terremoto de Arequipa. Silgado (1978) indica que por efecto tanto del Misti como de los cerros vecinos, se desprendieron enormes piedras que al rodar cuesta abajo, levantaron gran polvareda. Hacia la Cordillera, los derrumbes dañaron en varios tramos la línea del ferrocarril a Puno. La carretera Panamericana entre Chala y Arequipa fue cubierta en varios trechos por deslizamiento de magnitud variable, siendo la zona más afectada entre Atico y Camaná.

8 de Mayo de 1962

Fuerte sismo en el anexo de Yungul, distrito de Ulcumayo, provincia de Junín. Deslizamiento de las partes altas (Silgado, 1978).

17 de Octubre de 1966

La ciudad de Lima fue estremecida por un sismo. Las vías de acceso al interior, especialmente el Km 51 de la carretera a Canta y el Km 22 de la carretera Central quedaron bloqueadas a consecuencia de los derrumbes. En la costa hubo deslizamientos de material suelto de los acantilados de Chorrillos, Miraflores y Magdalena, que causaron gran polvareda. En Pasamayo se produjeron desprendimientos de arena eólica. (Lomnitz et al, 1969).

19 de Julio de 1968

Terremoto en Moyobamba. Desde el avión Kuroiwa y Deza (1968) pudieron divisar varios deslizamientos en zonas de fuertes y moderadas pendientes en los cerros de Angaisha. Martínez Vargas (1969) indicó derrumbes en el área afectada.

4 de Octubre de 1968

Terremoto en Pariahuanca, producido por la falla de Huaytapallana. Deza (1971) indicó que se produjeron derrumbes en las partes altas, en el terreno hubo agrietamientos y se evidenciaron cambios en el nivel freático por la desecación de cuatro lagunas.

31 de Mayo de 1970

Terremoto que afectó el departamento de Ancash y el sur de La Libertad. A consecuencia del terremoto se produjo un gran aluvión que arrasó la población de Yungay, en el Callejón de Huaylas. La cornisa norte del nevado Huascarán se desprendió arrastrando piedras, hielo y lodo y cubrió Yungay y parte de Ranrahirca. Martínez Vargas (1971) reporta que más de 30,000 personas quedaron sepultadas en Yungay y Ranrahirca bajo una masa de lodo y rocas cuyo volumen se estimó en más de 250 millones de metros cúbicos y una altura de más de 6 metros.

Otros aludes de menor magnitud se produjeron sobre la laguna de Llanganuco y sobre la de Parón (Plafker et al, 1971). Los más grandes deslizamientos estuvieron concentrados en los cursos bajos del río Santa y tributarios (Ericksen et al, 1970). Un gran deslizamiento de forma rotacional se observó a lo largo de la margen derecha del río Santa, a la altura de Recuay, que represó al río (Silgado, 1978).

5 de Mayo de 1971

Violento sismo estremeció la provincia de Sihuas (Ancash). Como consecuencia de los desplomes y deslizamientos que se produjeron en el caserío de San Miguel de Chingalpo y pueblo de Quiches murieron cinco personas y treinta quedaron heridas. Otros deslizamientos inutilizaron las vías de acceso a esa provincia. (Silgado, 1978).

14 de Octubre de 1971

Sismo en la provincia de Aimaraes, Apurímac. Perales et al (1972) observaron agrietamientos del terreno en las localidades de Sañaica, Ihuayllo, Chacapunte, Mosecca, Hurquizo y Huaracci. También observaron derrumbes en la localidad de Toraya (Cerro Gentilnayoc que afectó a la carretera Chalhuanca-Abancay, Cerro Etarca), Ihuayllo, Chacapunte, y en las quebradas Mosecca y Mamani a lo largo del valle Pachachaca.

20 de Marzo de 1972

Sismo en el nororiente. Perales y Agroamonte (1972) identificaron tres derrumbes alrededor de Saposoa. En Tarapoto se produjeron derrumbes de taludes en la banda derecha del Shilcayo. En Moyobamba se produjo un aluvión en Jepelacio.

3 de Octubre de 1974

Terremoto en Lima. Giesecke et al (1980) observaron derrumbes de material aluvial en los acantilados situados entre Magdalena y Chorrillos.

10 de Noviembre de 1980

Sismo en Ayacucho. Ocola (1981) indica que ocurrieron fenómenos geológicos de asentamientos y deslizamientos de grandes porciones de tierra, principalmente en taludes de fuerte pendiente. También hubo deslizamientos menores en taludes rocosos.

17 de Abril de 1981

Sismo en Ayacucho. Ocola (1981) anota que en Opancca, Paccha y Ticllas se han podido observar deslizamientos de rocas y derrumbes. También en los cerros Moyo Orcco y Suyto Orcco y en las quebradas de Molinos y Cruz-huayro.

3.2.4 Conclusiones

La revisión de la literatura indica que el fenómeno de deslizamiento por sismos se ha producido en la costa, sierra y selva alta del Perú. La mayor incidencia del fenómeno está en la sierra y selva alta, por las condiciones topográficas, geológicas y climáticas de estas regiones.

El mapa de Areas de Deslizamientos por Sismos refleja el conocimiento de los autores sobre los efectos de los sismos en el Perú. Se espera que en el futuro se realicen estudios adicionales que aporten nuevas evidencias del fenómeno, que servirán para modificar o completar el mapa propuesto.

CAPITULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- 1) Los fenómenos de deslizamientos y aluviones son eventos naturales que suceden con frecuencia en las cuencas hidrográficas del Perú. Las condiciones topográficas, la geología y el clima contribuyen a su ocurrencia. Es posible delimitar zonas del país donde estos fenómenos se presentan con mayor frecuencia e intensidad, debido a las condiciones específicas de los suelos, pendiente, cobertura vegetal y acción del hombre.
- 2) La lluvia es un agente importante, satura los materiales no consolidados ubicados en las laderas o sobre planos de estratificación, esquistocidades o diaclasamientos de rocas consolidadas arcillosas, comportándose como un factor lubricante que origina el desplazamiento de masas rocosas induciendo el movimiento gravitatorio.
- 3) Los fenómenos geodinámicos se presentan con mayor frecuencia en el Perú en los meses de Febrero y Marzo, cuando las precipitaciones alcanzan su mayor intensidad. Las precipitaciones en la costa y sierra al parecer están relacionadas con los desplazamientos de las aguas cálidas y superficiales de la región ecuatorial tropical del Océano Pacífico y al intercambio de masas de nubes cargadas de humedad provenientes de la cuenca amazónica que disminuye su temperatura al cruzar la Cordillera de los Andes, que al encontrarse con nubes más calientes del Pacífico producen fuentes de altas precipitaciones.
- 4) La Cordillera de los Andes en el sur del país es una barrera para el intercambio de masas de nubes entre la cuenca del Amazonas y la vertiente del Pacífico, además el fenómeno "El Niño" rara vez se desplaza más allá de la latitud 11° a la 14°, por tal motivo los departamentos de Tacna y Moquegua están menos expuestos a los fenómenos geodinámicos. En el centro, las cuencas recolectoras están caracterizadas por laderas escarpadas, altas pendientes y escasa vegetación, propiciando la generación de Huaycos. En el norte la cordillera está más alejada del Océano, la cuenca es menos accidentada y la menor altitud favorece el intercambio de nubes y la precipitación, a la ocurrencia de las inundaciones.
- 5) Los fenómenos de deslizamientos y aluviones son objeto de estudios de varias disciplinas como la Mecánica de Suelos, Geología, Hidrología, Forestal, Hidráulica, Meteorología y otras, que deben estar orientadas a conocer las causas de los fenómenos, y controlar su magnitud y efectos.

- 6) Se concluye que es necesario actualizar el inventario sobre procesos de inestabilidad presentado en este informe
- 7) Es también necesaria la evaluación y análisis de esta información para preparar mapas de amenaza de deslizamientos y aluviones en el Perú.

4.2 Recomendaciones

- 1) Estudiar la magnitud y probabilidad de ocurrencia de deslizamientos y aluviones con la información básica y predecirla. Instalar observatorios meteorológicos, para estudiar la transferencia de nubes de la cuenca amazónica a la vertiente del Pacífico, aumentar el número de estaciones hidrológicas y meteorológicas en las cuencas donde se presentan con mayor frecuencia y obtener fotografías del territorio con el fin de facilitar la interpretación y predicción de los fenómenos meteorológicos. Conocer las causas de los fenómenos geodinámicos y realizar estudios geológicos, geomorfológicos y geotécnicos.
- 2) Realizar a nivel de la cuenca hidrográfica, estudios y acciones orientadas a controlar la magnitud de los fenómenos geodinámicos. Las cuencas deben ser tratadas como unidades dinámicas donde los factores causantes se relacionan e integran. Es necesario establecer y estudiar cuencas pilotos en zonas representativas de las regiones norte, centro y sur del país y proporcionar información básica para los planes integrales.
- 3) Realizar un programa y efectuar obras de represamiento en las lagunas glaciares de la cordillera y en las altas punas, donde los ríos aún no transportan sedimentos para obras de irrigación.
- 4) Evaluar y clasificar las áreas de las cuencas de acuerdo a su estabilidad mediante la confección de mapas geológicos, geomorfológicos y geotécnicos, permitiendo establecer una zonificación de seguridad física.
- 5) Para el análisis económico se considera los beneficios tangibles como pérdida de producción agrícola, rehabilitación de las víctimas, reemplazo o reparación de las propiedades urbanas u obras de ingeniería, inventario de daños. Como valor intangible es el sentido de seguridad al saber que sus vidas y bienes están protegidos.
- 6) El modo real de disminuir los daños es considerar las medidas de estos fenómenos dentro de planes integrales; dar las pautas generales de la política y metodología a seguir; a nivel regional debe realizarse los planos específicos de las cuencas y ejecutar las obras.

- 7) El país tiene las instituciones necesarias para colaborar en la formulación de estos planes integrales a nivel nacional, tales como organismos planificadores, organismos de recopilación y evaluación de datos, organismos públicos, institutos especializados, universidades y otros; lo que se requiere es la coordinación entre estas instituciones.
- 8) Se recomienda realizar un inventario de otros fenómenos de geodinámica externa, tales como: derrumbes, flujos de lodo, inundaciones, etc.

Bibliografía

- Alva Hurtado J.E. (1981), "Bibliografía sobre los Terremotos Peruanos: Aspectos Ingenieriles", El Ingeniero Civil, Año 3 N°15, pp. 50-51.
- Alva Hurtado, J.E., Meneses Loja, J. y Guzmán León, V. (1984), "Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas en el Perú", V Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Tacna-Perú.
- Alva Hurtado J.E. y Chang Ch. L.A. (1985), "Mapa de Areas de Deslizamiento por Sismo en el Perú", V Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, Lima, Perú.
- Antúnez de Mayolo, Santiago (1945), "The Great Mantaro natural Dam or Landslide: Peruvian Times, Lima, Perú; October 12, 1945.
- Barriga V.M. (1951), "Los Terremotos en Arequipa 1582-1868", Biblioteca Arequipa, Tomo Séptimo.
- Berg G. V. y Husid L R. (1970), "Engineering Aspects of the Perú earthquake of May 31 st, 1970". Report of the Regional Seismological Center for South America, Lima-Perú.
- Berrocal, J. (1974), "Aspectos sismológicos relacionados con el deslizamiento de Mayunmarca", Informe Técnico N°2, Instituto Geofísico del Perú.
- Casaverde, Matco (1970) "El terremoto y la Avalancha en Yungay, Perú, el 31 de Mayo de 1970" Instituto Geofísico del Perú.
- Chang Ch. L. y Alva Hurtado J.E. (1988), "Mapa de Distribución de Deslizamientos y Aluviones en el Perú", VII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Huaraz, Perú.
- Chang L.A. (1988), "Problemas de Estabilidad de Taludes en el Perú", Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería.
- Cluff L. S. (1971), "Peru earthquake of May 31, 1970: Engineering Geology Observation", Bulletin of the Seismological Society of America Vol. 61, N° 3, June 1971.
- Defensa Civil (1974), "Operación Mantaro", Comité Nacional de Defensa civil, 29 de Mayo de 1974, Lima-Perú.
- Descourt B. (1600), "El Terremoto de 1600 en Arequipa" Carta escrita en 1600. Colección Zugger, Londres,
- Deza, E., Huaco, P., Anconeira, T., Canaviri, R., Minaya, M., y Tolentino, V. (1984), "Aspectos sismológicos, sismotectónicos y geológicos del 31 de Mayo de 1970", Proyecto Sira-Ecosis. Evaluación de los efectos económicos de los terremotos en América Latina Ceresis, Lima-Perú.

- Deza E. (1971), "The Pariahuanca Earthquake, Huancayo, Peru. July-October 1969", Recent Crustal Movements, Royal Society of New Zealand, Bulletin 9, pp. 77-83.
- Dollfus, O. y Peñaherrera del Aguila, C. (1962), "Informe de la comisión peruana de geomorfología sobre la catástrofe ocurrida en el Callejón de Huaylas, el 10 de Enero de 1962 originando la destrucción de Ranrahirca y otros centros poblados", Boletín de la Sociedad Geográfica de Lima, Tomo LXXIX Enero-Abril 1962.
- Ericksen, G.E., Fernández Concha, J. y Plafker, G. (1971), "The Peru Earthquake of May 31, 1970: Geologic Investigation related to Reconstruction" U.S. Geological Survey.
- Ericksen, G.E., Plafker, G. y Fernández Concha, J. (1970), "Informe preliminar de los eventos geológicos asociados con el terremoto del Perú ocurrido el 31 de Mayo de 1970". U.S. Geological Survey, Circular 639.
- Esquivel y Navia D. (1740), "Apuntes Históricos del Perú y Noticias Cronológicas del Cusco (Anales). Período 1543-1610", Cusco.
- Fuchs, F.G. (1945) "Causas Geológicas del Derrumbe del Cerro que Represó al Mantaro", El Comercio, Lima-Perú, Setiembre 19.
- Galdos Bustamante, J. (1973), "Estudio geodinámico del área de Mayunmarca", Ministerio de Energía y Minas, Servicio de Geología y Minería, División de Geotecnia, Lima, November 1973.
- Galdos Bustamante, J. (1975), "Estudio orientado a la realización de trabajos geodinámicos, geotécnicos en la cuenca del río Mantaro", Ingemmet, Lima.
- Garner, H. F. (1959), "Stratigraphic-Sedimentary Significance of Contemporary Climate and Relief in Four Regions of the Andes Montains", Geol. Soc. America Bull., Vol. 70, pp. 1327-1368.
- Giesecke, A. y Deza, E. (1970), "Datos sismológicos" Instituto Geofísico del Perú.
- Giesecke A., Ocola L. y Silgado E. (1980), "El Terremoto de Lima del 3 de Octubre de 1974", Informe Preparado por el Centro Regional de Sismología para América del Sur a UNESCO Contrato SC/RP 601-013.
- Ghiglini L. (1971) "Alud de Yungay y Ranrahirca del 31 de Mayo de 1970", Comunicación Personal.
- Gruter, A. (1945), "Observaciones efectuadas en el dique del río Mantaro", Oficio N°58, al jefe del Dpto. de Regadío de la Sierra, Lima-Perú, Noviembre 12.
- Harrison, J. V. (1945), "The great Mantaro natural dam and landslide", Peruvian Times, Lima-Perú, October 12.
- Heim A. (1949), "Observaciones Geológicas en la Región del Terremoto de Ancash en Noviembre de 1946" Vol. Jubilar de la Sociedad Geológica del Perú, Fascículo 6, Lima.

- Humala et al (1974) "Deslizamientos y Represamiento ocurridos en el Valle del Mantaro", Informe Técnico, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Hutchinson, J.N. y Bhandari, R.K. (1971), "Undrained loading: A fundamental mechanism of mudflows and other mass movements", *Geotechnique*, Vol. 21, N°4, pp. 353-358.
- Hutchinson, J. N. y Kojan, E. (1975), "The Mayunmarca landslide of 25 April 1974", Serial N° 3124/RMO. RD7SCE, Paris, february, Unesco.
- Indacochea, A. e Iberico, M. (1947), "Aluvionamiento de Chavín de Huantar el 17 de Enero de 1945", *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, N°20.
- INGEMMET (1983), "Memoria Descriptiva del Mapa de Deslizamientos del Perú", SISRA-CERESIS, Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, Lima, Perú.
- Jaén La Torre, y Taype Ramos, V. (1976), "Deslizamiento del cerro Cóndor-Sencca, departamento de Ayacucho", *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, Tomo 52, pág. 32 Lima-Perú.
- Jaén H. y Taype V. (1976), "Ocurrencia de Fenómenos de Geodinámica Externa en el Perú", *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, Tomo 52, Pág. 27-38.
- Jaén, H., Perales, F. y Taype, V. (1970), "Observaciones geológicas del sismo del 31 de Mayo de 1970". Primer Congreso Latinoamericano de Geología, Lima-Perú.
- 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.
- Kunkel, G. y Kunkel, M.A. (1963), "Bemerkungen über eine neue Erdrutschzone in Zentralperu", *Pettermanns Geografische Mitteilungen*, 107: 226. 227.
- Lee, K. L. y Duncan, J.M. (1975), "Landslide of April 25, 1974 on the Mantaro river, Perú", National Academy of Sciences, Washington, D.C.
- Lliboutry, L. (1970), "Informe preliminar sobre los fenómenos glaciológicos que acompañaron el terremoto y sobre los peligros presentes". UNESCO
- Lomnitz C., Esteva L., Flores R. y Cabré R. (1967), "Informe de la Misión de Reconocimiento Sismológico del Terremoto del 17 de Octubre de 1966", UNESCO, Paris.
- Lomnitz, C. (1970), "Misión de reconocimiento sismológico terremoto del norte del Perú del 31 de Mayo de 1970". UNESCO
- Martínez Vargas A. (1969), "Apreciaciones Geológicas de Campo sobre los Efectos del Terremoto del 19 de Junio de 1968 en Moyobamba y Alrededores del Nor-Oriente Peruano", Primer Congreso Nacional de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Lima-Perú.

- Martínez Vargas, A. (1971), "Análisis sobre los huaicos, aluviones y alud-aluviones ante el efecto sísmico en el Perú", III Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Noviembre del 10 al 13 de 1971, Acapulco, México.
- Martínez Vargas, A. (1974), "Represamiento del Mantaro . El aluvión de Huaccoto y su origen", Ponencia presentada a la mesa redonda sobre el represamiento del Mantaro, CIP 8-12 Julio, Lima-Perú.
- Ministerio de Agricultura (1974), "Ensayos en modelo hidráulico del proceso de erosión de la presa de Mayunmarca-Huaccoto y la onda de ruptura en el río Mantaro", Laboratorio Nacional de Hidráulica Informe Técnico N°3-033, 3 de Junio.
- Narváez, S. y Guevara, C. (1968), "Mapa geológico del cuadrángulo de Huancavelica. Escala 1:100,000", Ministerio de Fomento y Obras Públicas, Lima-Perú.
- Ocola L. (1981), "Actividad Sísmica en la zona de Ayacucho y Programa de Estudios", Dirección de Investigación Científica de Geofísica Aplicada, Instituto Geofísico del Perú, Lima-Perú.
- Oppenheim V. (1946), "El Aluvión de Huaraz", Boletín Sociedad Geológica del Perú, Tomo XIX.
- Perales F. y Agramonte J. (1972), "Reconocimiento Geotécnico entre Juanjui y Moyobamba con Motivo del Sismo del 20 de Marzo de 1972", Servicio de Geología y Minería, Ministerio de Energía y Minas, Lima, Perú.
- Perales F., Pérez G. y Taype V. (1972), "Apreciaciones Geológicas en el Area Afectada por el Sismo del 14 de Octubre de 1971", Servicio de Geología y Minería, Ministerio de Energía y Minas, Lima, Perú.
- Plafker, G., Ericksen, G.E. y Fernández-Concha, J. (1971), "Geological aspects of the May 31, 1970, Perú earthquake", Seismological Society of America, Bulletin, Vol. 61, N°3, pp. 543-578.
- Servicio de Geología y Minería (1969) " Mapa Geológico Generalizado del Perú", Lima, Perú. Hidrografía.
- Servicio de Hidrología y Navegación de la Marina (1982), "Mapa Metereológico del Perú", Lima, Perú.
- Silgado E. (1948), "Datos Sismológicos del Perú-1947", Boletín N°11, Instituto Geológico del Perú, Lima-Perú.
- Silgado E. (1951), "The Ancash Earthquake of November 10, 1946", Bulletin of the Seismological Society Of America, Vol 41, N°2, pp. 83-99.
- Silgado E. (1952), "El Sismo del 9 de Diciembre de 1950", Datos Sismológicos del Perú 1949-1950, Boletín N°4, Instituto Nacional de Investigación y Fomento Mineros, Ministerio de Fomento y Obras Públicas, Lima-Perú, pp 47-51.

- Silgado E., Fernández-Concha J. y Ericksen G.E. (1952), "El Terremoto del Cusco del 21 de Mayo de 1950", Datos Sismológicos del Perú 1949-1950, Boletín N°4, Instituto Nacional de Investigación y Fomento Mineros, Ministerio de Fomento y Obras Públicas, Lima-Perú, pp 27-46.
- Silgado E. y Castro L. (1956), "Informe sobre los Sismos de Carhuaz", Instituto Nacional de Investigación y Fomento Mineros, Ministerio de Fomento y Obras Públicas, Lima-Perú.
- Silgado E. (1957), "El Movimiento Sísmico del 12 de Diciembre de 1953", Anales del Primer Congreso Nacional de Geología, Parte II, Boletín de la Sociedad Geológica del Perú Tomo 32 pp. 225-238.
- Silgado E. (1957), "Datos Sismológicos del Perú 1952-1953", Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, Tomo XXIX, Lima, Perú.
- 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, Geodinámica e Ingeniería geológica, Lima-Perú.
- Snow, D. T. (1959), "El derrumbe del Cerro Cóndor-Sencca, departamento de Ayacucho", Proc. 5ta Convención de Minería. Lima-Perú.
- Snow, D. T. (1964), "Landslide of Cerro Cóndor-Sencca, Department of Ayacucho, Perú", Engineering Geology Case Histories Numbers 1-5, prepared for the Engineering Geology Division of the Geological Society of America, Inc. Parker Trask and George A. Kiersch, editors.
- Spann, J. (1947), "Informe sobre el origen de la catástrofe de Chavín de Huántar", Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, N° 20, año 1947.
- Taype R. V. (1976), "Mecánica del deslizamiento de Ccochacay en el río Mantaro", Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, tomo 52, Pág. 73-90.
- Véliz J. (1971), "Informe Geológico del Area Urbana y Sub-urbana de Recuay", CRYRZA.
- Villachica H. (1986), "La Agricultura en la Selva Peruana", Volumen V, Gran Geografía del Perú. Naturaleza y Hombre, Manfer-Juan Mejía Baca, Lima, Perú.
- Vergara, C. (1973), "Estudio geológico de la zona de Mayunmarca, prov. de Acobamba- Dpto. de Huancavelica (deslizamiento de rocas y tierras): Ministerio de Agricultura, Octubre de 1973.
- Umlauff A.F. (1915), "La Región Sísmica de Caravelí", Boletín de la Sociedad Geográfica de Lima, Tomo XXXI, Segundo Trimestre, Lima.

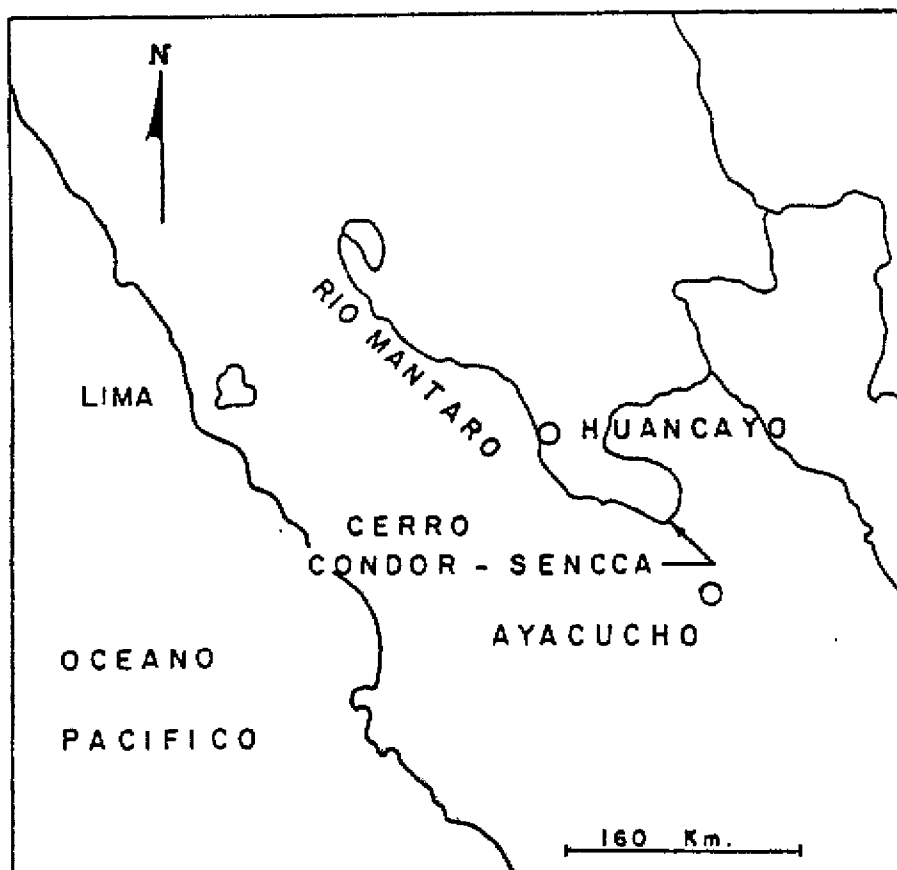
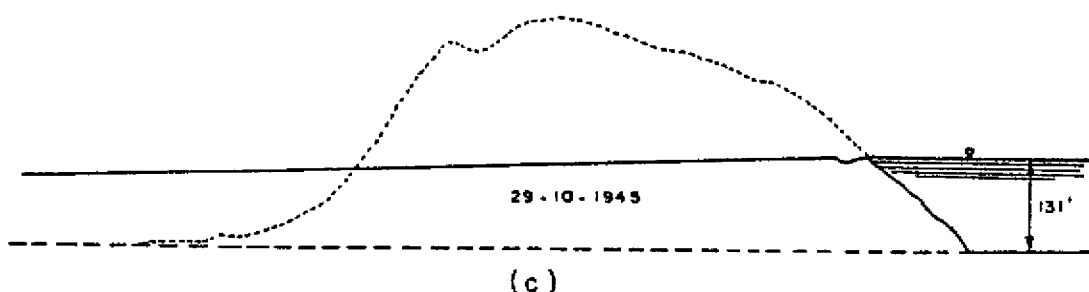
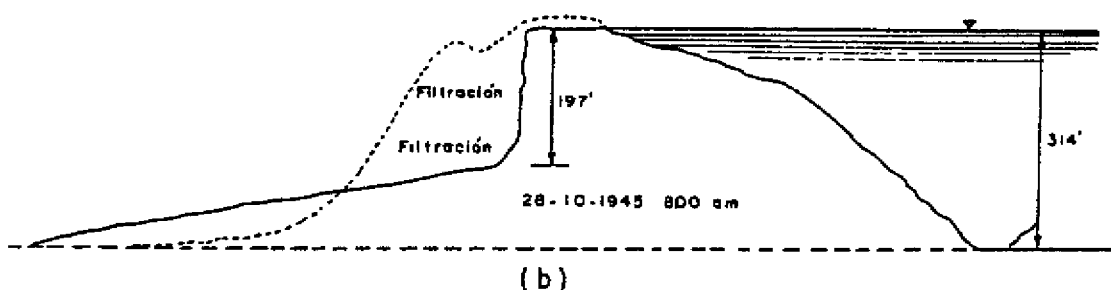
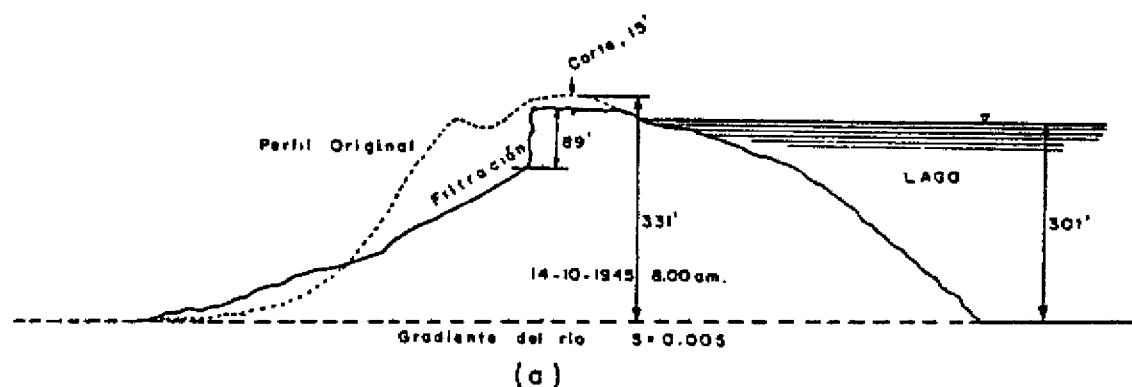


Fig. 1_ UBICACION DEL CERRO CONDOR-SENCCA. (SNOW, 1964)



Fig. 2_ CROQUIS DEL DESLIZAMIENTO, BASADO EN FOTOGRAFÍAS AERÉAS. (SNOW, 1964).



Perfiles naturales de la presa en el cerro Cóndor - Sencca. Río Mantaro - Perú. La escala vertical exagera 2 veces. (Gruter, 1945).

Fig.3_ SECCION TRANSVERSAL DE LA REPRESA NATURAL EN EL CERRO CONDOR - SENCCA, RIO MANTARO, PERU. (SNOW, 1964).

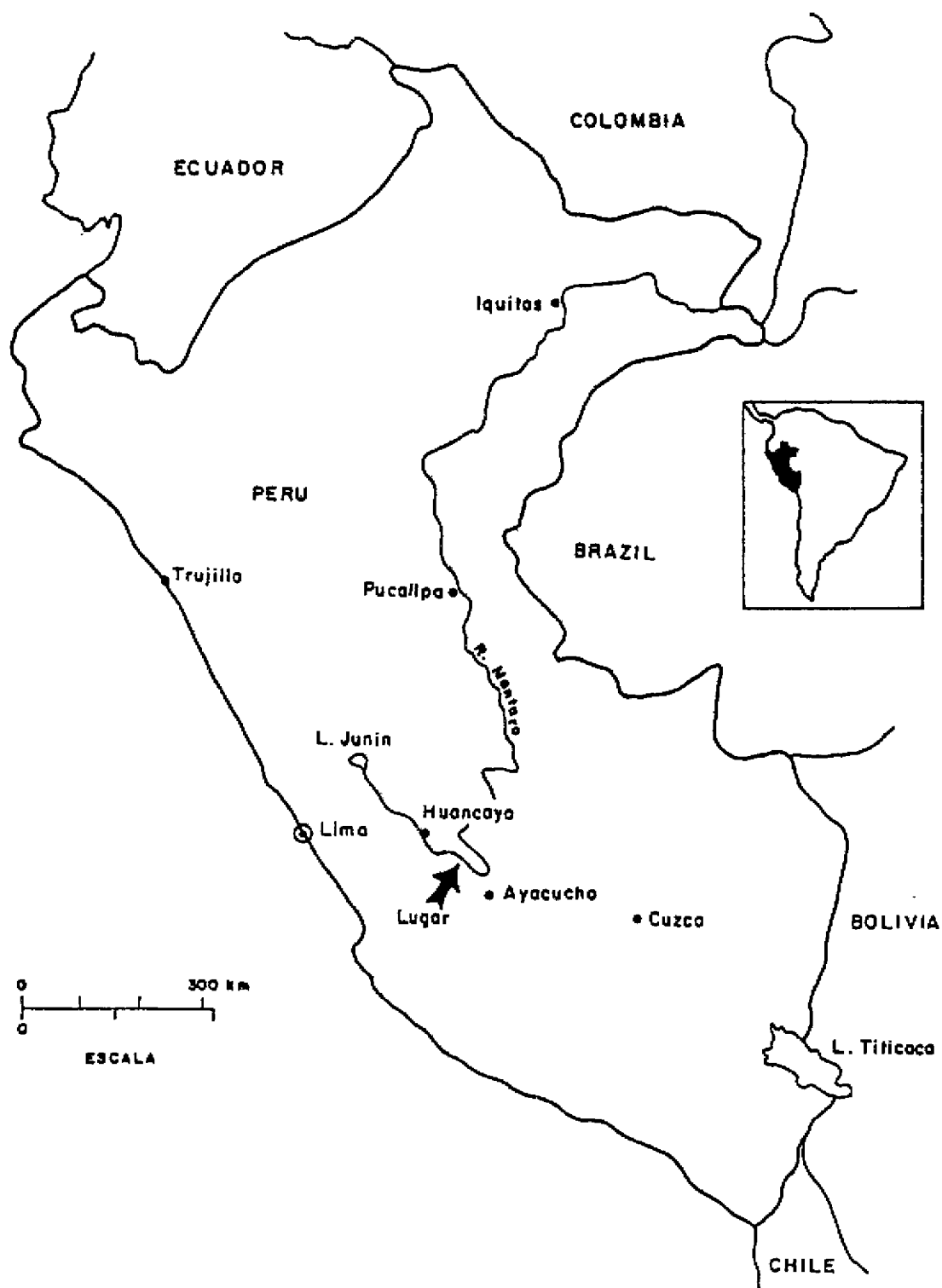


Fig.4_ MAPA DE LOCALIZACIÓN DEL DESLIZAMIENTO DE MAYUN - MARCA . (LEE Y DUNCAN, 1975).

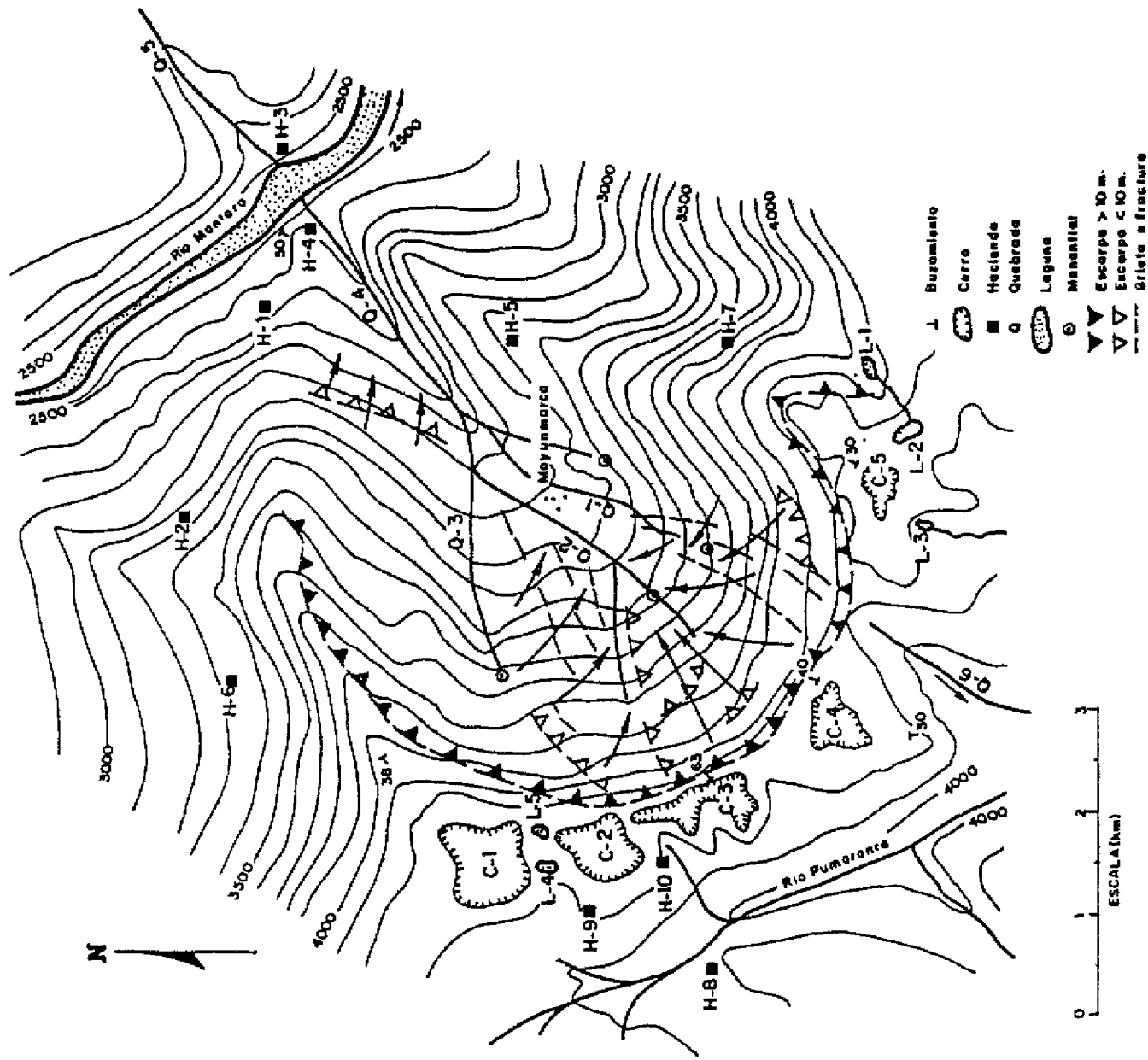


Fig.5_ PLANO DEL AREA QUE MUESTRA LOS RASGOS TOPOGRAFICOS PREVIO AL DESLIZAMIENTO DEL 25/4/74.
(GALDOS, 1973).

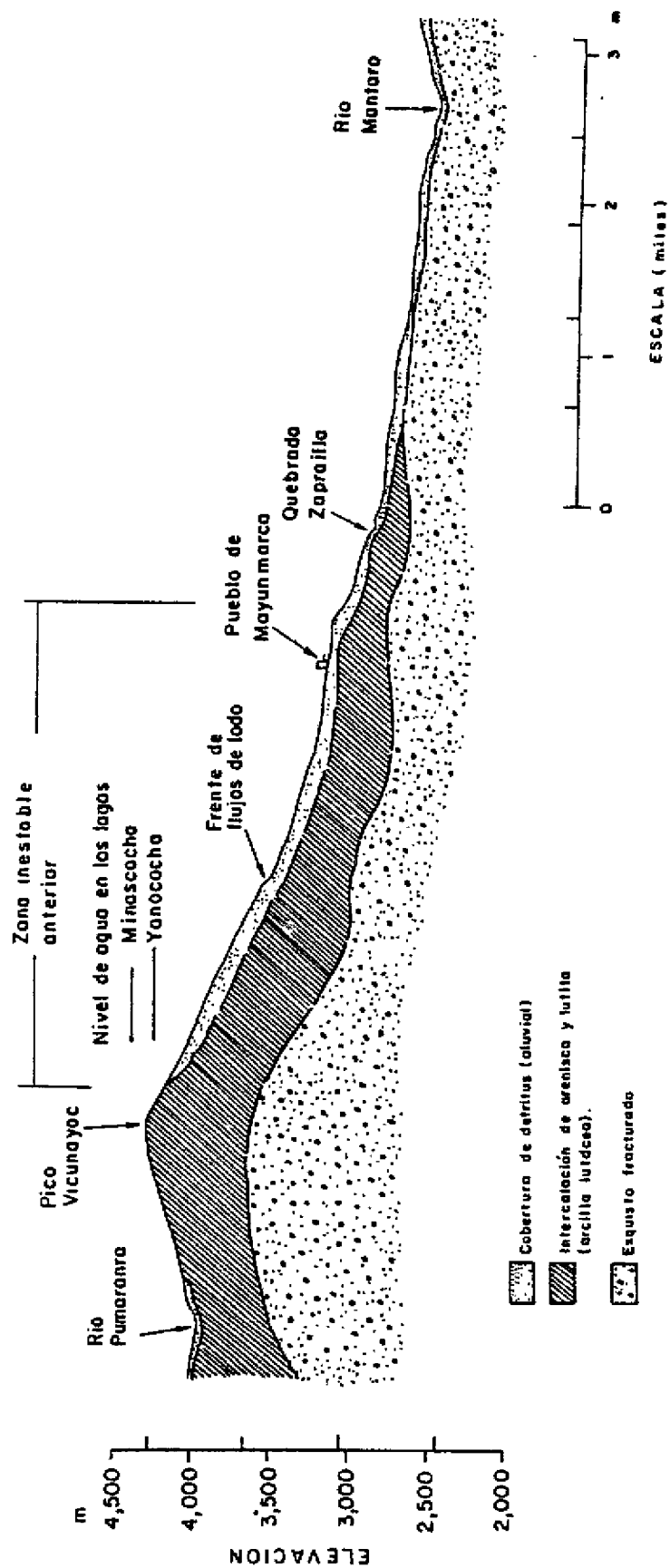


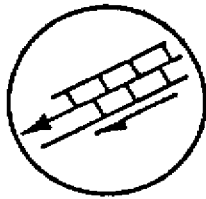
Fig. 6 - SECCION TRANSVERSAL GEOLOGICA DEL AREA DEL DESLIZAMIENTO PREVIO AL 25/4/74 . (GALDOS, 1973)

1.- Desprendimientos



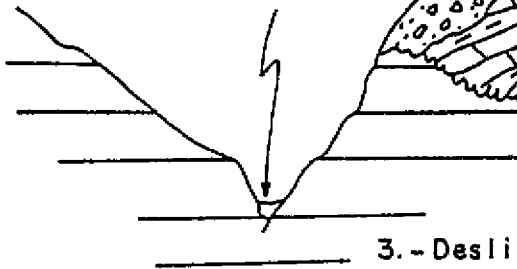
fracturas del pliegue

2.-Deslizamientos

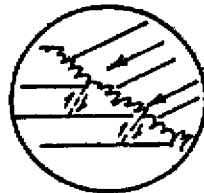


traslación de losas

Rio Mantaro



3.-Deslizamientos



cizallamiento

4.-Deslizamientos



micro espejos de fallas

Fig. 7.- ANALISIS DE LAS ZONAS CRITICAS (MARTINEZ, 1974).

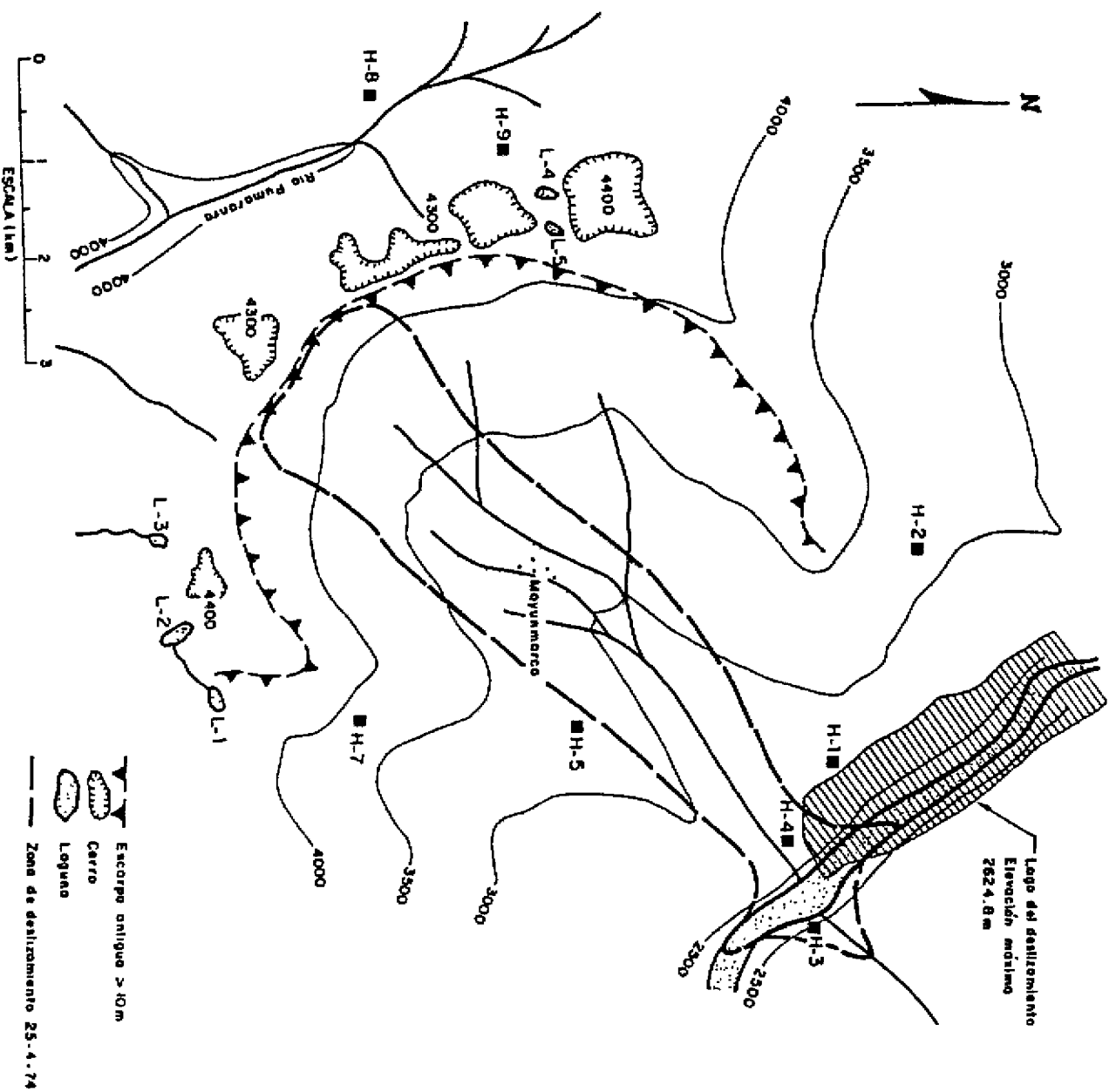


Fig. 8.- PLANO DE LA QUEBRADA DE COCOCHACAY MOSTRANDO EL LIMITE DE LA ZONA DE DESLIZAMIENTO DEL 25/4/1974, (LEE Y DUNCAN, 1975)

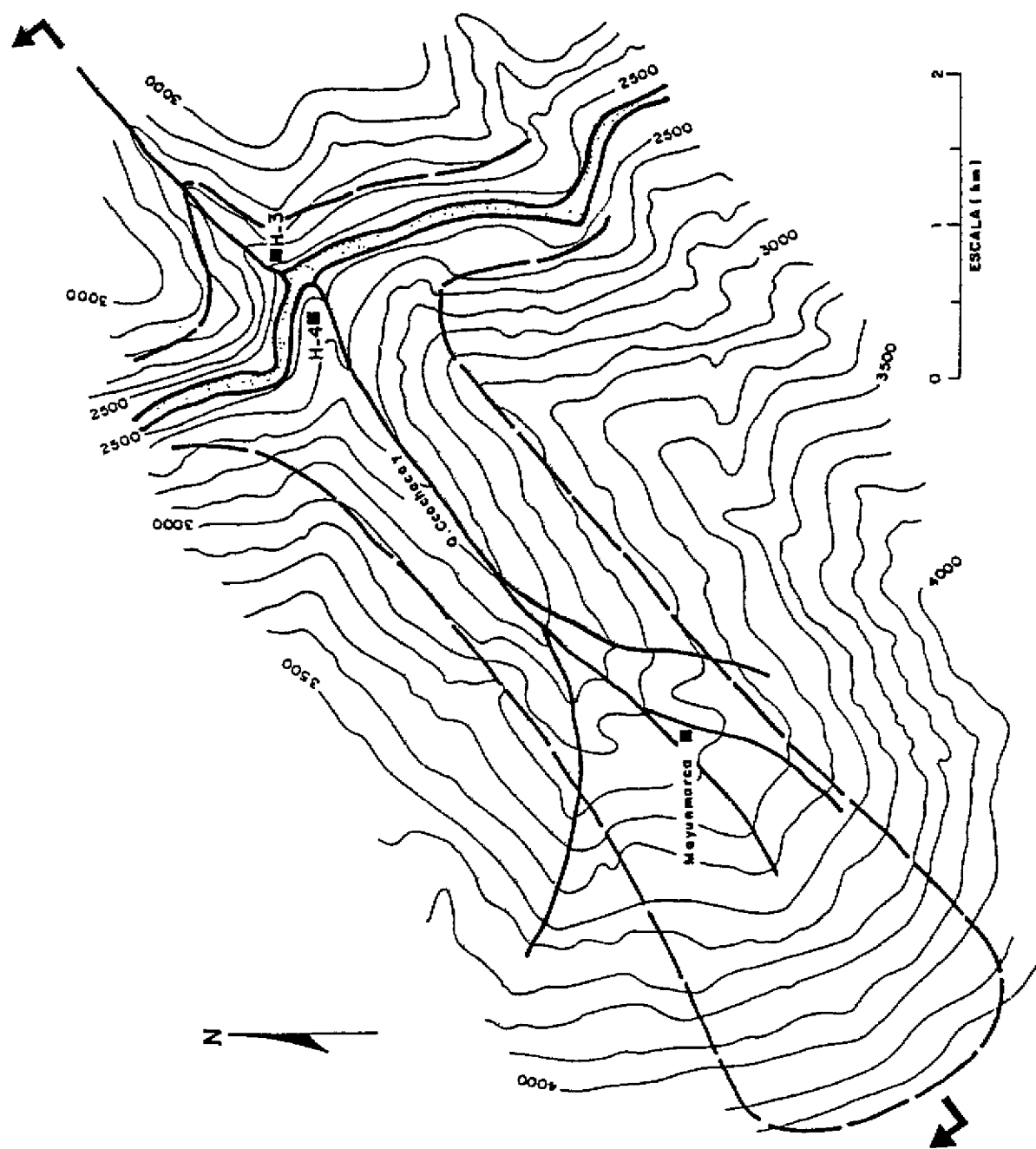


Fig. 9 - PLANO DEL AREA DEL DESLIZAMIENTO DEL 25/4/74 . (LEE Y DUNCAN , 1975).

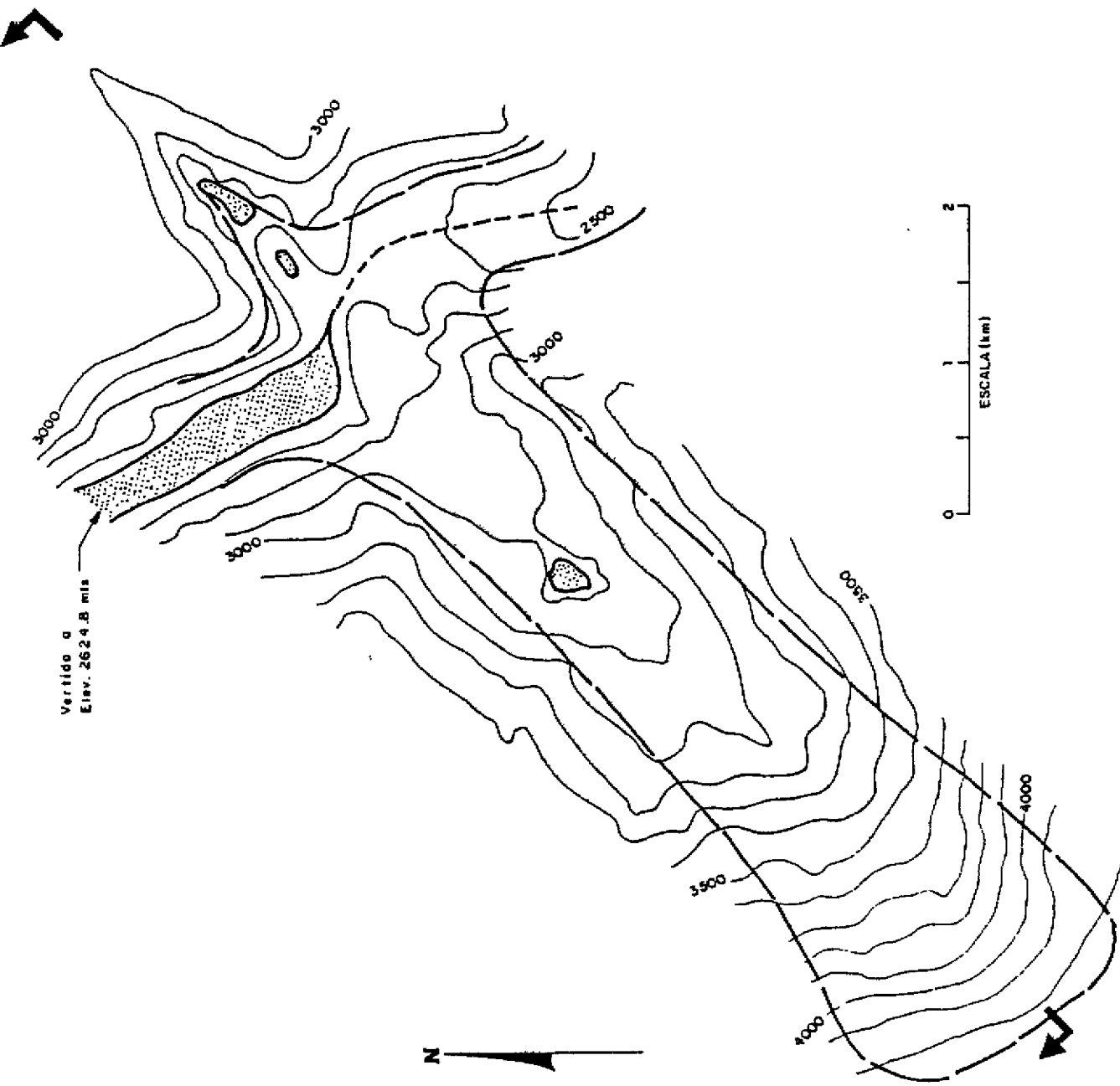


Fig.10. PLANO DEL AREA DESPUES DEL DESLIZAMIENTO DEL 25/4/1974, (LEE Y DUNCAN, 1975).

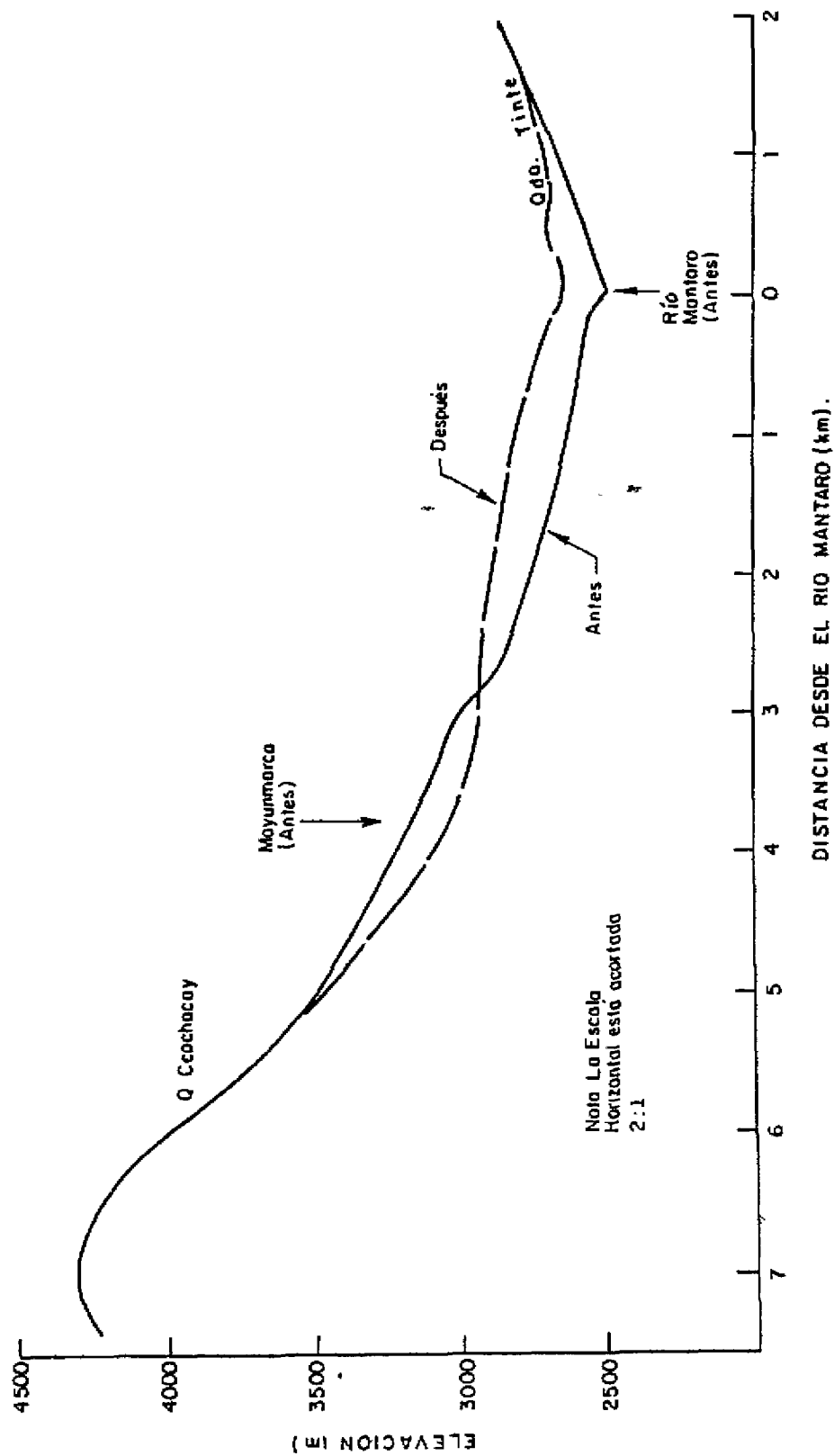
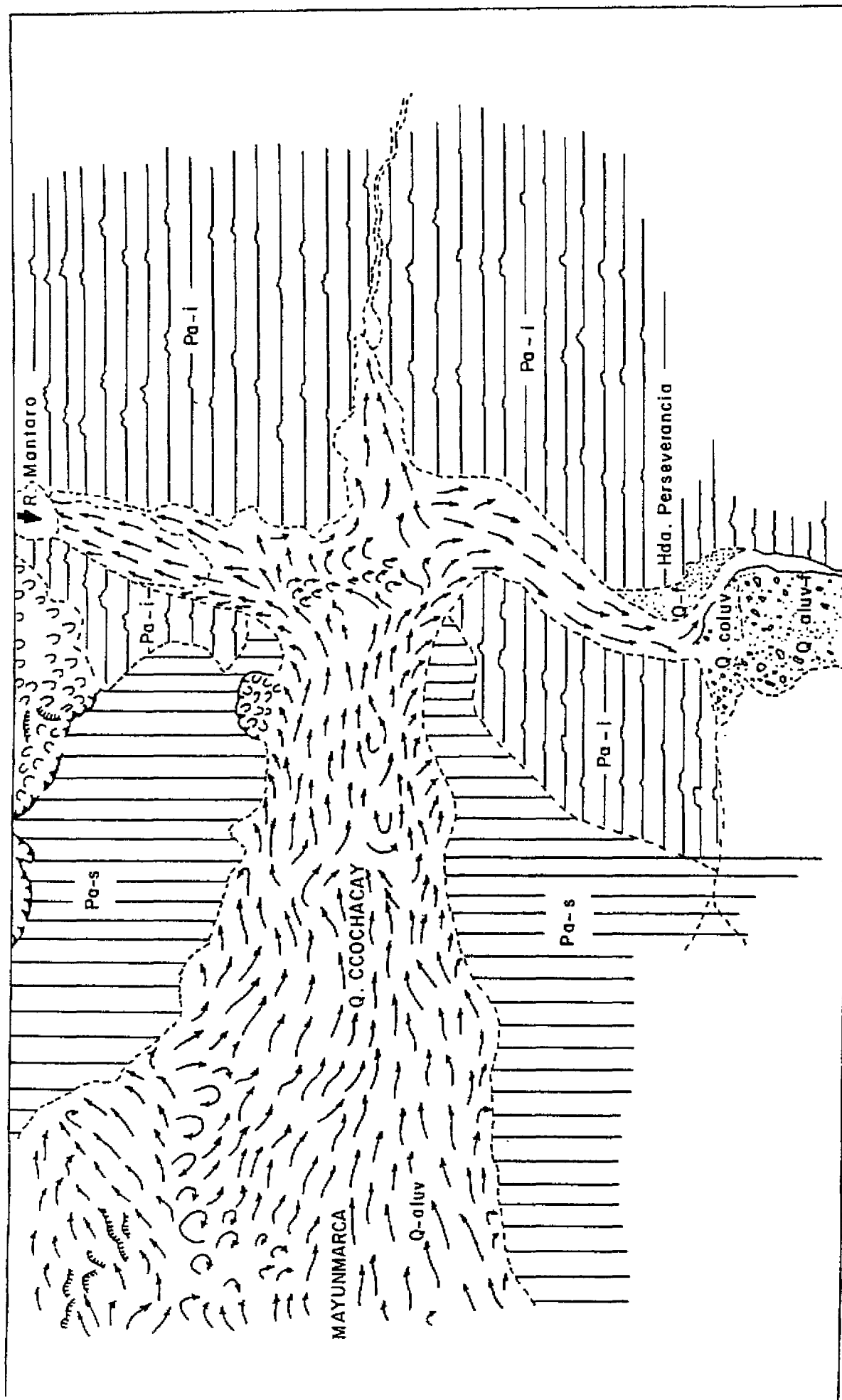


Fig. 11 _ SECCION TRANSVERSAL DEL AREA ANTES Y DESPUES DEL DESLIZAMIENTO (LEE Y DUNCAN, 1975).



LEYENDA



Deslizamientos pequeños
Escarpas de deslizamientos secundarios
Zona de movimiento de tierras
Flujo de lodos y rocas del aluvión de M.

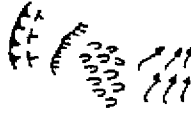
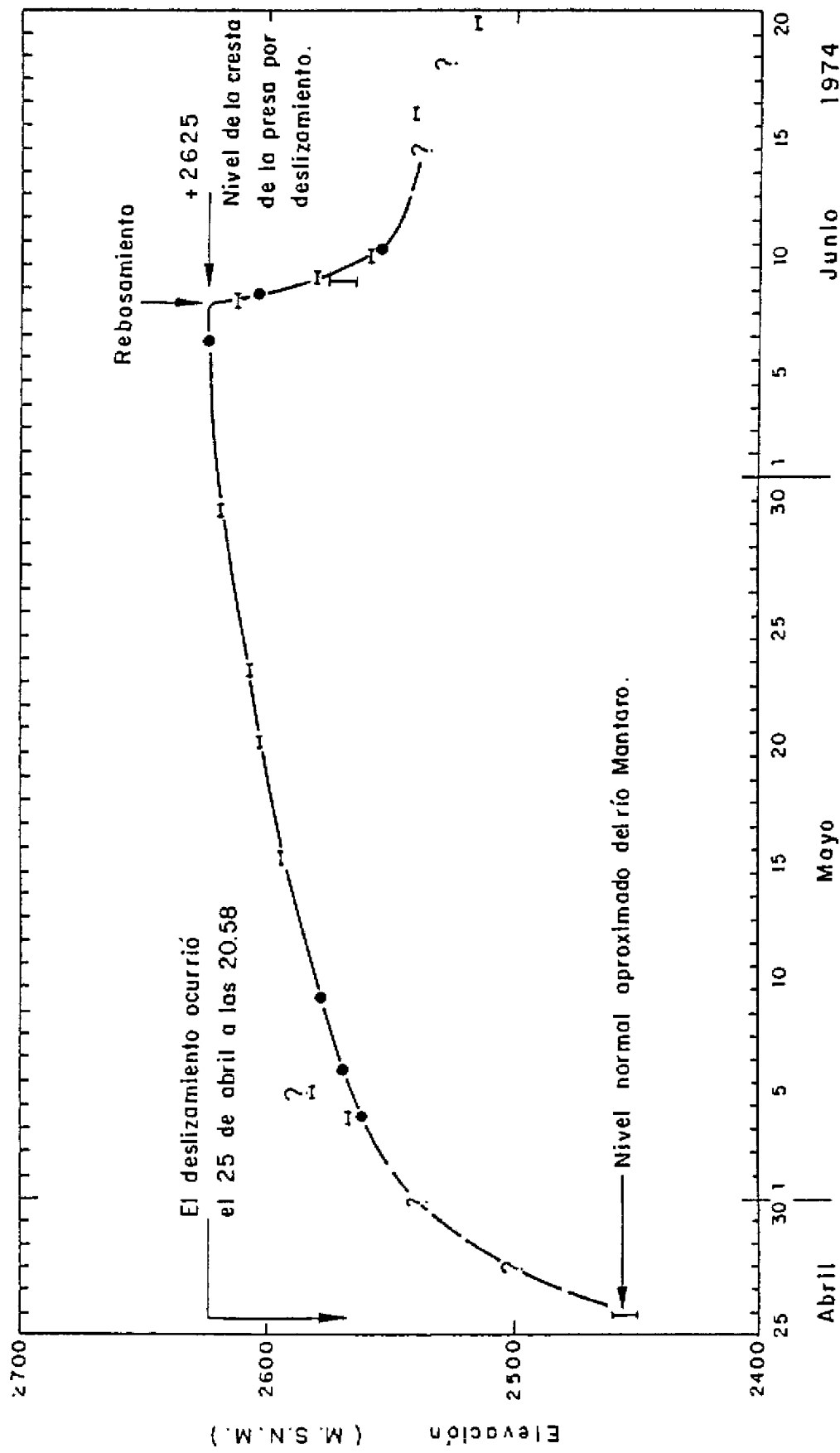


Fig.12_CROQUIS GEOMORFOLOGICO DEL ALUVION DE MAYUNMARCA - 1974 DEL CANAL Y CONO DE DEYECCION BASADO EN EL MOSAICO AEROFOTOGRAFICO ING. ALBERTO MARTINEZ VARGAS

a-s Paleozoico Superior
a-i " Inferior
-aluv Cuaternario aluvional
-f " fluvial
-coluv " coluvial
-aluv f " aluvial fluvial



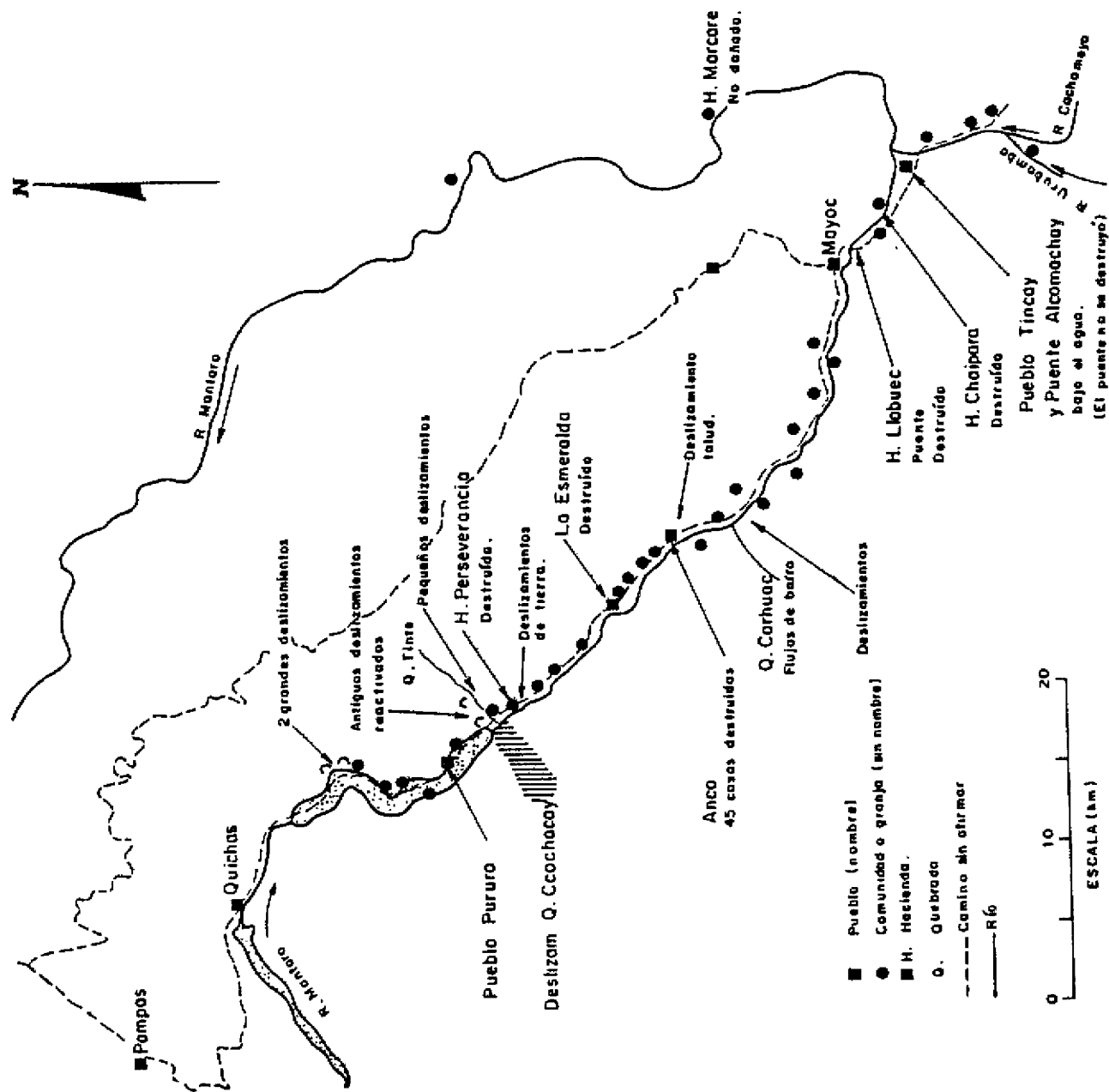


Fig. 14 - LOCALIZACIONES DE MAYOR DAÑO (LEE Y DUNCAN, 1975).

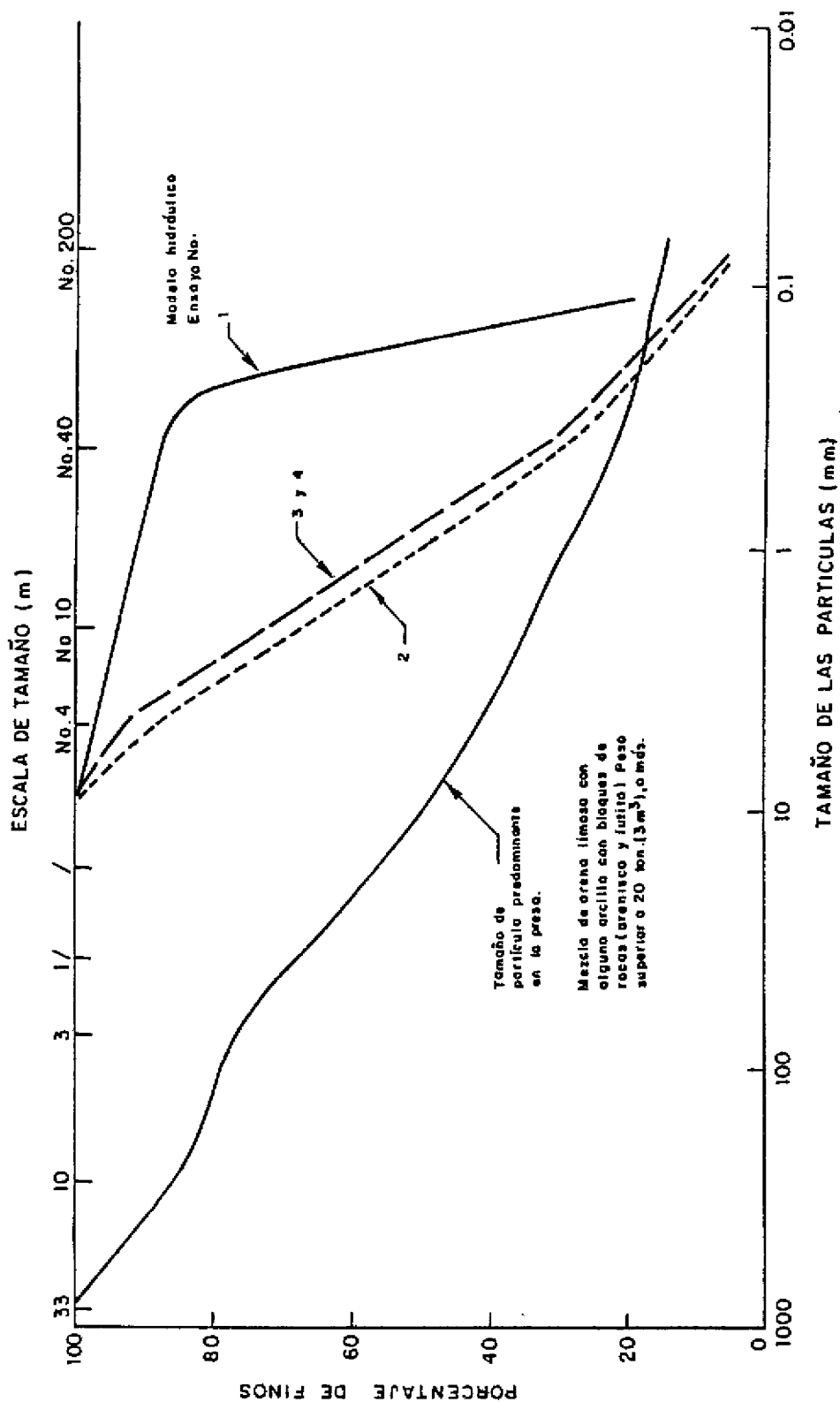


Fig. 15 - CURVA DE DISTRIBUCION GRANULOMETRICA, MODELO DE CAMPO E HIDRAULICO. (MINISTERIO DE AGRICULTURA, 1974).

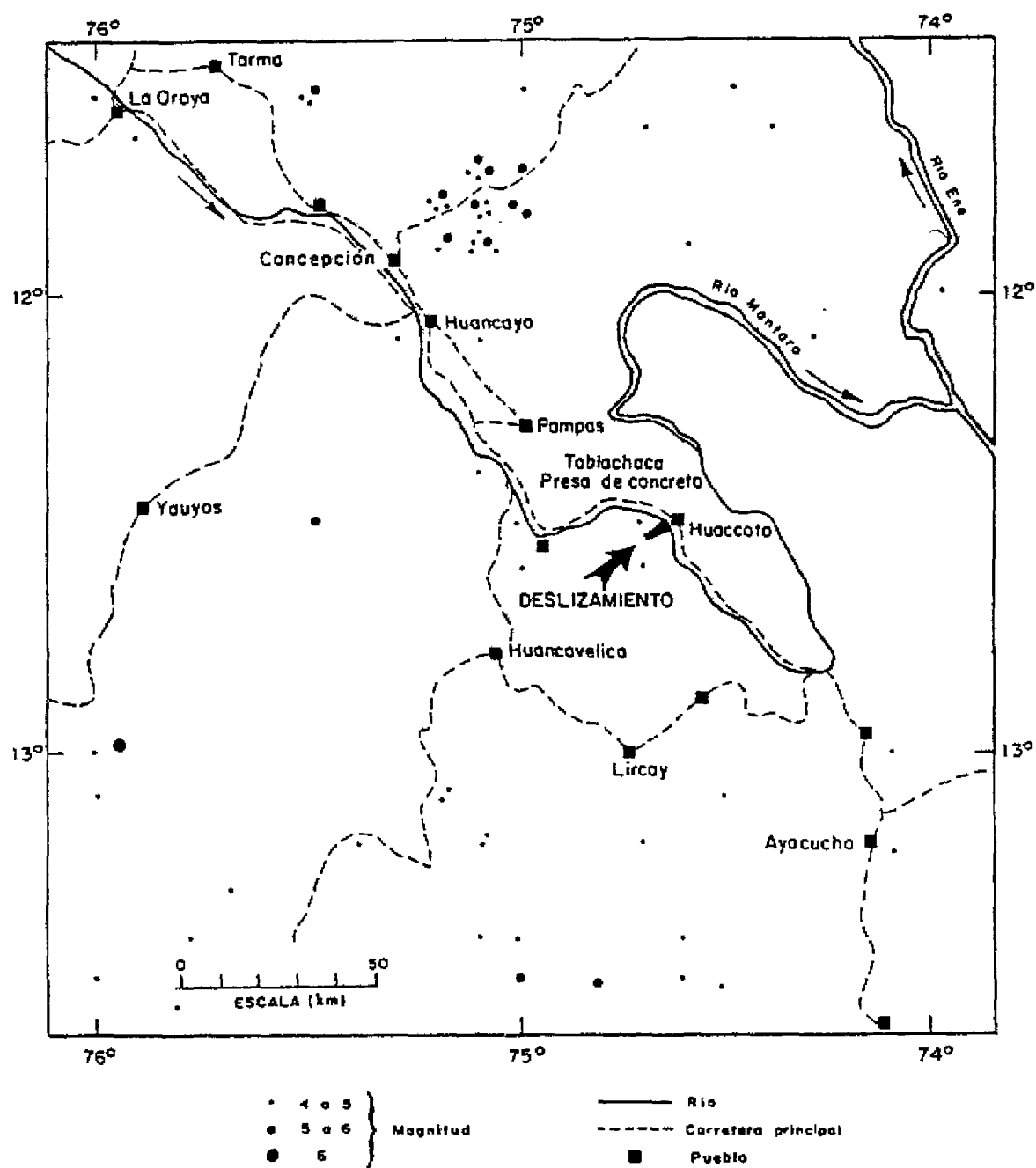


Fig. 16 _ SISMICIDAD HISTORICA 1911 - 1974 (BERROCAL, 1974)

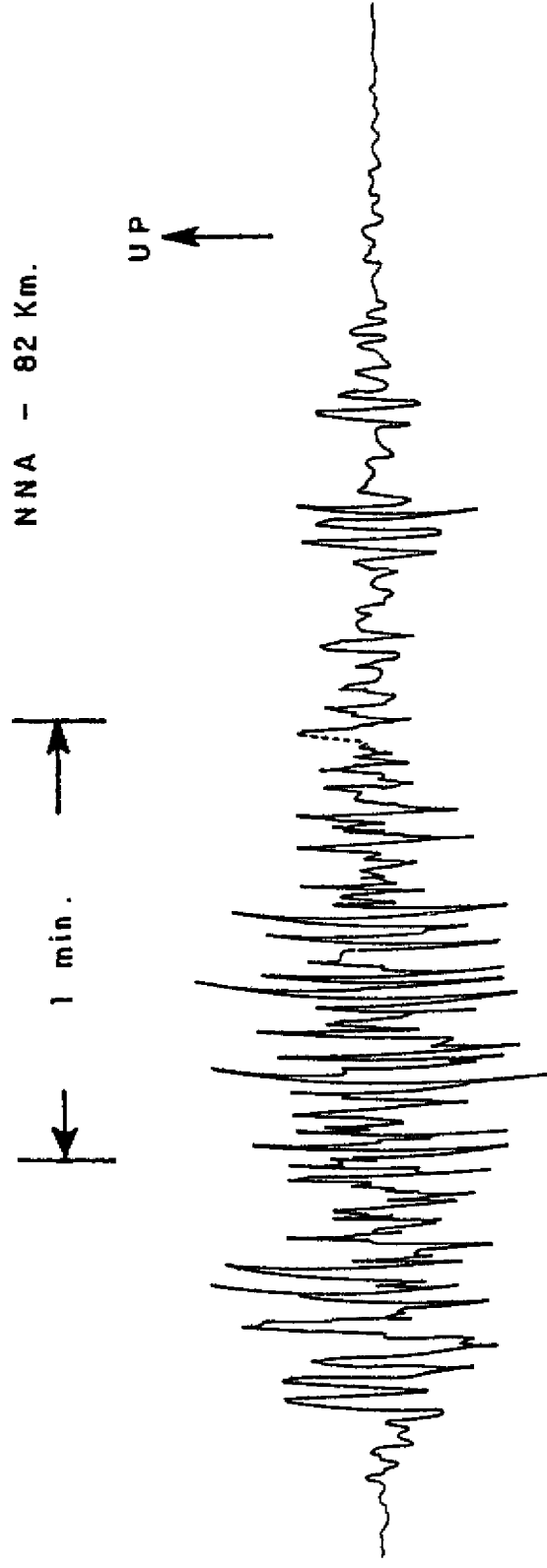


Fig. 17 _ REGISTRO DE SISMOGRAFO DE SACUDIMIENTO VERTICAL DEL SUELO CAUSADO POR EL DESLIZAMIENTO EN EL RIO MANTARO, REGISTRADO SOBRE UN INSTRUMENTO DE 1 SEG. DE PERIODO A 82 Km. DE DISTANCIA. (BERROCAL, 1979).

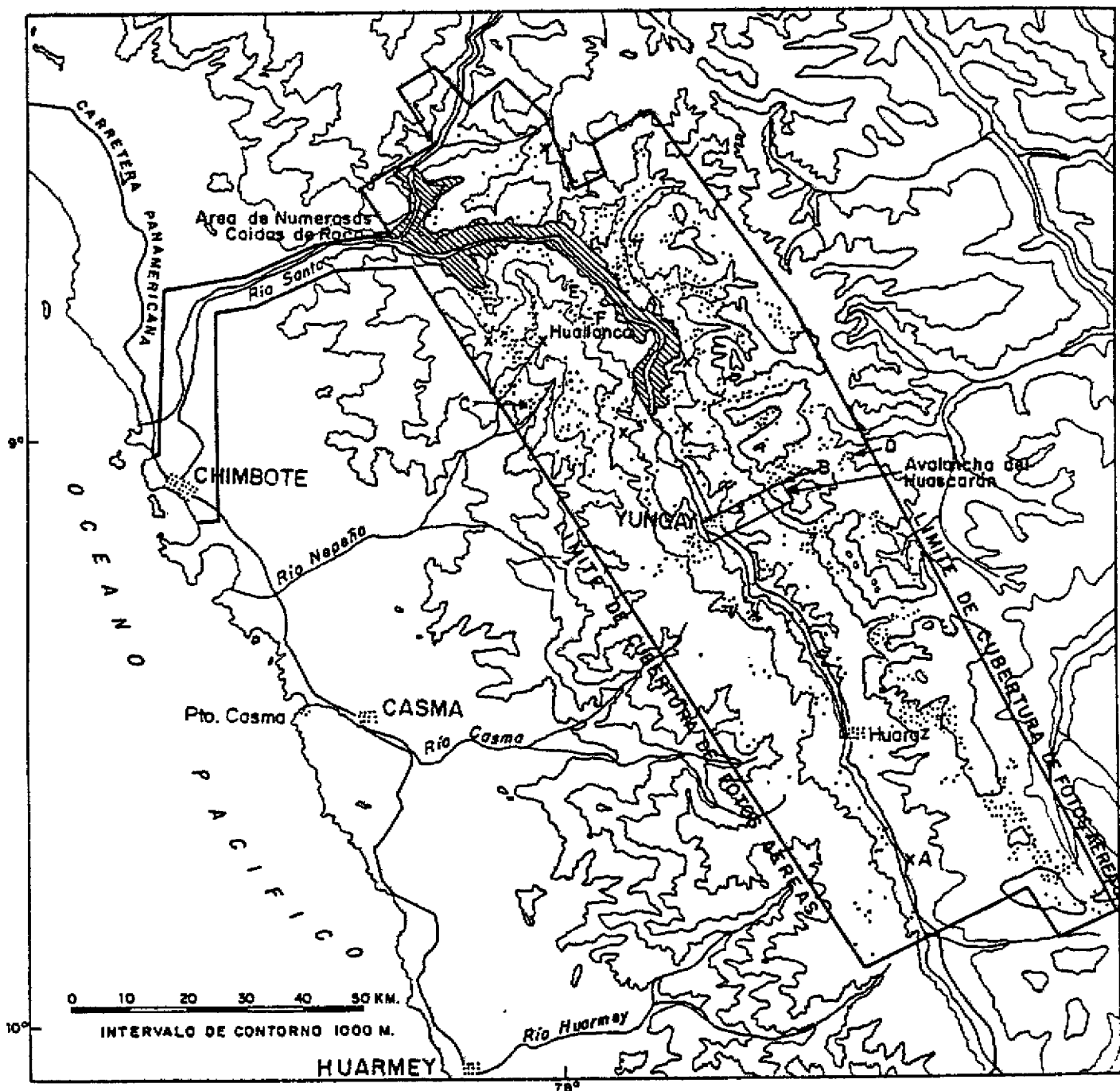


Fig. 18 _ DISTRIBUCION DE DESLIZAMIENTOS POR EL SISMO DEL 31 DE MAYO DE 1970
(Plafker Et Al ,1971)

LEYENDA

- CAIDA DE ROCAS, DESLIZAMIENTOS DEBRIS
- X HUNDIMIENTOS Y DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES
- A LAGOS REPRESADOS POR DESLIZAMIENTOS

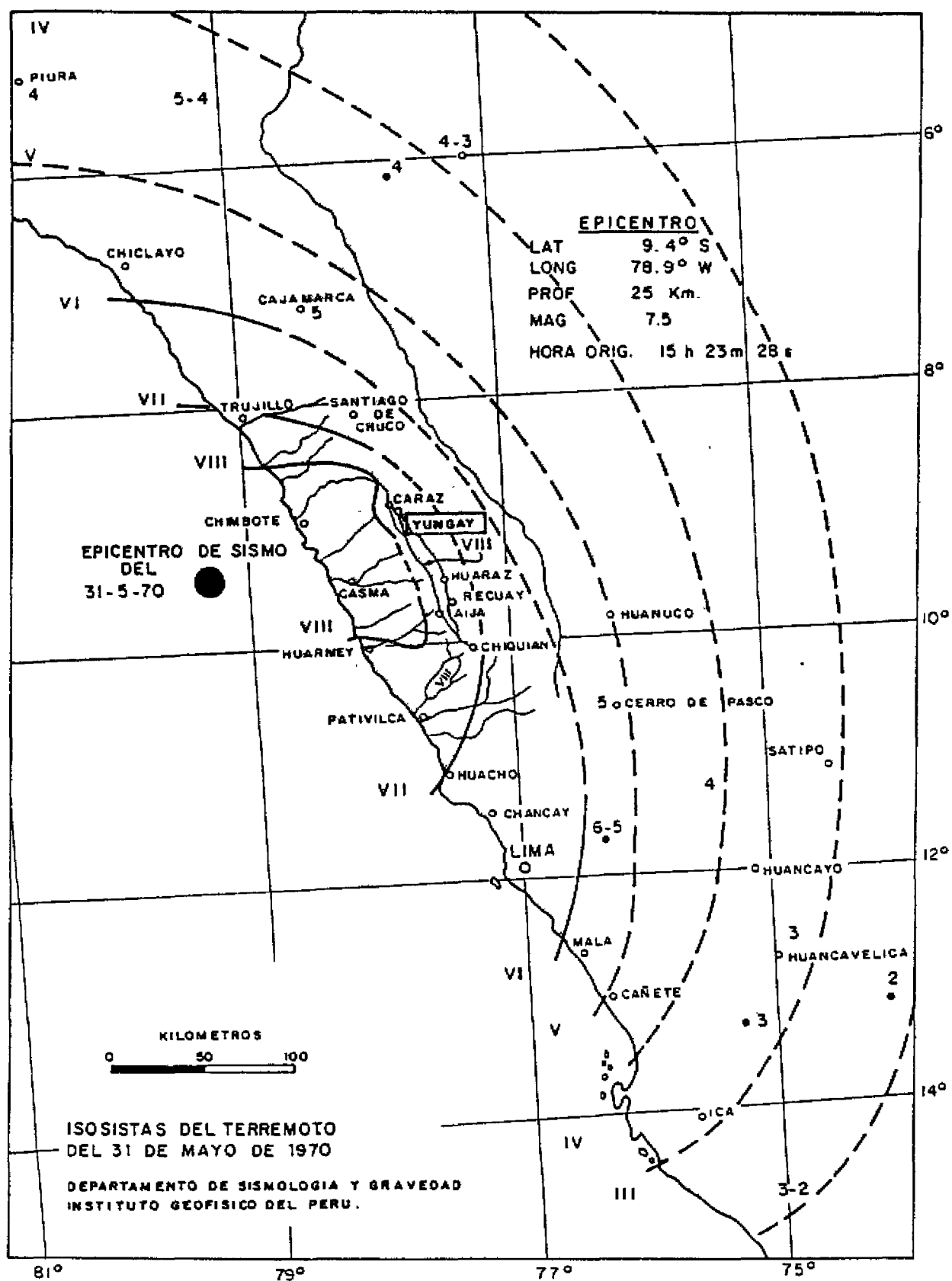


Fig. 19-INTENSIDADES ORIGINADOS POR EL SISMO DEL 31 DE MAYO DE 1970.
(GIESECKE Y DEZA, 1970).

LEYENDA

- (A) ORIGEN DE AVALANCHA
- (B) CERRO PROTECTOR DE YUNGAY EN 1962
- (C) CEMENTERIO DE YUNGAY
- (D) AVALANCHA LLEGO EN 3-4 MINUTOS
- (E) FLUJO CONTINUO POR RIO SANTA

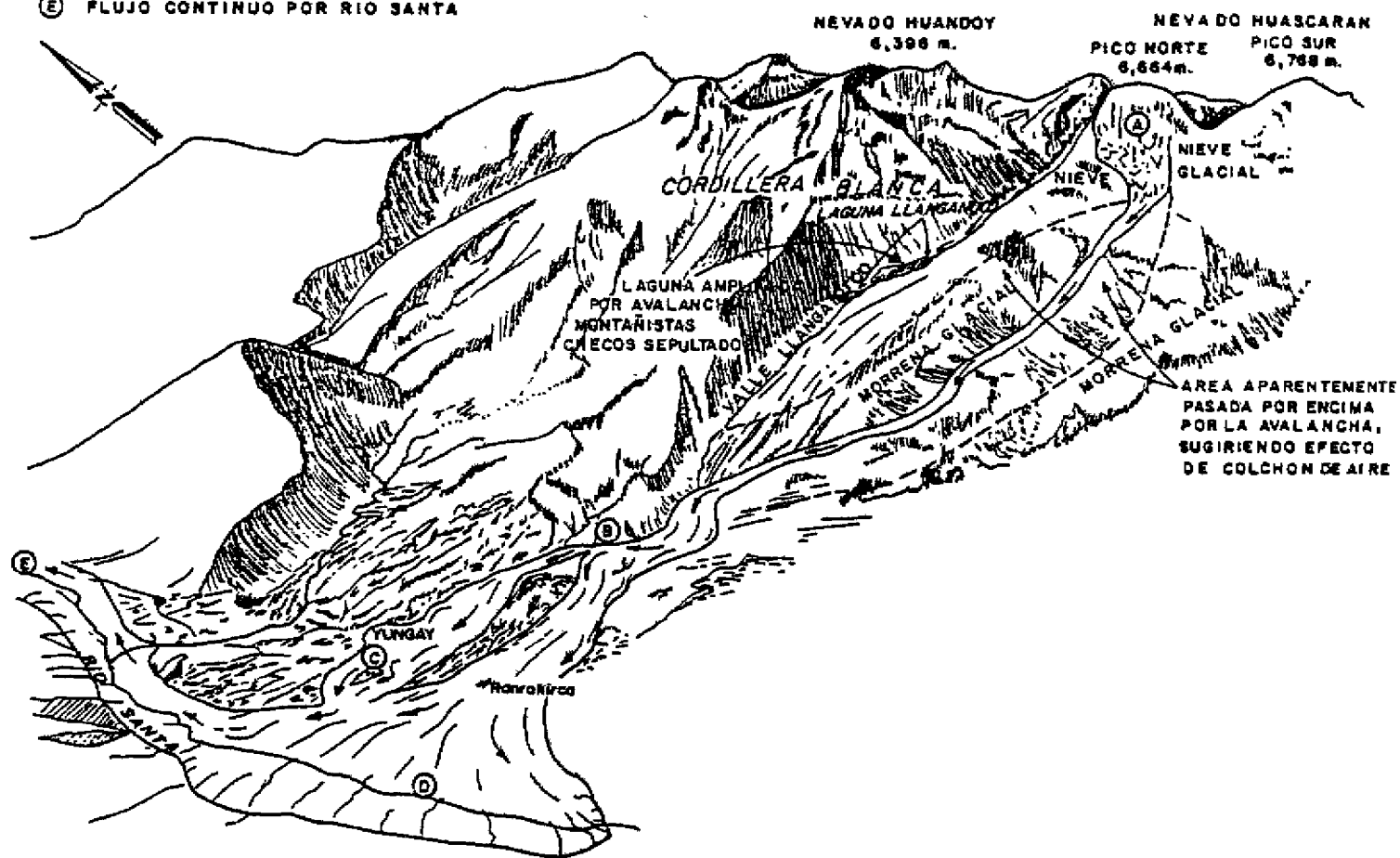


Fig. 20. DIAGRAMA DEL AREA AFECTADA POR LA AVALANCHA DEL HUASCARAN DEL 31 DE MAYO DE 1970. (Cluff, 1971)

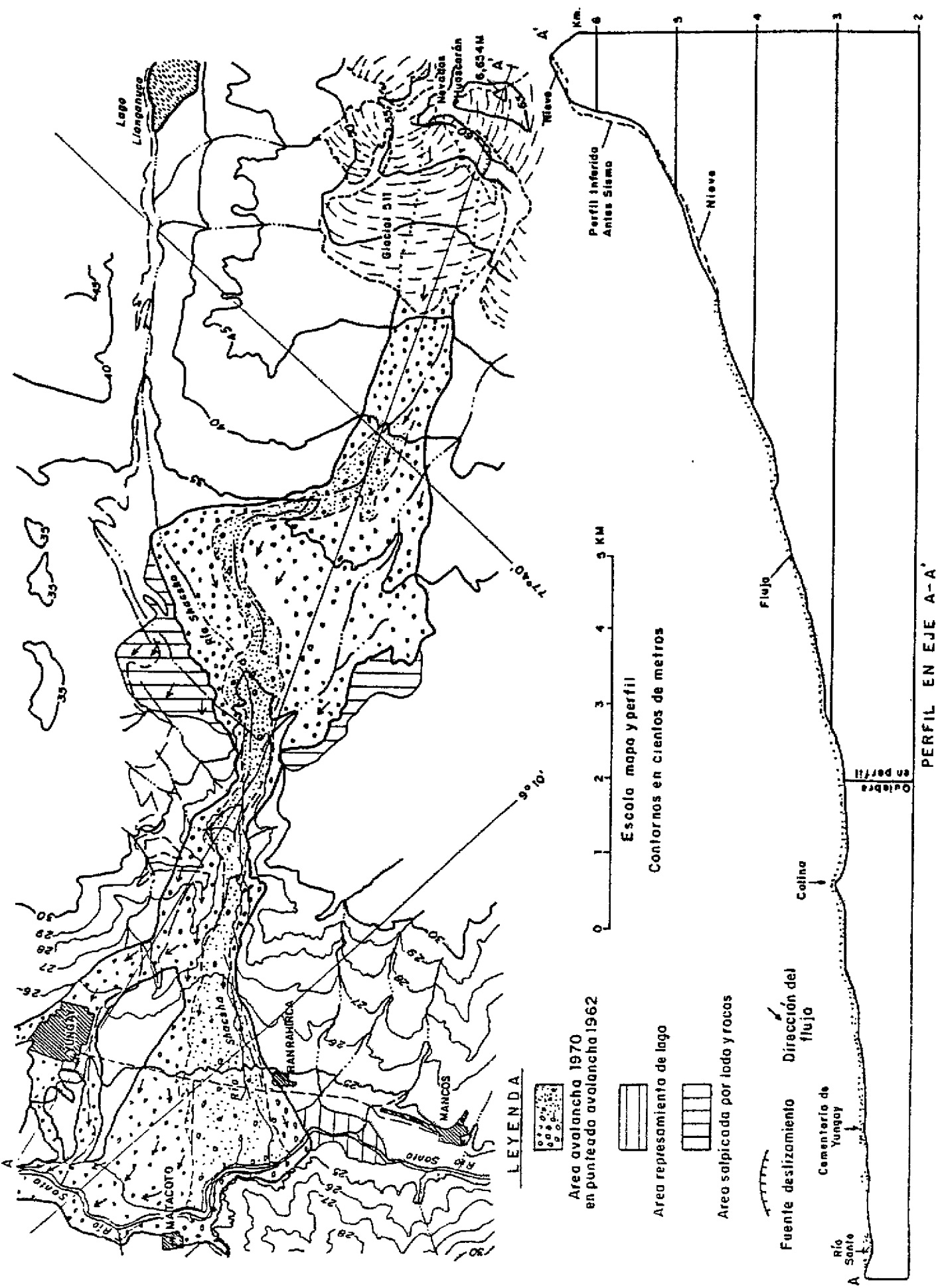
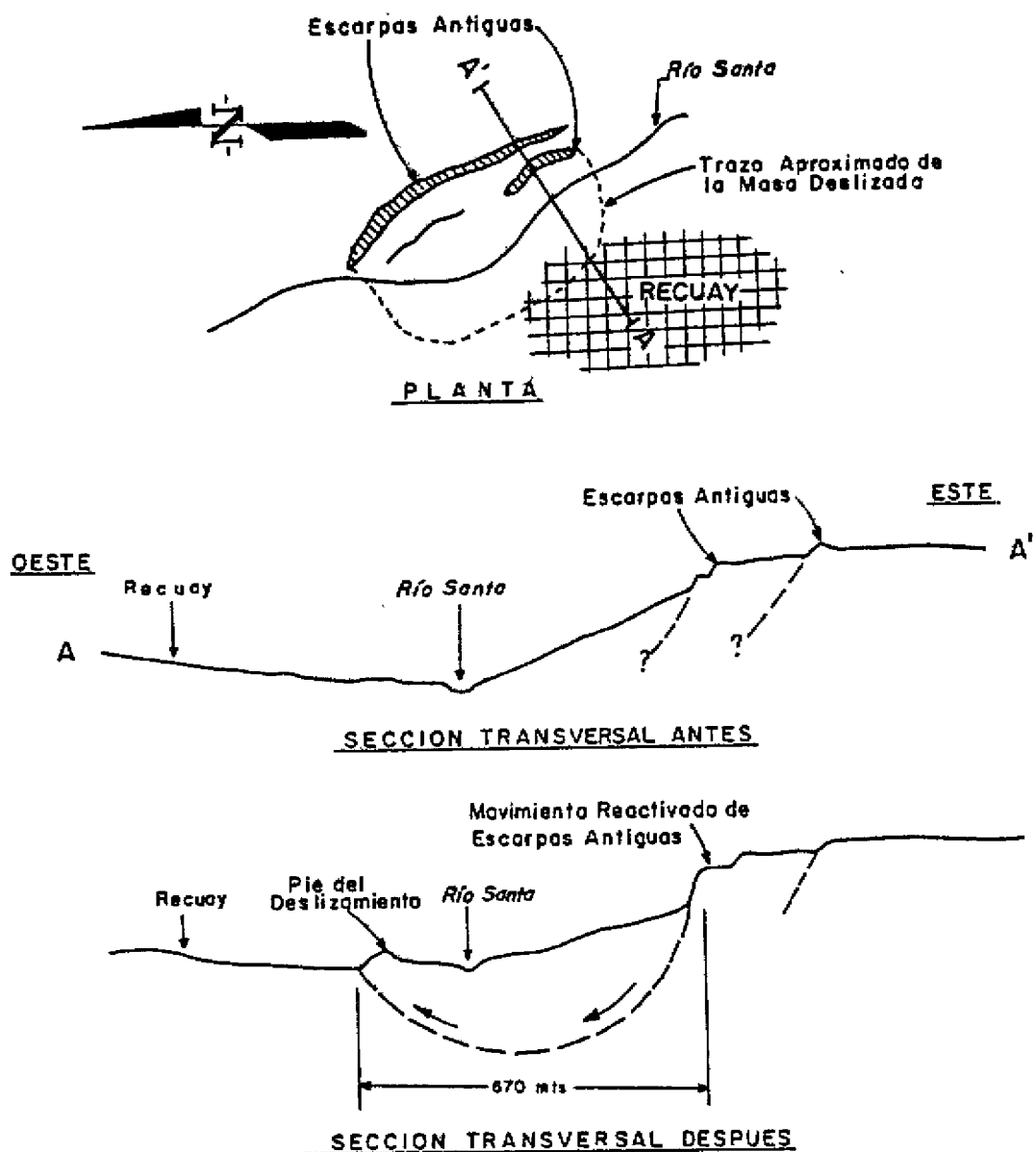


Fig. 21-MAPA GENERALIZADO Y PERFIL DE AVALANCHA DEL HUASCARAN

(Plofker Et Al, 1971)



F+g. 22 _DIAGRAMA ILUSTRATIVO DEL DESLIZAMIENTO EN RECUAY
SISMO DEL 31 DE MAYO DE 1970. (Cluff, 1971)

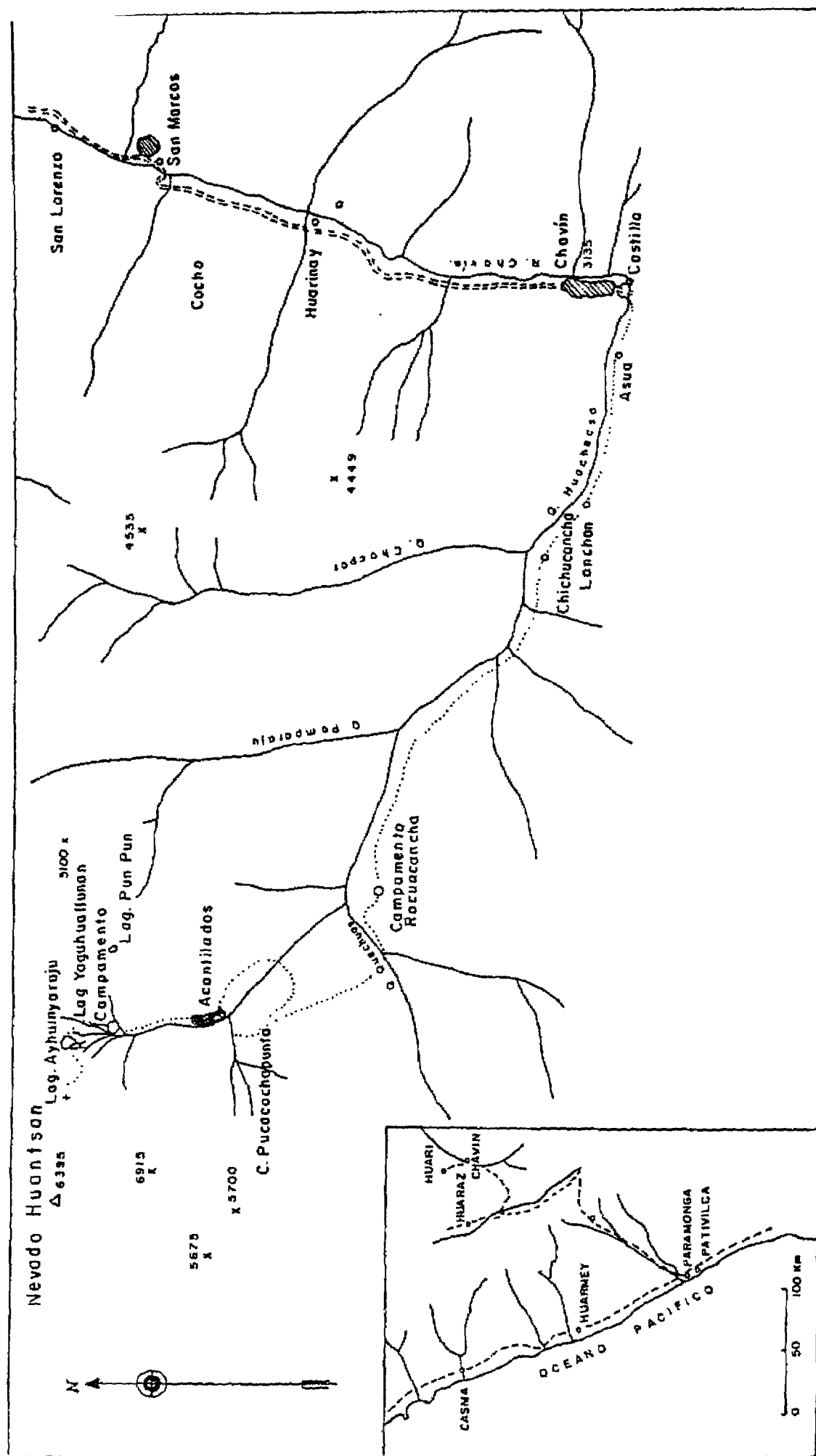


Fig. 23 ~ MAPA INDICE DE LA QUEBRADA HUACHECSA. ESCALA : 1:122,000 (INDACOCHEA E IBERICO, 1947).

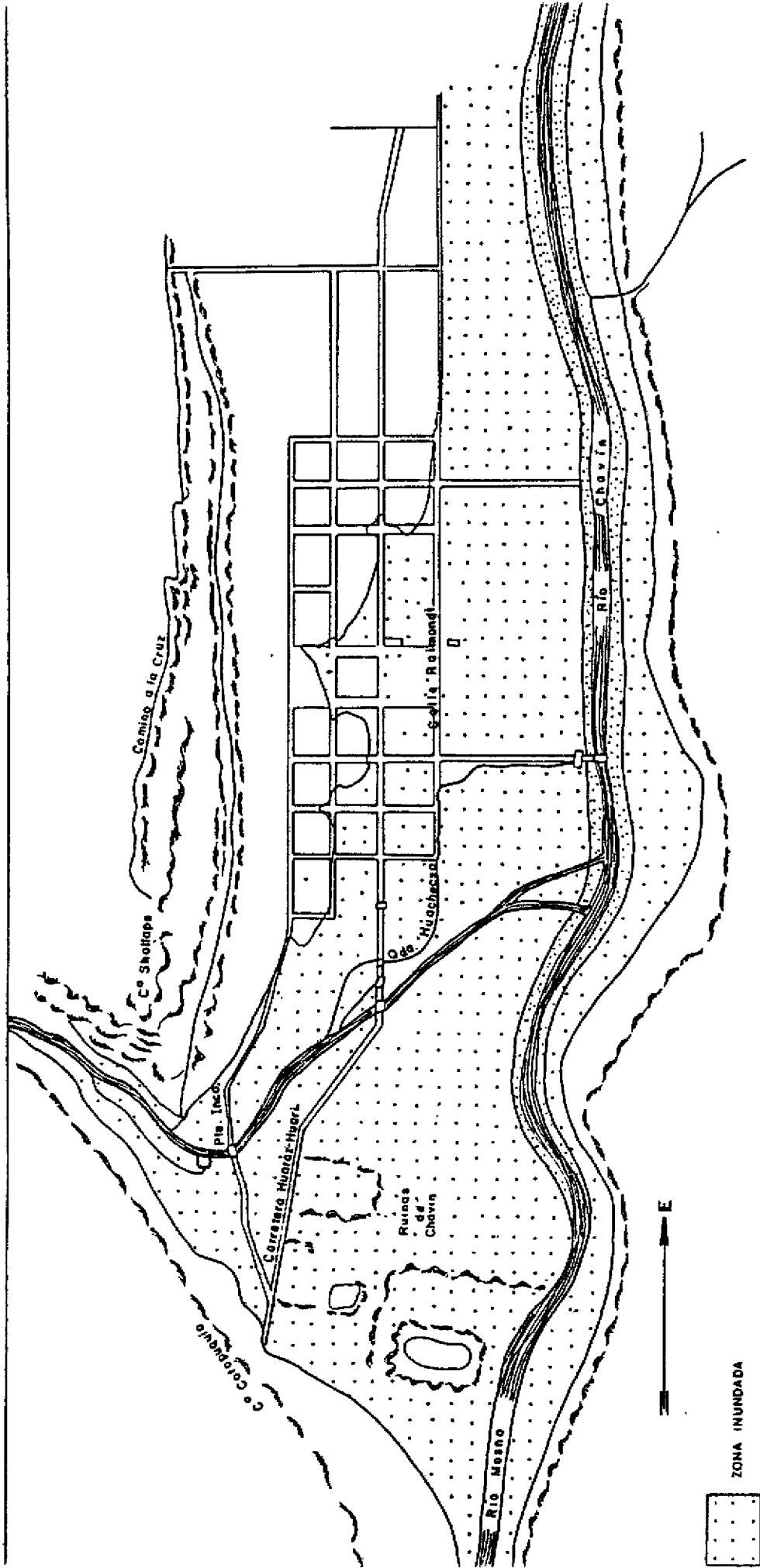


Fig. 24 - PLANO DE CHAVIN DE HUANTAR, ZONA AFECTADA, ESCALA: 1:800 (INDACOCHA E IBERICO, 1947)

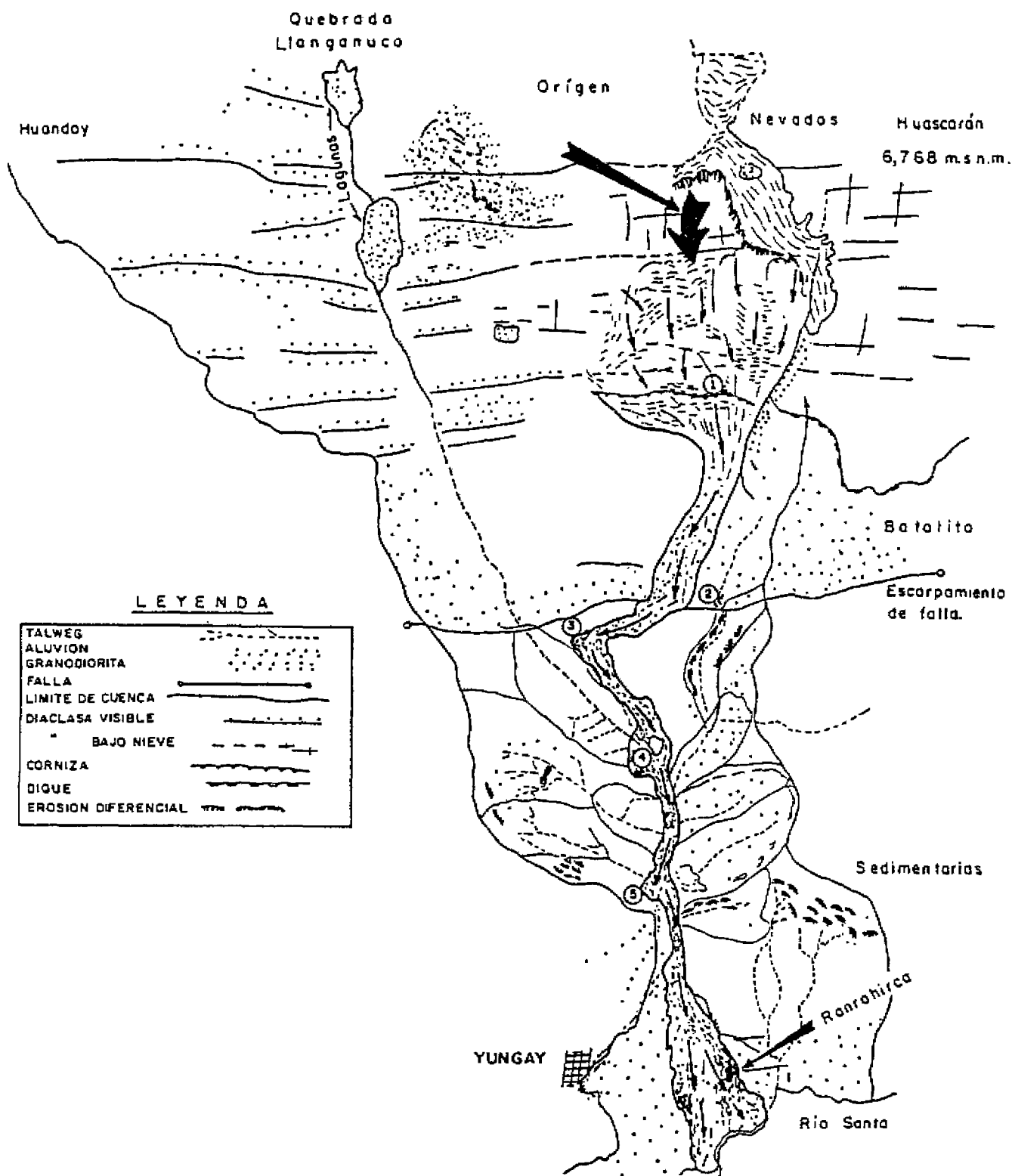


Fig. 25 _ APRECIACION GEOMORFOLOGICA DEL "ALUD -ALUVION" DE RAN _ RAHIRCA DEL 10 DE ENERO DE 1962. INDICA LOS PUNTOS CRITICOS COMO 5, QUE YA MOSTRO DESBORDE PEQUEÑO (GARCIA, 1964 Y MARTINEZ, 1962, 1971).

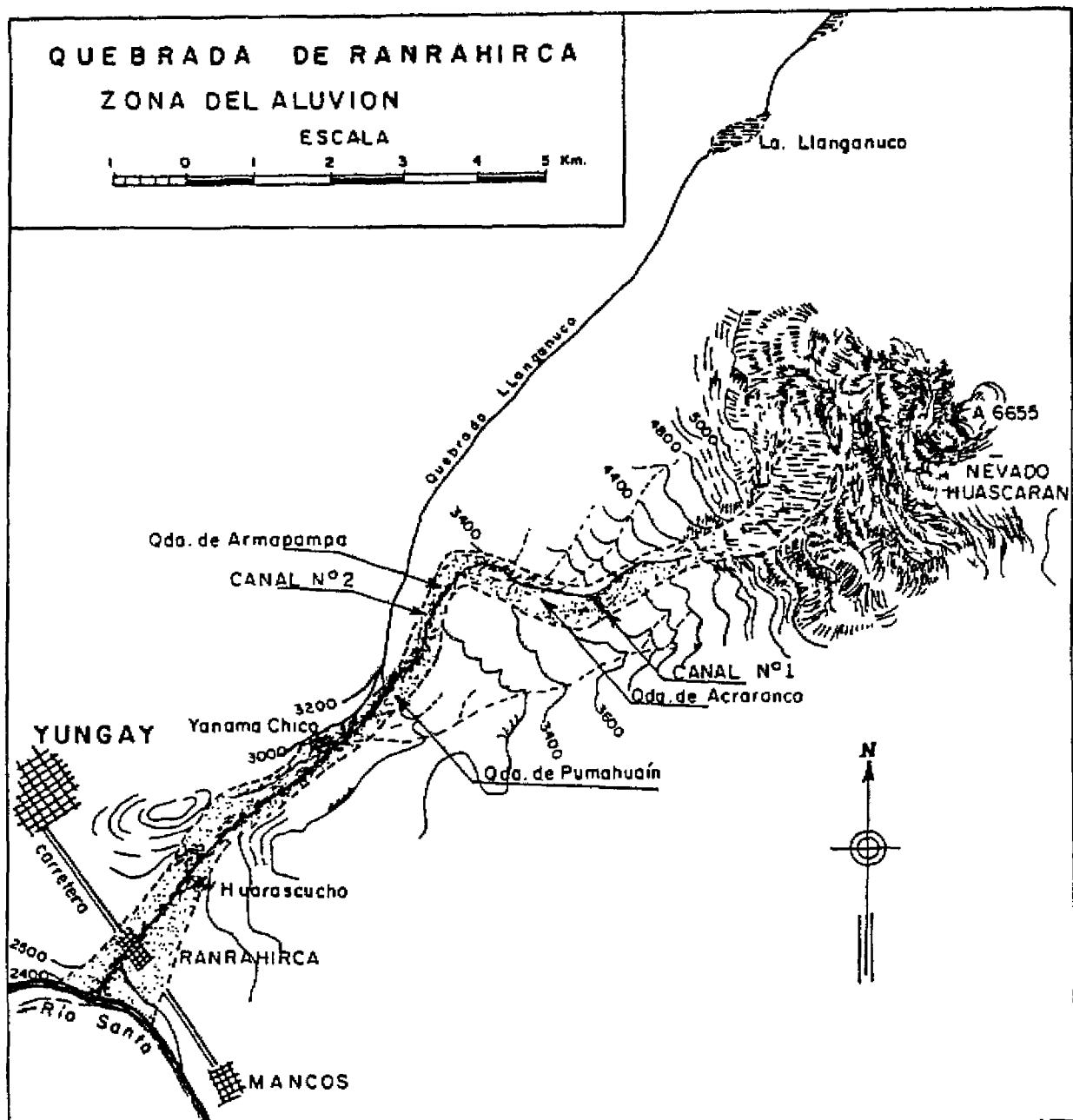


Fig. 26_ QUEBRADA DE RANRAHIRCA (DOLLFUS Y PEÑAHERRERA, 1962) .

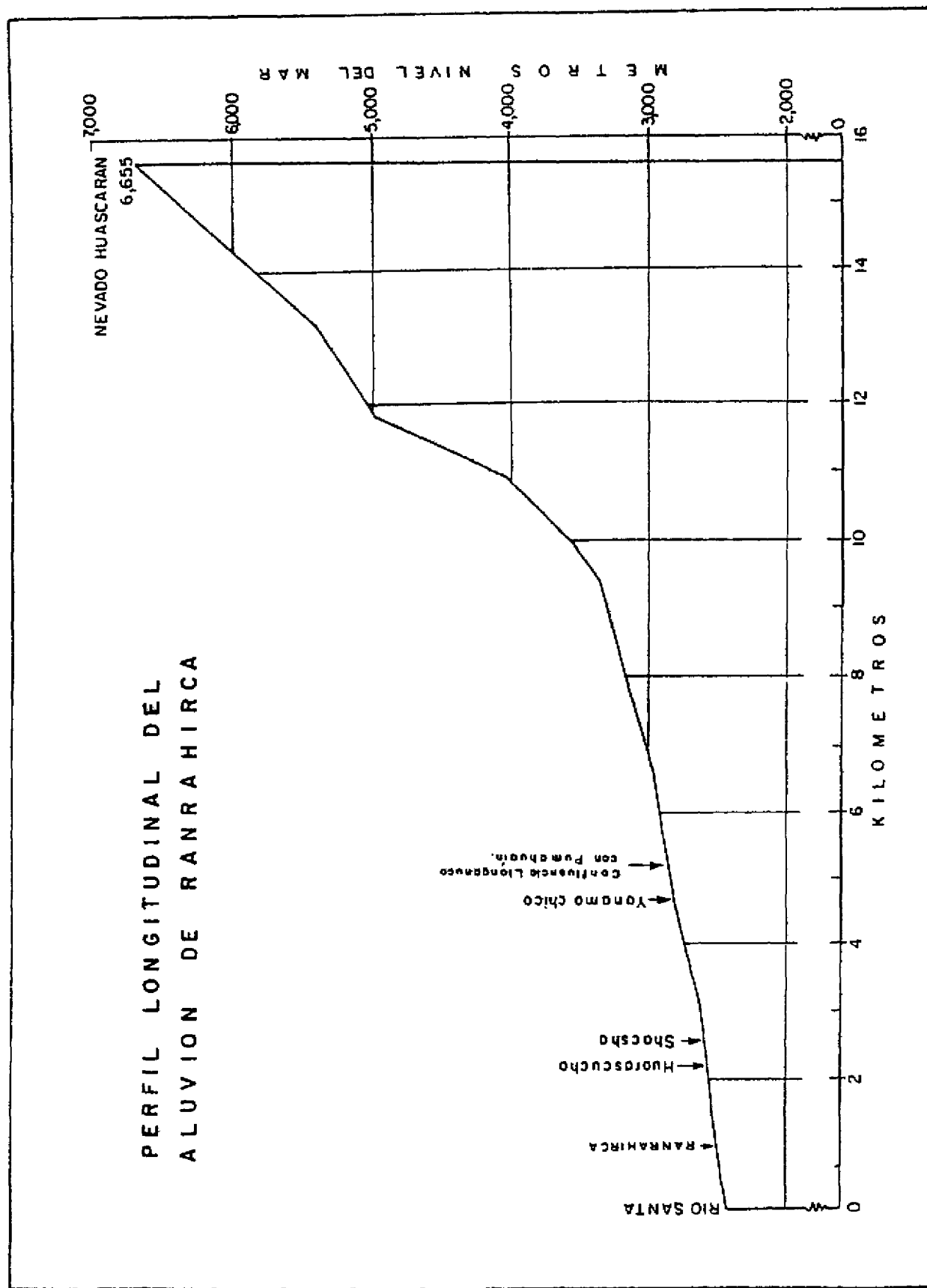


Fig. 27 - PERFIL LONGITUDINAL DEL ALUVION DE RANRAHIRCA (DOLLFUS Y PEÑAHERRERA, 1962).

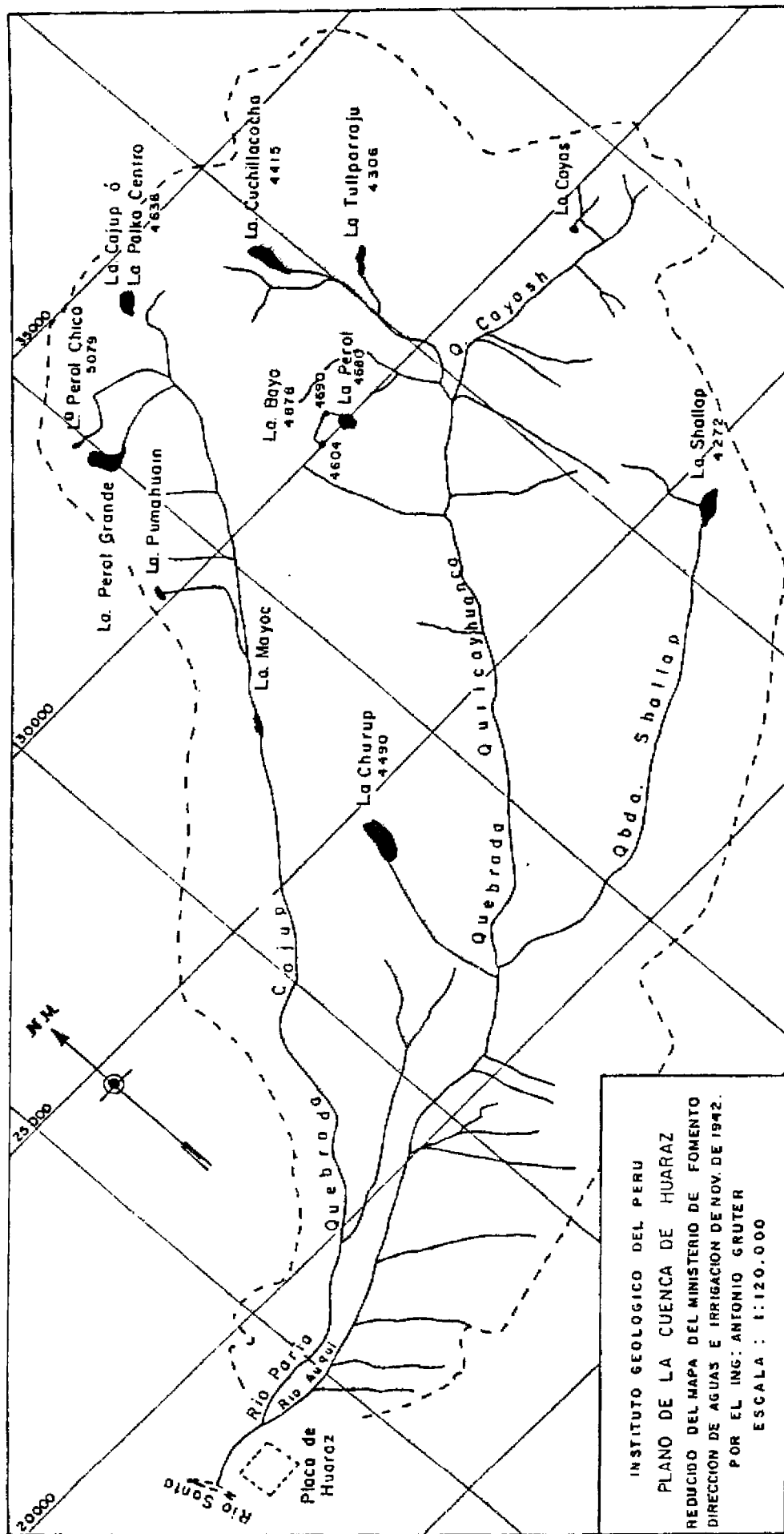
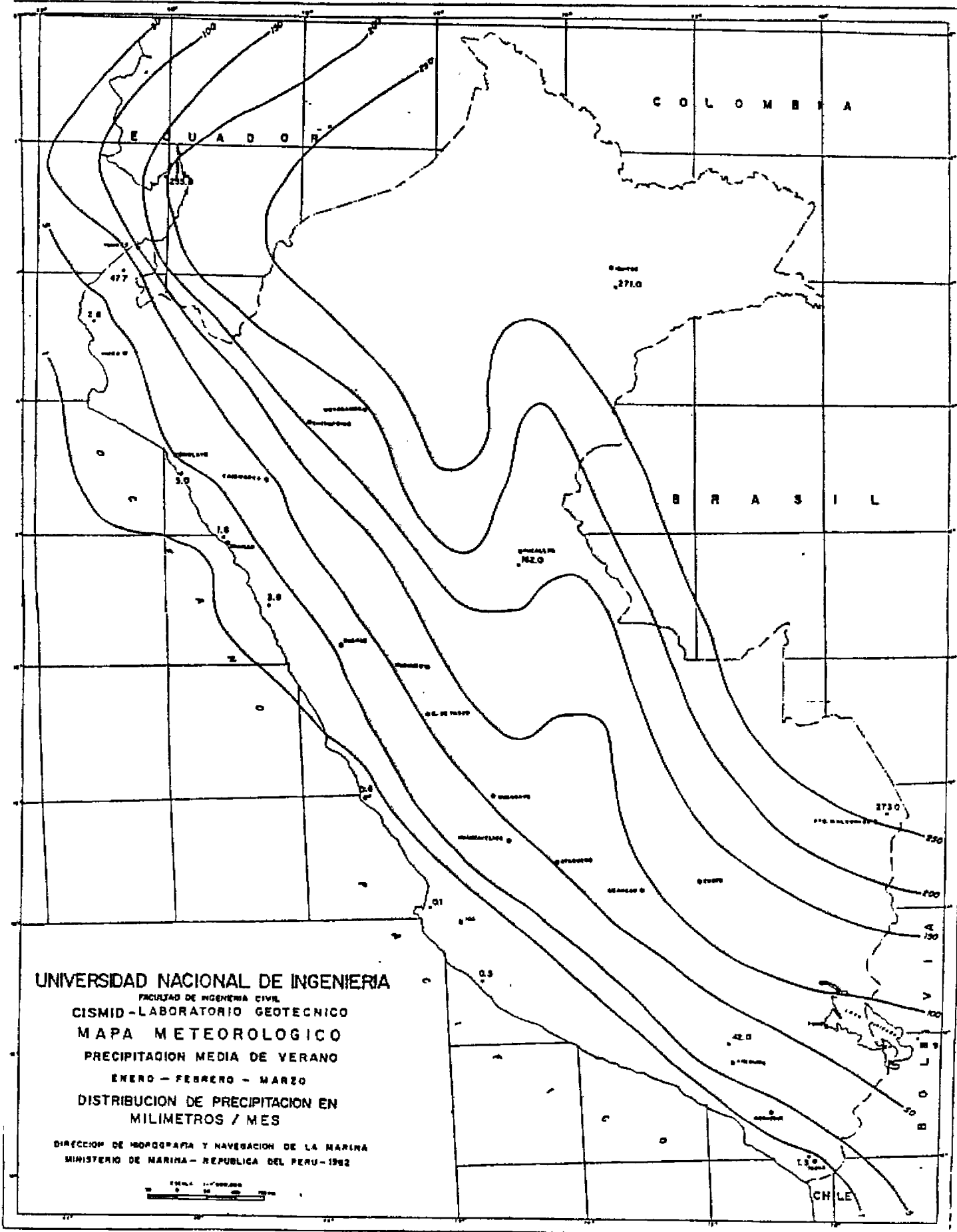
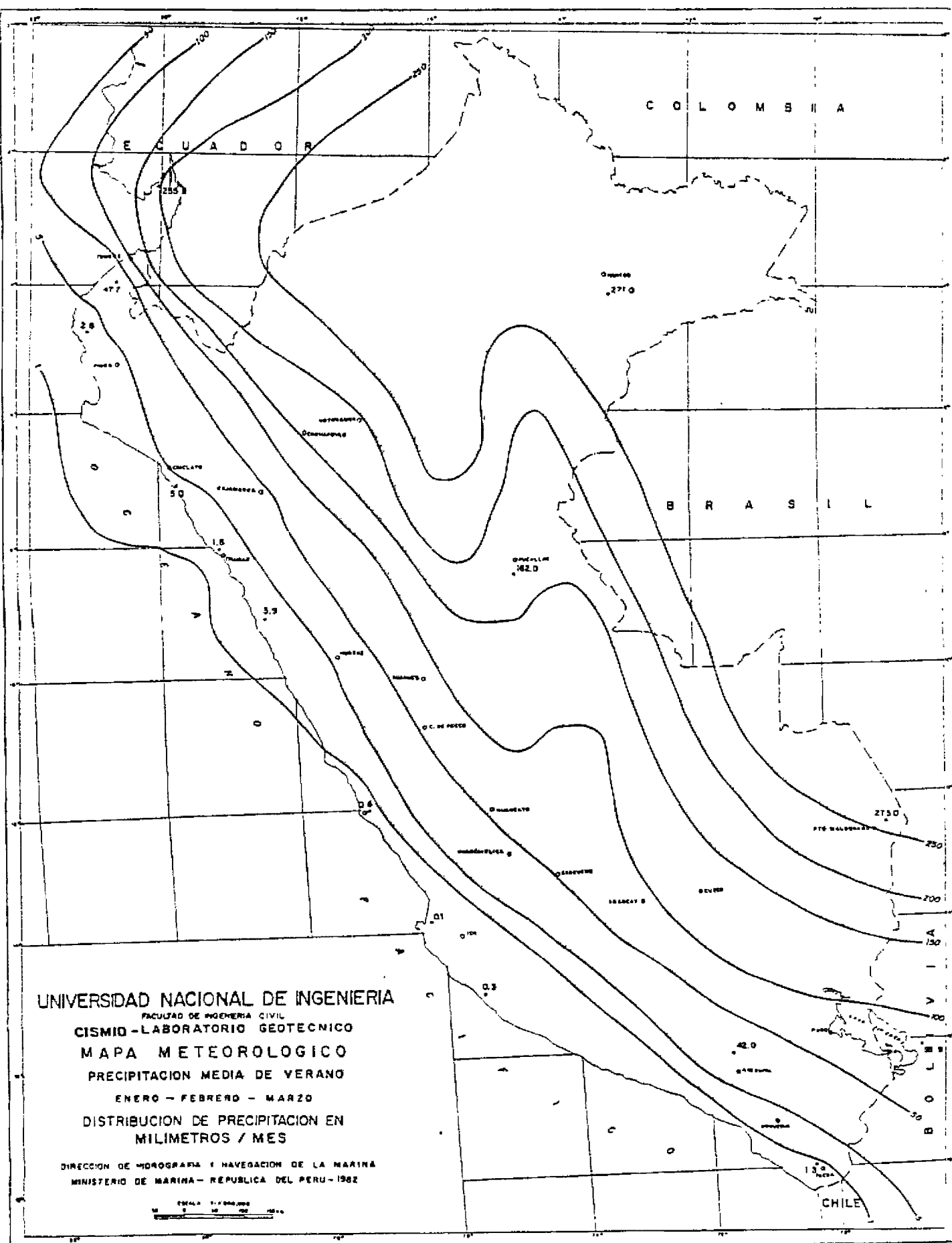
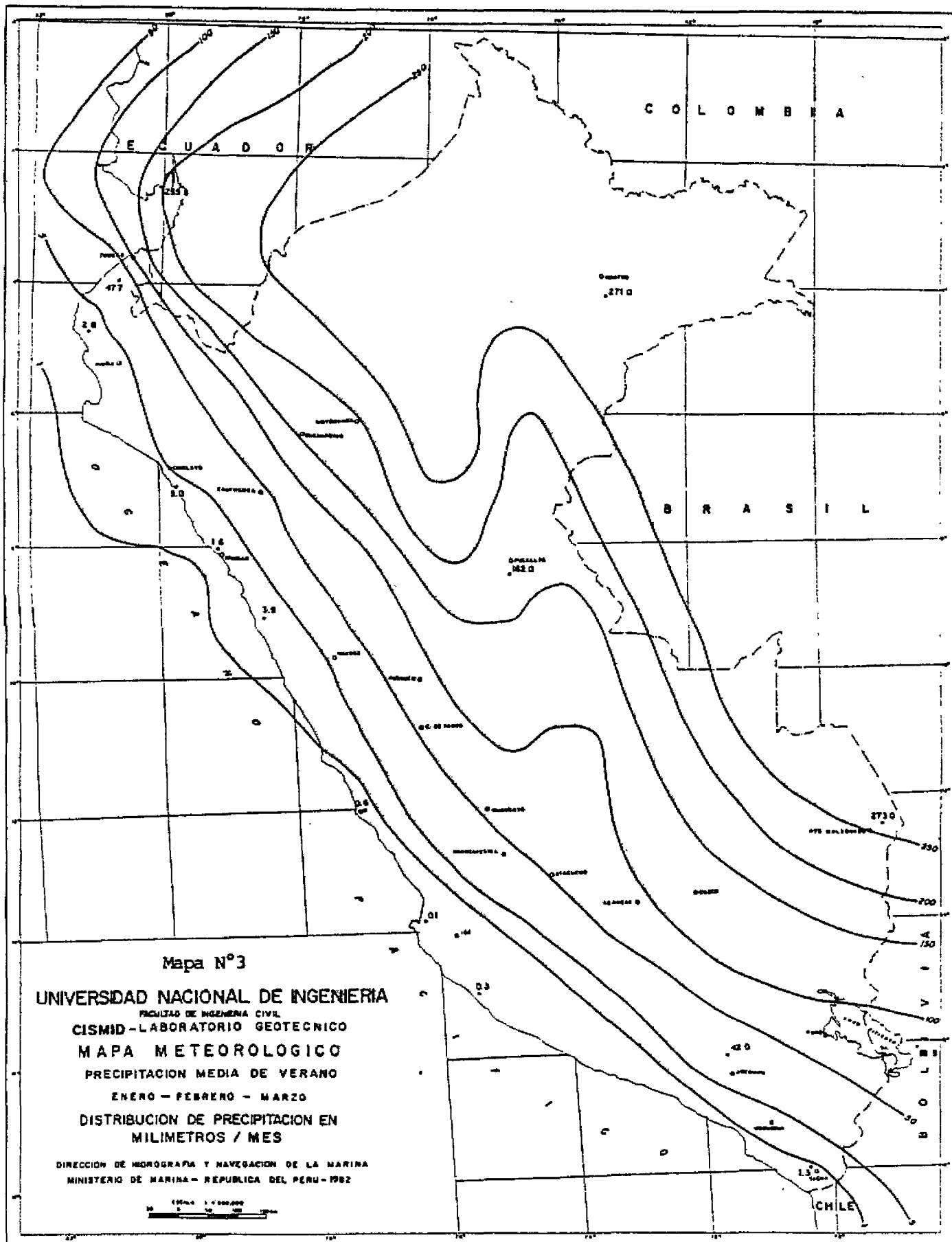
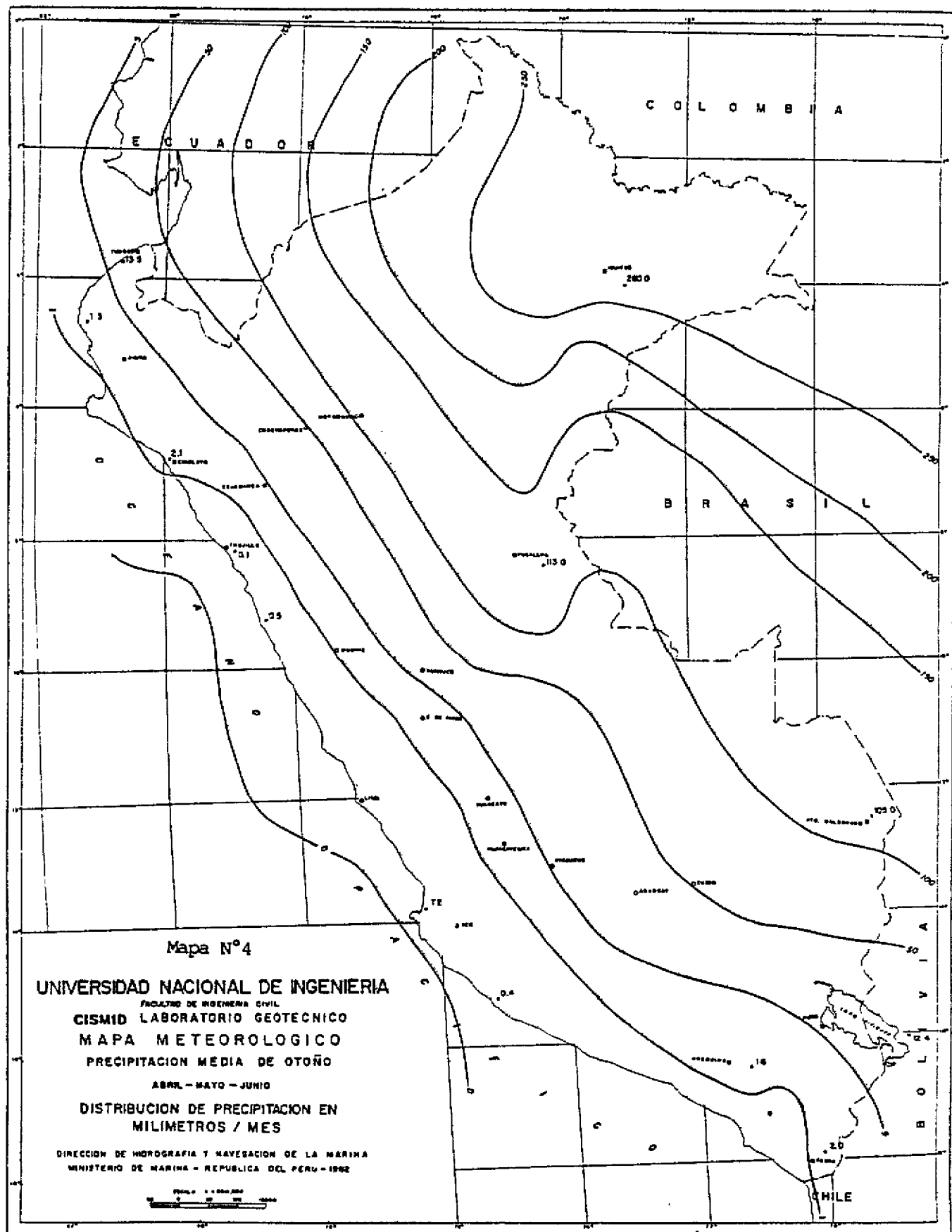


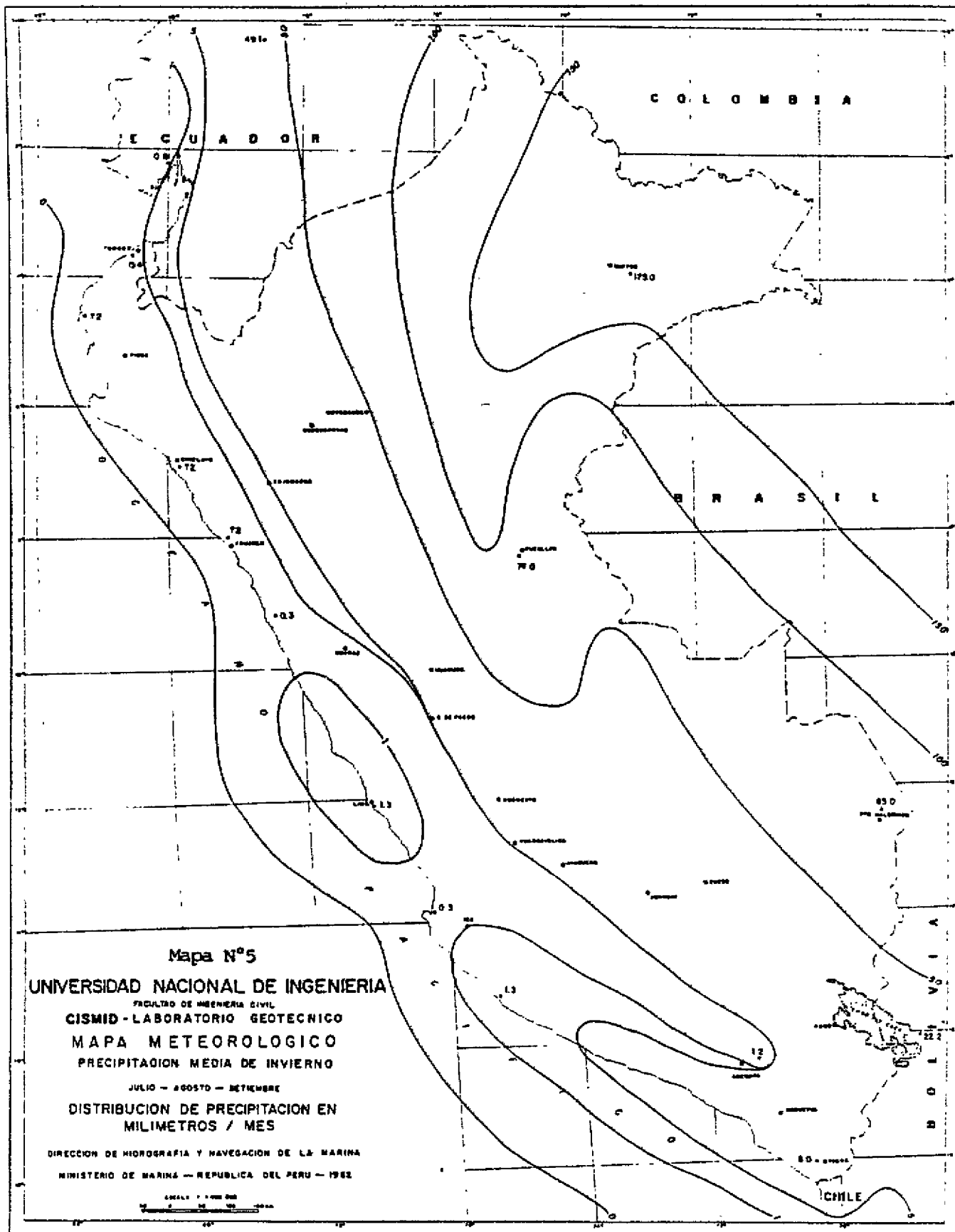
Fig. 28_PLANO DE LA CUENCA DE HUARAZ (GRUTER, 1942).

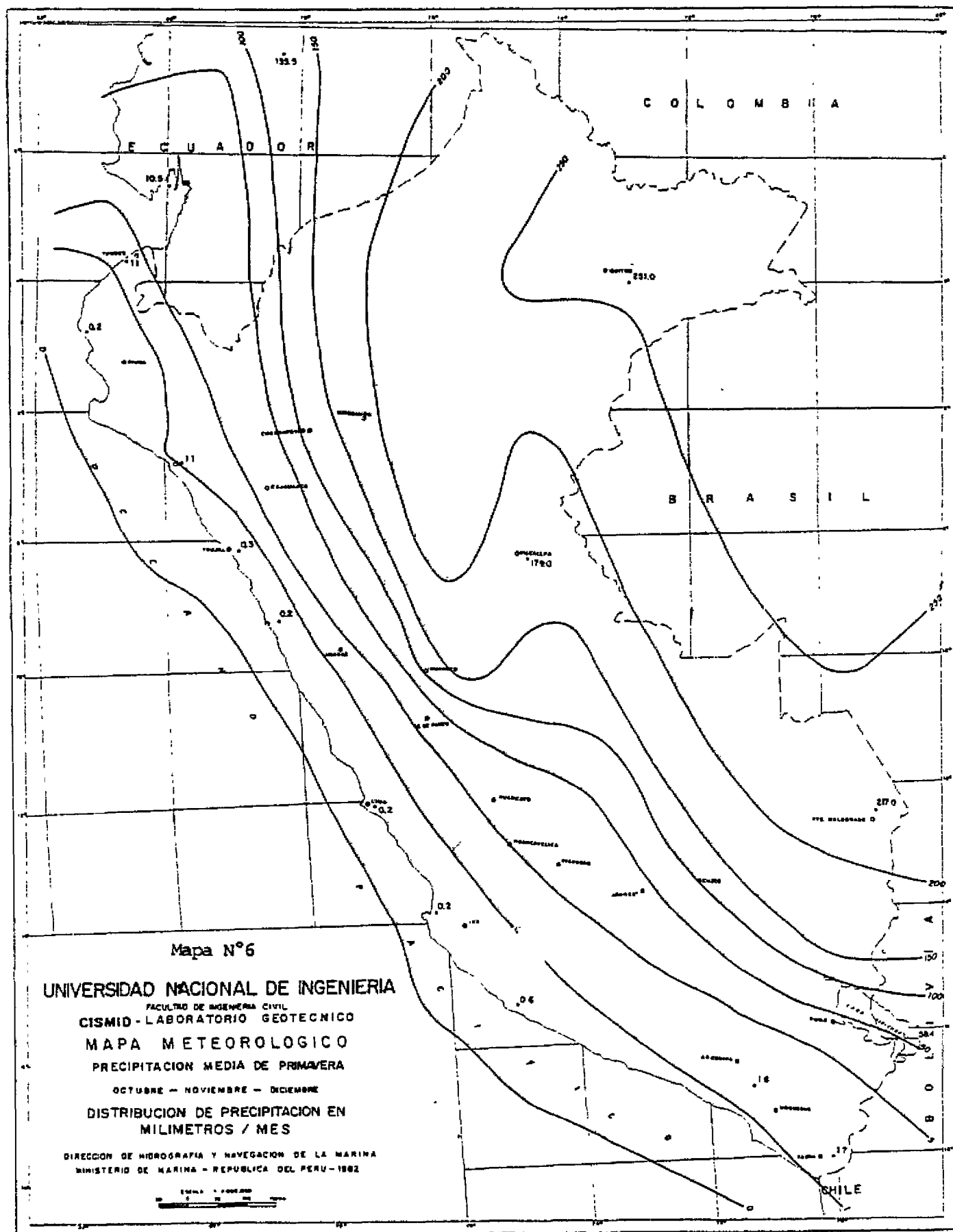


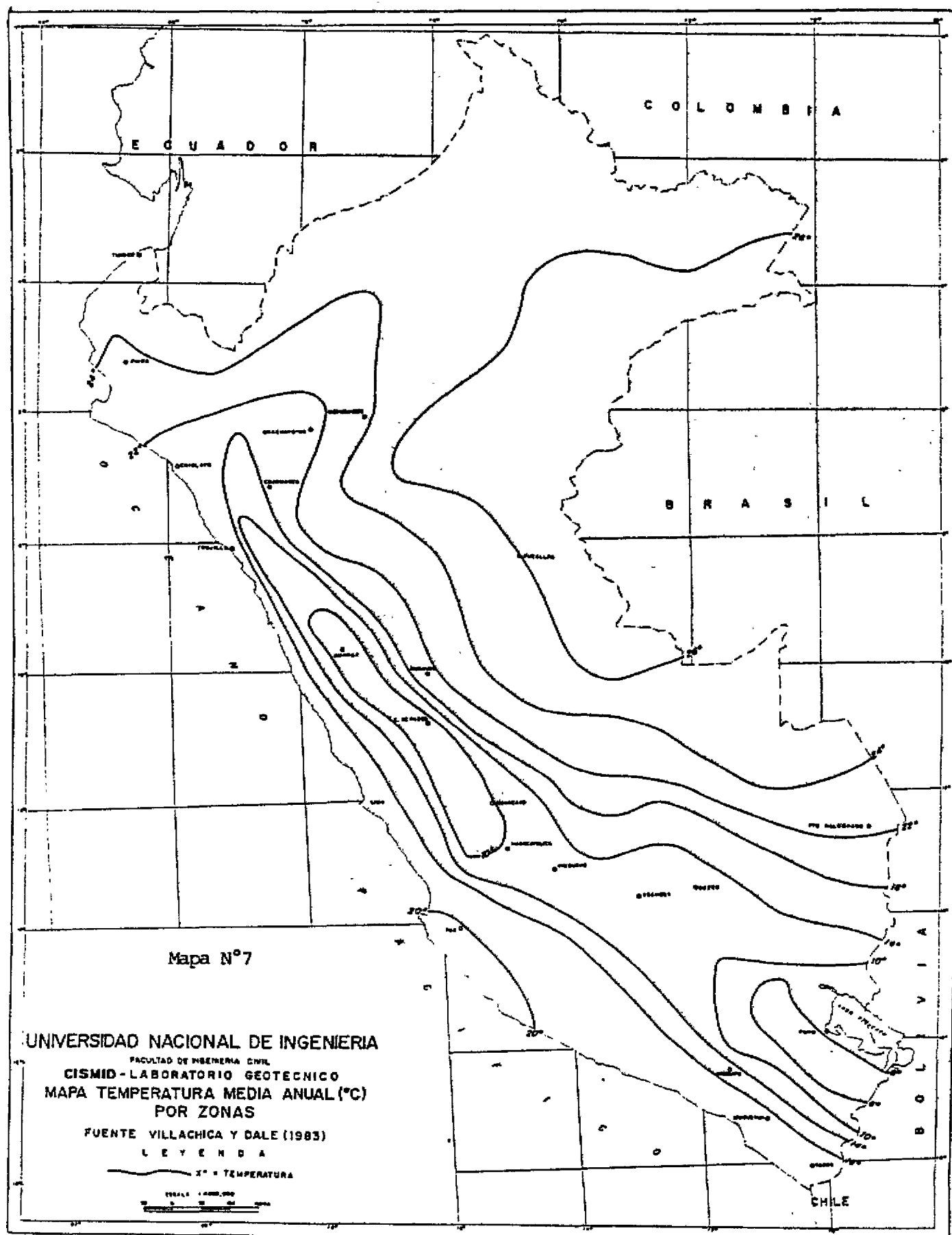


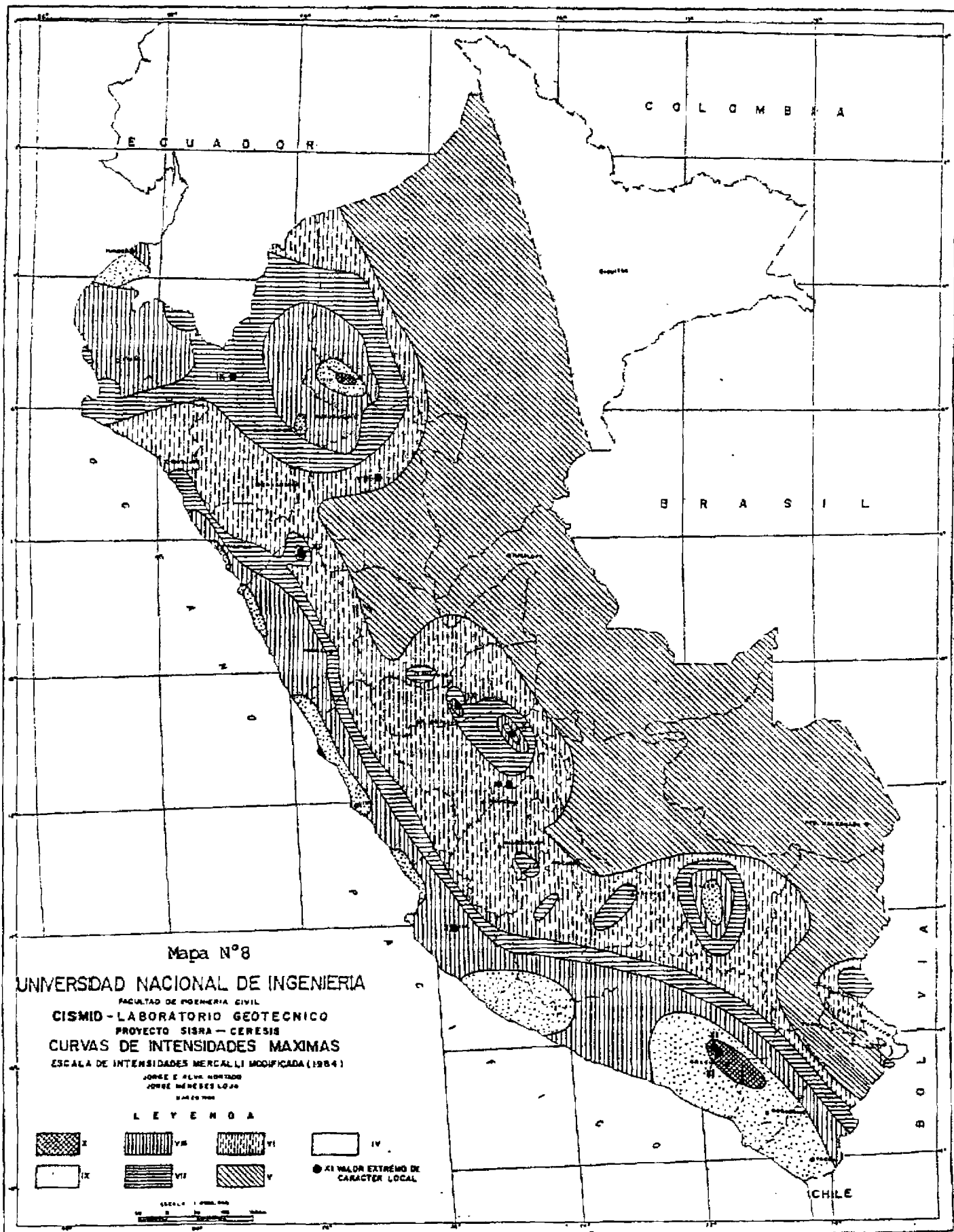


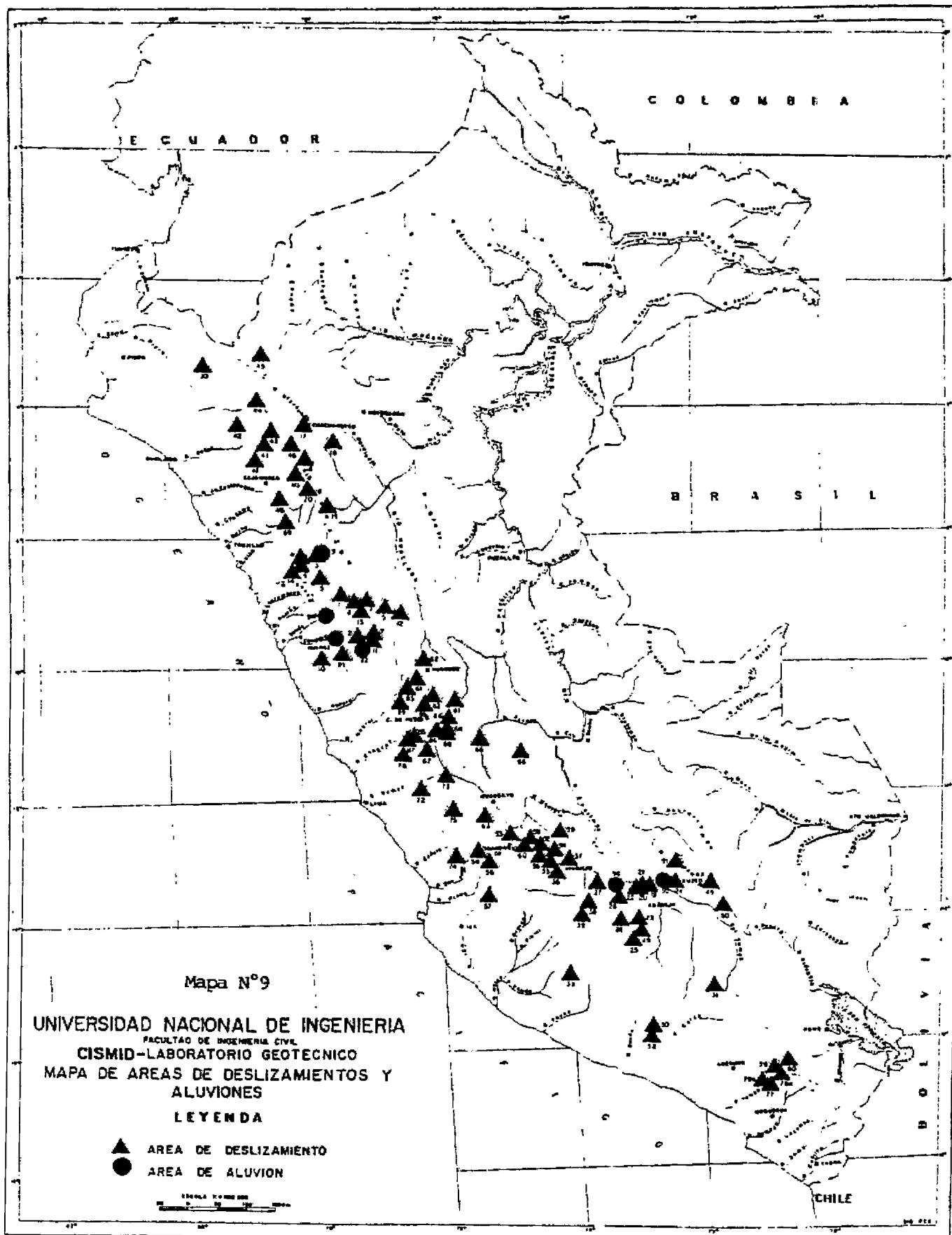


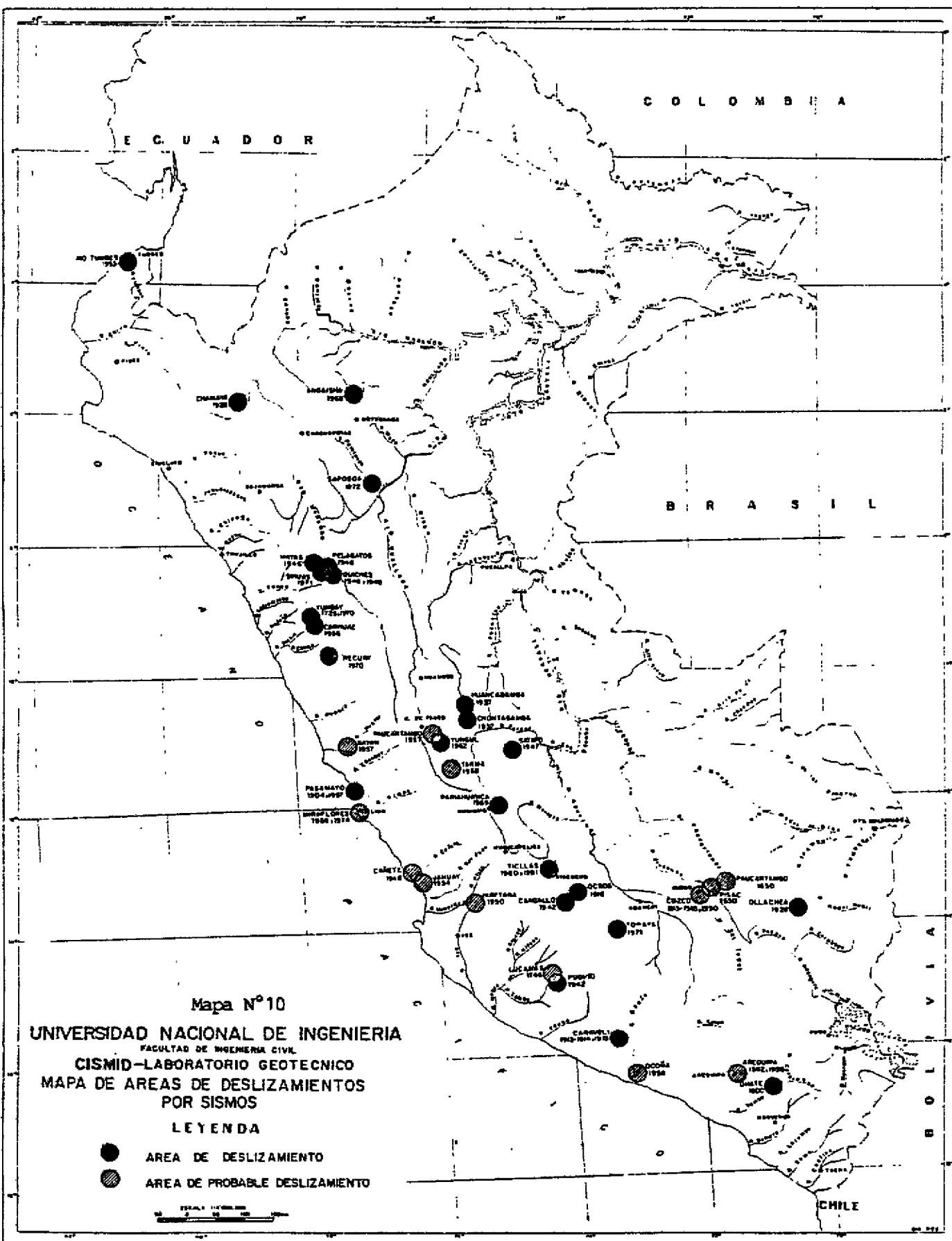












AUSPICIADO POR:



AGENCIA DE COOPERACION
INTERNACIONAL DEL JAPON

PUBLICADO POR:

CISMID

Campus UNI - Puerta N° 7

Av. Túpac Amaru s/n.

Teléfono 820777

Faxímil 810170

Apartado 1301

Lima 100 - Perú