

VI- ALTERNATIVAS DE SOLUCION

Se presentan varios planteamientos tendientes a controlar el deslizamiento, prevenir a la población, minimizar los efectos de una posible avalancha y estabilización del deslizamiento. Tratándose los dos primeros puntos de inversiones menores que no se relacionan con minimización o solución del problema, se presentan en capítulo separado. Por otra parte se propone la construcción de algunas obras para evitar que una avalancha de lodo, cubra las poblaciones ubicadas a lo largo del Valle del Río Uruca.

6.1 Obras en el cauce del Río Uruca

Existen cuatro posibles vías por donde bajaría el deslizamiento desde el Alto de Tapezco hasta el cauce del Río Uruca, tres de estos bajantes se ubican aguas arriba del sitio donde el Río Uruca cruza el camino a Matinilla. La recomendación consiste en construir un dique ubicado aguas abajo de los bajantes, que detenga la avalancha y las elimine en forma regulada a través del cauce mismo del Río Uruca, sin que cubra todo el ancho del Valle, situación que se ha presentado en el pasado.

Con respecto al nivel de dique escogido se destacan varios criterios importantes que lo definen:

- a. Es antieconómico y talvez no factible, construir un dique con una altura tal que permita embalsar el volumen total

de una avalancha máxima calculada bajo una serie de suposiciones no comprobadas y sin la suficiente información.

b. El objetivo principal del dique es amortiguar la velocidad de la avalancha y permitir que se evacue lentamente a través de la sección controlada y si es el caso hasta por encima de la cresta del dique, para lo cual este debe adecuarse para que no sufra daños.

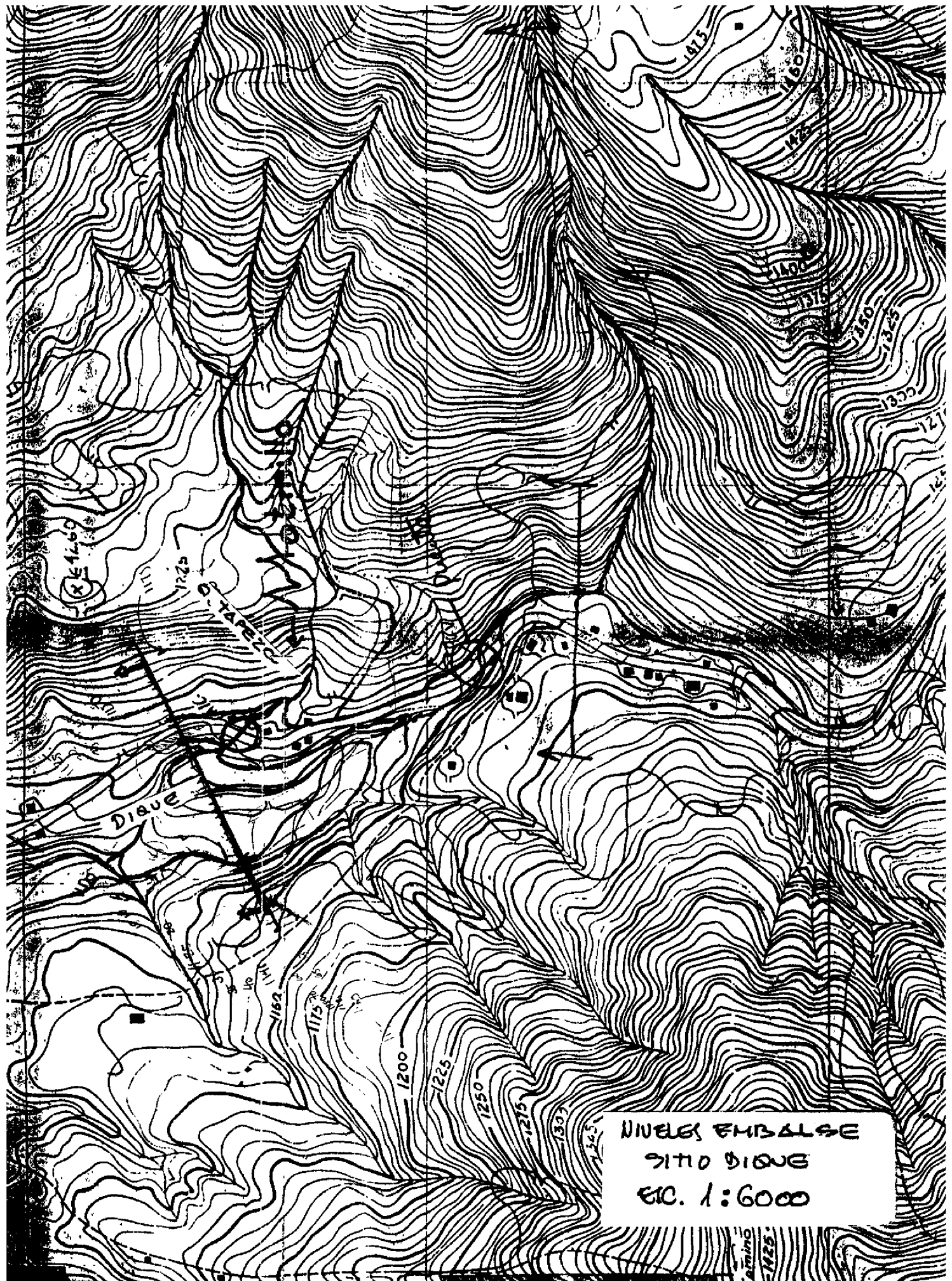
c. La cresta del dique debe quedar a un nivel menor que el camino para que, si el nivel de la avalancha fuera muy alto, pase por encima del dique y no afecte el camino. En nuestro caso el camino quedaría 5m más alto que la cresta del dique.

Por efecto de evacuación de la avalancha a través de la sección controlada, el nivel del agua en el Río Uruca subirá sobre su nivel normal por lo tanto se recomienda que aguas abajo del dique, para evitar desbordamientos en la zona adyacente al cauce del Río Uruca, se recomienda hacer un dragado en una longitud aproximada un kilómetro aguas abajo y promover una prohibición para evitar nuevas construcciones en una banda de unos 30m a ambos lados del cauce.

d. El dique se localiza en un valle ancho y profundo con una gran capacidad para alojar avalancha sin que alcance



NIVELES REPRESAMIENTO
SALIDA QUEBE. PETER
ESC 1:6000



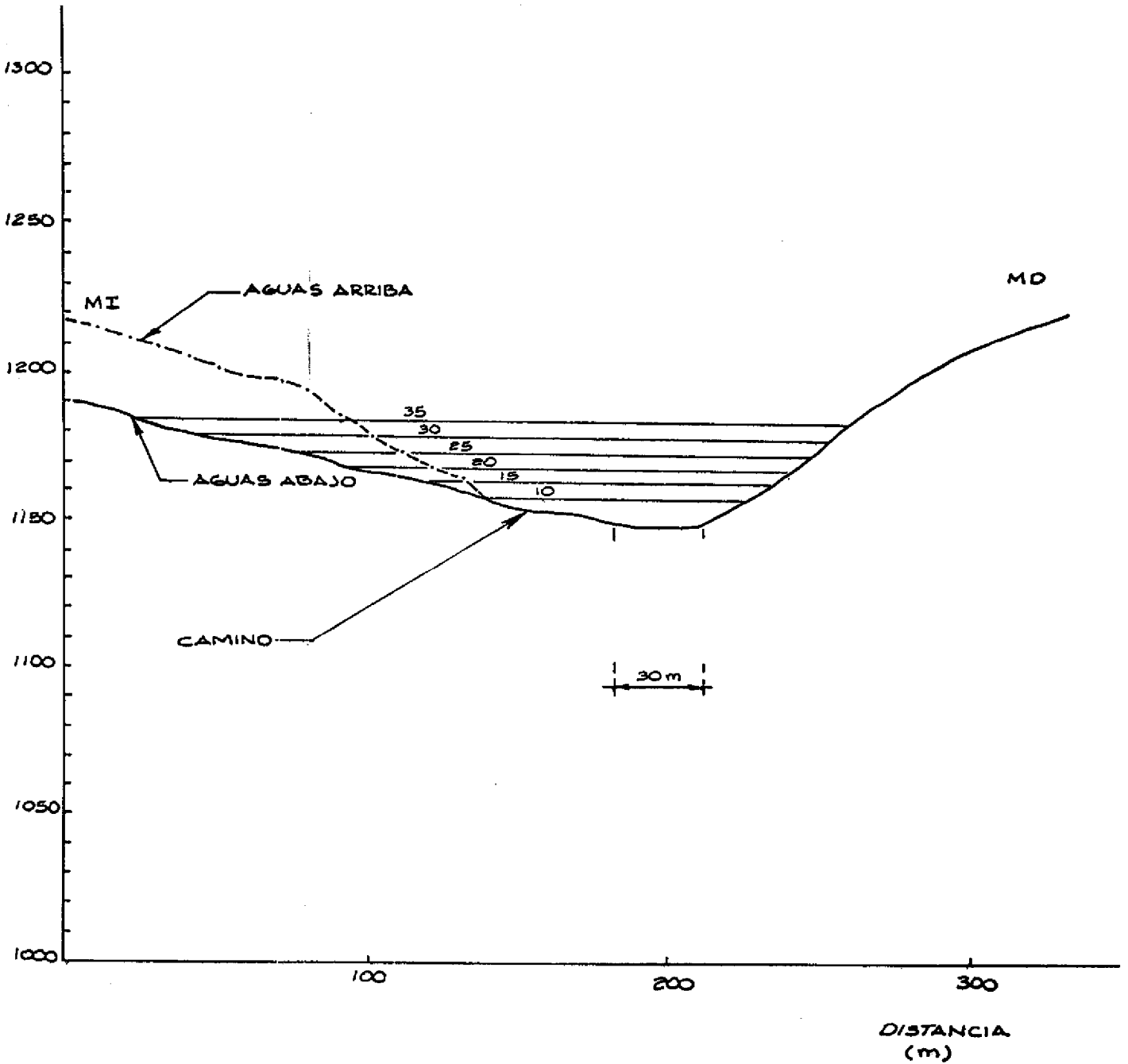
NIVELES EMBALSE
SITIO DIGUE
E.C. 1:6000

Amirino
1925

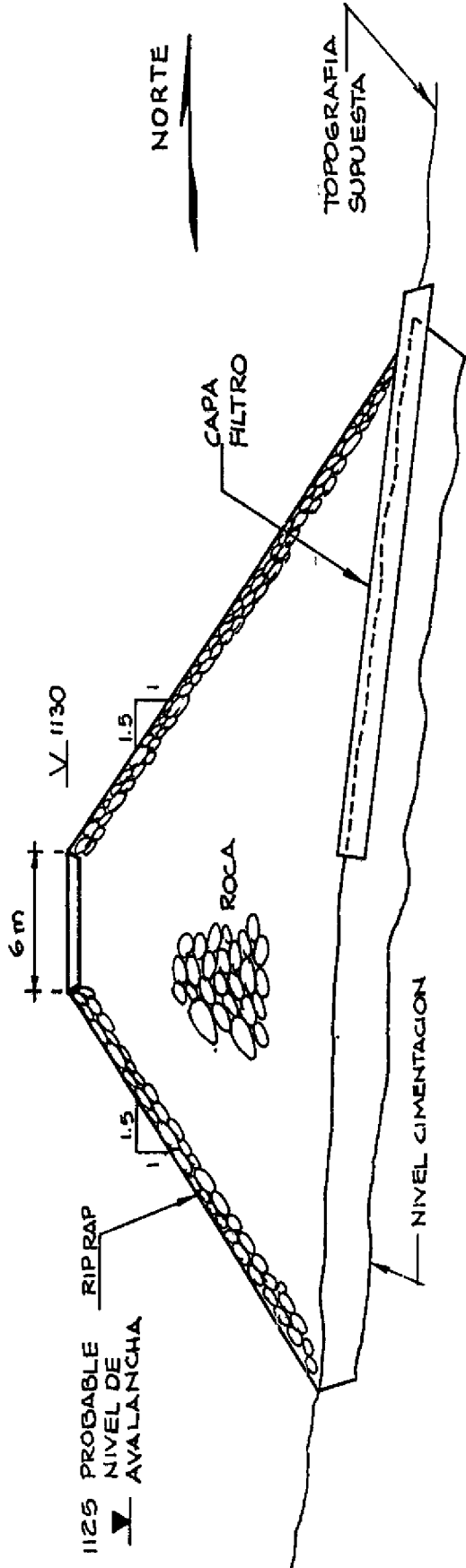
SECCION EN SITIO SALIDA Q. PETER AL RIO URUCA

ESCALA 1:2000
Levantado por
Municipalidad
de Santa Ana

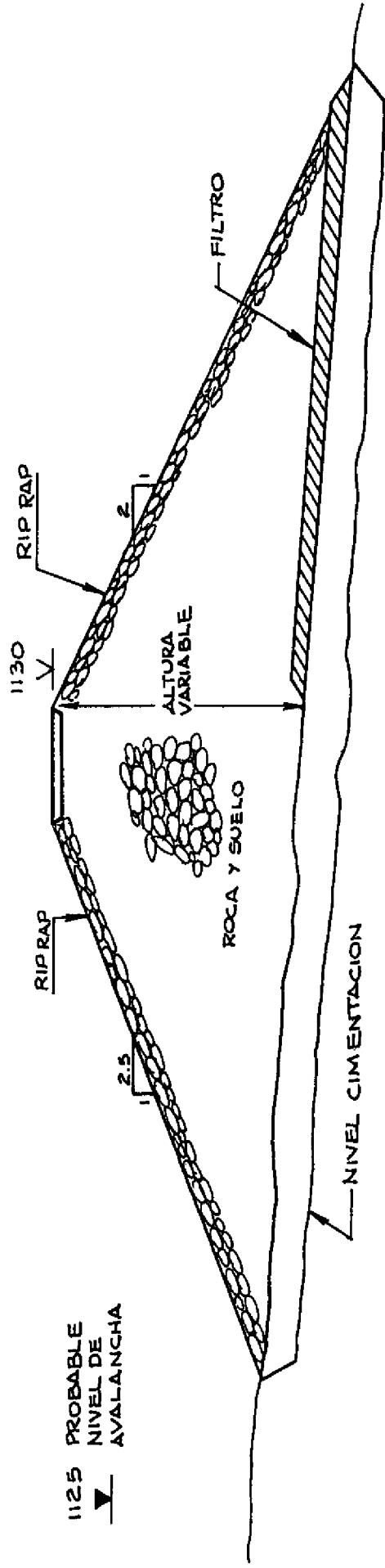
ELEVACION
(msnm)



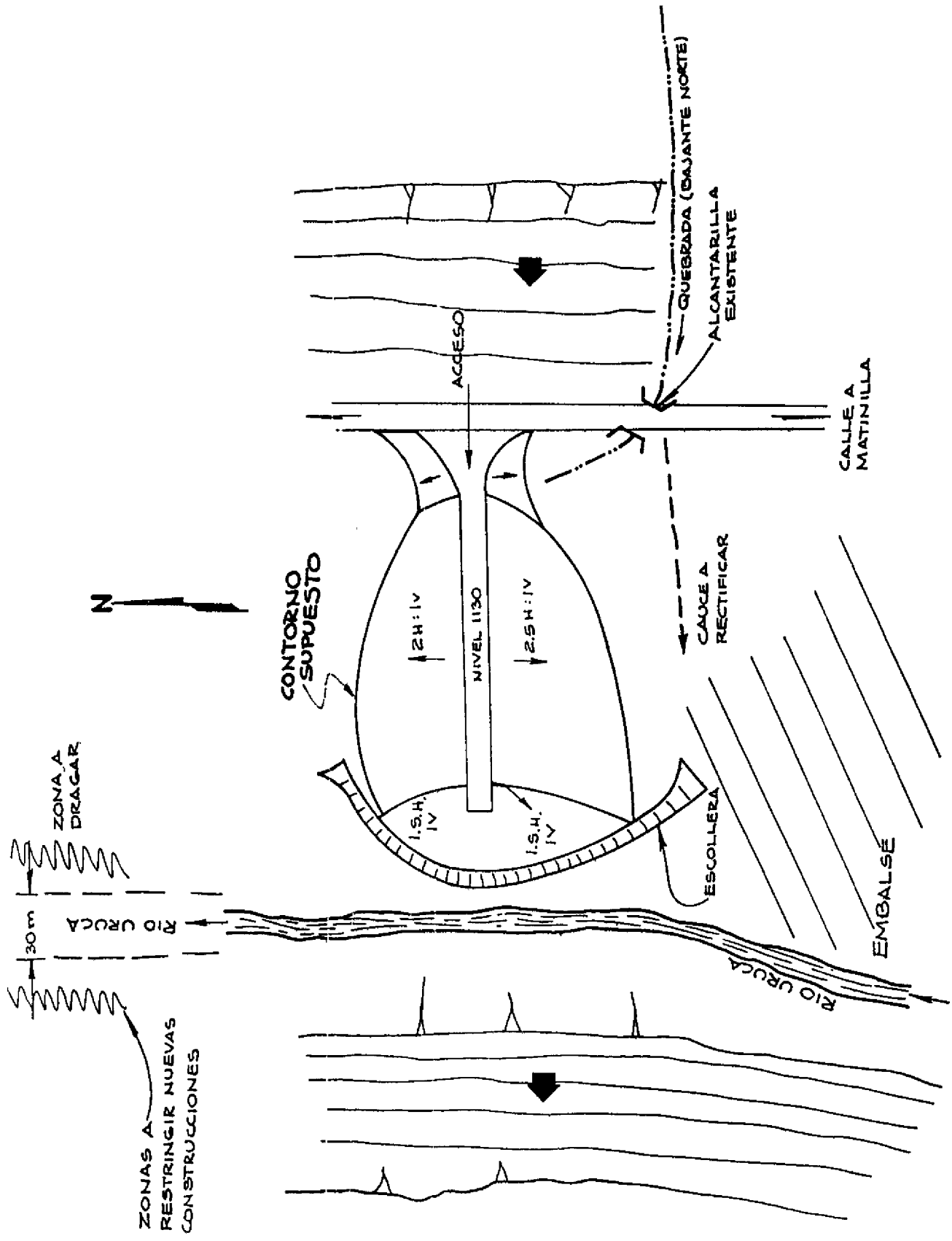
DETALLE DE DIQUE



SECCION TIPICA JUNTO AL CAUCE RIO URUCA



SECCION TIPICA HACIA LA CALLE A MATINILLA



PLANTA SEMIESQUEMATICA DIQUE Y ZONA DE EMBALSE SIN ESCALA.

Los detalles de las obras propuestas, se presentan en láminas adjuntas incluyendo dimensiones para efectos de presupuestación y construcción.

La galería se debe iniciar en la roca estable aproximadamente a la elevación 1550, manteniendo una pendiente positiva hacia el este, hasta donde se pueda, subparalela al contacto roca estable/deslizamiento; pero siempre garantizando una cobertura mínima sobre el techo del túnel de unos 15m, nivel al que la roca posee mayor calidad mecánica, disminuyendo así el uso de arcos de acero para su soporte. A partir de la galería principal se podrán construir galerías secundarias o ramales de modo que se cubra la mayor parte del área inestable.

Los drenajes se harán en el techo y los costados de las galerías principal y secundarias, penetrando lo suficiente en la zona inestable para eliminar el agua retenida.

Para efectos de construir el portal de entrada de la galería se deben hacer obras de protección adicionales para evitar derrumbes en el portal de entrada.

Con relación al control de aguas de escorrentía superficial se propone lo siguiente:

- 1- Construcción de un canal principal siguiendo el contorno del camino.
- 2- Construcción de una contracuenta en la parte alta del cerro.
- 3- Obras de canalización menores en la zona inestable.

El canal principal tendrá una longitud total de 900 metros y profundidad media de 3.00 metros. Se deberá recubrir con una membrana de politileno (geotextil) impermeable y flexible. Este canal deberá evacuar las aguas fuera del área inestable a las quebradas existentes.

La contracuneta superior debe tener una longitud total de 650 metros y se ubicará en la parte alta del deslizamiento, siguiendo el contorno de la cicatriz de derrumbe, que aparece en la parte alta del cerro. La misma tendrá una profundidad media de 1.50 metros y deberá revestirse también con un geotextil flexible e impermeable. La función de la contracuneta será tratar de impedir la infiltración de las aguas en zonas cercanas a la corona e impedir así el retroceso del deslizamiento.

Obras menores de drenaje deberán ejecutarse dentro de las zonas de derrumbe y consistirán simplemente de excavaciones hechas con retroexcavador que canalicen y orienten las aguas hacia los puntos bajos de desague. Su longitud total se estima en unos 300 metros y su profundidad aproximada sería de 1.0 metros.

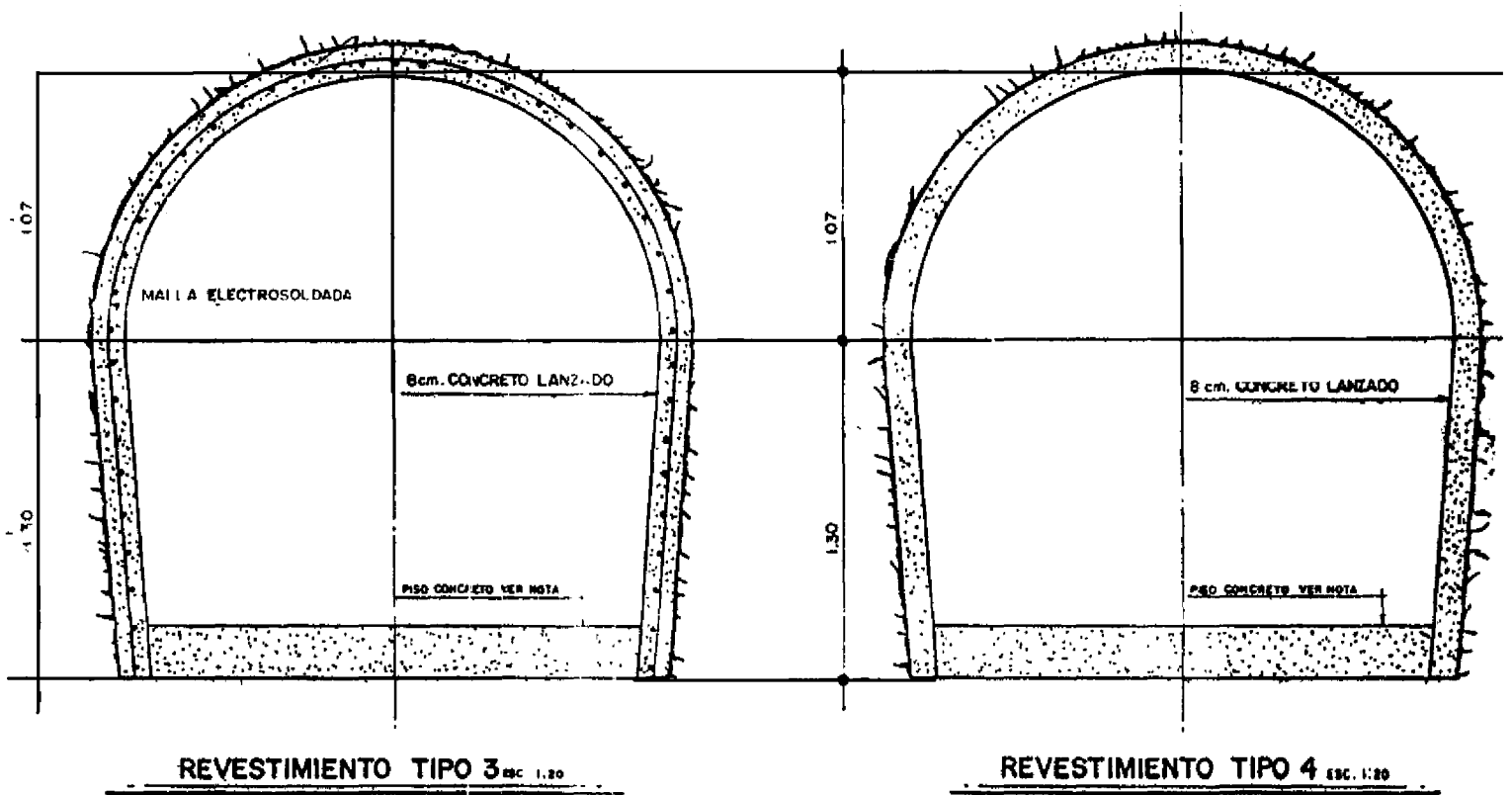
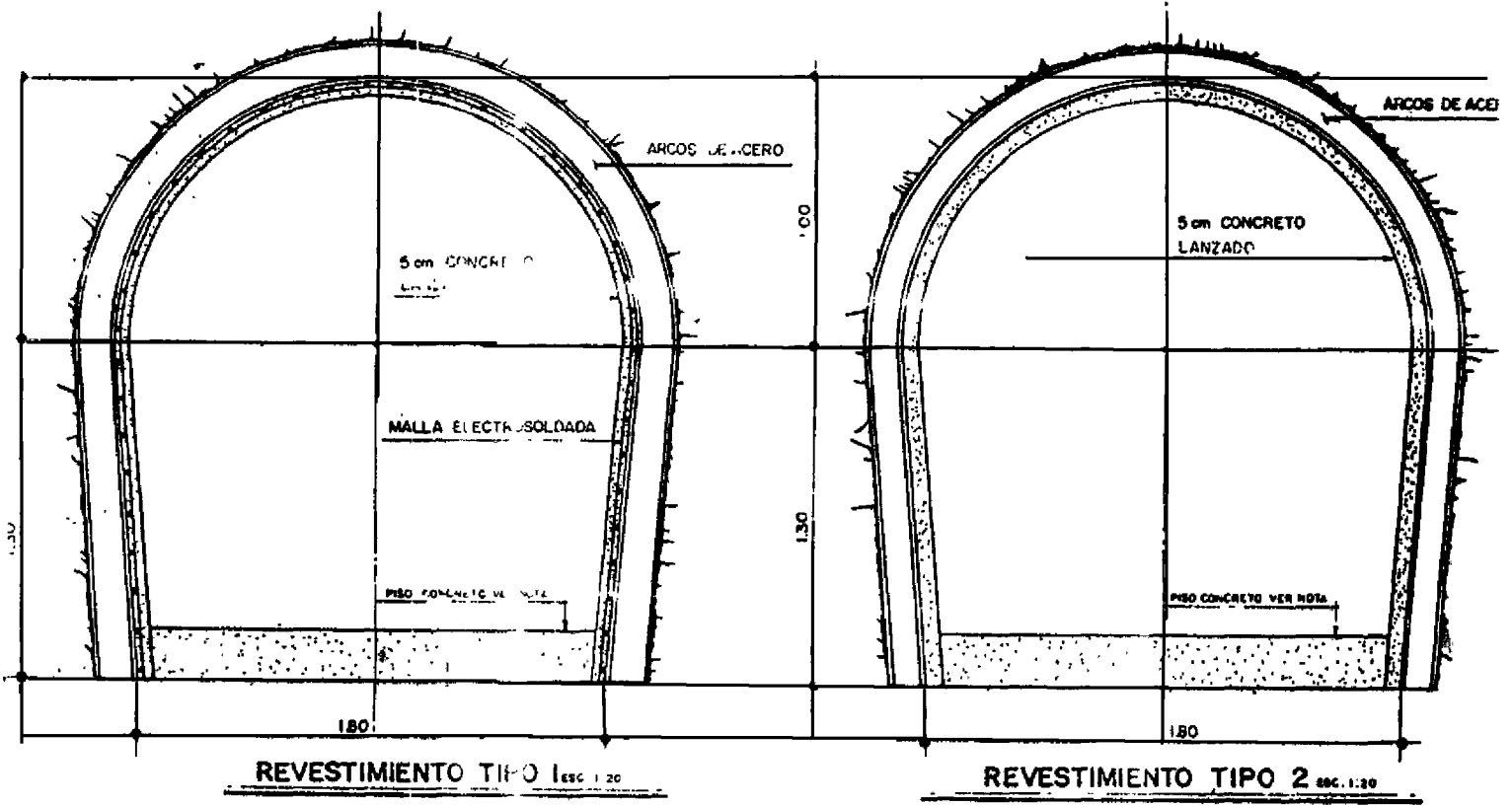
La ubicación exacta de las estructuras de drenaje propuestas se presenta en lámina adjunta.

6.3 Obras complementarias

De acuerdo a la literatura consultada (ver lámina), en otros países acostumbra colocar en cauces profundos, mallas metálicas para amortiguar las avalanchas. En nuestro caso la

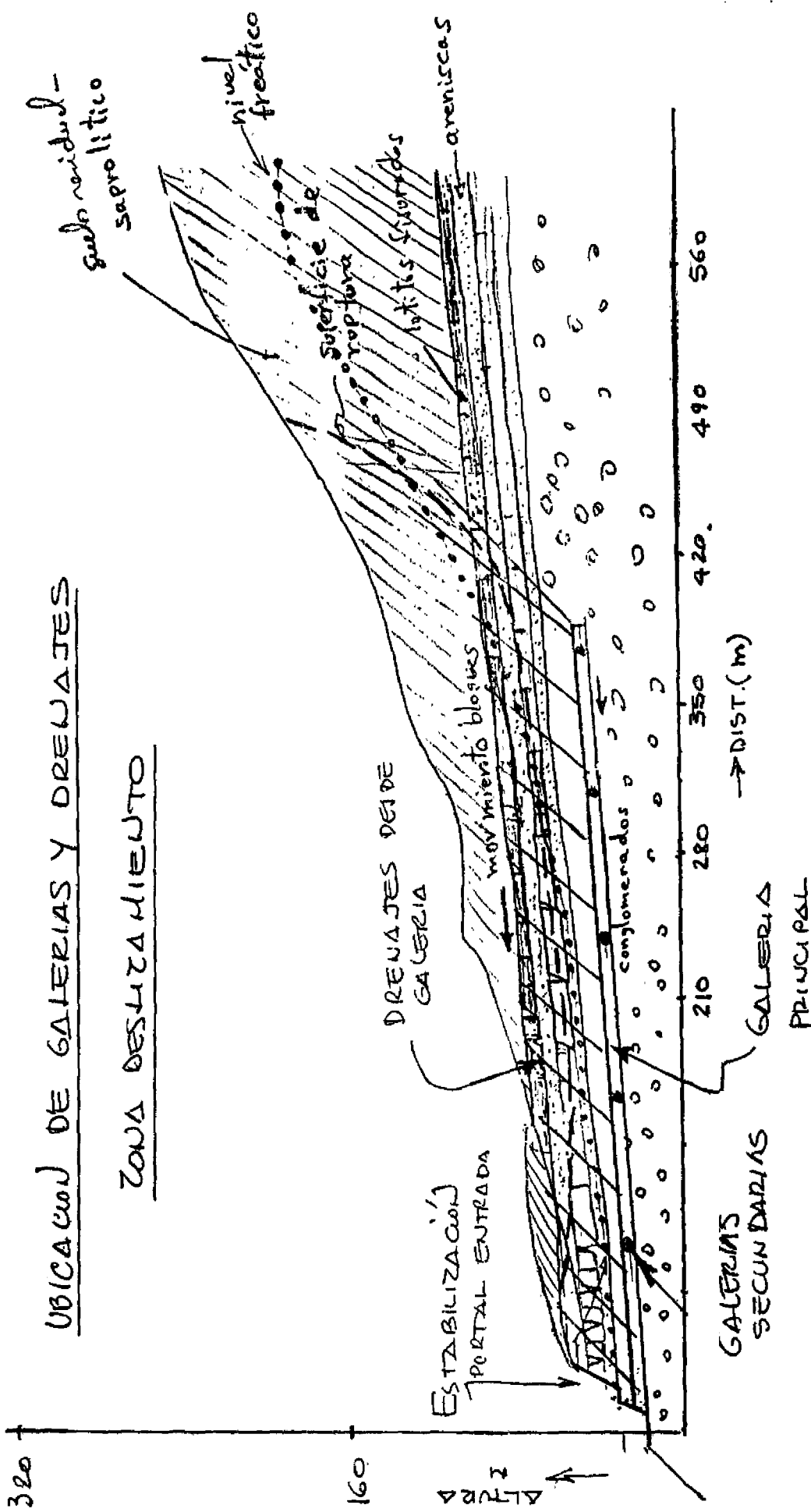
geometría de los cauces, principalmente el de la quebrada Peter, que es el más peligroso, presenta características adecuadas par instalar un amortiguador de la avalancha, para lo cual se podría usar llantas viejas unidas entre sí por cabos de varilla. En la parte superior habría un cable de acero (linga), cuyos extremos estarán unidos a pernos anclados dentro de la roca. La parte inferior de la barrera debería estar unos 5m sobre el fondo del cauce de modo que para avalanchas pequeñas esta no interferiría.

Perfiles de revestimiento, galerías



UBICACION DE GALERIAS Y DRENAJES

ZONA DESLIZAMIENTO



HISTOLOGIA SEGUN F. MOLINA (TESIS UCR 90)

- BASADO EN REINTERPRETACION GEOTECNICA

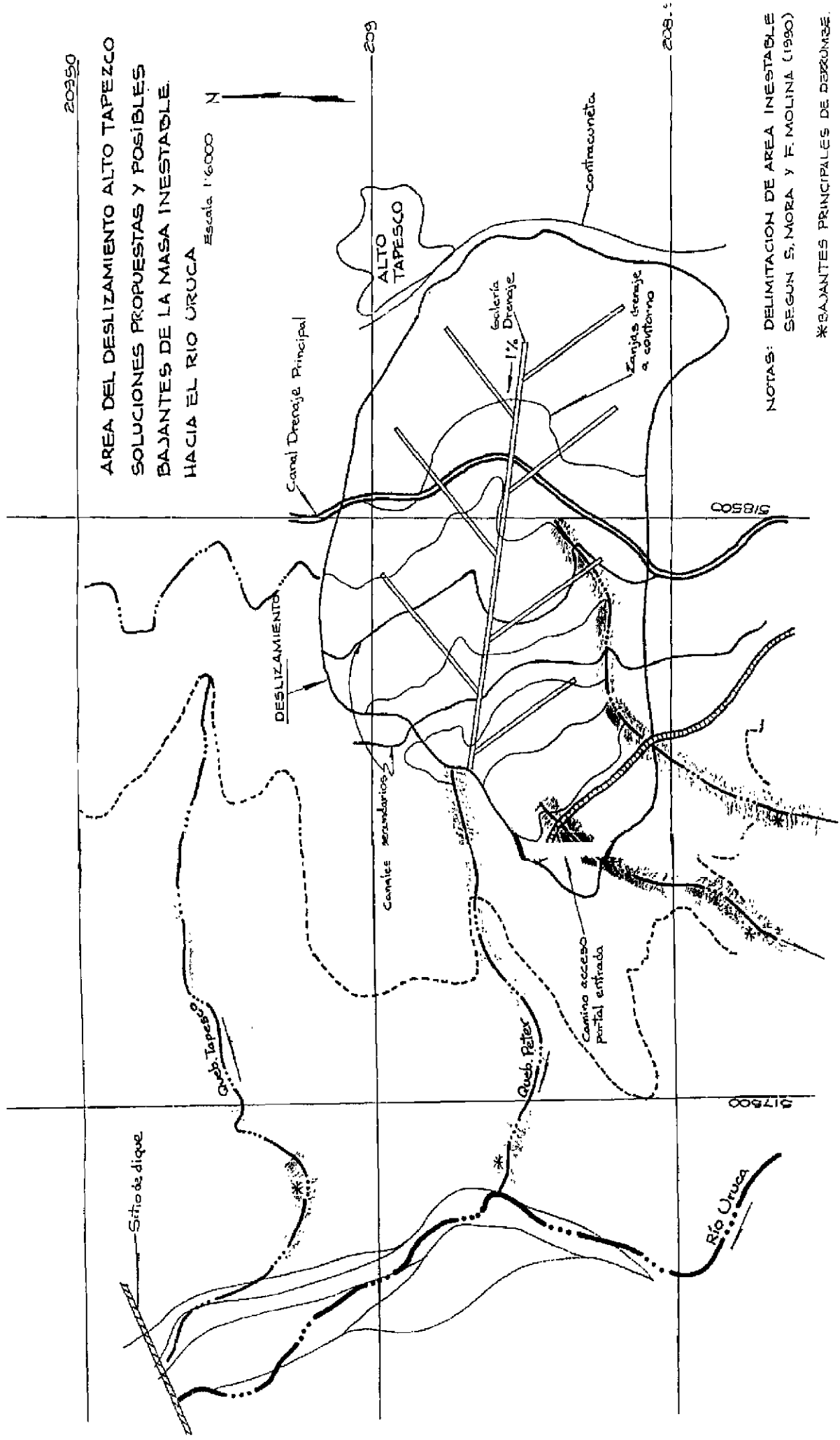
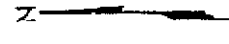
LAPORTE Y SAENZ (1992)

- ESCALAS

20350

AREA DEL DESLIZAMIENTO ALTO TAPEZCO SOLUCIONES PROPUESTAS Y POSIBLES BAJANTES DE LA MASA INESTABLE HACIA EL RIO URUCA

Escala 1:6000



NOTAS: DELIMITACION DE AREA INESTABLE
SEGUN S. MORA Y F. MOLINA (1990)

*BAJANTES PRINCIPALES DE DESZUMBE.

VII- INSTRUMENTACION DE CONTROL Y SISTEMAS DE ALARMA

7.1 Control del avance del movimiento.

Puesto que es evidente la existencia de un deslizamiento activo progresivo y de grandes dimensiones, el uso de métodos especiales de control en perforaciones (inclinómetros, piezómetros, medidores de nivel de agua etc), resultaría muy oneroso; y con una vida útil muy limitada que realmente no justifican la inversión. Por eso, para el control de avance del deslizamiento en superficie, se sugiere la instalación de monumentos de concreto en sitios previamente establecidos, siguiendo las direcciones principales de movimiento. Estos monumentos se deberán controlar tanto en planta como en elevación a través de control topográfico o por medio de cintas extensométricas.

Otro método de control muy conveniente para darle seguimiento al proceso de avance del deslizamiento, es a través de análisis fotogramétricos utilizando fotografías aéreas con alturas de vuelos similares. Para eso se recomienda que la Municipalidad de Santa Ana inicie gestiones ante el Instituto Geográfico Nacional y la Comisión Nacional de Emergencia, a fin de que puedan tomarse por lo menos una fotografía aérea por año de la zona inestable. De gran importancia son también la toma de fotos aéreas después de eventos naturales como huracanes o terremotos.

En caso de que no fuera posible la toma periódica de fotos aéreas, se recomienda que como mínimo éstos sean

sustituídos por fotografías convencionales con cámaras especiales de lente teleobjetivo tomadas desde el Cerro Pabellón que se encuentra al frente del Cerro Tapezco. Varias giras realizadas a ese sitio por los autores de este trabajo, demuestran que se trata de un sitio estratégico, que por su posición y mayor altura permite ver muy bien el deslizamiento del Cerro Tapezco.

7.2 Sistemas de alarma contra lluvias

Para establecer un sistema de alarma basado en el control de las lluvias se propone colocar por lo menos tres pluviómetros en la zona (uno en Matinilla, otro en las Antenas de Super Canal y otro en Santa Ana Centro). Para que el sistema sea funcional se recomienda que la Municipalidad de Santa Ana compre los instrumentos y se coordine con el ICE, para que esta institución se encargue de la toma periódica de las lecturas. Esta propuesta sería de interés para el ICE porque la zona forma parte de la cuenca del Río Virilla.

Con los datos de la información pluviométrica se recomienda llevar registros continuos de la curva: precipitación acumulada vs tiempo. Como ya se mencionó en secciones anteriores la alerta deberá darse cuando la intensidad de la lluvia (pendiente de la curva de precipitación acumulada), alcance un valor de 120mm/día. En este aspecto la coordinación entre el ICE y la Municipalidad de Santa Ana debe ser muy bien planificada para que las

curvas se actualicen día a día.

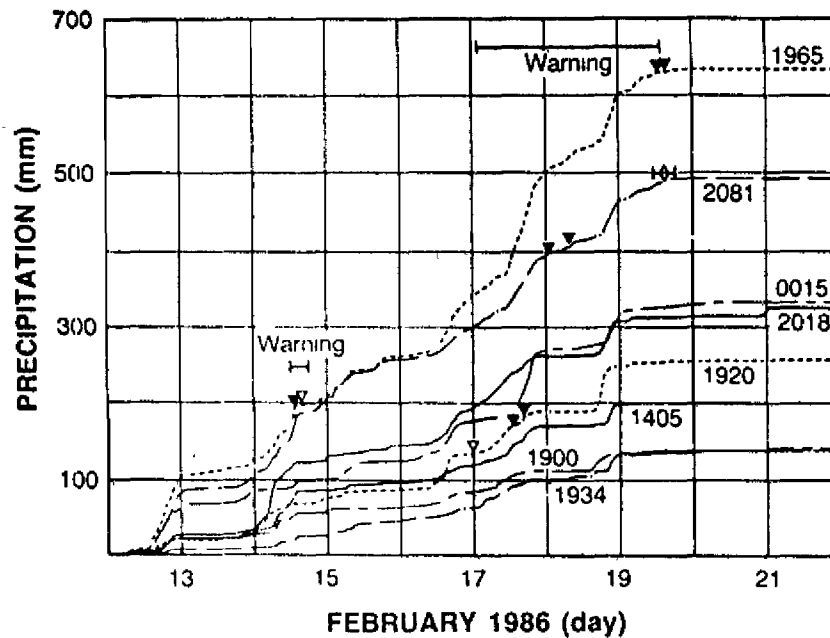
El procedimiento anterior es utilizado en muchas partes del mundo para establecer sistemas de alerta contra las lluvias en la prevención de accidentes por deslizamientos. No obstante a veces puede ocurrir que una lluvia de gran intensidad y corta duración dispare un deslizamiento, sin que se haya tenido el tiempo para leer el pluviómetro ese día. Es decir la información pluviométrica en la que realicen las lecturas diarias puede ser tardía ante un evento de corta duración. Por esto un método de alarma basado en informaciones pluviográficas parece ser más apropiado. Este instrumento presenta la ventaja de que aporta información continua sobre la intensidad de la lluvia. Sin embargo estas lecturas deben leerse en el momento mismo de un evento a fin de dar la alerta oportunamente. Utilizando registros pluviográficos se recomienda establecer la alarma cuando la intensidad de la lluvia alcance un valor máximo de 40mm/hora en 15 minutos. Alternativamente para lluvias de mayor duración se recomienda utilizar el criterio de Wieczorek, anteriormente expuesto. Con este sistema la alarma deberá darse cuando el punto de intensidad-duración representativo de la tormenta se ubique por encima de la curva de riesgo propuesta por este autor.

Una vez alcanzados los niveles de alto riesgo por lluvia la Municipalidad de Santa Ana deberá dar la voz de alerta a través de sirenas, estallido de bombetas o métodos similares. Para que esta operación sea efectiva se recomienda

adistrar a la población en estas emergencias, realizando periódicamente operaciones de simulacro.

Sin duda alguna el método más eficiente para establecer sistemas de alerta de respuesta inmediata ante una lluvia de corta dirección, lo constituye la dotación al pluviógrafo de un aparato de telemetría. Este instrumento consiste de un sensor que envía información inmediata a un satélite, el cual a su vez trasmite la información a una estación receptora. Según informaciones obtenidas por los autores el ICE en la actualidad se encuentra instalando una red de estaciones telemétrica para sus pluviógrafos. De esta manera si se coordinara con esta Institución el único costo para la Municipalidad de Santa Ana sería la compra del pluviógrafo (sin el sistema de salida gráfica que en este caso no sería necesario), más el sensor telemétrico; aparatos cuyo costo total no sobrepasa la suma de \$1500 (Mil quinientos dolares).

Debe destacarse que el alto costo de las redes telemétricas lo son sobre todo la estación receptora y los pagos por derechos del satélite; costo que de cualquier manera tiene que cubrir el ICE; por esto los autores opinan que la instalación de la estación telemática de lluvias en el Cerro Tapezco, no es una idea descabellada, sino que es perfectamente posible. En este caso la estación telemática enviaría información constante sobre la intensidad de lluvia a la estación receptora del ICE. En caso de que dicha intensidad alcance los valores críticos antes mencionados, esta institución avisaría inmediatamente por teléfono a la



SISTEMAS DE ALERTA CON SEÑAL TELEMETRICA

Precipitación acumulada registrada por sensores de lluvia con señal telemétrica en las cercanías de un deslizamiento durante las tormentas del 12 al 21 de febrero de 1986. Las barras horizontales indican los tiempos en que los sistemas de alerta fueran accionados. Los rombos representan derrames, los triángulos llenos flujos de detritos y los triángulos blancos deslizamientos de un determinado tipo (Keefer et. al 1987).

Municipalidad de Santa Ana, Cruz Roja, Comisión Nacional de Emergencias, a fin de que se proceda a dar la alarma a la población y a poner en práctica las operaciones de emergencia.

7.3 Control del caudal del Río Uruca

El control de avenidas en el Río Uruca puede utilizarse también como criterio para establecer alertas a la población. En este caso se recomienda establecer como sección de control la garganta de desfogue en el dique de control de avalanchas. Siendo esta una sección de dimensiones conocidas puede utilizarse como sección calibrada para cálculo de caudales. Para esto se deberán establecer las curvas de calibración entre el nivel del agua en la sección de control y el caudal que pasa. El nivel del agua puede leerse utilizando simplemente reglas de medición o alternativamente instalado un linnígrafo a nivel de base al río. El costo total del aparato más el equipo de lectura y excitación se estima en \$2500 (Dos mil quinientos dolares). Detalle de este instrumento se presenta adjunta en los anexos, al final de este informe. Para establecer sistemas de alerta basados en este criterio se requiere mayores investigaciones sobre correlaciones entre caudal y deslizamientos. Para acumular experiencia en este sentido se recomienda a la Municipalidad realizar aforos periodicos del caudal en la dirección de control, que puedan correlacionarse con la ocurrencia de deslizamientos. La acumulación de registros de

caudal-deslizamientos permitirá establecer sistemas de alerta.

De cualquier forma aunque en este momento no se disponga de dichas correlaciones, se considera importante para el seguimiento de los problemas de deslizamientos del Cerro Tapezco, contar con dicha información de caudales críticos. Siendo el Río Uruca parte de la cuenca del Río Virilla, esta información sería también de gran interés para el ICE por lo que posiblemente se contaría con la colaboración de esta institución.

VIII- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

-El deslizamiento del Alto de Tapezco involucra la inestabilidad de una masa de grandes proporciones prácticamente imposible de estabilizar en su totalidad.

-Se aclara que el estudio realizado, tal como se estableció en los términos de referencia del contrato suscrito para ejecutarlo no pretendía profundizar en aspectos geológicos/geotécnicos de detalle del deslizamiento, ni analizar otros aspectos tales como impacto socio-económico, manejo de la cuenca, problemas legales, etc. El objetivo principal del estudio es el planteamiento de soluciones técnicamente viables y que pueden construirse a costos relativamente al alcance de los recursos disponibles, basados principalmente en la información disponible y con trabajos complementarios específicos cuando fuera necesario.

-El deslizamiento del Cerro Tapezco es un movimiento compuesto, traslacional en su parte más baja y rotacional en los sectores más altos. Esencialmente y en un mayor porcentaje la superficie de ruptura se produce a lo largo del contacto entre capas superpuestas de lutitas y areniscas. Las areniscas por ser más permeables producen efectos de sub-presión importante, degradación e hinchamiento en las lutitas fisuradas, que hacen que estas deslicen traslacionalmente en forma de bloques de pequeño espesor.

Consecuentemente se produce el movimiento en las capas superficiales de suelo residual. El movimiento traslacional en la parte baja del deslizamiento produce grietas por decompresión de la capa de suelo residual en las partes altas y consecuentemente deslizamientos rotacionales en otros sectores. No obstante se destaca, que los movimientos rotacionales en las partes altas de suelo residual son consecuencia de los desplazamientos traslacionales a lo largo del contacto antes mencionado.

-El modelo de deslizamiento descrito anteriormente permite explicar con claridad el porqué el movimiento es tan sensible a los períodos lluviosos. En estos casos se produce una elevación del nivel freático en la capa de suelo residual, que aumenta la sub-presión en las capas de lutitas y areniscas; y consecuentemente se producen los movimientos. Este efecto se agrava por el hecho de que la salida de agua en el frente libre (parte más baja), a través de las capas de arenisca se encuentra usualmente obstruido por antiguos derrumbes de suelo residual.

-Se concluye que intensidades de lluvia mayores de 120mm/día son capaces de producir movimientos de importantes masas de tierra en el Cerro. Similarmente lluvias cortas con intensidades de más de 40mm/hora en 15 minutos pueden producir también efectos similares. Se recomienda utilizar estos valores como límite para establecer sistemas de alarma

a la población.

-Para establecer sistemas de alarma basados en control de lluvias es necesario instalar y dar seguimiento continuo a por lo menos 3 pluviómetros en la zona. La instalación de un pluviógrafo sería de mucha utilidad para establecer sistemas de alarma debidos a lluvias fuertes de corta duración, que pueden resultar más peligrosas. Se recomienda a la Municipalidad de Santa Ana coordinar con el ICE para estudiar la posibilidad de dotar al pluviógrafo recomendado de un sistema telemétrico que sea manejado por la red telemétrica del ICE. Esto permitiría establecer sistemas de alerta de tipo inmediato sin necesidad de tener personal en el sitio durante las tormentas críticas. Otra posibilidad alterna o preferiblemente paralela sería el establecimiento de sistemas de alerta basados en control de caudales del Río Uruca en la sección de control del dique propuesto. La instalación de un limnógrafo en ese sitio es también de amplio interés. Se recomienda también consultar con el ICE la posibilidad de que dichas medidas puedan ser enviadas teleméricamente, a fin de tener una cobertura oportuna durante las emergencias.

-Por las condiciones de saturación del suelo los meses de agosto, setiembre y octubre, son los más peligrosos para que se produzcan las avalanchas. Tormentas o lluvias fuertes en estos periodos pueden producir los deslizamientos que tanto se temen. Se recomienda que la Municipalidad de Santa Ana

reconozca dichos meses como peligrosos, a fin de que se le preste atención especial en este período al seguimiento de la instrumentación. Los sistemas o instituciones de emergencia deberán estar en disponibilidad absoluta en dichos períodos.

-Las soluciones y medidas que se proponen en este informe se plantean en tres aspectos: control del deslizamiento y sistemas de alarma, mitigación del efecto que produzca el deslizamiento una vez sucedido y finalmente medidas tendientes a estabilizar el problema desde alguna fáciles y económicas de ejecutar, hasta otras de mayor costo y complejidad.

-Se destaca con respecto a las medidas de estabilización que conforme se desarrollen las más complejas y de mayor costo, se tenderá hacia la solución total del problema. Mientras tanto las obras menores minimizarán la magnitud de los movimientos y sus problemas asociados, sin garantizar la estabilización total de la masa.

-Con relación a las obras a construir para mitigar el efecto de un deslizamiento, se considera que el dique ubicado en el sitio propuesto, es indispensable para prevenir que una gran avalancha de lodo, se extienda en todo el ancho del valle del Río Uruca arrasando con la población de Salitral y una parte importante del centro de Santa Ana. Esta obra encauzaría la avalancha por el cauce del Río Uruca, amortiguando su efecto

por la formación de un embalse hacia aguas arriba del sitio, que se eliminaría en forma controlada por el cauce actual del Río.

-Para el diseño final y preparación de los planos constructivos de las obras principales, es necesario realizar algunas investigaciones de detalle, como perforaciones en el eje de la presa, estudios de compactación de materiales para pedraplén y rellenos, estudios hidrológicos sobre niveles de embalse y volúmenes pasando al cauce del Río Uruca, según niveles de avalanchas. Para la galería de drenaje se debe diseñar cuidadosamente el portal de entrada y optimizar el soporte final.

-En relación con el cálculo de volúmenes y costos se destaca que estos se han realizado con base en suposiciones preliminares, que deben revisarse, por lo tanto no es posible garantizar los valores dados los que más bien representan órdenes de magnitud.

-Para efectos de financiamiento y ejecución de las soluciones y medidas propuestas, se pueden programar en etapas, considerando la simultaneidad de trabajos de control y alarma, minimización del riesgo y estabilización.

IX- REFERENCIAS

- 1.- Badilla R., "Estudio climatológico del Cerro Tapezco".
- 2.- Canal 13, Video sobre el deslizamiento Tapezco.
- 3.- Costa Nunes A. y otros, "Intense Rainstorms and Ground Slides".
- 4.- Escuela Centramericana de Geología, "Estudios Geológicos sobre el deslizamiento del Cerro Tapezco".
- 5.- Guidicini G. y Nieble C. "Estabilidade de Taludes naturais e de escavação". Editorial Blucher, 1984.
- 6.- Japan Landslide Society, "Landslide News No.3", Junio 1989 y "Landslide News No.4", Julio 1990.
- 7.- Johnson K. y Sitar N., "Significance of Transient pore pressures and local slope conditions un debris flow initiation".
- 8.- Laporte G., "Estudio Deslizamiento Cerro Tapezco, Enfoque Ingenieril", Seminario Municipalidad de Santa Ana. Setiembre, 1986.
- 9.- Leandro G., "Estudio Geofísico del Alto Tapezco". Ministerio de Agricultura y Ganadería. Febrero, 1977.
- 10.- Molina F. "Deslizamiento del Alto Tapezco. Faldas Occidentales del Cerro Tapezco, Cantón de Santa Ana, Provincia de San José, Costa Rica". Tesis Escuela Centroamericana de Geología U.C.R. , Setiembre, 1990.
11. Mora S., "Análisis Preliminar de la Amenaza y Vulnerabilidad Generadas por el Deslizamiento del Alto Tapezco, Santa Ana, Costa Rica". 4^{to} Seminario Nacional de Geotecnia, 1988.
12. Mora S., "Anteproyecto para el desarrollo de un estudio de riesgo asociado, etc."

- 13.- Municipalidad de Santa Ana. Documentos de Archivos sobre el deslizamiento del Alto Tapezco.
- 14.- Periódicos La Nación, La Prensa Libre y Varia Publicaciones y Fotografías sobre el Tema.
- 15.- Rico L. y Del Castillo, "La ingeniería de suelos en las vías terrestres". Tomo I
- 16.- Rivier F., "Geología des área norte de los cerros de Escazú, Cordillera de Talamanca". I.G.N. Informe semestral, Enero-Julio, 1979.
- 17.- Ureña R., "Análisis de estabilidad del Flanco Occidental del Alto de Tapezco". Escuela de Ingeniería, U.C.R., 1983.
- 18.- Vargas E. y Barboza A., "A study of the relationship between the Estability of Slopes in Residual Soils and Rain Intensity". Int Symp on Env. Geotechnology.
- 19.- Wollw C. y Hachich W., "Rain Induced landslides in Southeastern Brazil".