



CARLOS FERNANDO MOSQUERA

ÁREA HISTÓRICA  
DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL

## ESTUDIO GEOLOGICO DE LA ZONA DE EMBALSE DEL RIO APAQUI.- PROYECTO MONTUFAR-SAN GABRIEL

(INSTITUTO ECUATORIANO DE RECURSOS  
HIDRAULICOS, INERHI)



El sistema de muestreo a golpe de los cilindros, presenta el inconveniente de alterar la estructura del fondo del hueco perforado, abriendo grietas o porosidades, que ocasionan un rápido incremento en las pérdidas de agua por infiltración, alterando así, un tanto, los resultados de las mediciones de permeabilidad de los materiales arcillosos. Para obtener mediciones de permeabilidad más cerca de la realidad, en la perforación de los huecos se hicieron repetidos abscisiones, y en el hueco N° 6 se evitó el exterior muestreo de

## RESULTADOS DE LAS OPERACIONES DE PERFORACION PROFUNDA CON BROCA DE DIAMANTE.

La zona del proyecto de embalse del río Apaquí, se encuentra a 14 Km. hacia el SE de la población de San Gabriel, en la Provincia de El Carchi.— Esta zona se conoce con el nombre de El Chamizo y está conectada a San Gabriel por carretera. La zona del Chamizo está ubicada a los pies de las estribaciones occidentales de la Cordillera Real de Los Andes, y el proyecto se encuentra a alturas comprendidas entre los 2.700 a los 2.800 m. s. n. m.

### 1.—RESUMEN DE LOS TRABAJOS COMPLETADOS EN EL PERIODO DE ESTUDIOS.

DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL

El presente estudio se realizó con ocasión de disponer por 70 días, en calidad de préstamo mediante convenio, el equipo de perforación con broca de diamante del Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL).— Las perforaciones comenzaron en la zona de El Chamizo, el 24 de enero/68 y terminaron el 29 de marzo/68.

El equipo en referencia es de primera clase, provisto de implementos y accesorios aptos para perforar en roca dura y extracción de las correspondientes muestras. Pero debido a las características geológicas de la zona, se debía atravesar en todas las perforaciones primero por una gruesa capa de arcillas, por lo que se presentaron dificultades técnicas para obtener muestras ininterrumpidas de las arcillas, por carecer el equipo de muestreo del tipo "cuchara partida" para estos casos.— Este inconveniente se subsanó un tanto, extrayendo a golpe, mediante tubos Shelby muestras de arcilla cada 4 mts. de profundidad.



El sistema de muestreo a golpe de las arcillas, presentó el inconveniente de alterar la estructura del fondo del hueco golpeado, abriendo grietas o porosidades, que ocasionaron un rápido incremento en las pérdidas de agua por infiltración, alterando así un tanto, los resultados de las medidas de permeabilidad de los materiales arcillosos. Para obtener medidas de permeabilidad más cerca de la realidad, en la perforación de los huecos se hicieron repetidas observaciones, y en el hueco N° 6 se evitó el extraer muestras de arcillas a golpe, para establecer comparaciones.

Antes que recomendar un nuevo muestreo de las arcillas, con la herramienta "cuchara partida", que no dará mayores luces sobre las características de las arcillas que las obtenidas por las muestras con los tubos shelby, se recomienda el cuidadoso ensayo de laboratorio de las arcillas, al tiempo de abrir una trinchera a todo lo largo del eje de la presa, y a una profundidad que permita obtener muestras de índices de coherencia y de impermeabilidad necesarias para la cimentación de la presa. Esta excavación también permitirá inspeccionar completamente, la disposición de lentes y vetas de material permeable que en forma irregular se presentan en estas arcillas, produciendo infiltración "fantasma" en estas arcillas plásticas de apariencia general impermeable.

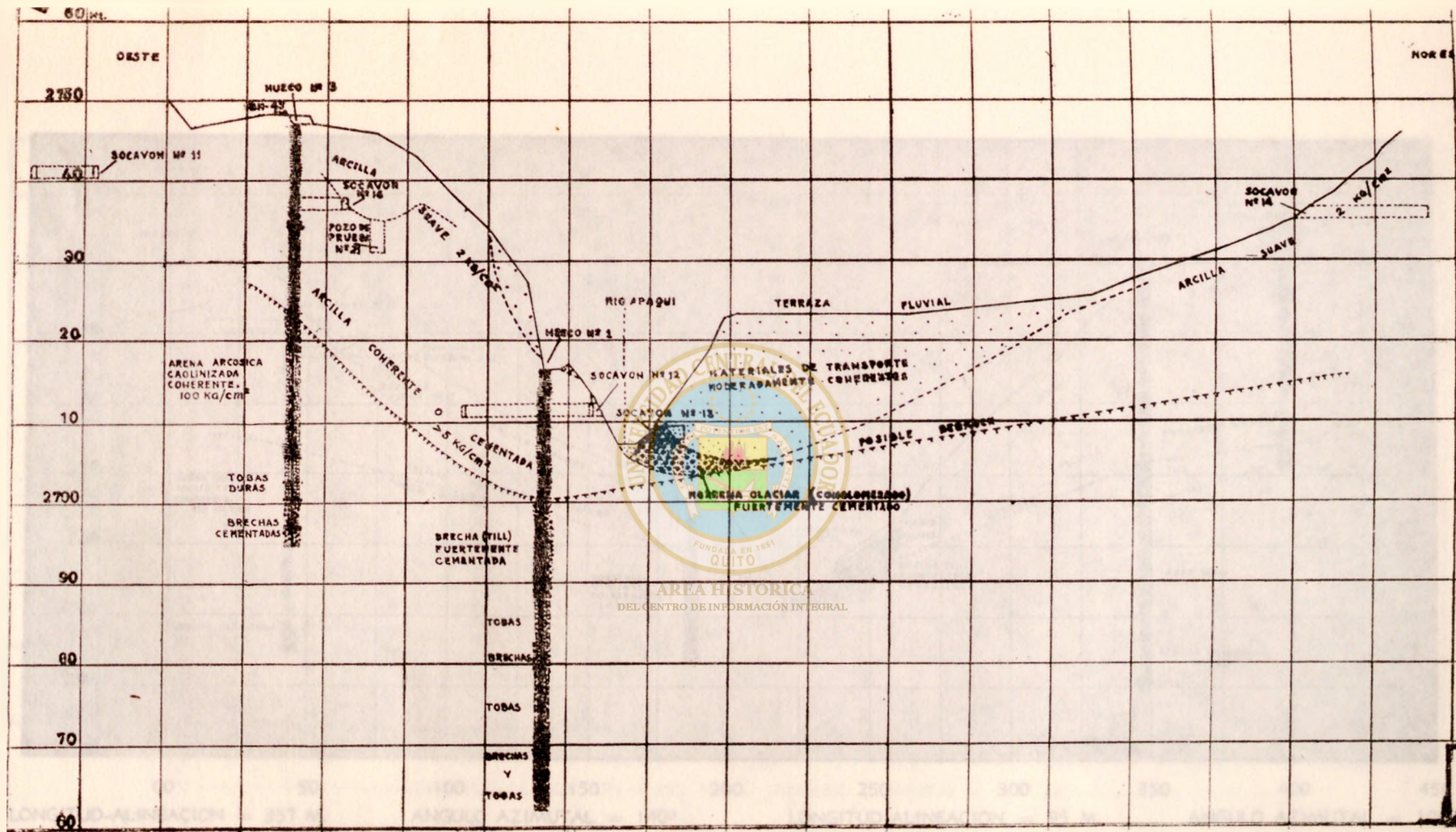
Se perforaron 6 huecos con broca de diamante, con un avance total de 237,20 mts., de los cuales, 104,20 mts. se perforaron en material arcilloso suave (con broca tricónica) y 120 mts. en roca dura, muy difícil de perforar en la mayoría de los casos, por su textura brechosa y conglomerática. Además, para orientar mejor el presente estudio se ha procedido a la apertura de 6 socavones, 2 trincheras y 1 pozo de prueba, y también se han aprovechado para las observaciones otros pozos antiguos excavados en la planicie, donde estaría ubicado el fondo del reservorio.

## 2.—LISTA DE LOS APENDICES GEOLOGICOS DEL ESTUDIO.

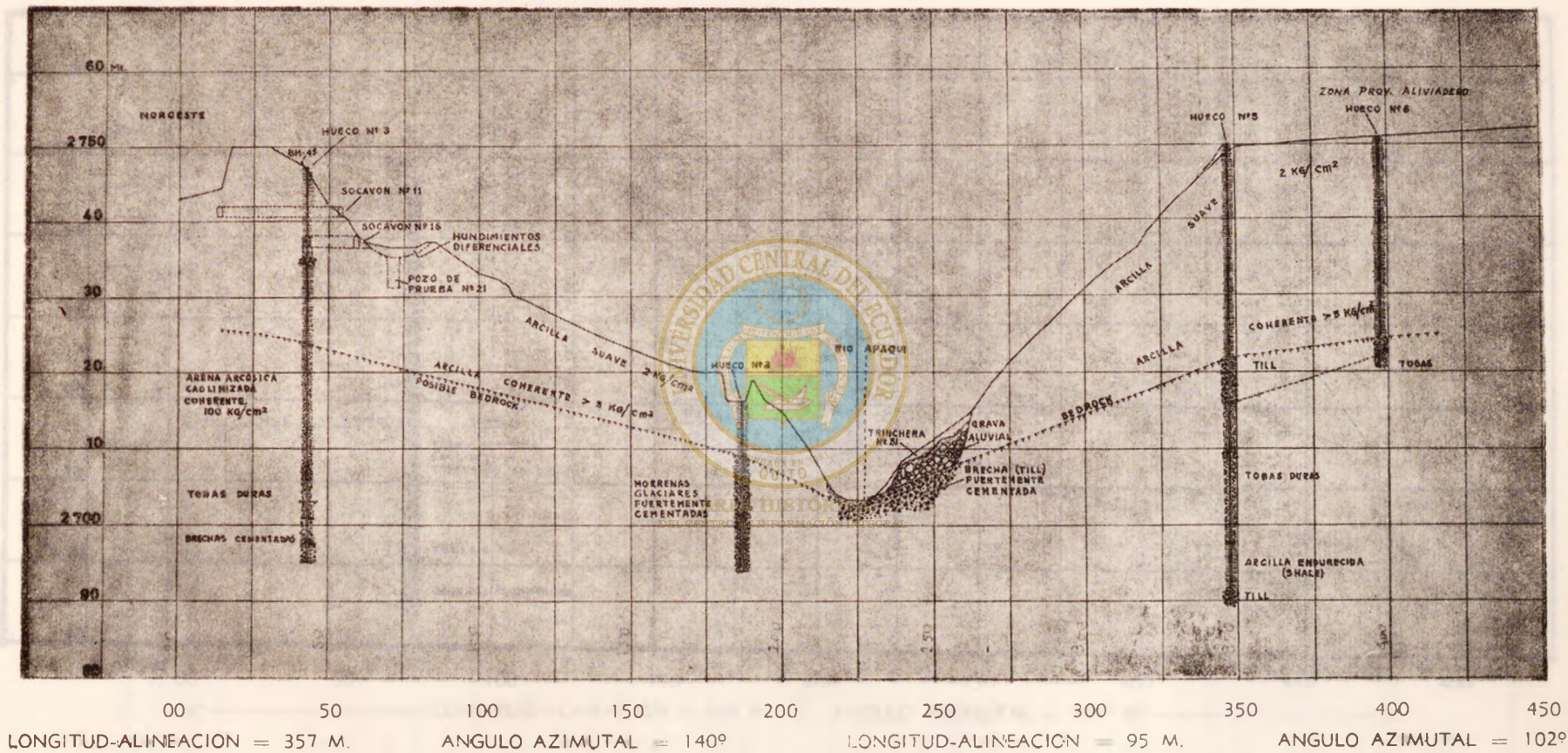
A la presente publicación sólo se acompañan los siguientes gráficos:

Hoja N° 3.—Perfil geológico según el eje B de la presa.

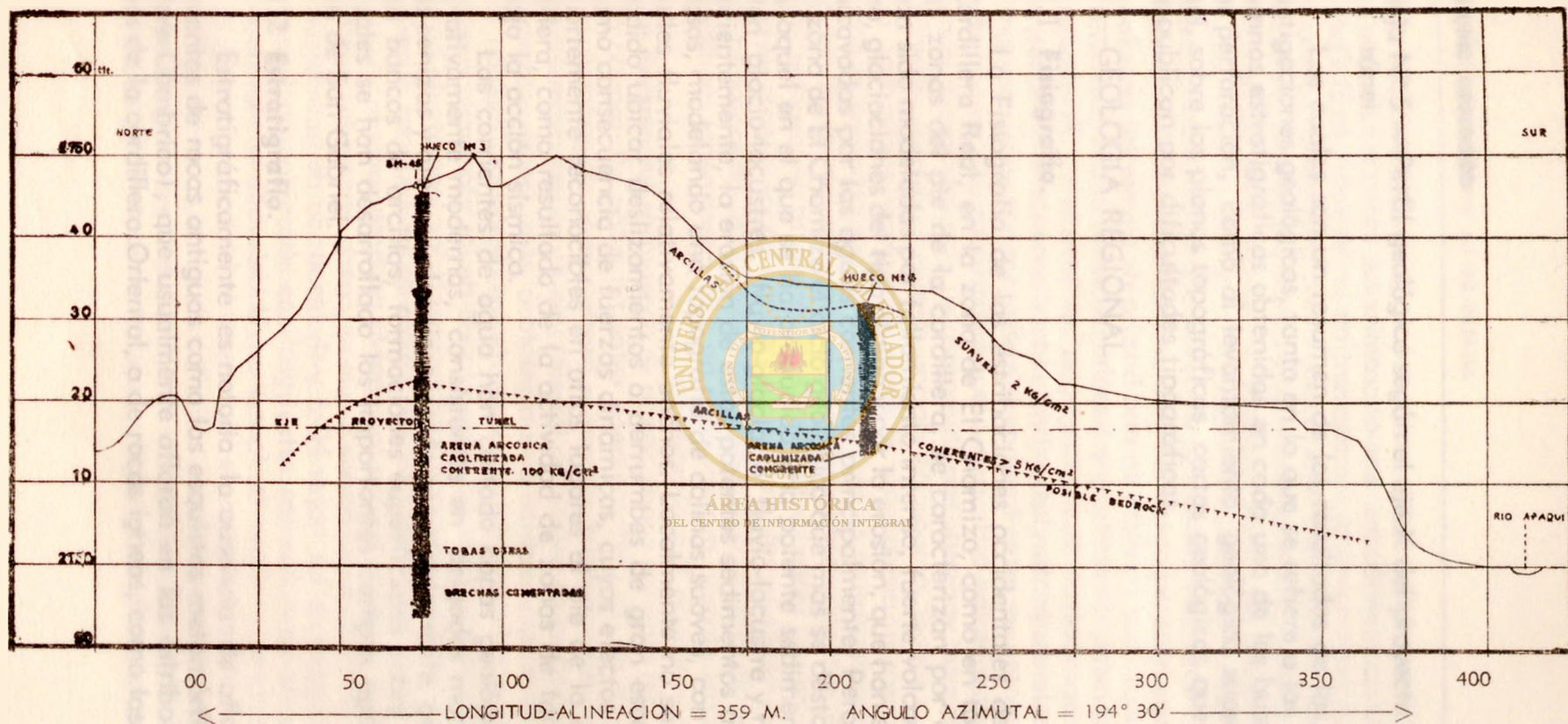
Hoja N° 4.—Perfil geológico según el eje D de la presa.











Hoja N° 5.—Perfil geológico según el eje K del proyecto del túnel.

Los cuales son un resumen de los resultados de las investigaciones geológicas, tanto en lo que se refiere a las columnas estratigráficas obtenidas en cada uno de los huecos de perforación, como al levantamiento geológico superficial, sobre los planos topográficos, cartas geológicas que no se publican por dificultades tipográficas.

### 3.—GEOLOGIA REGIONAL.

#### 3.1 Fisiografía.

La Fisiografía de las estribaciones occidentales de la Cordillera Real, en la zona de El Chamizo, como en todas las zonas del pie de la cordillera, se caracterizan por que han sido modeladas por fallamiento intenso, fuerte volcanismo, glaciaciones del tipo alpino y por la erosión, que han sido excavadas por las aguas corrientes principalmente. Pero en la zona de El Chamizo el ciclo geológico que más se destaca, es aquel en el que se ha producido una potente sedimentación glacio-lacustres, fluvio-glacial o fluvio-lacustre y más recientemente, la erosión de estos potentes sedimentos arcillosos, modelando una topografía de colinas suaves, con los valles fluviales relativamente anchos. Localmente no se ha podido ubicar deslizamientos o derrumbes de gran escala, como consecuencia de fuerzas dinámicas, cuyos efectos son fuertemente reconocibles en otros lugares al pie de la cordillera, como resultado de la actividad de zonas de fallas, bajo la acción sísmica.

Las corrientes de agua han cortado capas geológicas relativamente modernas, consistentes en delgados mantos de cenizas y arenas volcánicas y más apreciablemente, gruesos bancos de arcillas, formaciones superficiales sobre las cuales se han desarrollado los importantes campos agrícolas de San Gabriel.

#### 3.2 Estratigrafía.

Estratigráficamente es notoria la ausencia de afloramientos de rocas antiguas como las esquistas metamórficas (pre-Cámbrico), que usualmente afloran en las estribaciones de la cordillera Oriental, o de rocas ígneas, como las la-



vas terciarias y cuaternarias, que generalmente no faltan en otras localidades. Los afloramientos más cercanos de las rocas metamórficas, se encuentran en el valle de El Chota; en la quebrada de Mal Paso (1.675 m.s.n.m.), cerca de Carpuela, y lavas andesíticas y basálticas, en los profundos cortes del río Chota (puente del Chota sobre la carretera Panamericana 1.700 m.s.n.m.).

Las rocas más antiguas de la zona de El Chamizo, están representadas por un Till glaciar (posiblemente Pleo-Pleistocénico), que consiste en una brecha de elementos angulosos volcánicos, andesíticos y basálticos, sementados fuertemente por tobas del tipo "cangagua" y "pishilata". Por las perforaciones profundas a broca de diamante efectuadas, se constata que estas brechas se presentan en varios pisos, correspondientes cada uno a varios períodos glaciares probablemente, variando sensiblemente su naturaleza por la mayor o menor proporción de los elementos ígneos, llegando en casos a predominar el cemento o matriz tobácea. Los afloramientos de estas brechas son muy escasos en la zona; pero, están bien expuestos en la línea de las aguas del río Apaquí, en el sector del eje D del proyecto de la presa (hoja N° 4). El Till glaciar ha sido topado en los huecos de perforación Nos. 1, 3, 5 y 6, y son indicadores de morrenas del piso del glaciar, material que ha sido ligeramente modificado por erosión fluvial posterior.

En algunas zonas, según se observa de los perfiles geológicos de las perforaciones, estos till están alternando con depósitos tobáceos, arenas y brechas más delgadas y aún con arcillas endurecidas (Shale), de espesores decimétricos y métricos, variables de un punto a otro. Geológicamente, estas condiciones lenticulares de los depósitos, indican las fuertes variaciones del piso o fondo de los glaciares, con los movimientos de avance y retroceso de las lenguas de hielo, así como los cambios de los límites de las lagunas (depósitos glacio-lacustres) en las épocas post-glaciares.

La forma del bedrock que se puede ver en los perfiles geológicos de las hojas N° 3 y 4, resultado de la interpolación de las columnas estratigráficas obtenidas en las perforaciones, indican la forma en U del valle pre-existente, excavado por el paso de las masas de hielo de glaciares anteriores.

El grueso depósito de arcillas que como un gran manto se extiende en la región, son formaciones complejas más

modernas, de origen eólico (cenizas y tobas volcánicas caolinizadas) caídas en un medio acuoso, mezcladas con arcillas glaciares residuales, depositadas en el seno de lagunas de existencia efímera. Gran parte de los depósitos arcillosos fueron remodelados y redepositados, al sucederse la desecación o vaceamiento de las lagunas. Las ruinas de presas naturales, consistentes en morrenas frontales bien cementadas, que embalsaron las enormes extensiones lacustres, se presentan a 500 mts. río abajo de la zona del proyecto (a cotas muy bajas).

Las terrazas fluviales modernas, son resultado de la depositación de materiales acarreados por el río y que se presentan en escalones, siendo las gradas más altas las más antiguas. Estas terrazas fluviales, generalmente están sepultando los escombros de las morrenas frontales, reproduciendo aparentemente, la forma de anfiteatro o herradura de los frentes del glaciar (ver hoja N° 3).

Por último las tobas o cenizas volcánicas más recientes, que de modo general cubren la región, reproduciendo la topografía pre-existente (disposición periclinal), se han mezclado en parte con las arcillas subyacentes meteorizadas y se han enriquecido, en materia orgánica-mineral húmica, a lo cual debe su intenso color negro y su rica fertilidad.

ÁREA HISTÓRICA  
DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL

### 3.3 Tectónica.

Aunque en la zona no se presentan complejidades geológicas estructurales, derivadas de zonas de fallas, o deslizamientos de terrenos, accidentes que no son notorios ni en las fotografías aéreas de la zona, no se debe olvidar que todo el norte del país y especialmente, a los pies de la cordillera Oriental, se emplazan las zonas rupturales geológicas, focos de los sismos regionales. Por lo tanto, este factor de la sismicidad de la zona debe ser tomado en cuenta en la construcción de la presa; pues, si efectivamente, en la región no son notorios accidentes tectónicos (fallas, fracturas, plegamientos, derrumbes, etc.), estos pueden estar encapados a profundidad por las arcillas plásticas.

En las zonas se presentan sin embargo, otra clase de hundimientos, que son hundimientos diferenciales locales en los gruesos depósitos de arcilla. Esta clase de hundimientos se manifiestan en forma de superficies cóncavas alarga-



das, al pie de las colinas, como las que en número de 3 se perfilan en hilera, a lo largo de 300 mts. con un rumbo SW, a partir de las inmediaciones del BM-45, siguiendo el pie de la colina alargada del margen derecho del río Apaquí. El pozo de prueba Nc 21, excavado a mano 4 mts. de profundidad, en el centro del hundimiento diferencial más cercano del BM-45, y la perforación del hueco N° 4, efectuada en el borde exterior del contiguo hundimiento diferencial al sur, revelan esta aseveración de ser hundimientos diferenciales en arcillas plásticas.

#### 4. ---PROBLEMAS GEOLOGICOS RELACIONADOS CON EL PROYECTO DE CONSTRUCCION DEL EMBALSE.

##### 4.1 **La Presa y el Reservorio de El Chamizo.**

Este proyecto ha sido concebido como la etapa inicial, para el desarrollo y aprovechamiento de los recursos hidrológicos del río Apaquí, uno de los principales afluentes del río Chota. Para represar el río, se proyecta la construcción de una presa de 40 a 50 mts. de alto, localizada aproximadamente 450 mts. aguas abajo de la confluencia de los ríos Cuasmal y Minas los que unidos forman el río Apaquí. Se visualiza la construcción de la represa, a base de relleno con los materiales que se disponen a mano en la zona y que, de cuyas características texturales, se reseña más adelante. Se proyecta construir un aliviadero que deberá ubicarse en el ala izquierda de la presa. Se proyecta también la construcción del túnel inicial del acueducto, ubicado en la margen derecho del proyecto, según el eje K.

##### 4.2 **Geomorfología de la Zona del Vaso de Almacenamiento.**

La presa y el vaso de almacenamiento, están localizados entre las elevaciones 2.700 a 2.760 m.s.n.m., de contorno topográfico.

La zona del vaso de almacenamiento ocupa la explanada de las vegas modernas del sector de la confluencia de los ríos Cuasmal y Minas, con sus respectivos valles ascendentes, anchos y de poca profundidad. Es posible que esta cuenca topográfica, fue creada en uno de los últimos tiempos glaciares, cuando masas de hielo pasaron limpiando de escombros y excavando las arcillas coherentes glacio-lacus-

tres pre-existentes, construyendo una depresión en forma de artesa, que después ha sido teatro de la depositación y relleno con materiales de acarreo fluvial. Esta sedimentación fluvial se ha efectuado en varias etapas, dejando terrazas suspendidas, con gradas hasta de 20 mts. de altura, correspondientes a los cambios de nivel de erosión del río, y correspondiendo la terraza más alta a la más antigua.

Los bordes de la artesa, están constituidos de arcillas y probablemente, parte o todo su fondo; las arcillas a su vez, deben cubrir el Till glaciario, impermeable por naturaleza. El nivel de agua de represamiento, al ascender por los bordes de la artesa, empaparía las laderas arcillosas, pero al saturarse de agua, las pérdidas por infiltración, es probable, no sean de mucha consideración.

#### 4.3 Geomorfología de la Zona de la Presa.

En la zona del proyecto de la presa, se ha ideado aprovechar el estrechamiento del valle del río Apaquí, en forma de garganta. Hay dos ejes posibles del proyecto el B y el D; pero, el eje D es el más probable. Observando los perfiles geológicos, el del eje B (hoja N° 3), a más de que la topografía no es favorable, la estructura geológica es heterogénea; la presencia de una de las terrazas fluviales, ocupando una gran parte del perfil, con materiales de transporte moderadamente coherentes, lo que significa que tienen una permeabilidad no despreciable, es inconveniente. Las perforaciones efectuadas sobre este eje, huecos Nos. 1 y 3 indican que existe un horizonte de brechas del tipo Till (resistencia a la compresión aprox.  $500 \text{ kg/cm}^2$ ) a una profundidad de 6 mts. bajo el lecho del río, brechas que probablemente suben en plano inclinado hacia la ladera del margen izquierdo, pero bajo un espesor de más o menos 20 mts. de arcillas (socavón N° 14).

Hacia el margen derecho, la columna estratigráfica obtenida en el hueco N° 3, indica que el bedrock a este lado, en parte está formado por una brecha conglomerática arcillosa o arena gruesa dura caolinizada tobácea (resistencia a la compresión aprox.  $100 \text{ kg/cm}^2$ ). Las arcillas superyacentes son muy suaves en la superficie (penetrómetro:  $2 \text{ Kg/cm}^2$ ); pero, ya a los 4 mts. de profundidad se endurecen (3 o más de  $5 \text{ Kg/cm}^2$ ) (socavones de prueba Nos. 11, 16 y 12; pozo de prueba N° 21).



En el cauce del río, los datos obtenidos por los socavones N° 13 y N° 15 (picado minero antiguo), indican la presencia, a manera de una isla, de morrena glaciar (conglomerado fuertemente cementado), que yace sobre las arcillas coherentes o duras. Esta isla de conglomerado glaciar, a su vez, ha formado el espolón que soporta la nariz de la terraza fluvial (ver el perfil según el eje B hoja N° 3).

El perfil geológico según el eje D, indica una conformación topográfica más apropiada y la estructura geológica más conveniente. En el margen izquierdo del río, la perforación de los huecos N° 5 y N° 6 y las excavaciones superficiales en el lecho del río (trincheras N° 31 y N° 32), indican que una brecha glaciar del tipo Till, forman el bedrock de este lado, soportando una gruesa sobrecarga de arcilla, de un espesor de 27 mts. en la zona del aliviadero. Esta arcilla igualmente, es muy suave en la superficie, presentándose poco más dura a profundidad. En el lecho del río, según las trincheras excavadas Nos. 31 y 32, se observa un depósito aluvial, de piedras y bloques grandes, relleno el lecho moderno del río.

Hacia el margen izquierdo, las perforaciones de los huecos Nos. 2 y 3 indican que el bedrock en parte está formado por morrenas glaciares fuertemente cementadas hacia el cauce del río, y en otra parte, hacia la colina, por arenas gruesas o brechas caolinizadas coherentes. Deben existir entre estas formaciones geológicas, los respectivos contactos, y es necesario inspeccionarlos en las zonas que se presenten accesibles por la excavación de cimentación de la presa. Notorio es que en los huecos Nos. 1 y 5, en realidad hay varios pisos de brechas (Till), pero la interpretación dada de los perfiles puede ser la más correcta o probable.

Es importante anotar que aunque aparentemente el agua lluvia debe drenar fácilmente por las arcillas impermeables aparentemente, que cubren la región, se ha comprobado sin embargo, que por lo menos en la zona de los hundimientos diferenciales, la infiltración de agua lluvia es completa. Así por ejemplo el hundimiento al pie del BM-45, de una superficie aproximada de 1.000 mts. cuadrados, durante todo el año permanece su fondo sin enlagueamiento, por lo que se deduce que hay una infiltración anual de 1.200 mts. cúbicos de agua en esa depresión, dado que las isoyetas anuales son del orden de 1.200 mm. Se observó también que tampoco se enlaguearon después de 7 días consecutivos

de lluvias. La excavación de 4 mts. de profundidad del pozo de prueba N° 21, situado en el centro de esta depresión, reveló la inexistencia de canales o aberturas claras por donde pudiera infiltrarse el agua. El conjunto de materiales arcillosos en la excavación, se presenta en franjas plásticas de varios colores, unas de textura compacta y otras, que recuerdan su origen clástico (proveniente de arena gruesa feldespática caolinizada) que aunque sus granos transformados en arcilla están soldados entre sí, dejan oquedades a modo de porosidades de arena, llenas de material coloidal, empapadas en agua. Estos son lentes o mantos irregulares de arcilla de aspecto moteado, permeables, por donde seguramente se infiltra el agua. El fondo del pozo tiene humedad pero sin empozamiento del líquido. Las medidas al penetrómetro en los materiales arcillosos del fondo del pozo dieron valores de 3,5 a más de 5 kg/cm<sup>2</sup>.

## 5. ---CONDICIONES DE FUNDACION DE LAS ESTRUCTURAS.

En la zona del proyecto, la superficie inmediata hasta una profundidad de 1 a 2 mts., está constituida de una tierra negra vegetal (originariamente ceniza volcánica). Este material es de baja densidad, y dureza: ensayos al penetrómetro 2 a 4 Kg/cm<sup>2</sup>; su permeabilidad es variable. En general se observa que tiene la propiedad de diluirse fuertemente en el agua a modo de la disolución de anilina. Por estas características, este material no sería apropiado usarlo ni como material de relleno ni como material impermeable en las estructuras correspondientes; pues, por su alto contenido orgánico es susceptible de oxidación y eliminación por percolación, disminuyendo la compactación.

Como se puede deducir, por todas las perforaciones y excavaciones efectuadas en la zona, debajo de la tierra negra vegetal, yace en forma más o menos uniforme un espeso manto arcilloso, que es muy plástico y suave en la superficie (2 Kg/cm<sup>2</sup>); bastante impermeable cuando es compacta pero moderadamente permeable cuando presenta texturas granosas, indicio de su procedencia de arenas arcósicas (feldespáticas) como ya se indicó. Hacia la profundidad las arcillas son más duras; a 4 mts. de profundidad ya se obtienen ensayos al penetrómetro de 3.5 a más de 5 kg/cm<sup>2</sup>.



En los pozos de perforación se observaron pérdidas de agua por infiltración en las arcillas, siendo éstas pérdidas variables desde 0,002 lts/s. hasta más de 1,5 lts/s.— Pero se debe tomar en cuenta que los casos en que mayores pérdidas de agua por filtración se obtuvieron en las arcillas, fueron aquellos en que se sacó a golpe muestras de arcilla, circunstancia que probablemente se debe a que por el golpe se abrieron conductos hacia los mantos arcillosos porosos, aumentándose así las pérdidas de agua. Se observó que hasta no golpear el fondo del hueco a medida que se perforaba, no se producían escapes apreciables de agua. En la perforación del hueco N° 3 a las profundidades de 12 a 12,60 mts., después de sacar una muestra de arcilla a golpe con el tubo shelby, se observó un aumento abrupto en la pérdida de agua, siendo mayor de 1,5 lts/s. (máxima capacidad de las dos bombas del equipo juntas). El material en el que se producía esta fuerte infiltración es una brecha conglomerática rala con matriz predominante y compuesta de arcilla café obscura muy plástica y compresionada, lo que significa una especie de infiltraciones "fantasma" en un material arcilloso, que por su naturaleza debería ser bastante impermeable. Este caso era necesario investigar más detenidamente, para lo cual se abrió el socavón N° 12, que, con una longitud de 25 mts. de largo permitió llegar al sitio de 12 mts. de profundidad desde la boca del hueco de perforación N° 3; pero, una vez en el sitio de las infiltraciones, no se encontró ninguna abra, fractura o canal visibles, sino, la brecha de estructura granosa, arcillosa, con porosidades llenas de material coloidal.

Para mayor comprobación, en la perforación del hueco N° 6 se procedió a hacerlo sin sacar muestras a golpe de las arcillas, observándose en este caso, que las pérdidas de agua fueron siempre menores a 0,0377 lts/s. en un espesor de más de 26 mts. de arcilla. De todas maneras, generalizando se puede decir que, los resultados obtenidos en las excavaciones y perforaciones en estos materiales arcillosos (arcillas, arcosas y arenas caolinizadas, tobas caolinizadas, etc.), hacen temer en la posibilidad de fugas a profundidad, por la presencia irregular e imprevisible de lentes de arenas y gravas arcillosas permeables, que es necesario inspeccionar cuidadosamente, en los puntos de influencia de las cimentaciones de la presa.

De esto se vislumbra que es necesario efectuar una excavación completa a lo largo del eje de la presa, a una profundidad suficiente hasta encontrar las arcillas coherentes que cumplan con las dos condiciones siguientes: primero la suficiente resistencia a la compresión del material arcilloso, y segundo que sea lo suficientemente impermeable para la cimentación de la presa; pues, es conveniente descubrir, para dar solución al problema, la posición de los lentes delgados, de distribución irregular de arenas y gravas, permeables, y proceder a la inyección de cemento.

En las zonas del cauce del río, la excavación debería profundizarse uno o dos metros en el conglomerado glaciar de la margen derecha y en el Till de la margen izquierda, para inspeccionar convenientemente el contacto de las dos rocas, o la existencia de canales escondidos, fluviales o glaciares, y poder corregir estos defectos naturales. Ambos materiales, el conglomerado y la brecha, son formaciones pétreas, cuyos elementos redondos o angulares, están fuertemente cementados y compresionados, por efecto de la carga glaciar que soportaron, y por lo tanto son marcadamente impermeables.

A base de las columnas estratigráficas obtenidas en las perforaciones, se ha interpolado el posible límite o perfil del bedrock, representado por rocas duras, cuya resistencia a la compresión ya es aproximadamente mayor de 100 Kg/cm<sup>2</sup>, y que en comparación con los materiales arcillosos superyacentes, presenta un cambio abrupto del índice de dureza. Pero como puede verse de los perfiles el bedrock en toda su extensión, no está constituido por una sola clase de roca dura.— En el perfil del eje D por ejemplo (hoja N° 4) en el margen derecho y en la parte alta, el bedrock está representado por una superficie tersa de areniscas o brechas arcósicas a la profundidad de 23,30 mts. — Bajando la ladera, el bedrock pasa a una superficie crudamente irregular del conglomerado glaciar, y desde el lecho del río hacia la ladera del margen izquierdo, el bedrock está representado por una superficie áspera de Till glaciar, que en la zona del proyecto del aliviadero, se encuentra a la profundidad de 27 mts. desde la superficie.

Se deduce que a lo largo del eje de la presa deben haber contactos entre estas distintas formaciones geológicas, lo cual es necesario inspeccionar convenientemente, en las zonas en que la excavación para la construcción de la pre-



sa, esté cerca del bedrock y pueda tener influencia en escapes de agua.

#### 6.—TIPO DE LA PRESA.

La construcción de una presa de relleno, es la más apropiada para las condiciones geológicas locales, pues, ofrece la mejor utilidad por la disponibilidad de los materiales de construcción locales y porque presenta el mayor grado de seguridad a los sismos, ya que, la zona se encuentra ubicada sobre una de las franjas sísmicas más activas del país (pie occidental de la Cordillera Real). El diseño estructural de la construcción, especialmente de la naturaleza del alma de la presa, requiere de ensayos de laboratorio, de los materiales disponibles de la zona.— La presa de relleno puede servir también útilmente como paso de la carretera hacia la zona agrícola del otro lado del río, en proceso de un importante desarrollo.

#### 7.—PROYECTO DEL ALIVIADERO.

La zona del proyecto del aliviadero, se encuentra en el ala izquierda de la presa, según el eje D (hoja N° 4), zona que topográficamente es ventajosa por presentar un escalón natural. En esta zona se efectuó la perforación del hueco N° 6, que permitió determinar la profundidad a la que se encuentra la roca firme (bedrock), que es de 26,60 mts. Como puede verse en el perfil de la hoja N° 4, el aliviadero debería formar parte integral de la presa, pero dada la naturaleza de las arcillas del subsuelo, en las que la compacidad y los factores de los hundimientos diferenciales, erosionabilidad y deslizamiento, son más desfavorables en las zonas superficiales, el diseño del aliviadero debe ser de un tipo especial, con excavaciones mayores para conseguir una compacidad que garantice tanto los efectos de vibración y de los hundimientos diferenciales.

Igualmente, se debe hacer presente que, los materiales que componen el canal del aliviadero, son arcillados, suaves y por tanto erosionables, debido a lo cual, será necesario construir un canal de concreto, con su perfil hidráulico que arranque del mismo lecho del río, con el objeto de que, una erosión ascendente no forme una grada en retroceso, que al llegar a los pies del aliviadero, ponga en peligro su estabilidad.

## 8.—PROYECTO DEL TUNEL.

La dirección azimutal del proyecto es  $194^{\circ} 30'$ ; en el margen derecho del río Apaquí, a la cota de 2.715 m.s.n.m., es decir, 35 mts., bajo el nivel del agua del futuro embalse. Atraviesa la colina del BM-45, y las perforaciones Nos. 3 y 4, nos permiten dibujar el perfil geológico según el eje K (hoja N° 5), que muestra la probable disposición estratigráfica de esa zona.

El túnel tendría una longitud mayor de 300 mts. Se observa que tanto a la entrada como a la salida, el túnel debe atravesar un buen trecho en arcillas plásticas, suaves, (2 a 5 kg/cm<sup>2</sup>). Hacia la parte central del núcleo de la colina, el túnel debería pasar por una arena arcósica alterada o brecha conglomerática feldespática caolinizada de una regular dureza (aproximadamente 100 kg/cm<sup>2</sup>). Estos materiales arcillosos, son también algo tobáceos por la intervención en su composición, de cenizas volcánicas, las cuales por alteración producen manchas bentoníticas. Aunque las bentonitas encontradas en la zona, no son típicamente de la clase "expansible", sin embargo, es probable que el túnel, armado sobre estos materiales arcillosos, sufrirá deformaciones de las paredes por hinchamiento de las arcillas en contacto con el agua. Me parece conveniente sugerir, que se estudie la posibilidad de construir el túnel en forma de un tubo de concreto de sección circular, convenientemente dosificado para obtener un concreto impermeable, casi perfecto, cuidadosamente construido sin uniones, que no permita fugas de agua y, de un espesor y resistencia suficientes para soportar los efectos mecánicos de compresión del cerro.

Como ejemplo de comparación, se puede citar el "tubo Galvez" de Portovelo, de 1,70 mts. de diámetro interno, de hormigón simple, que cruza terrenos arcillosos, producto de la caolinización de rocas ígneas feldespáticas; este acueducto fue construido hace 65 años por la SADC. Los desperfectos de este tubo se presentan solamente en los sitios en que no se consiguió una buena impermeabilidad, o donde quedaron uniones por desperfectos de la construcción; pues, los escapes de agua reblandecen la arcilla, y pueden producir efectos de hundimiento de los respectivos tramos del tubo, pero los efectos de hinchamiento de las arcillas, soportan mejor aquellos acueductos de sección circular.



Es improbable que el túnel atravesase alguna zona de fallas o fracturas, pues en estos materiales plásticos, en la superficie no se nota ningún accidente tectónico, a más de los hundimientos diferenciales en las arcillas, por efecto de su autocompresión. Lo que sí es probable encontrar a lo largo del túnel, son horizontes o lentes de arenas y gravas delgadas caolinizadas, más o menos mejor conservadas, y por lo tanto algo permeables, que constituirían motivo de mayores precauciones en la construcción.

## 9.—MATERIALES DISPONIBLES DE LA ZONA PARA LA CONSTRUCCION DE LA PRESA.

Sujetos a experiencias en laboratorios de ensayos, los siguientes depósitos de materiales pueden ser aptos para ser empleados en la construcción de la presa:

### 9.1 Tierra Negra Vegetal.

Este suelo proviene de una ceniza volcánica, mezclada ahora con un alto contenido de materia orgánica (Humus, ácido húmico, etc.) y cubre en forma de un manto de 0,50 a 2 mts. de espesor toda la zona. Se caracteriza porque es un material liviano, algo permeable, pero bastante impermeable cuando se encuentra compresionado. Es algo plástico, pero se diluye fácilmente en agua, a modo de lavarse una tinta negra, que es la materia orgánica. No parece conveniente su uso, ni como material impermeabilizante, ni como material de relleno, por ser estructuralmente inestable bajo el agua, y aún bajo la atmósfera, por su oxidación.

### 9.2 Depósitos de Arcilla Plástica Impermeable.

En la zona existen extensos y potentes depósitos de esta arcilla, del tipo bentonítico no expansible. Es de color anteoado rojizo, y de un alto grado de plasticidad. Hay zonas más oscuras o rojizas por su impregnación de hidróxido de hierro (limonita). Hay zonas en que la arcilla está empapada de mucha agua, dada su naturaleza porosa original (cuando proviene de arenas gruesas arcóscas); pero, otras zonas de arcillas residuales, son compactas y con humedad normal. Esta zona de arcillas residuales, compactas son los yacimientos útiles, que se pueden explotar en tro-

zos, y ser compactados en el sitio de construcción con sistemas mecánicos (rodillos).

### 9.3 Depósito de Till Glaciar (Brecha).

El Till glaciar (brecha) que puede ser un buen yacimiento de materiales finos impermeables, del tipo de cangagua compresionada o de ripio de rocas volcánicas, después de una somera trituración. En la zona no existen buenos afloramientos favorables para poder ser explotados en canteras. Sólo existen afloramientos de este material, en el cauce del río, aguas abajo de la zona del eje D del proyecto, que dada su posición a ras de las aguas no presenta buenas condiciones de explotabilidad. Con todo, futuros cateos, pueden decidir sobre la posibilidad de abrir canteras hacia la ladera, cubierta por las arcillas, en caso de no conseguirse en la zona buenos materiales de construcción para la presa, que le substituya.

### 9.4 Depósitos Morrénicos (Conglomerados Glaciares).

Cerca del proyecto, a 350 mts. río abajo del eje D, en la margen derecha del río Apaquí y a 80 mts. de distancia de la carretera que llega a la zona de El Chamizo, aflora un alto corte de 25 mts. de alto de morrena terminal, consistente en un conglomerado cementado muy fuertemente. El cemento es un material cangagua-arenoso, que cementa piedras redondeadas, de tamaño y calidad muy variables, desde las muy suaves, como las esquistas micáceas, desmenuzables por medios mecánicos, hasta los elementos más duros de andesitas y basaltos.— Mediante cribas se puede obtener todo tipo de material pétreo redondo, pedregullo y arenas para los agregados de concreto—. La capacidad de este yacimiento de materiales arenáceo-pétreos es grande; pero, en caso de ser necesarios otros yacimientos, en la zona hay promontorios encapados semejantes, que se pueden explorar, para determinar si están constituídos de los mismos materiales.

### 9.5 Canteras.

Canteras de roca, del tipo de andesitas, o similares, para la explotación de bloques y molones de piedra en la zona inmediata, no existen. Por ahora, se conocen las cante-



ras de piedra andesítica de Chilcales, a unos 15 kms. por carretera del proyecto de embalse. Pero si es necesario, esta clase de rocas ígneas, pueden ser encontradas con posibilidades, a lo largo del valle del río Apaquí, río abajo del proyecto.

## 10.—CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

A base del presente estudio, que en definitiva ha tenido por objeto la evaluación geológica del proyecto de embalse del río Apaquí, proyecto Montúfar, se concluye que:

1.—El proyecto de embalse del río Apaquí desde el punto de vista geológico, es factible de ser realizado, según el eje D del proyecto.

2.—Los problemas geológicos, que principalmente derivan del predominio de materiales arcillosos en la zona, sin afloramientos apreciables de formaciones pétreas duras, requieren del diseño especial en la construcción de los elementos de la presa, del aliviadero y del túnel del proyecto.

3.—El tipo apropiado de presa, dadas las condiciones geológicas del subsuelo de la zona de El Chamizo, es el de "relleno de tierra". El diseño apropiado y definitivo de la estructura de ese reservorio, debe ser el resultado de la investigación del laboratorio, de las propiedades mecánicas o hidráulicas de los materiales.

4.—La construcción de un embalse como el que se proyecta, es siempre un riesgo o peligro que se corre, al estar ubicado en una zona sísmicamente activa, con frecuentes o imprevisibles terremotos, como en las demás regiones semejantes del país.

5.—Los materiales de construcción que existen en la zona, en su mayoría están a la mano y en cantidades suficientes, para ejecutar los trabajos que se proyectan o que se visualizan, como resultado del presente estudio.

6.—El presente estudio geológico del proyecto de embalse de El Chamizo ha llenado satisfactoriamente, un programa de evaluación, y puede suministrar los datos suficientes para un cálculo preliminar del costo total de la obra.