En el sitio de presa, intruyendo las rocas volcánicas de la formación Chapiza hay un cuerpo granodiorítico de forma piramidal cubierto en una gran superficie por material aluvial, que servirá de soporte a la presa Salado. Las granodioritas superficialmente están muy alteradas aunque en la margen derecha en la línea del eje se observaron buenos afloramientos que forman cascadas de hasta 20 m. en la que se localiza una pequeña fractura de 0.5. rellena de cuarzo blanco lechoso con presencia de mineralización. Las granodioritas macroscópicamente son de color gris claro con moteados negros, planos de fractura oxidados, los principales minerales son el cuarzo, plagioclasa, feldespatos potásicos, hiperstena, biotita, moscovita; como producto de alteración está la clorita. La presencia de plagioclasa zonada puede indicar un enfriamiento relativamente rápido del cuerpo intrusivo cerca al contacto con la roca encajante.

Externamente presenta un intenso diaclasamiento, siendo de mayor preponderancia el vertical como rumbos NW-SE, NE-SW.

Los depósitos terrazados en el área de presa ocupan apreciables superficies en la parte alta del paleocauce, donde está ubicada la estación de bombeo del Salado (oleoducto). Estas terrazas están formadas de limo-arenoso, arenas finas a gruesas, gravas con tamaño entre 5-30 cm. de (se han encontrado bloques de mayor tamaño pero esporádicos).

Estos materiales están formando capas y lentes de espesores variables, el conjunto tiene una potencia más de 200 m. (datos obtenidos de las perforaciones).

Sobre los depósitos terrazados modernos en unos casos y sobre rocas granodioríticas y volcánicas en otros, se ha depositado material aluvial constituído de gravas con tamaño entre 5 y 30 cm. de aproximadamente. Redondeados y sub-redondeados, de rocas metamórficas intrusivas, sedimentarias y volcánicas recientes y con bancos intercalados de arena fina a gruesa. En algunas partes se han formado acumulaciones originando pequeñas islas cubiertas con espesores de más 4 m.

Los depósitos coluviales están presentes principalmente, en el sitio del eje de la presa. En la margen izquierda, ocupando una apreciable superficie y en el flanco derecho aguas arriba del eje estos depósitos coluviales están constituídos de bloques y pedazos de rocas dioríticas y

volcánicas del miembro Misahuallí mezclados con arenas, limos y arcillas; la potencia de estos depósitos es más de 15 m. aproximadamente.

Por las investigaciones geológicas superficiales, en el área de presa no se localizaron fallas estructurales, en lo que respecta a las diaclasas los sistemas principales son NW-SE/70o SW, E-W/8o N; buzamientos que oscilan según los datos de las investigaciones geofísicas en el sitio de presa.

De las investigaciones geofísicas se desprende que el límite de refracción más profundo varía de 3.170 a 6.100 m/seg. que se interpreta como superficie de roca sana, que inciden en dos grupos distintos.

A 3.170 - 3.350 Rocas volcánicas miembro Misahuallí.
B 4.750 - 6.100 Intrusivo granodiorita

3.3 Obras Civiles

Una presa de escollera, prevee el desvío por la margen derecha a través de 2 túneles con 12 m. de diámetro cada uno y aproximadamente 700 m. de longitud y el vertedero en la margen izquierda. Tanto los túneles de desvío como el de la conducción a la central incidirán en rocas intrusivas granodioríticas. Estas rocas se presentan bastante fracturada y alterada desde la superficie hasta un promedio de 30 m. de profundidad según los registros de las perforaciones realizadas en el sitio de presa, no se detectó la presencia de fallas en el sector de los túneles pero el sistema de fracturamiento podrá ser un factor de gran importancia en el condicionamiento geológico-geotécnico de estas rocas. El espaciamiento observado entre estas fracturas es 30 a 50 cm. en promedio bajo estas condiciones la roca granodiorítica se presenta adecuada para los trabajos de perforación de los túneles. Sin embargo se prevee la necesidad de perforación anclaje, entibado, y concreto lanzado con el objeto de evitar desprendimientos de bloques e infiltraciones importantes a través de las fracturas. En los sectores cercanos al contacto del cuerpo intrusivo con las rocas volcánicas encajantes el fracturamiento deberá ser bastante intenso. En la profundidad prevista para los túneles el fracturamiento deberá ser relativamente cerrado, cumple destacar que las únicas observaciones directas al respecto fueron realizadas en superficie en donde las fracturas se presentan abiertas. El canal de entrada de los túneles de desvío incidirá en la misma roca granodioritas descrita anteriormente.

El canal de salida incidirá en rocas granodioríticas alteradas y fracturadas y en depósitos aluviales terrazados y actuales. Debido a la poca consolidación de los depósitos aluviales el diseño de los cortes no deberán exceder de 1:1.

El vertedero, localizado en la margen izquierda del río Coca, incidirá principalmente en las rocas granodioríticas y secundariamente en las rocas volcánicas del miembro Misahuallí cubierto por depósitos aluviales.

En las partes no revestidas del vertedero, los taludes en la granodiorita - meteorizada deberá ser 2:1 y en el material aluvial 1:1. Eventualmente serán necesarios pernos de anclaje para la estabilización de bloques aislados por el fracturamiento. En lo que respecta a la capacidad de soporte de las rocas para la estructura del vertedero no se prevee problema de ningua naturaleza.

La casa de máquinas superficial será cimentada en rocas granodioríticas y materiales aluviales, siendo válido en este caso las mismas observaciones realizadas anteriormente para la excavaciones del vertedero y canales.

3. Geología del embalse

Tomando como base la cota máxima 1.360 m., el embalse se extenderá 17 km. aguas arriba en el río Quijos y en el río Salado 9 km. El río Quijos presenta una orientación general N-S con variaciones de su curso. El río Salado desde su confluencia con el río Quijos toma una dirección E-W con variaciones en su curso poco pronunciadas, hasta la cola del embalse; tanto el río Quijos como el Salado corren por valles amplios limitados por laderas rocosas cuyas gradientes varía entre 45o - 60o. En el fondo de estos valles se han formado pequeñas playas de material aluvial, algunas directamente sobre rocas volcánicas y otras sobre terrazas aluviales que en muchos casos forman taludes casi verticales muy inestables. Como lo son de fuerte pendiente, son muy frecuentes los desprendimientos que se acumulan en el pie de las mismas.

Litológicamente el área del embalse está constituída de rocas volcánicas de la formación Chapiza, areniscas cuarzosas de la formación Hollin, rocas intrusivas granodioríticas, depósitos aluviales terrazados.

En el área del embalse las rocas volcánicas del miembro Misahuallí son las que ocupan la mayor superficie y una de las más competentes por sus características litológicas. Esta formación tiene gran variedad de rocas volcánicas, pero las que prevalecen son las lavas andesíticas y las tobas porfíricas. Las lavas andesíticas presentan una coloración gris-verdosa con fenocristales deplagioclasa en una matriz afanítica; se puede ver una seudo-estratificación, con coloraciones verdosas diferentes, esta seudo-estratificación es concordante con las tobas porfiríticas.

Las tobas porfiríticas, tienen coloración gris o gris-verdosa cuando hay silicificación son bien duras, compactas y con diaclasas lisas y cortantes.

Presentan una textura porfirítica con fenocristales feldespáticos en una matriz afanítica vítrea, no se observó la presencia de ignimbritas que forman parte de la formación Chapiza en otras zonas. En el área del embalse no se ha podido determinar su espesor, pero se la estima en unos 650 m.

Las aresnicas de la formación Hollín afloran en el río Salado a la altura de la cota 1.350 en la cola de embalse formando farallones casi verticales. Descansan discordantemente sobre las rocas volcánicas de la formación Chapiza con areniscas cuarzosas de color blanco o amarillo. En algunos casos presentan un aspecto sacaroidal de granos finos a gruesos formando estratos gruesos y delgados separados localmente por finas capas de lutitas negra o gris obscuras. Las capas de areniscas presentan estratificaciones cruzadas. En el área de estudio no se constató la potencia total; en el codo Sinclair alcanza 150 m.

Los depósitos aluviales terrazados se los observa a lo largo del río y en ambas márgenes. En algunos sitios presentan taludes casi verticales y descansan sobre rocas volcánicas del miembro Misahuallí y cubiertas en su mayoría por material aluvial contemporáneo y suelo vegetal. Están constituídos por arenas finas o gruesas de diferente tamaño redondeados y subredondeados con un material arcilloso-limoso y arenoso que sirve de matriz, son materiales medianamente consolidados, no se ha podido establecer exactamente el espesor de estos depósitos, sin embargo se estima en 100 m. en determinados lugares.

Las rocas intrusivas granodioríticas afloran únicamente en el sitio de la

presa. El cuerpo presenta una forma irregular y está cubierto en una gran superficie por materiales aluviales terrazados del antiguo cauce del río.

Macroscópicamente presenta una coloración gris claro con moteados negros y oxidación en los planos de fractura.

Los minerales principales son plagioclasa con 58%, subhedral de color café pálido con zonación y maclas de albita-carlsbad. Los feldespatos potásicos en 12%; el cuarzo 15% con extinción normal rellenando intersticios, se observó la presencia de calcita como mineral de alteración, y también sulfuros y magnetita.

Los depósitos aluviales contemporáneos están cubriendo en muchos sitios a los depósitos terrazados, en otros se ha observado un contacto directo con las rocas que sirven de base. Generalmente estos depósitos están constituídos por material limoso-arcilloso, arenas finas a gruesa, gravas con tamaño de 2 a 10 cm. predominantemente aunque se puede observar bloques esporádicos de tamaño mayores. Estas graves son de composición diversa, de las rocas intrusivas, metamórficas, volcánicas y sedimentarias.

Por la presencia de fuertes pendientes en el área de embalse, se ha observado una serie de acumulaciones al pie de los taludes, están constituídos de bloques angulosos de diferente tamaño mezclado con limo y arcilla que les sirve de matriz. La composición de estos depósitos coluviales varía según el tipo de roca que forman las pendientes. Los depósitos coluviales del río Quijos están compuestos de rocas volcánicas de la formación Chapiza y esporádicos bloques de arenisca; en el río Salado se han encontrado coluviones de rocas sedimentarias y volcánicas, (no consolidados). El área del embalse está cruzada por una serie de fracturas de rumbo N 24o E, localizada también en el río Salado y cubierta por material aluvial; una falla inferida de rumbo N 60o E, más hacia el sur cerca a la desembocadura del río Murallas, una falla vertical que está cubierta por terrazas aluviales y que tiene rumbo N45o W siguiendo hacia el sur o no se localizaron fallas de consideración pudiéndose solamente observar diaclasas en todos los afloramientos. En el río Salado el área del embalse fotogeológicamente se infieren dos fallas que por estar cubiertas por depósitos coluviales no pudieron ser confirmadas.

En el terreno en lo que respecta a estanqueidad del embalse, los estudios y observaciones realizados en estas etapas permiten afirmar que no habrán fugas de agua hacia otras cuencas a pesar de la presencia de pendientes fuertes en ambas márgenes en el río Quijos y Salado. No se han observado indicios de alta inestabilidad. Fueron observados únicamente desprendimientos pequeños de material detrítico que cubren las pendientes rocosas; en épocas de intensa lluvia. En zonas donde el embalse no cubre totalmente las terrazas aluviales, principalmente en la cola del embalse, se preveé derrumbes y asentamientos de sus taludes cuando se haga el llenado del embalse; puesto que estos se verán afectados con la elevación del nivel freático.

3.5 Casa de Máquinas

Esta obra está prevista en la margen derecha y consta básicamente de dos túneles de conducción a la central, siendo los de baja presión de 9.50 m. y los de alta presión de 5.50 m. de . La alternativa considerada para la central exterior es de 560 MW, instalados en 4 unidades de 140 MW c/u. La totalidad de estas obras estarán ubicadas en roca granodiorítica, que ocurren en ambas márgenes donde se practicaron varios sondeos de los cuales en el presente estudio solamente se consideraron en el análisis el SR-25 y el Sr-32, ubicados respectivamente en los márgenes derecha e izquierda.

Mediante estos sondeos se pudo determinar la granodiorita, a veces es ligeramente alterada y con una fracturación evidente constituída por un sistema vertical a sub-vertical con un espaciamiento aproximadamente de 30 cm. El porcentaje de recuperación en estos sondeos fue aproximadamente de 90% y un RQD de 60% en general. La roca presenta oxidación en las fracturas y mineralización de sulfuros y, con tramos no recuperados que podrían atribuirse a zonas cisalladas. Las consideraciones de las características de la granodiorita en lo que respecta a la excavación de túneles son iguales a la de la margen izquierda.

La alternativa de implantanción de una central subterránea, considerando el empleo de pernos de rocas, hormigón lanzado y trabajos de soporte, es geológicamente factible, los eventuales problemas con la presencia de infiltraciones de agua en las obras subterráneas serán perfectamente controladas por los medios convencionales.

3.6 Materiales de Construcción

Para el núcleo de la presa, fue estudiada una área de préstamo localizada, aproximadamente, 12 km, aguas arriba del eje, por la carretera Salado al Chaco. El material es producto de la alteración de lutitas carbonosa de la formación Napo, con abundante material orgánico fósil la superficie estimada es de 2.5 x 10 6 m 2 y en la cual fueron ejecutados sondeos a barrenos y pozos exploratorios, con obtención de muestras representativas.

La profundidad promedio de los sondeos a barrenos fue de 4 m. y de 5 m. en los pozos exploratorios. El volumen total disponible estimado es de 17 x 10 6 m3. Los yacimientos de material aluvial constituídos de arena fina a gruesa y gravas, se encuentra localizada aguas arriba y aguas abajo del eje de presa calculado, alcanzando profundidades mayores a los 200 m., esto parece ser suficientemente grande para las necesidades previstas. En la margen izquierda, aguas abajo del eje de presa y a una distancia no mayor de 3 km., fue localizada en sitio adecuado a la implantación de una cantera, se trata de rocas volcánicas del miembro Misahuallí, duras y masivas, las mismas que constituyen buen material para enrocamiento y agregado grueso del concreto.

3.7 Sismología

Los datos del presente trabajo están basados en estudios generales realizados en el país, razón por la cual hay que considerarlos preliminares e indicativos.

La falta de aparatos para el registro de las actividades sismológicas en el área del Proyecto Coca impiden que se obtengan conclusiones definitivas.

El Observatorio Astronómico de Quito y el U.S. Coast and Geodestic Survey son las entidades del suministro de los datos relacionados con ubicación, fecha, magnitud y profundidad de los hipocentros de terremotos.

La figura No. 4 presenta la localización de los epicentros de los terremotos registrados con sus respectivos valores de magnitud y año de ocurrencia, la observación de que los epicentros de los sismos registrados antes del mes de Agosto de 1960 carecen de precisión en cuanto a

su localización. En los estudios relacionados a las magnitudes es necesario considerar los valores de los terremotos registrados a partir del 1 de Junio de 1963.

El área general del Proyecto debe ser considerada como sísmicamente activa suponiéndose que su actividad puede ser incrementada como resultado de la sobrecarga del área por la presencia de futuros embalses.

En los estudios realizados en el área, no fueron reconocidas fallas activas, sin embargo esa observación es muy difícil en un área con la cubierta vegetal densa como la existencia en la cuenca del río Coca.

Conocimiento sobre los terremotos destructivos, en lo que respecta a las medidas de los movimientos del terreno, permiten algunas conclusiones generales para los terremotos en la Costa del Pacífico.

Según Hudson, la máxima aceleración del terreno, en aluviones compactos en regiones epicentrales de fuertes terremotos, no es superior a 0.5 gr. aproximadamente.

El tiempo de duración de fuertes vibraciones del terreno, en aluviones, no es mayor a 45 segundos aproximadamente.

Movimientos destructores del terreno, asociados a terremotos, son de tres tipos, los mismos que deben ser identificados, ya que presentan diferentes problemas de medidas e interpretaciones de los años.

1.- El terremoto puede iniciar deslizamientos o movimientos superficiales locales, los mismos que pueden dañar las estructuras por el hecho sencillo de remoción del material de cimentación.

2.- El choque producido en el terreno por el terremoto puede ocasionar, en larga escala un asentamiento y consolidación del suelo y subsuelo, causando daños en las estructuras, por deformación excesiva de la fundación.

3.- La aceleración del terremoto en el terreno puede inducir fuerzas destructivas de inercia en las estructuras.

La propia recarga del área, por la futura presencia de embalses, podrá ser una causa del surgimiento de sismos o aumento de la sismicidad del

área.

El informe de Woodward-Clyde Consultants sobre el estudio preliminar de los riesgos sísmicos para la presa Salado, incluyó un reconocimiento geológico y dos meses de observación microsísmica en una área de 50 Km, alrededor de la presa. En el Informe se incluye que no hay evidencia de fallas activas en el sitio de la presa y que las evidencias geomorfológicas son indicativas de un bajo grado de actividad de fallas comparando con otras áreas del Ecuador. En base a los estudios de la Woodward Clyde Consultants, se concluye que el sitio Salado no necesita consideraciones especiales de diseño para fallamientos que ocurran las fundaciones. En el mapa sismológico se observa que en el sur Oriente existe la mayor concentración de epicentros de terremotos, correlacionando dichos terremotos, con el área de estudio. De tal manera que, el terremoto de diseño deberá ser considerado como de intensidad VIII en la escala de Mercalli equivalente a una magnitud de VI en la escala de Ritcher.

3.8 Consideraciones geotécnicas

Las características geológicas de la región en las obras civiles a proyectar depende de otros factores.

1.- **Factor geomorfológico:** Este factor desglosado a continuación, deberá ser estudiado para futuras investigaciones:

El drenaje de la mayor parte de la cuenca está sujeta a un control estructural, ya que muchos de los ríos se han localizado en los sectores de mayor debilidad mecánica que viene dado por presión de diaclasamiento o fallamiento.

2.- **Factor tectónico:** El río Quijos está limitado en su curso medio por dos fallas paralelas que parecen prolongarse en dirección del volcán Reventador, lo que hace pensar en una relación de causa-efecto entre ambos fenómenos, en consecuencia se plantea la posibilidad de que estas fallas hayan estado en actividad, en época reciente y puedan reactivarse. Todo estudio que se efectúe en el futuro deberá contemplar la posibilidad de inestabilidad tectónica.

3.- **Factor volcánico:** Por la información existente hasta la fecha, sobre la acción del Volcán Reventador se puede concluir que no hay peligro

de erupciones que produzcan corrientes de lava, que puedan comprometer el Sector de la Cascada San Rafael, la acción volcánica así como su influencia en la sísmica de la zona es objeto de un estudio particular.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

1.- Para la etapa de diseño deberán concentrarse las perforaciones, galerías en el lugar donde se considere factible la construcción de la presa, para poder determinar con exactitud. Las discontinuidades y efectos de la acción mecánica y química que podría haber afectado el sitio. Por supuesto es imposible conocer con un cierto grado de precisión todos los acontecimientos reunidos, incluso conociendo la historia completa, no sería posible determinar el estado tensional por ignorar las propiedades características del material bajo solicitaciones de larga duración, y el mecanismo real de deformación por efecto de la subpresión de erosión.

2.- Deberá realizarse ensayos de mecánica de rocas en los lugares donde irá cimentada la presa, para determinar el módulo de deformación, el índice de calidad de las rocas (RQD), módulo de elasticidad, etc.

3.- A pesar de no haber detectado fuertes movimientos sísmicos en el área de estudio se deberá considerar el coeficiente de seguridad correspondiente en el estudio y diseño de la presa; e incrementar los estudios de sismicidad con la instalación de una red de sismógrafos.

4.- Se debe poner especial atención en la medición del acarreo sólido de los ríos Quijos-Salado, ya que apreciativamente es considerable y su sedimentación causará los inconvenientes pertinentes.

5.- En el diseño final deberán realizarse varias pruebas de bombeo adicionales, una de estas pruebas debería ser en los apoyos en donde es posible que zonas permeables estén presentes.

6.- En el diseño final deberán realizarse inyecciones, para la reducción de las filtraciones por debajo de la presa, o hacia el interior de excavaciones bajo la capa freática, para el control de la subpresión bajo estructuras, junto con dispositivos adecuados de drenaje.

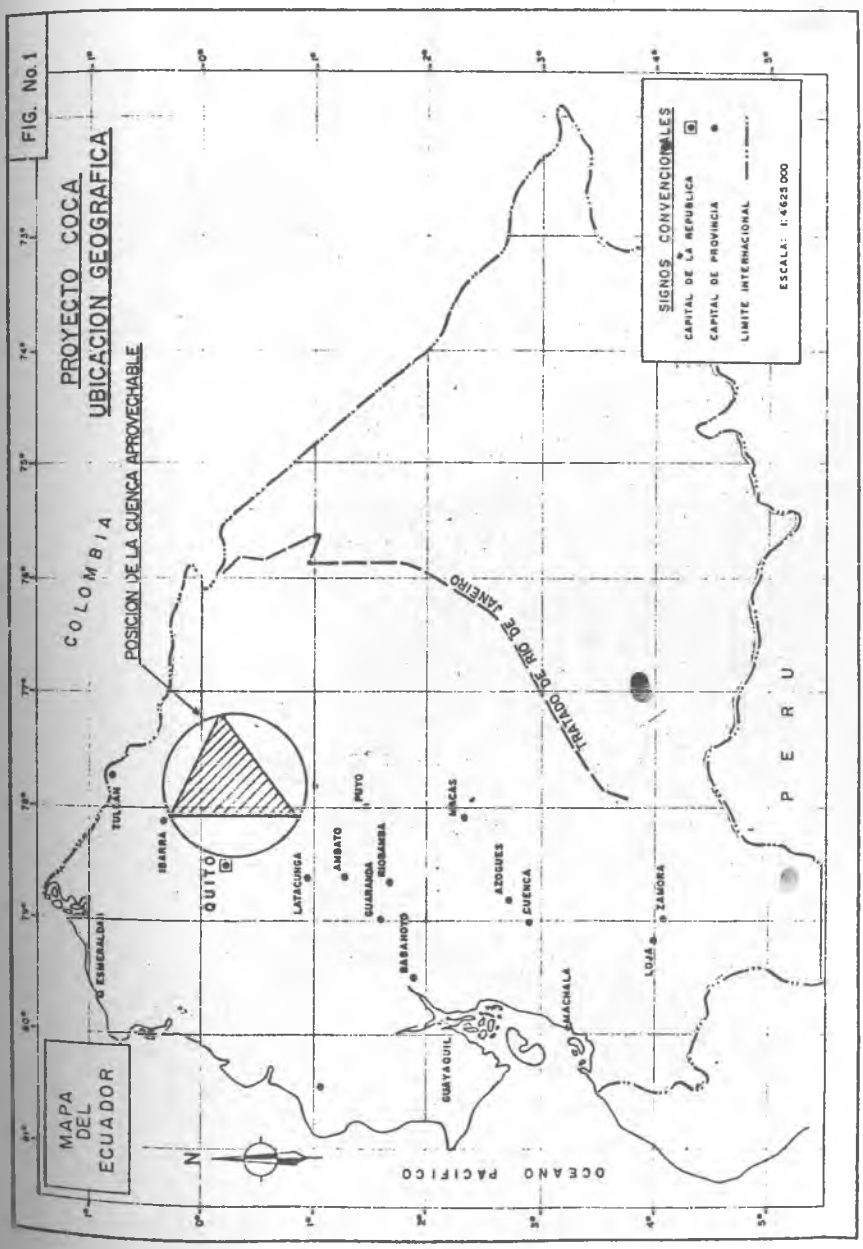
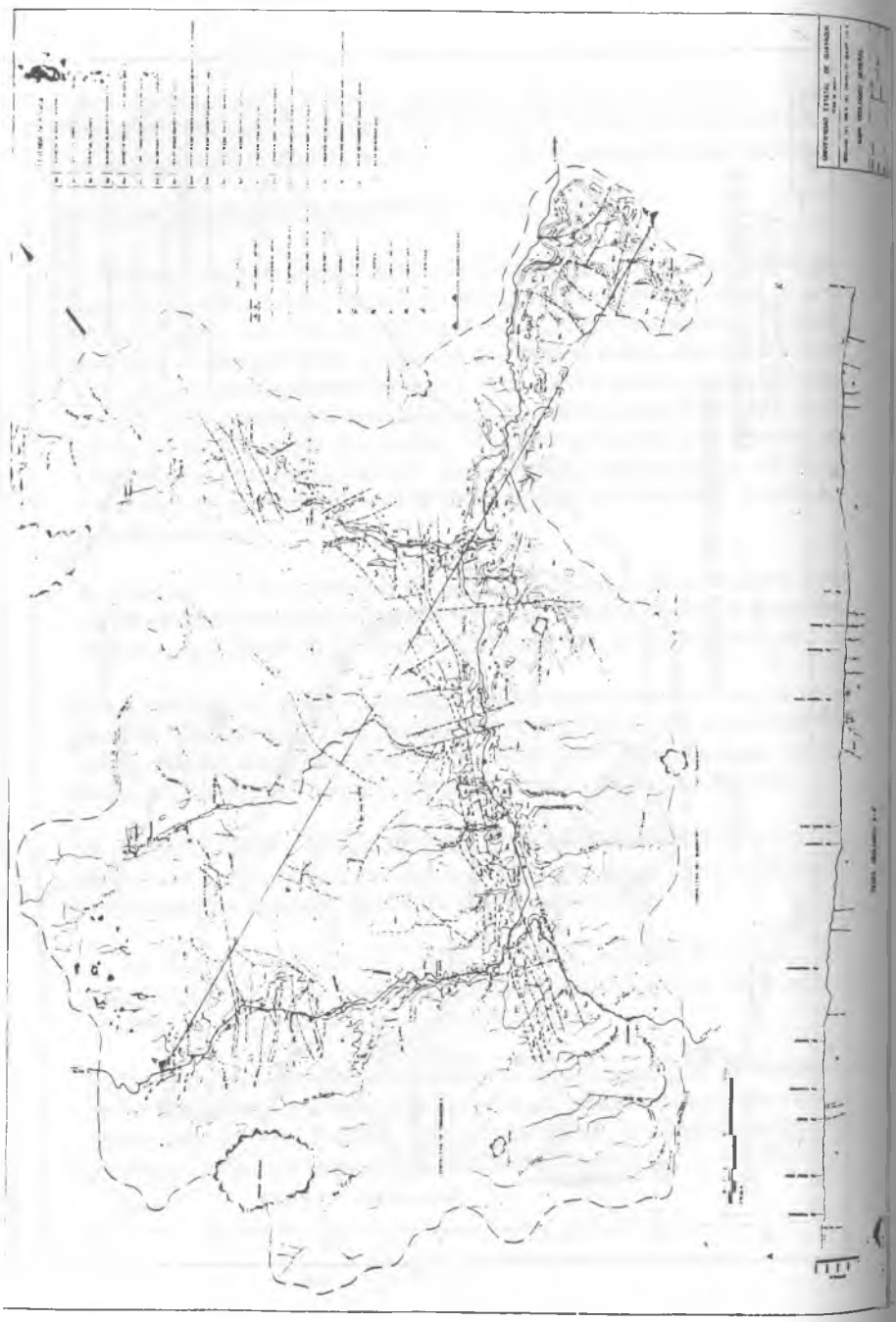
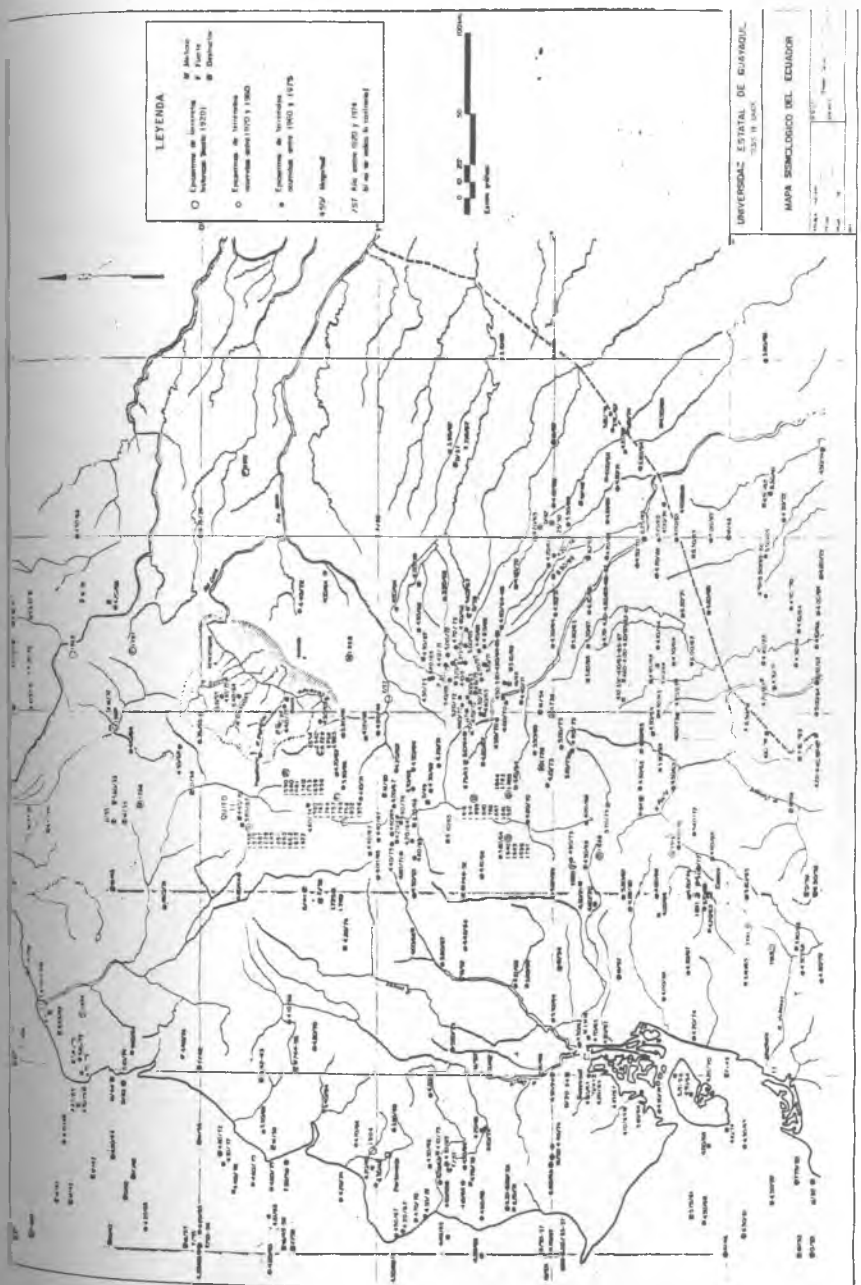
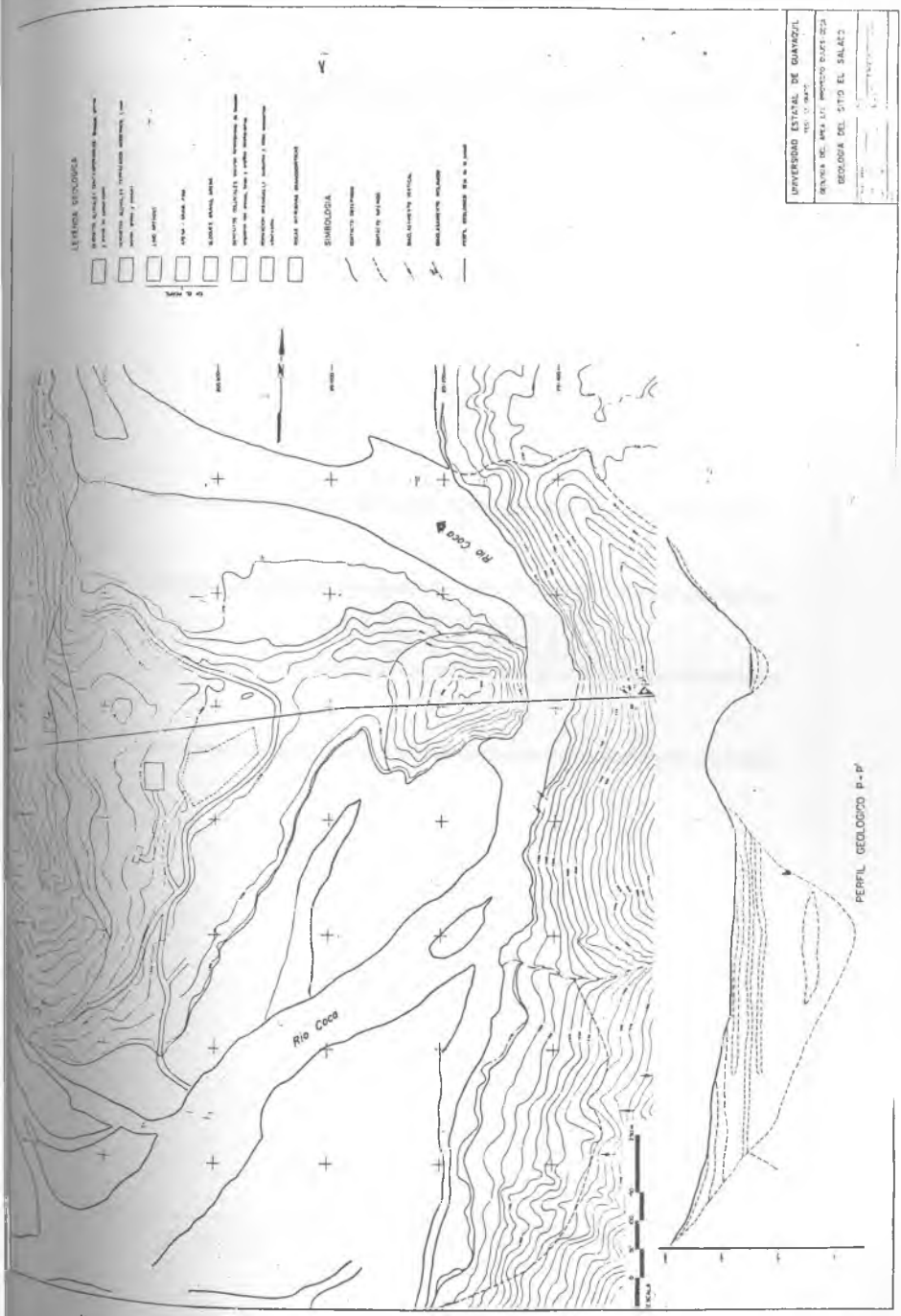


FIG. No. 1
PROYECTO COCA
UBICACION GEOGRAFICA
POSICION DE LA CUENCA APROVECHABLE
COLOMBIA
PERU
TRATADO DE RIO DE JANEIRO
MAPA DEL ECUADOR
SIGNOS CONVENCIONALES
CAPITAL DE LA REPUBLICA
CAPITAL DE PROVINCIA
LIMITE INTERNACIONAL
ESCALA: 1:4625 000
TULCAN
ESMERALDAS
IBARRA
QUITO
LATACUNGA
AMBATO
PUYO
GUARANDA
RIOBAMBA
BABAHOYO
MACAS
AZOGUES
CUENCA
LOJA
ZAMORA
MACHALA
GUAYAQUIL
OCEANO PACIFICO
N




LEYENDA
UNIVERSIDAD ESTATAL DE GUAYAQUIL
MAPA SISMOLOGICO DEL ECUADOR


LEYENDA GEOLOGICA
SIMBOLOGIA
Rio Coca
Rio Coca
PERFIL GEOLOGICO P-P'
UNIVERSIDAD ESTATAL DE GUAYAQUIL
GEOLOGIA DEL SITIO EL SALAES